



ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย

NUTRIENT REQUIREMENTS OF DAIRY CATTLE IN THAILAND

(ฉบับแรก ปี พ.ศ. 2563)



คณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย
กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)



ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย

NUTRIENT REQUIREMENTS OF DAIRY CATTLE IN THAILAND

(ฉบับแรก ปี พ.ศ. 2563)



คณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย
กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย

Nutrient Requirements of Dairy Cattle in Thailand

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563 จำนวน 500 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

คณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย. 2563.

ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 260 หน้า

1. ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย.1. ชื่อเรื่อง

ISBN: 978-616-358-472-4

สงวนลิขสิทธิ์

ลิขสิทธิ์ของ:

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ผู้สนับสนุนการจัดพิมพ์:

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

จัดพิมพ์โดย:

สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ เลขที่ 91 หมู่ 4 ตำบลบางกะดี อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

โทรศัพท์: 02-501-1148 โทรสาร: 02-501-1165 เว็บไซต์ <http://nutrition.dld.go.th/nutrition>

พิมพ์ที่:

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร: 0-4320-2100 มือถือ 09-9465-5115 ภายใน 44770

หน่วยงาน สถาบัน องค์การงานการประสานความร่วมมือ

คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย

(ตาม คำสั่งกรมปศุสัตว์ที่ 1054/2561 เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทยรายละเอียดใน
ภาคผนวก)

กรมปศุสัตว์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

มหาวิทยาลัยมหิดล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย

สมาคมร้านอาหารสัตว์ไทย

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย

สมาคมอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมไทย

สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

สมาคมผู้เลี้ยงโคนมไทยโฮลสโตนฟรีเซียน

ชุมนุมสหกรณ์โคนมแห่งประเทศไทย

คำนำ

หนังสือความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทยฉบับนี้เกิดจากความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง กรมปศุสัตว์ สถาบันอุดมศึกษา ภาคเอกชน และ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) โดยคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทันกอาหารสัตว์ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ผู้ประกอบการ ตลอดจนนักวิชาการ นักศึกษา ได้ใช้เป็นมาตรฐานในการประกอบสูตรอาหารสำหรับการผลิตโคนมของประเทศไทย รวมทั้งเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต

การจัดการให้อาหารโคนมอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโภชนะแต่ละชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนม รวมทั้งต้องอาศัยข้อมูลสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลความต้องการโภชนะของตัวสัตว์ และข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ หนังสือ “ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย ฉบับแรก ปี พ.ศ. 2563” นี้ มีเนื้อหารวมทั้งสิ้น 15 บท และได้ผ่านการตรวจรับรองเอกสารโดยคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และอยู่ภายใต้การสนับสนุนการดำเนินงานของคณะกรรมการนโยบาย คณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะช่วยให้การผลิตโคนมในประเทศไทยได้รับการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น สามารถแข่งขันได้ในระดับนานาชาติและพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยด้านความต้องการโภชนะบางอย่างของโคนมในประเทศไทย ยังต้องมีต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาการเลี้ยงโคนมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

อนึ่ง หากผู้อ่านหรือผู้ใช้หนังสือเล่มนี้มีข้อเสนอแนะ หรือพบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการค้นคว้า การเขียน และการพิมพ์ประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณสำหรับคำแนะนำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ สำหรับการปรับปรุงในครั้งต่อไป

นายสารกิจ ถวิลประวัตติ

คณะกรรมการกองบรรณาธิการ

หนังสือความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย

ธันวาคม พ.ศ. 2563

คำขอบคุณ

คณะกรรมการความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทย ขอขอบคุณ นายยุคล ล้มแหลมทอง อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ว่า การกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และอธิบดีปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นอย่างสูง ที่มีบทบาท ริเริ่มให้คำปรึกษา และสนับสนุนการจัดทำหนังสือความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทยฉบับแรกมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นายสารกิจ ถวิลประวัติ อธิการบดีวิทยาลัยการสัตวบาล นายสุวิทย์ ชัยเกียรติยศ ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) และคณะผู้ทรงคุณวุฒิ สวก. ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานเพื่อจัดทำหนังสือความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทย ขอขอบคุณคณะกรรมการกองบรรณาธิการหนังสือความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทยที่กรุณาตรวจรับรองเอกสาร ขอขอบคุณผู้สนับสนุนให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ในสังกัด สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ 5 แห่ง ได้แก่ กลุ่มวิจัยและพัฒนาการวิเคราะห์อาหารสัตว์ จังหวัดปทุมธานี ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จังหวัดขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี และศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ลำปาง จังหวัดลำปาง บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (กำแพงแสน) และมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ขอขอบคุณ สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย สมาคมไทยโฮลสโตล์ฟรีเซียน และสมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทยที่ส่งผู้แทนเข้าร่วมประชุม และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อคณะทำงาน ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญจันทกานต์ อรรถนันท์ รวมทั้งคณะทำงานในการจัดทำตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม รศ. ดร.กฤตพล สมมาตย์ และคณะทำงานในการจัดทำมาตรฐานค่าความต้องการโภชนาของโคนม ที่ได้ทุ่มเทกำลังกาย กำลังใจ และกำลังความคิด ในการจัดทำหนังสือจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ขอขอบคุณ นักวิชาการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์กรมปศุสัตว์ อีกหลาย ๆ ท่าน ที่ไม่สามารถระบุชื่อไว้ในที่นี้ ที่มีส่วนสนับสนุนและร่วมดำเนินงานในการจัดทำหนังสือฉบับนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) ผู้สนับสนุนงบประมาณในการจัดพิมพ์

นายอิทธิพล เผ่าไพศาล
ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์
คณะกรรมการความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทย
ธันวาคม พ.ศ. 2563

คำนิยม

ผมมีความยินดีเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ทราบว่าหนังสือ “ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย ฉบับแรกปี พ.ศ 2563” ได้จัดทำสำเร็จจุล่ง และตีพิมพ์เผยแพร่ ซึ่งเป็นผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อวงการโคนมของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการจัดการอาหารโคนมที่ดี มีผลต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตน้ำนมโคและคุณภาพของน้ำนมดิบเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และคณะทำงานทุกฝ่ายทุกท่าน ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และสถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ ที่มีความมุ่งมั่น ร่วมแรงร่วมใจ ทำงานแบบบูรณาการจนสามารถบรรลุเป้าหมายได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) ที่เห็นความสำคัญและสนับสนุนทุนวิจัยในการจัดทำหนังสือเล่มนี้ ซึ่งจะเป็นเอกสารที่สามารถใช้เป็นบรรทัดฐานอ้างอิง และนำไปใช้ประโยชน์กับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา ผู้ประกอบการ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อนักโภชนาศาสตร์โคนมและเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ในการพัฒนาสูตรอาหารและวิธีการจัดการให้อาหารโคนมเพื่อเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนและสามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตด้านปศุสัตว์ที่มีความยั่งยืนต่อไป

นายยุคล ล้มแหลมทอง

อดีตรองนายกรัฐมนตรี

อดีตรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

อดีตปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คำนิยม

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) หรือ สวก. ได้สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อจัดทำมาตรฐานอาหารโคนมของประเทศไทยฉบับนี้ขึ้น เพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมและผู้ประกอบการ หน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ได้ใช้เป็นคู่มือในการจัดการให้อาหารโคนมที่ถูกต้อง แม่นยำและเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคนมและลดต้นทุน

ความสำเร็จในการจัดทำหนังสือ “ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย ฉบับแรก ปี พ.ศ. 2563” เป็นสิ่งที่น่ายินดีเป็นอย่างยิ่ง เพราะเป็นการระดมบุคลากรจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ที่ต่างมีความมุ่งมั่น และต่างร่วมแรงร่วมใจ โดยมีเป้าหมายเดียวกัน ทำให้ประเทศไทยมีมาตรฐานความต้องการโภชนะของโคนมที่เป็นของตนเอง ซึ่งมีความเหมาะสม และใช้ได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพสำหรับสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย นำไปสู่การพัฒนาทางวิชาการ และการผลิตโคนมของประเทศอย่างกว้างขวาง

นายสุวิทย์ ชัยเกียรติยศ

ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร

คำนิยม

เป็นที่ทราบกันว่า อาหารเป็นต้นทุนสำคัญในการผลิตปศุสัตว์และการให้ผลผลิตจากสัตว์ ซึ่งการจัดการให้อาหารโคนมที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบความต้องการโภชนาการของโคนมในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและปริมาณการให้ผลผลิต รวมทั้งต้องทราบปริมาณของวัตถุดิบอาหารโคนมแต่ละชนิดในรอบปี (year round) และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ ซึ่งที่ผ่านมาจะใช้ข้อมูลค่าต่างๆ เหล่านี้ของต่างประเทศ แต่เมื่อทราบว่าสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ได้สนับสนุนทุนวิจัยให้กับนักวิจัยของกรมปศุสัตว์และคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย รวมทั้งมีการแต่งตั้งคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและคณะทำงานจากทั้งภาครัฐ ภาคเอกชนและสถาบันการศึกษาต่างๆ เพื่อจัดทำหนังสือ “ความต้องการโภชนาการของโคนมในประเทศไทย”

ผมรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) รวมทั้งบุคลากรจากทุกฝ่ายที่ได้ร่วมแรงร่วมใจกันจัดทำหนังสือเล่มนี้ขึ้นมา โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคนมและน้ำนม โดยการจัดการอาหารที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อเกษตรกรผู้ประกอบอาชีพพระราชทาน คือ การเลี้ยงโคนมให้มีความยั่งยืนตลอดไป

นายสรวิศ ธานีโต
อธิบดีกรมปศุสัตว์

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	I
คำขอบคุณ	II
คำนิยม	III
คำนิยม	IV
คำนิยม	V
สารบัญ	VII
สารบัญรูปภาพ	XIII
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 สภาพการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย	1
1.2 พันธุ์โคนม	2
1.3 ระบบการผลิตโคนม	3
1.4 มาตรฐานความปลอดภัย	3
1.5 สุภาพาสัตว์	4
1.6 โคนมกับสิ่งแวดล้อม	4
1.7 สภาพภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของโคนม	5
1.8 สรุป	6
1.9 เอกสารอ้างอิง	6
บทที่ 2 ปริมาณการกินได้ (Feed intake)	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้	7
2.2.1 ความจุของกระเพาะ (distension or gut fill)	7
2.2.2 ความหนาแน่นของพลังงาน (caloric density)	7
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์	7
2.2.4 ปัจจัยทางเคมี (chemostatic factor)	8
2.2.5 ปัจจัยทางอุณหภูมิ (thermostatic factor)	8
2.3 การประมาณการกินได้ของโคนม (prediction of feed intake)	9
2.3.1 ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ไม่ให้ผลผลิตน้ำนม	9
2.3.2 ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม	10
2.3.3 ปริมาณการกินได้ของโคนมช่วงเปลี่ยนผ่าน (transition period)	10
2.4 สรุป	11
2.5 เอกสารอ้างอิง	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 พลังงาน (Energy)	13
3.1 บทนำ	13
3.2 หน่วยวัดค่าพลังงานอาหารสัตว์	13
3.3 ค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์	13
3.4 ความต้องการพลังงานของโคนม	16
3.4.1 ค่าความต้องการพลังงานของโครีดนม	16
3.4.2 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำเนินกิจกรรมการเดินและการเล็มกินพืชอาหารสัตว์	18
3.4.3 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการปรับตัวตามสภาพภูมิอากาศหรือความเครียดเนื่องจากความร้อน	18
3.4.4 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม	18
3.4.5 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการตั้งท้อง	19
3.4.6 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่ม หรือลดน้ำหนัก	20
3.5 สรุป	23
3.6 เอกสารอ้างอิง	23
บทที่ 4 โปรตีนและกรดอะมิโน (Protein and amino acid)	25
4.1 บทนำ	25
4.2 อาหารโปรตีน และการประเมินคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนในโคนม	26
4.2.1 แหล่งของโปรตีน	26
4.2.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนในโคนม	27
4.3 การย่อยสลายอาหารโปรตีนในกระเพาะหมัก (degradation of feed proteins in the rumen)	28
4.4 การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์	29
4.4.1 การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Microbial protein synthesis in the rumen)	29
4.4.2 การประสานเวลาและอัตราการย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก	30
4.5 โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable Protein)	31
4.6 ความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ของโคนมไทย	33
4.6.1 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (protein requirements for maintenance)	34
4.6.2 ความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม (protein requirements for lactation)	35
4.6.3 ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (protein requirements for growth)	37
4.6.4 ความต้องการโปรตีนเพื่อการตั้งท้อง (protein requirements for pregnancy)	38
4.6.5 สรุปสมการที่ใช้ทำนายประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับโคนมไทยระยะระยะรีดนม	39
4.6.6 สรุปสมการที่ใช้ทำนายประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับโคนมไทยระยะระยะพักรีดและโครุ่น	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 สรุป	43
4.8 เอกสารอ้างอิง	43
บทที่ 5 ไขมัน (Lipids)	47
5.1 บทนำ	47
5.2 แหล่งของไขมัน ชนิดของไขมัน การย่อยและการดูดซึมไขมัน	47
5.2.1 แหล่งของไขมัน	47
5.2.2 ชนิดของไขมัน	48
5.2.3 การย่อยและการดูดซึมไขมัน	50
5.3 การย่อยได้และค่าพลังงานของไขมัน	50
5.4 ผลกระทบของไขมันต่อการย่อยและหมักในกระเพาะหมัก	51
5.5 กระบวนการไบโอไฮโดรจีเนชันในกระเพาะหมัก	52
5.5.1 ไบโอไฮโดรจีเนชันกรดไขมันลิพิดและกรดไขมันลิพิดในกระเพาะหมัก	52
5.5.2 ไบโอไฮโดรจีเนชันกรดไขมันโอเลอิกในกระเพาะหมัก	52
5.5.3 ไบโอไฮโดรจีเนชันกรดไขมัน ดี เอช เอ ในกระเพาะหมัก	53
5.6 การเสริมไขมันในอาหารโคนม	54
5.7 สรุป	57
5.8 เอกสารอ้างอิง	57
บทที่ 6 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	61
6.1 บทนำ	61
6.2 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง	62
6.3 คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง	63
6.4 ปริมาณความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางสำหรับโครีดนม	64
6.5 ความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดในอาหารโครีดนม	67
6.6 กระบวนการย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในโคนม	68
6.6.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่กระเพาะหมัก	68
6.6.2 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้เล็ก	69
6.6.3 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้ใหญ่	70
6.7 สรุป	70
6.8 เอกสารอ้างอิง	70
บทที่ 7 แร่ธาตุ (Minerals)	73
7.1 บทนำ	73
7.2 ประเภทของแร่ธาตุ	73
7.3 หน้าที่และความสำคัญของแร่ธาตุ	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.4 แร่ธาตุหลัก	74
7.4.1 แคลเซียม	74
7.4.2 ฟอสฟอรัส	75
7.4.3 แมกนีเซียม	75
7.4.4 โพแทสเซียม	76
7.4.5 โซเดียม	77
7.4.6 คลอรีน	77
7.4.7 กำมะถัน	77
7.5 แร่ธาตุรอง	78
7.5.1 เหล็ก	78
7.5.2 สังกะสี	78
7.5.3 ทองแดง	78
7.5.4 แมงกานีส	79
7.5.5 โคบอลต์	79
7.5.6 ซีลีเนียม	79
7.5.7 ไอโอดีน	80
7.5.8 โมลิบดีนัม	80
7.6 ความต้องการแร่ธาตุของโคนม	80
7.7 สรุป	84
7.8 เอกสารอ้างอิง	84
บทที่ 8 วิตามิน (Vitamins)	87
8.1 บทนำ	87
8.2 ประเภทของวิตามิน	87
8.2.1 วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน	87
8.2.2 วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ	93
8.3 ความต้องการวิตามินของโคนมจากปัจจัยเนื่องจากภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress)	100
8.4 สรุป	102
8.5 เอกสารอ้างอิง	102
บทที่ 9 น้ำ (Water)	107
9.1 บทนำ	107
9.2 การกินน้ำ	107
9.3 สรุป	108
9.4 เอกสารอ้างอิง	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 10 ภาวะทุพโภชนาการ (Nutritional metabolic disorders)	111
10.1 บทนำ	111
10.2 โคนมระยะเปลี่ยนผ่าน (transition cows)	111
10.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวัตถุดิบที่กินได้	111
10.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา	112
10.2.3 การเปลี่ยนแปลงการทำงานของกระเพาะหมัก	112
10.2.4 คะแนนร่างกาย กับสมดุลพลังงาน	113
10.2.5 ปัญหาสุขภาพของโคนมระยะเปลี่ยนผ่าน	114
10.3 โรคคีโตซิส (ketosis) และโรคไขมันสะสมในตับ (fatty liver)	114
10.4 โรคกระเพาะหมักเป็นกรด (rumen acidosis) และโรคกีบอักเสบ (laminitis)	115
10.5 โรคกระเพาะทะลุเคลื่อน (displaced abomasum)	116
10.6 การบวมน้ำที่เต้านม (udder edema)	116
10.7 โรคไข้น้ำนม (milk fever)	117
10.8 รกค้าง (retained placenta), มดลูกอักเสบ (metritis) และ เต้านมอักเสบ (mastitis)	117
10.9 กลยุทธ์ในการแก้ปัญหาด้านสุขภาพ ผลิต และระบบสืบพันธุ์ในฟาร์มโคนมอันเนื่องมาจากสาเหตุด้านอาหาร	118
10.10 สรุป	119
10.11 เอกสารอ้างอิง	120
บทที่ 11 สารเสริมและสารประกอบในอาหารเพื่อปรับปรุงการใช้ประโยชน์ในอาหารสัตว์	121
11.1 บทนำ	121
11.2 อาหารเสริมที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร	122
11.3 อาหารเสริมไฟโตนิวเทรียนท์	124
11.4 อาหารเสริมเพื่อป้องกันการเกิดสารพิษจากเชื้อรา	126
11.5 สารเสริมในพืชหมัก	127
11.5.1 สารเสริมที่กระตุ้นกระบวนการหมัก	127
11.5.2 สารเสริมที่ยับยั้งกระบวนการหมัก	129
11.5.3 สารเสริมที่ยับยั้งการเน่าเสียจากอากาศ	129
11.5.4 สารเสริมที่ให้โภชนะ	130
11.6 สรุป	131
11.7 เอกสารอ้างอิง	131
บทที่ 12 สิ่งแวดล้อม (Environment)	137
12.1 บทนำ	137
12.2 ผลกระทบของอาหารต่อการขับถ่ายของเสีย	137

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

12.2.1 ไนโตรเจน	137
12.2.2 ฟอสฟอรัส	139
12.3 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก แอมโมเนีย และกลิ่น	140
12.4 สรุป	141
12.5 เอกสารอ้างอิง	142
บทที่ 13 การจัดการให้อาหารโคนม (Feeding management of dairy cattle)	145
13.1 บทนำ	145
13.2 การจัดการให้อาหารลูกโค	145
13.3 การจัดการให้อาหารโคนมอายุ 5 ถึง 8 เดือน	149
13.4 การจัดการให้อาหารโคนมอายุ 9 ถึง 15 เดือน	149
13.5 การจัดการให้อาหารโคนมอายุ 15 เดือน ถึงโคอุ้มท้องแรก ระยะก่อนคลอด	150
13.6 การจัดการให้อาหารโคนม	151
13.6.1 การจัดการแม่โคนมในช่วงหลังคลอดถึง 7 วัน	153
13.6.2 การจัดการแม่โคนมในช่วงหลังคลอด 7 วันถึง 3 สัปดาห์	153
13.6.3 การจัดการแม่โคนมในช่วงหลังคลอด 3 ถึง 10 สัปดาห์	154
13.6.4 การจัดการแม่โคนมในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์	155
13.6.5 การจัดการแม่โคนมในช่วงอุ้มท้องถึงช่วงพักรีดนม	155
13.7 การจัดการให้อาหารแม่โคพักรีดนม	155
13.7.1 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงต้นของการพักรีดนม	156
13.7.2 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงกลางของการพักรีดนม	156
13.7.3 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์	157
13.8 การจัดการให้อาหารแม่โคพักรีดนมก่อนคลอดและหลังคลอด 3 สัปดาห์ (Transitional period)	157
13.9 สรุป	158
13.10 เอกสารอ้างอิง	158
บทที่ 14 ตารางค่าความต้องการโภชนาของโคนมไทย	163
บทที่ 15 ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม	179

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 3.1 การใช้ประโยชน์พลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	15
ภาพที่ 4.1 แผนภาพเส้นทางสารถของระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable protein system)	33
ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการผลิตน้ำนม (MP supply available for milk) กับปริมาณผลผลิตโปรตีนแท้ในน้ำนม (true protein yield in milk)	36
ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการเจริญเติบโต (MP supply available for weight gain, g/kgBW ^{0.75}) กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ของน้ำนมแม่แทบอริก (Average daily gain, g/kgBW ^{0.75})	38
ภาพที่ 6.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 จำนวนโคนมและผลผลิตน้ำนมดิบของประเทศไทย ปี 2558-2563	2
ตารางที่ 1.2 ต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบ และราคา ปี พ.ศ. 2558-2562	2
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนมและปริมาณการดื่มน้ำ ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	9
ตารางที่ 3.1 สมการเพื่อการทำนายค่าโภชนะที่ย่อยได้ พลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้	15
ตารางที่ 3.2 สรุปฐานข้อมูลการกินได้ของโภชนะ พลังงาน และผลผลิตน้ำนมเพื่อการวิเคราะห์ อภิमानโคนม (n = 114).	17
ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของโภชนะที่เก็บสะสมในร่างกายที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายแตกต่างกัน และค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือการลดน้ำหนักในโครีดนม	20
ตารางที่ 3.4 สรุปค่าความต้องการพลังที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (MEm,MJ/kgBW ^{0.75}) และค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (KL) ของโคนม	21
ตารางที่ 3.5 ค่าความต้องการพลังงานของโครีดนมไทย	22
ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลงานวิจัยของโคนมไทยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์อภิमान (meta-analysis) ในรายงานนี้	36
ตารางที่ 4.2 ค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนมไทย	41
ตารางที่ 4.3 ค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะพักรีด (Dry cows)	42
ตารางที่ 4.4 ค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะรุ่น-สาว (Growing-Heifers)	42
ตารางที่ 6.1 ปริมาณความต้องการเยื่อใยจากอาหารทั้งหมด และจากแหล่งอาหารหยาบ สำหรับโครีดนมที่ได้รับอาหารที่เอ็มอาร์ โดยใช้ข้าวโพดบดเป็นแหล่งพลังงานหลัก	65
ตารางที่ 7.1 ความต้องการแร่ธาตุของโคนมในสูตรอาหาร	81
ตารางที่ 7.2 แหล่งแร่ธาตุและการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ	82
ตารางที่ 8.1 ความต้องการวิตามินเอ ดี และอี ในโคนมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียนระยะต่าง ๆ	92
ตารางที่ 8.2 ปริมาณความต้องการ อัตราการสังเคราะห์ในกระเพาะหมักและการไหลผ่านสู่ลำไส้เล็ก ของวิตามินบีในโคนม	97
ตารางที่ 8.3 บทบาทของวิตามินที่สำคัญและอาการขาดวิตามินในโค	98
ตารางที่ 9.1 คำแนะนำเกี่ยวกับความเหมาะสมของเกลือต่อเกลือที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble salt, mg/L = ppm) และความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำ	108
ตารางที่ 10.1 เกณฑ์การประเมินและวิเคราะห์โดยใช้การสังเกต	119
ตารางที่ 14.1 ค่าความต้องการโภชนะของโคนมไทยระยะรุ่น-สาว (Growing-Heifers)	164
ตารางที่ 14.2 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 2 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	165
ตารางที่ 14.3 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 2 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	166
ตารางที่ 14.4 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 4 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	167
ตารางที่ 14.5 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	168

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 14.6 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนสูง	169
ตารางที่ 14.7 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 28 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	170
ตารางที่ 14.8 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 28 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	171
ตารางที่ 14.9 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 40 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	172
ตารางที่ 14.10 ค่าความต้องการโภชนะของโครีดนมระยะ 40 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ	173
ตารางที่ 14.11 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโคนมทดแทนฝูง	174
ตารางที่ 14.12 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโคนมทดแทนฝูง	175
ตารางที่ 14.13 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโครีดนม	176
ตารางที่ 14.14 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโครีดนม	177
ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม	182
ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม	200
ตารางที่ 15.3 ค่าแร่ธาตุชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบแหล่งแร่ธาตุสำหรับโคนม	219
ตารางที่ 15.4 ปริมาณกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหารโคนม	223

บทที่ 1 บทนำ (Introduction)

1.1 สภาพการเลี้ยงโคนมในประเทศไทย

ม.ร.ว. ชวนิศนดากร วรวรรณ กล่าวถึงความเป็นมาของการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยไว้ว่า การเลี้ยงโคนมไม่ใช่อาชีพดั้งเดิมของคนไทย การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยนั้นได้เริ่มขึ้นโดยชาวอินเดีย ราว พ.ศ. 2450 โดยชาวอินเดียได้นำโคเชื้อสายองโกล (Ongole) และเนลลอร์ (Nellore) จากแคว้นบังกาลอร์ ประเทศอินเดีย (บังกลาเทศในปัจจุบัน) จึงเรียกกันว่า “พันธุ์บังกาลา” เข้ามาเลี้ยงที่ซานกรมณฑลนครแถบพระโขนง บางซื่อ บางขุนเทียน และในชุมชนชาวมุสลิมในจังหวัดอยุธยา ระยะแรกโคให้นมดิบเฉลี่ยต่อวันประมาณ 2.6 กิโลกรัม ระยะให้นม 8 เดือน หรือตัวละประมาณ 600 กิโลกรัมต่อระยะการให้นม ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง พ.ศ. 2487 มีโคพันธุ์นี้ใช้รีดนมอยู่ในเขตกรุงเทพฯ ประมาณ 4,000 ตัว

การเริ่มเลี้ยงโคนมแบบยุโรปในประเทศไทย มีบันทึกย้อนไปเมื่อ พ.ศ. 2463 หม่อมเจ้าสิทธิพร กฤดากร (ผู้ที่ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งการเกษตรสมัยใหม่) ได้ทดลองเลี้ยงโคนมที่ตำบลบางเบิด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ต่อมามีการตั้งฟาร์มโคนมแห่งแรกชื่อ “บางกอกแดรี่ฟาร์ม” โดยพระยาเทพหัสดิน เพื่อผลิตนมมบรรจุขวดขายส่งตามบ้าน

การเลี้ยงโคนมของประเทศไทยพัฒนาสู่ระบบการผลิตทันสมัยตั้งแต่ พ.ศ. 2503 เมื่อพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช เสด็จพระราชดำเนินเยือนประเทศเดนมาร์ก ทรงสนพระทัยกิจการเลี้ยงโคนมเป็นอย่างมาก รัฐบาลเดนมาร์กจึงถวายโครงการส่งเสริมการเลี้ยงโคนม และสร้างฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก ขึ้นที่ อ.มวกเหล็ก จ. สระบุรี ในครั้งนี้ พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช และพระเจ้าเฟรเดอริกที่ 9 แห่งประเทศเดนมาร์ก ได้เสด็จมาเป็นประธานในพิธีเปิดฟาร์มเมื่อวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2505 อย่างไรก็ตามการพัฒนาการเลี้ยงโคนมยังเป็นไปได้ช้าและการตีমনมของคนไทยก็ยังอยู่ในวงจำกัด จึงมีการรณรงค์ให้มีการตีมนมกันอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 ทำให้การตีมนมมีปริมาณสูงขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2530 รัฐบาลได้ส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงโคนมมากขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาผลผลิตการเกษตรราคาตกต่ำ พ.ศ. 2531 กรมปศุสัตว์ขยายการส่งเสริมการเลี้ยงโคนมให้เกษตรกรในพื้นที่ อ.วังน้ำเย็น จ.ปราจีนบุรี และ ต.เขาหลวง อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี จากนั้นก็ได้ขยายโครงการส่งเสริมการเลี้ยงโคนมในจังหวัดต่างๆ เพิ่มขึ้น รัฐบาลมีโครงการส่งเสริมให้ประชาชนตีมนมเพื่อสุขภาพ ส่งเสริมให้นักเรียนตีมนม เรียกว่าโครงการ “นมโรงเรียน” ในปี พ.ศ. 2536 จนถึงปัจจุบัน นักเรียนตั้งแต่ชั้นเด็กเล็ก ถึงประถมศึกษาปีที่ 6 ได้ตีมนม 260 วันต่อปี จำนวนทั้งสิ้น 7.4 ล้านคน

ปี 2557 - 2561 จำนวนโคนมทั้งหมดของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.82 ต่อปี โดยในปี 2561 (ณ วันที่ 1 มกราคม) มีจำนวน 660,155 ตัว เพิ่มขึ้นจาก 645,261 ตัว ของปี 2560 ร้อยละ 2.31 และจำนวนแม่โครีดนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.52 ต่อปี โดยในปี 2561 มีแม่โครีดนม 276,321 ตัว เพิ่มขึ้นจาก 267,932 ตัว ของปี 2560 ร้อยละ 3.13 ส่วนผลผลิตนมนดิบในช่วงปี 2557 - 2561 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.62 ต่อปี โดยปี 2561 มีผลผลิต 1,233,483 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 1,191,143 ตัน ของปี 2560 ร้อยละ 3.55 เนื่องจากลูกโคนมเกิดใหม่ในรอบปี และจำนวนแม่โครีดนมเฉลี่ยในรอบปีมีจำนวนเพิ่มขึ้น จากแม่โคสาวที่เข้ามาทดแทน ประกอบกับภาครัฐมีนโยบายพัฒนาคุณภาพนมนดิบ เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเน้นไปที่อาหารในการเลี้ยงโคนมซึ่งส่งผลให้นมนดิบมีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งราคาน้ำมันดิบอยู่ในเกณฑ์ดี จึงจูงใจให้เกษตรกรมีการพัฒนาการเลี้ยงโคนม โดยการบริหารจัดการฟาร์มที่เป็นระบบตามมาตรฐานฟาร์มที่ดีและมีประสิทธิภาพในการเลี้ยง โดยการปลดแม่โครีดนมที่ให้ผลผลิตน้อยและสุขภาพไม่ดี (ตารางที่ 1.1 และ 1.2)

ตารางที่ 1.1 จำนวนโคนมและผลผลิตน้ำนมดิบของประเทศไทย ปี 2558-2563

รายการ	2558	2559	2560	2561	2562 ^{1/}	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	2563 ^{2/}
โคนมทั้งหมด ณ 1 ม.ค. (ตัว)	608,094	626,193	645,305	676,415	691,349	3.39	708,901
แม่โครีดนม ณ 1 ม.ค. (ตัว)	267,182	288,302	285,976	297,757	305,676	3.06	313,044
ผลผลิตน้ำนมดิบ (ตัน)	1,179,338	1,214,193	1,210,584	1,254,767	1,295,348	2.23	1,371,133
อัตราการให้นมของแม่โค (กก./ตัว/วัน)	12.09	11.51	11.6	11.55	11.61	-0.77	12.00
การบริโภคนม (ตัน)	1,124,498	1,156,569	1,150,424	1,191,294	1,212,750	1.82	1,284,999

หมายเหตุ: ^{1/} ข้อมูลเบื้องต้น ^{2/} คาดคะเน

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ตารางที่ 1.2 ต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบ และราคา ปี พ.ศ. 2558-2562

ปี	ต้นทุนน้ำนมดิบ (บาท/กก.)	ราคาเกษตรกรขายได้ (บาท/กก.)	ราคาหน้าโรงงาน (บาท/กก.)	ราคาอาหารชั้น (บาท/กก.)
2558	14.17	17.74	19.00	11.42
2559	14.55	18.02	19.00	12.30
2560	14.31	18.08	19.00	11.69
2561	14.21	18.21	19.00	11.88
2562 ^{1/}	14.27	18.30	19.00	11.67

หมายเหตุ: ^{1/} ประมาณการ

ต้นทุนน้ำนมดิบ และราคาอาหารชั้น ปี 2562 (ม.ค. - ก.ย.) และคาดการณ์ ต.ค. - ธ.ค.

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

1.2 พันธุ์โคนม

ปัจจุบันพันธุ์โคนมที่เลี้ยงในประเทศไทย เป็นพันธุ์ผสมที่มีความหลากหลายพันธุ์ในตัวเดียวกัน (multi-breed) จำแนกสายพันธุ์ค่อนข้างยาก เนื่องจากเกษตรกรสามารถเลือกและตัดสินใจปรับปรุงพันธุ์ตามความเหมาะสม อย่างไรก็ตามสายพันธุ์หลัก ได้แก่ ลูกผสมโคโฮลสไตน์ฟรีเซียน (Holstein Friesian Crossbreds) โดยประชากรโคที่มีสายเลือดโฮลสไตน์ตั้งแต่ร้อยละ 87.5 ถึง 93.75 มีมากที่สุด (ร้อยละ 58.4) รองลงมา (ร้อยละ 24.95) มีสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 93.75 ถึง <100 และระดับสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 75 ถึง 87.5 (ร้อยละ 10.22) ตามลำดับ ส่วนน้อยมีสายเลือดโฮลสไตน์ต่ำกว่าร้อยละ 75 (ร้อยละ 6.28) และโฮลสไตน์พันธุ์แท้มีน้อยมาก (ร้อยละ 0.1) เมื่อเทียบกับประชากรโคทั้งหมด สายพันธุ์ลูกผสมของโคนมในประเทศไทย เช่น พันธุ์บราห์มัน (Brahman) บราวน์สวิส (Brown Swiss) เจอร์ซี่ (Jersey) เรดเดน (Red Dane) เรดซินดี (Red Sindhi) ซาฮิวาล (Sahiwal) และโคพื้นเมืองไทย (Thai Native) เป็นต้น ทั้งนี้พบว่าในโคนมแต่ละตัวมีสัดส่วนสายพันธุ์ตั้งแต่ 1 ถึง 8 สายพันธุ์

เกษตรกรไทยผสมพันธุ์โคนมโดยใช้วิธีผสมเทียมเกือบทั้งหมด โดยนิยมใช้น้ำเชื้อโคพ่อพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนพันธุ์แท้มากที่สุด รองลงมาเป็นลูกผสมโฮลสไตน์ และพันธุ์แท้พันธุ์อื่น ตามลำดับ

ข้อมูลของกรมปศุสัตว์ ระบุว่า ผลผลิตน้ำนมในฟาร์มเกษตรกรรายย่อยเฉลี่ยต่ำกว่า 15 กก./ตัว/วัน คุณภาพน้ำนมควรได้รับการปรับปรุง เนื่องจากมีค่าจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว (somatic cell count, SCC) และจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria count, TBC) สูง ขณะที่องค์ประกอบน้ำนม โดยเฉพาะค่าของแข็งในน้ำนมต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ในยุทธศาสตร์พัฒนาโคนม ปี พ.ศ. 2560-2569 จึงกำหนดเป้าหมายเพิ่มผลผลิต พัฒนาคูณภาพ ลดระยะทางการตกหลูก เพื่อเพิ่มสมรรถนะการผลิตน้ำนม

ลักษณะทางเศรษฐกิจที่สำคัญที่ใช้เป็นดัชนีคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์โคนม ได้แก่ ผลผลิตนม (milk yield) สมรรถนะการสืบพันธุ์ (reproductive traits) และคุณภาพน้ำนม (milk quality traits) ได้แก่ ของแข็งในน้ำนม (total solids) ไขมัน (fat) ของแข็งไม่รวมไขมัน (solids-not-fat) จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว และจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ขณะที่การจดบันทึกพันธุ์ประวัติ (pedigree) และข้อมูลสมรรถนะการผลิต (performance data) ของโคนมรายตัว เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์โคนมของประเทศ

ในปี พ.ศ. 2558 องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) กำหนดพารามิเตอร์ประเมินค่าพันธุ์กรรมโคนม จำนวน 12 ค่า ประกอบด้วย ผลผลิตน้ำนมปรับ 305 วัน (305-d milk yield, kg) ร้อยละของไขมัน, ร้อยละของโปรตีน, ร้อยละของของแข็งทั้งหมด, จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว, ผลผลิตน้ำนมระยะแรก (initial yield, kg), ผลผลิตน้ำนมช่วงนมสูงสุด (peak yield, kg), ระยะเวลาถึงวันให้นมสูงสุด (days to peak milk yield, days), อายุการให้ผลผลิตได้ (persistency, years), อายุผสมพันธุ์ครั้งแรก (age at first conception, months), อายุให้ลูกตัวแรก (age at first calving, months) และระยะให้นม (lactation length, days)

1.3 ระบบการผลิตโคนม

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นลักษณะเกษตรกรรายย่อย มีจำนวนโคนมไม่เกิน 10 ตัว ขณะที่รัฐบาลส่งเสริมให้เพิ่มขนาดฟาร์มเป็นรายกลางมีแม่โค 11-19 ตัว และรายใหญ่มีแม่โค 20 ตัวขึ้นไปตามลำดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ฟาร์มโคนมส่วนใหญ่มีพื้นที่ปลูกพืชอาหารสัตว์เพื่อตัดหรือเกี่ยวเสริมเลี้ยงโค พันธุ์พืชอาหารสัตว์ที่นิยมปลูก เช่น หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) หญ้ากีนี (*Panicum maximum*) หญ้ารูซี (*Brachiaria ruziziensis*) หญ้าขน (*Brachiaria mutica*) เป็นต้น ระบบการเลี้ยงโคนมส่วนใหญ่เป็นระบบยืนโรงเกี่ยวหญ้าให้กินร่วมกับการปล่อยแทะเล็ม (cut-and-carry + grazing) รองลงมาเลี้ยงยืนโรงและเกี่ยวหญ้ามาให้กินอย่างเดียว (cut-and-carry) และส่วนน้อยเลี้ยงปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้าตลอดเวลา (pasture grazing) การเลี้ยงโคนมทุกระบบ มีการเสริมฟางข้าว หญ้าแห้ง หรือผลพลอยได้จากการเกษตรในฤดูแล้ง เนื่องจากพืชสดไม่เพียงพอ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำ ทำให้ใช้อาหารชั้น ได้แก่ อาหารสำเร็จรูป ธัญพืช รำ ปลายข้าว ข้าวโพดกากถั่ว ผลพลอยได้จากพืชน้ำมันและอุตสาหกรรม เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในปริมาณมาก

การให้อาหารโคนมแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ภาคใต้ใช้ผลพลอยได้จากโรงงานสับปะรดเสริมฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ ภาคกลางและภาคเหนือใช้ต้นข้าวโพดหวาน เปลือกสับปะรด ฟางข้าว เสริมกากน้ำตาล เป็นแหล่งอาหารหยาบ ภาคตะวันออกเลี้ยงเนื้อใช้ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง และหญ้าสดเป็นแหล่งอาหารหยาบ เกษตรกรส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90.6 ซื้ออาหารชั้นชนิดอาหารสำเร็จรูป ขณะที่ส่วนน้อยร้อยละ 6.3 ซื้อหัวอาหารมาผสม และน้อยมากร้อยละ 3.1 ผสมอาหารโคนมเอง โดยทั่วไป เกษตรกรกำหนดปริมาณอาหารชั้นเลี้ยงโคตามปริมาณนมที่ผลิตได้ เช่น ใช้อาหารชั้น 1 กิโลกรัมต่อผลผลิตน้ำนม 2-3 กิโลกรัม เป็นต้น

ฟาร์มโคนมในประเทศไทยเกือบทั้งหมดรีดนมโดยใช้เครื่องรีดนม ผลผลิตน้ำนมแต่ละมือจะนำไปส่งศูนย์รับน้ำนมโดยใช้ถังส่งนมขนาด 50 ลิตร ระยะห่างระหว่างฟาร์มถึงศูนย์รับน้ำนมส่วนใหญ่ไม่เกิน 20 กิโลเมตร และใช้เวลาขนส่งนมจากฟาร์มประมาณ 1 ชั่วโมง

1.4 มาตรฐานความปลอดภัย

ประเทศไทย ยกย่องมาตรฐานและความปลอดภัยด้านอาหารสำหรับฟาร์มโคนม ตามหลักเกณฑ์การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มโคนม (good agricultural practice : GAP) โดยมีเป้าหมายการดำเนินงานครบถ้วนทุกฟาร์มภายในปี พ.ศ. 2565 กรมปศุสัตว์ (2563) โดยคณะทำงานทบทวนยุทธศาสตร์พัฒนาโคนมและผลิตภัณฑ์ พ.ศ. 2564 -2570 มีแผนปฏิบัติการด้านโคนมและผลิตภัณฑ์นม เพื่อการพัฒนาฟาร์มอย่างต่อเนื่อง ยกย่องคุณภาพน้ำนมดิบ โดยปรับปรุงค่าโซมาติกเซลล์ ไม่เกิน 400,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เนื่อนมไม่รวมไขมัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.50 ไขมัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.75 มีแผนการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมทั้งระบบ เช่น ปรับปรุงอาหารโดยนาระบบการให้อาหารที่เอ็มอาร์ (total mixed ration : TMR) มาใช้อย่างเป็นรูปธรรม

การแปรรูป การขนส่ง และการเก็บรักษาน้ำนม ได้กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการมาตรฐานที่ดีในการผลิตอาหาร โดยศูนย์รับน้ำนมของสหกรณ์และเอกชนส่วนใหญ่ผ่านการตรวจรับรองมาตรฐานที่ดีในการผลิตอาหารเกือบทั้งหมด ส่วนการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์นมนั้น มีการกำหนดหลักเกณฑ์การจัดเก็บนม ทั้งนมพาสเจอร์ไรส์ และนมสเตอไรล์ มีระบบสุ่มตรวจคุณภาพ และอุปกรณ์จัดเก็บที่เหมาะสม

1.5 สวัสดิภาพสัตว์

ประเทศไทย ได้นำหลักสวัสดิภาพสัตว์ขององค์การโรคระบาดสัตว์ระหว่างประเทศ (Organization for Animal Health : OIE) และมาตรฐานหลักปฏิบัติและกฎระเบียบของอียูมาประยุกต์ใช้ และได้ออกกฎ ระเบียบต่างๆ ด้านสวัสดิภาพสัตว์ เช่น ระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพโคนม ณ สถานที่เลี้ยง พ.ศ. 2544 ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องการปฏิบัติที่ดีทางด้านสวัสดิภาพสัตว์: การขนส่งสัตว์ทางบก (มกษ. 9034-2553) พระราชบัญญัติ ป้องกันการทารุณกรรมและการจัดสวัสดิภาพสัตว์ พ.ศ. 2557 ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การจัดสวัสดิภาพสัตว์ พ.ศ. 2561 ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การจัดสวัสดิภาพสัตว์ พ.ศ. 2561 เป็นต้น

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ให้ความหมายของ “การจัดสวัสดิภาพสัตว์” คือ การเลี้ยงหรือการดูแลให้สัตว์มีความเป็นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม มีสุขภาพอนามัยที่ดี มีที่อยู่ อาหารและน้ำอย่างเพียงพอ ให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองต้องดำเนินการจัดสวัสดิภาพสัตว์ให้แก่สัตว์ของตนให้เหมาะสม ซึ่งในส่วนของหลักสวัสดิภาพข้อที่ (1) อิศระจากความหิวและกระหายนั้น กำหนดให้สัตว์ได้รับอาหารและน้ำในปริมาณ และคุณภาพที่เหมาะสมแก่ประเภท ชนิด ลักษณะ สภาพ และอายุของสัตว์ ในกรณีเลี้ยงสัตว์เป็นกลุ่มควรแน่ใจว่าสัตว์แต่ละตัวได้รับอาหารและน้ำ อย่างทั่วถึง

ระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพโคนม ณ สถานที่เลี้ยง ปี พ.ศ. 2544 ได้กล่าวถึงเรื่องอาหารสัตว์ในหมวด 5 ดังนี้ “โคนมต้องได้รับน้ำและสารอาหารอย่างเพียงพอและเหมาะสมกับช่วงอายุและสายพันธุ์ ตามหลักวิชาการ ภาชนะที่บรรจุน้ำและอาหารต้องมีเพียงพอ โดยจัดตั้งในสถานที่ที่ไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนและไม่ตั้งอยู่กลางแจ้ง รวมทั้งไม่ทำให้โคนมได้รับอันตรายหรือบาดเจ็บได้”

1.6 โคนมกับสิ่งแวดล้อม

โลกในอนาคตจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมโคนมหลายประการคือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อความสมดุลของนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาอุณหภูมิของโลกสูงขึ้น การขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร การแข่งขันระหว่างพืชพลังงานกับพืชอาหาร รวมทั้งการลดลงของพื้นที่เพาะปลูก การกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี เช่น สิ่งแวดล้อม มาตรการสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช การทุ่มตลาดและการอุดหนุน อย่างไรก็ตามยังมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นโอกาสคือ ความต้องการอาหารสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนชนชั้นกลาง และอิทธิพลวัฒนธรรมบริโภคนิยมจากตะวันตก ส่งผลให้ความต้องการบริโภคน้ำนมของประเทศต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนโคนม ผลผลิตน้ำนมดิบ และการผลิตนมผงขาดมันเนยในประเทศผู้ผลิตที่สำคัญของโลกมีอัตราเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สำหรับประเทศไทยยังคงประสบปัญหาจากสภาพภูมิอากาศที่ไม่เอื้อต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตน้ำนมให้ได้มาตรฐานตามสายพันธุ์ และปัญหาด้านสุขภาพสัตว์ทั้งในเรื่องการระบาดของโรคปากและเท้าเปื่อยรวมทั้งโรคเต้านมอักเสบ นอกจากนี้ยังมีความท้าทายที่กระทบต่ออุตสาหกรรมโคนม ได้แก่ การขาดผู้สืบทอดอาชีพการเลี้ยงโคนม ขาดมาตรการรองรับภาวะความเสี่ยงจากการเลี้ยงโคนม สหกรณ์ขาดความเข้มแข็งในการประกอบธุรกิจโคนมตลอดห่วงโซ่อุปทาน รวมทั้งขีดความสามารถในการแข่งขันหลังจากการเปิดการค้าเสรีเต็มรูปแบบ เป็นต้น

1.7 สภาพภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของโคนม

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) สูง และค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature Humidity Index – THI) มีค่าเฉลี่ยสูง ขณะที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืน อุณหภูมิฤดูร้อนและฤดูหนาวมีความแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น สภาพแวดล้อมดังกล่าวมีผลกระทบต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตของโคที่มีถิ่นกำเนิดจากเขตอบอุ่น ได้แก่ การกินอาหารน้อยลง เกิดสภาวะความไม่สมดุลของพลังงาน ผลผลิตน้ำนมลด ค่าร้อยละของไขมันน้ำนมต่ำ การแสดงการเป็นสัดน้อยลง ระยะแสดงการเป็นสัดสั้นลง อัตราการผสมติดต่ำเนื่องจากสารอาหารไม่เพียงพอต่อระบบสืบพันธุ์ เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress) ทำให้แม่โคนมน้ำหนักขึ้นกินอาหารได้น้อยลง ทำให้โคได้รับโภชนาการไม่เพียงพอ โคนินอาหารขึ้นมากกว่าอาหารหยাব ทำให้โคได้รับเยื่อใยไม่เพียงพอ การเคี้ยวเอื้องน้อยลง ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลง ก่อให้เกิดสภาพความเป็นกรดในกระเพาะหมัก โคนเป็นโรคกีบอักเสบ เป็นต้น ขณะเดียวกันภูมิอากาศร้อนชื้นและอิทธิพลของฤดูกาลมีผลกระทบต่อคุณภาพอาหารสัตว์ ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบมักจะมีคุณภาพต่ำและมีความแปรปรวนเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอาหารสัตว์ในแถบอบอุ่น เป็นต้น

การศึกษาลงของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อผลผลิตและความสามารถปรับตัวของโคโฮลส์ไตน์ฟรีเซียนในสภาพร้อนชื้น โดยวิธีตรวจเอกสาร (Usman et al., 2013) สรุปได้ว่า ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมีผลต่อสมรรถนะการผลิตของโคนมทั้งทางตรงและทางอ้อม ปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการไหลเวียนของอากาศ ขณะที่ การกินได้ (intake) การย่อยได้ (digestibility) คุณภาพและปริมาณอาหารหยাব โรค และแมลง เป็นปัจจัยทางอ้อมที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตของโคนม ภายใต้สภาพร้อนชื้นที่ไม่มีการจัดการสิ่งแวดล้อม โคนมพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟรีเซียนจะให้ผลผลิตน้ำนมลดลงร้อยละ 40-60 เมื่ออุณหภูมิอากาศเกิน 24 องศาเซลเซียส โคจะเริ่มรู้สึกเครียด และผลผลิตน้ำนมลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันที่ปัจจัยด้านความชื้นที่แสดงผลร่วมกับอุณหภูมิยังทำให้สัตว์เกิดความเครียดมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ภายใต้อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส หากมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (เช่น ร้อยละ 80) จะมีผลกระทบต่อการกินวัตถุดิบ ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม การผลิตความร้อนของร่างกาย การระบายความร้อนออกจากร่างกาย และระยะเวลาการนอนพักของโคนมากกว่าในสภาพที่มีความชื้นต่ำ (เช่น ร้อยละ 40) สมรรถนะการผลิตโคนมในประเทศไทยได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศร้อนและความชื้นสูงนี้มากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการปรับปรุงพันธุ์โคนมสายเลือดโฮลส์ไตน์ฟรีเซียนสูงขึ้น ขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศตลอดปีสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส และสูงถึง 35-40 องศาเซลเซียส ในฤดูร้อน สภาพดังกล่าวก่อให้เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress) ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและความชื้นที่มีผลกระทบต่อความเครียดอันเนื่องมาจากความร้อน (Preez et al., 1990) ระบุว่าเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 35-75 ไม่มีผลต่อความเครียดในโคนม อย่างไรก็ตามสมรรถนะการผลิตน้ำนมของโคเริ่มได้รับผลกระทบเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เกิน 72 และผลผลิตน้ำนมลดลงมากเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 76 Bouraoui et al. (2002) รายงานว่า เมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มจาก 68 เป็น 78 ทำให้ผลผลิตน้ำนมของโคโฮลส์ไตน์ฟรีเซียนลดลงร้อยละ 21 และการกินวัตถุดิบลดลงร้อยละ 9.6 อุณหภูมิทวารหนักของโคเพิ่มขึ้น 0.5 องศาเซลเซียส การเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจของโคเพิ่มขึ้น 6 และ 5 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ Molee et al. (2011) ระบุว่าสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมีค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80 ตลอดทั้งปี เป็นสภาวะที่ทำให้โคนมมีความรู้สึกไม่สบาย ผลผลิตน้ำนมจึงต่ำกว่าศักยภาพทางพันธุกรรมเสมอ การรักษาสมรรถนะการผลิตของโคนมในสภาพร้อนชื้น จำเป็นต้องดำเนินการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์สัตว์ให้มีผลผลิตสูง ขณะที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมร้อนชื้นได้ดี พร้อมกับการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับสัตว์ เช่น ระบบการลดความร้อน ระบบการหมุนเวียนอากาศ การใช้อาหารคุณภาพดี สูตรอาหารเหมาะสม การควบคุมโรค แมลง และโปรแกรมพัฒนาสุขภาพสัตว์ที่ดี เป็นต้น

1.8 สรุป

การผลิตและการบริโภคน้ำนมและผลิตภัณฑ์นมไทยได้ส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในอัตราเพิ่มอย่างต่อเนื่องมากกว่าร้อยละ ๒๕ พันธุ์โคนมไทยเป็นพันธุ์ผสมที่มีความหลากหลายพันธุ์ในตัวเดียวกัน (multi-breed) ระบบการเลี้ยงโคนมส่วนใหญ่เป็นระบบยืนโรงเกี่ยวหญ้าให้กินร่วมกับการปล่อยแทะเล็ม จากการศึกษารวบรวมปัจจัยปัญหาการให้ผลผลิตของโคนมที่ต่ำ พบว่ามีหลายปัจจัย ดังนั้นจึงควรศึกษาวิจัยการยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพโคนม เพื่อให้มีมาตรฐานและความปลอดภัย สวัสดิภาพสัตว์ สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต

1.9 เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. 2563. ยุทธศาสตร์พัฒนาโคนมและผลิตภัณฑ์นมปี 2560-2569.
- ชวนิศนดากร วรวรรณ. 2530. การเลี้ยงโคนม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- Bauraoui, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M. Djemal and R. Belyea. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51(6):479-491.
- Preez, D.J.H., W.H. Giesecke and P.J. Hattingh. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons. *J. Vet. Res.* 57(1):77-87.
- Molee, A., B. Bundasak, P. Kuadsantiat and P. Mernkrathoke. 2011. Suitable percentage of Holstein in crossbred dairy cattle in climate change situation. *J. Anim. Vet. Adv.* 10(7):828-831.
- Usman, T., M.S. Qureshi, Y. Yu and Y. Wang. 2013. Influence of various environment factors on dairy production and adaptability of Holstein cattle maintained under tropical and subtropical condition. *Adv. Environ. Biol.* 7(2):366-372.

บทที่ 2 ปริมาณการกินได้ (Feed intake)

2.1 บทนำ

ปริมาณการกินได้ของโคนม เป็นพื้นฐานที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงโภชนาที่โคนมจะได้รับจากการกินอาหาร เพื่อใช้ในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ดังนั้น การประเมินการกินได้ของโคนม จึงมีความสำคัญต่อการให้อาหารสำหรับโคนม ที่บ่งบอกถึงการให้อาหารที่ต่ำเกินไป (underfeeding) หรือ มากเกินไป (overfeeding) การที่โคนมได้รับอาหารต่ำเกินไป มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม และสุขภาพของโคนม ในขณะที่การให้อาหารที่มากเกินไปมีผลต่อต้านทุนการให้อาหารและสิ่งแวดล้อม

2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้

มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ในโคนม โดยทั่วไปปริมาณการกินอาหารในโคนม ได้มากหรือน้อย มีกลไกควบคุมอยู่ 2 ลักษณะ คือ 1) การควบคุมระยะสั้น (short-term control) และ 2) การควบคุมระยะยาว (long-term control) โดยปัจจัยและกลไกการควบคุมการกินได้สามารถอธิบายได้ ดังนี้

2.2.1 ความจุของกระเพาะ (distension or gut fill)

อาหารที่มีการย่อยได้ต่ำ ทำให้โคนมมีปริมาณการกินได้ต่ำ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อการย่อยได้ของอาหารอยู่ที่ร้อยละ 67 และอาจกล่าวได้ว่าอาหารที่มีการย่อยได้ที่ต่ำกว่าร้อยละ 67 มีการควบคุมโดยความจุของกระเพาะ อาหารที่ย่อยได้ต่ำ หมายถึง การคงอยู่ (retention time) ของอาหารในกระเพาะหมักนาน อาจส่งสัญญาณผ่านตัวรับสัญญาณทางประสาท (receptor) ที่ผนังกระเพาะหมักส่งสัญญาณไปที่ไฮโปทาลามัส (hypothalamus) ในส่วนเวนโตรมีเดีย (ventro media area) ทำให้โคนมหยุดกินอาหาร

2.2.2 ความหนาแน่นของพลังงาน (caloric density)

ปัจจัยที่ต่อเนื่องจากความจุของกระเพาะ คือ ปริมาณพลังงานที่มีอยู่ในอาหาร ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบและปริมาณพลังงานที่ได้รับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ควบคู่กันไป จนถึงจุดหักเหหลังจากนั้นปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบค่อยๆ ลดลง ขณะที่พลังงานที่ได้รับยังคงที่ที่จุดหักเห มีค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ย่อยได้ที่ 3.5 เมกะแคลอรี/กิโลกรัมวัตถุดิบ หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ปริมาณการกินได้ของอาหารขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของพลังงานที่มีอยู่ในอาหาร อาหารที่มีพลังงานต่ำโคนมกินได้มากกว่าอาหารที่มีพลังงานมาก ดังนั้น การควบคุมการกินอาหารของโคนมที่ค่าความหนาแน่นของพลังงานที่ย่อยได้ที่ 3.5 เมกะแคลอรี/กิโลกรัม วัตถุดิบจึงเป็นปัจจัยทางเคมี (chemostatic factor)

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ได้แก่ โปรตีนและเยื่อใย มีผลต่อปริมาณการกินได้ของโคนม มีรายละเอียด ดังนี้

ระดับโปรตีนในอาหารสัตว์

Preston and Leng (1987) กล่าวว่า ระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักเป็นโภชนาจำกัดตัวแรก (first limiting nutrient) ในการควบคุมการกินได้ระยะสั้น กล่าวคือ แอมโมเนีย มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เป็นที่ทราบดีว่า การย่อยอาหารในกระเพาะหมักเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอาหาร หากมีประชากรจุลินทรีย์สูงจะส่งผลให้การย่อยอาหารได้เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้อาหารไหลผ่านไปยังระบบทางเดินอาหารส่วนล่างเร็วขึ้น ทำให้เกิดพื้นที่ว่างในกระเพาะหมัก และมีการส่งสัญญาณผ่านทางระบบประสาทกระตุ้นให้โคนมกินอาหารได้เพิ่มขึ้น เมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น ปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงระดับโปรตีนที่ร้อยละ 7 แต่ปริมาณการกินได้ของอาหารคงยังมี

ค่าเพิ่มขึ้นแต่ในอัตราที่ลดลง (Van Soest, 1994) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ระดับโปรตีนที่ร้อยละ 7 เป็นระดับความต้องการของโคนมเพื่อการดำรงชีพ

ฉลอง (2549) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้านอาหารเกี่ยวข้องกับระดับโปรตีนในโคนม พบว่า ปริมาณโปรตีนที่โคนมได้รับเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมเพิ่มขึ้น ระดับโปรตีนร้อยละ 12-14 เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับโคนมที่เลี้ยงในเขตร้อน (Wachirapakorn et al., 2014) เนื่องจากระดับแอมโมเนียในกระเพาะหมักอยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ 10.9-14.2 มิลลิกรัม/เดซิลิตร

ระดับเยื่อใยในอาหารสัตว์

ระดับผนังเซลล์ (cell wall) หรือเยื่อใย (fiber) หรือค่าเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) ในอาหารมีผลต่อปริมาณการกินได้เช่นเดียวกัน Van Soest (1994) พบความสัมพันธ์ของระดับผนังเซลล์กับปริมาณการกินได้ เมื่อระดับผนังเซลล์ของอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการกินได้ของโคนมลดลง เนื่องจากผนังเซลล์จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตโครงสร้างที่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีผลต่ออัตราการย่อยได้ของอาหารเข้า ดังนั้น อาหารที่มีผนังเซลล์สูงจึงมีการคงอยู่ในกระเพาะหมักนาน ทำให้ปริมาณการกินอาหารลดต่ำลง

ฉลอง (2549) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้านอาหารโคนมที่เกี่ยวข้องกับระดับเยื่อใยในอาหารโคนม พบว่า ระดับเยื่อใยในอาหารที่โคนมได้รับเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง และส่งผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมลดลง สอดคล้องกับรายงานของ สุภาพร และคณะ (2549)

2.2.4 ปัจจัยทางเคมี (chemostatic factor)

ปัจจัยทางเคมีที่ได้จากกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก เช่น กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids, VFA) ได้แก่ กรดอะซิติก, กรดโพรปิโอนิก, และกรดบิวทิริก มีส่วนในการควบคุมปริมาณการกินอาหาร จากการศึกษาผลกระทบของกรดไขมันระเหยง่าย ที่มีผลต่อปริมาณการกินอาหารในโคนมเรียงตามลำดับ ดังนี้ กรดอะซิติก > กรดโพรปิโอนิก > กรดบิวทิริก ส่วนกรดอินทรีย์ตัวอื่นๆ เช่น กรดแล็กติก (lactic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดวาลาริก (valeric acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ อย่างไรก็ตาม Allen and Bradford (2009) รายงานว่า กรดโพรปิโอนิก มีผลต่อปริมาณการกินได้ในโคนมที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่ากรดอะซิติก Choi and Allen (1999) พบว่า การฉีดกรดอะซิติกเข้าไปในกระเพาะหมักมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงร้อยละ 14 ขณะที่กรดโพรปิโอนิกมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงร้อยละ 33 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากความต้องการพลังงานในการให้ผลผลิตมีสูงกว่า โดยกรดโพรปิโอนิกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกระตุ้นการออกซิเดชันของแอซิติล-โคเอ (acetyl CoA) แต่ไม่พบว่ามีผลกระทบในโคนมที่แห้งนม

2.2.5 ปัจจัยทางอุณหภูมิ (thermostatic factor)

อุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในร่างกายสัตว์ มีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารของโคนม โดยพบว่า หากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น จะทำให้โคนมกินอาหารได้น้อยลง NRC (1981) พบว่า เมื่ออุณหภูมิภายนอกร่างกายเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้โคนมมีปริมาณการกินได้ลดลงและทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ขณะที่ปริมาณการดื่มน้ำเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.1) นอกจากนี้ ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมักอาหารในกระเพาะหมักเกิดขึ้นมาก ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิร่างกายสัตว์ ดังนั้น จึงส่งผลให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนมและปริมาณการดื่มน้ำ ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

Temperature (°C)	Expected intakes and milk yields		
	DMI (kg/d)	Milk yield (kg/d)	Water intake (liter/d)
20	18.2	27.0	68.1
25	17.7	25.0	73.8
30	17.1	23.0	79.1
35	16.7	18.0	120.0
40	10.2	12.0	106.0

ที่มา: NRC (1981)

นอกจากนี้ มีการใช้ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature-humidity index, THI) มาใช้ในการประมาณการกินได้ของโคนม ในการคำนวณค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (NRC 1971)

$$THI = (1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ T = อุณหภูมิอากาศ, องศาเซลเซียส

RH = ความชื้นสัมพัทธ์, ร้อยละ

ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้ในการบ่งบอกถึงความเสี่ยงเนื่องจากความร้อน โดยค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่า 72 ถือว่าโคนมไม่เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน และค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 72 ถือว่าโคนมมีความเครียดเนื่องจากความร้อน ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของโคนม โดยค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 59.4 โคนมมีปริมาณการกินได้ 21.9 กิโลกรัมวัตถุดิบต่อวัน ขณะที่ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 72.6 โคนมมีปริมาณการกินได้ 19.4 กิโลกรัมวัตถุดิบต่อวัน (Luciana et al., 2012) อย่างไรก็ตามค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าที่แปรปรวนไปกับค่าอุณหภูมิของอากาศและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้นๆ

2.3 การประมาณการกินได้ของโคนม (prediction of feed intake)

2.3.1 ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ไม่ให้ผลผลิตน้ำนม

ปริมาณการกินได้ของโคนม เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่สามารถบ่งบอกการให้ผลผลิตของโคนม โดยทั่วไปในการประมาณการกินได้ของโคนม มีปัจจัยจากน้ำหนักตัวและการให้ผลผลิต รวมทั้งความหนาแน่นของพลังงานในอาหารที่โคนมได้รับ

Kearl (1982) ได้เสนอสมการในการประมาณปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (dry matter intake, DMI) สูงสุด ดังสมการ

$$DMI = 0.105 BW^{0.75} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.2}$$

เมื่อ DMI = ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งที่คิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน

BW = น้ำหนักโคนมในหน่วยกิโลกรัม

หากมีการใช้สมการนี้ในการประมาณปริมาณการกินได้ของโคสาว (heifer) ควรปรับเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 3 (Kearl, 1982) ดังนั้น การประมาณการกินได้ของโคนมสาวและแม่โคนมที่ไม่ให้ผลผลิตน้ำนม ประมาณการได้ ดังสมการ

$$DMI = 0.108 BW^{0.75} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.3}$$

เมื่อ DMI = ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งที่คิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน

เมื่อ DMI = ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบที่คิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน
 BW = น้ำหนักโคนมในหน่วยกิโลกรัม

2.3.2 ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม

ในการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะต้นของการให้น้ำนม (early lactation) ตั้งแต่คลอดถึง 100 วัน หลังคลอด ระยะกลางของการให้น้ำนม (mid lactation) ตั้งแต่ 101 ถึง 200 วันหลังคลอด และระยะปลายของการให้น้ำนม (late lactation) ตั้งแต่ 201 ถึง 305 วันหลังคลอด ซึ่งแต่ละระยะการให้ผลผลิตน้ำนม มีปริมาณการกินได้ที่แตกต่างกันไป การประมาณการกินได้ของโคนมที่กำลังให้ผลผลิตน้ำมนั้น NRC (2001) ได้เสนอสมการประมาณปริมาณการกินได้ของโคนมที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนม ดังนี้

$$DMI (kg) = (0.372 \times FCM + 0.0968 \times BW^{0.75}) \times (1 - e^{-(0.192 \times (WOL + 3.67))}) \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.4}$$

เมื่อ FCM = ปริมาณน้ำนมที่ปรับไขมัน 4% (4% fat corrected milk) (กิโลกรัม/วัน, kg/day),
 BW = น้ำหนักโคนมในหน่วยกิโลกรัม
 WOL = สัปดาห์ของการให้น้ำนม (week of lactation)

อย่างไรก็ดี ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิที่สูง มีผลต่อปริมาณการกินได้ของโคนมดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ดังนั้น หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิที่สัตว์รู้สึกสบาย คือ 5-20 องศาเซลเซียส ควรมีการปรับค่าปริมาณการกินได้ดังนี้

ถ้าอุณหภูมิภายนอก มีค่าสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ให้ปรับค่าปริมาณการกินได้ของโคที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนมดังนี้

$$DMI \times (1 - ((^{\circ}C - 20) \times 0.005922))$$

และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ให้ปรับค่าปริมาณการกินได้ของโคที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนมดังนี้

$$DMI \times (1 - ((5 - ^{\circ}C) \times 0.004644))$$

เมื่อ $^{\circ}C$ = องศาเซลเซียส

2.3.3 ปริมาณการกินได้ของโคนมช่วงเปลี่ยนผ่าน (transition period)

โคนมที่อยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่าน หมายถึง โคนมที่ตั้งท้องและจะคลอดภายใน 30 วัน และหลังคลอด 30 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่สำคัญในการเตรียมตัวสำหรับการให้ผลผลิตในน้ำนมในช่วงต่อไป ในช่วงนี้ ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ตั้งท้องจะมีปริมาณการกินได้ที่ลดลงเนื่องจากขนาดของลูกโคมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้กระเพาะหมักมีการหดตัว ทำให้มีความจุลดลง และเมื่อคลอด การขยายตัวของกระเพาะหมักเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ปริมาณการกินอาหารของโคนมช่วงนี้มีการเพิ่มขึ้นทีละน้อย

Grummer et al. (2004) ได้สรุปปริมาณการกินได้ของโคนมในช่วง 21 วันก่อนคลอด ในแม่โคนมและโคนมสาวท้องแรก มีค่าร้อยละของน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1.88 และ 1.69 ตามลำดับ

จากการศึกษาของ ณพพงศ์พันธ์ และคณะ (2544) เปรียบเทียบปริมาณการกินได้ของโคนมในช่วงก่อนคลอด 30 วัน กับหลังคลอด 30 วัน พบว่า โคนมมีปริมาณการกินได้ลดลงในช่วง 30 วันก่อนคลอด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.95 ของน้ำหนักตัว และในช่วงหลังคลอด 30 วัน มีปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.65 ของน้ำหนักตัว สำหรับสมการในการประมาณปริมาณการกินได้ของโคนมในช่วงก่อนคลอด 30 วัน สามารถประเมินได้ ดังนี้

$$y = -0.0008x^2 - 0.0355x + 1.6438 \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.5}$$

เมื่อ y = ปริมาณการกินได้ (ร้อยละของน้ำหนักตัว)

X = จำนวนวันก่อนคลอด

สำหรับสมการในการประมาณปริมาณการกินได้ของโคนมในช่วงหลังคลอด 30 วัน สามารถประเมินได้ ดังนี้

$$y = -0.0013x^2 + 0.0778x + 1.8766 \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.6}$$

เมื่อ y = ปริมาณการกินได้ (ร้อยละของน้ำหนักตัว)

X = จำนวนวันหลังคลอด

2.4 สรุป

ปริมาณการกินได้มีความสำคัญต่อโภชนาการที่โคนมจะได้รับเพื่อใช้ในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้หลายด้าน การประมาณปริมาณการกินได้ สามารถที่จะประมาณการกินได้ของโคนมที่ติดนมได้จากสมการของ NRC (2001) ควรมีการพัฒนาสมการประมาณการกินได้ของโคนมภายใต้สภาพการเลี้ยงของไทยในอนาคต

2.5 เอกสารอ้างอิง

- ฉลอง วชิราภกร. 2549. อาหารและการจัดการการให้อาหารโคนม. ใน สำนักงานสนับสนุนการวิจัย. บทวิเคราะห์อุตสาหกรรมโคนมไทยกับการแข่งขันในอนาคตและการปรับตัวของเกษตรกร. ประชุมวิชาการโคนม. (หน้า 171-222). ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.
- ณพงศ์พนธ์ สุภาพ, ฉลอง วชิราภกร, สุณิรัตน์ เอี่ยมละมัย, และสุทธิพงศ์ อริยะพงศ์สรรค์. 2544. ผลของระดับโภชนาการในช่วงก่อนคลอดที่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม, องค์ประกอบน้ำนมและสมรรถนะการสืบพันธุ์ในช่วงหลังคลอด. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 1(2):33-41.
- สุภาพร แซ่เตียว, ฉลอง วชิราภกร, เมธา วรรณพัฒน์, และไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. 2549. ผลของระดับถั่วขาวเคดแห้งที่ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปต่อปริมาณการกินได้การย่อยได้การให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมในโคนมนม. ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 ณ อาคารศูนย์วิชาการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น: 20 มกราคม 2549, ขอนแก่น. (หน้า 61-62).
- Choi, B.R. and M.S. Allen. 1999. Intake regulation by volatile fatty acids and physical fill. S. Afr. J. Anim. Sci. 29(ISRP):40-41.
- Grummer, R.R., D.G. Mashek and A. Hayirli. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. Vet. Clin. North. Am. Food. Anim. Pract. 20(3):447-470.
- Kearl, L.C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. Logan, USA: Utah State University.
- Luciana, B., A. Tamburini, C. Penati, E. Riva, G. Mattachini, G. Provololo, et al. 2012. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. Italian. J. Anim. Sci. 11(e42):230-236.

- NRC. 1971. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 4th Revised Edition Washington, DC: The National Academies Press.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition Washington, DC: The National Academies Press.
- Preston, T.R. and R.A. Leng. 1987. Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in The Tropics and Sub-tropics. Armidale, Australia: Penambul Books.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Edition. Itacha, New York: Cornell University Press.
- Wachirapakorn, C., P. Parmaluk, M. Wanapat, P. Pakdee and A. Cherdthong. 2014. Effects of levels of crude protein and ground corn cobs in total mixed ration on intake, rumen fermentation and milk production in crossbred Holstein Friesian lactating dairy cows. J. Appl. Anim. Res. 42(3):263-268.

บทที่ 3 พลังงาน (Energy)

3.1 บทนำ

โคนมมีความจำเป็นต้องได้รับโภชนาที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์จากอาหารเพื่อเป็นพลังงาน (energy) โคนมมีความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างผลผลิต เรียกว่า “ความต้องการพลังงานเพื่อการให้ผลผลิต” รวมทั้งมีความต้องการโภชนาเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการดำเนินกิจกรรมพื้นฐานของร่างกาย เรียกว่า “ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ” โดยทั้งค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ และเพื่อการให้ผลผลิตดังกล่าว ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานที่มีในอาหารในรูปพลังงานเคมี (chemical energy) ทั้งนี้ พลังงานเคมีจากอาหาร เมื่อเกิดการสันดาป หรือเผาผลาญในร่างกายจะเปลี่ยนรูปแบบเป็นพลังงานกล (mechanical energy) และพลังงานความร้อน (heat energy) ผู้สนใจศึกษารายละเอียดด้านความต้องการพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถอ่านเพิ่มเติมได้จาก Blaxter (1962) Lofgreen and Garrett (1968) Moe et al. (1972) ARC (1980) AFRC (1993) NRC (2001) และ NRC (2016)

ภาวะขาดพลังงานในโคนมระยะเล็ก-รุ่น จากปริมาณการกินได้ไม่เพียงพอ มีผลกระทบทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำ เข้าสู่วัยหนุ่ม-สาวช้า กรณีแม่โครีดนมมีผลกระทบทำให้ปริมาณและคุณภาพน้ำนมต่ำ ชูบผอม ทั้งนี้หากโคนมมีภาวะขาดพลังงานติดต่อกันนานจะส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ที่ต่ำลง

3.2 หน่วยวัดค่าพลังงานอาหารสัตว์

หน่วยวัดพลังงานตามมาตรฐานสากล เรียกว่า จูล (joules, J = volts × amperes × seconds) ประเทศไทยและบางประเทศนิยมใช้หน่วย “แคลอรี (calorie, cal)” โดยพลังงาน 1 แคลอรี หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้ น้ำ จำนวน 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือ จาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ ค่าความร้อน 1 แคลอรี มีค่าเทียบเท่ากับ 4.184 จูล หรือ 1 จูล เท่ากับ 0.239 แคลอรี วิธีการแสดงค่าจำนวนพลังงานความร้อน นิยมแสดงในรูปแบบค่า “กิโลจูล (kilojoules, kJ)” เท่ากับ 1,000 จูล หรือ “เมกะจูล (mega joules, MJ)” เท่ากับ 1,000 กิโลจูล หรือ 1,000,000 จูล นอกจากนี้ อาจใช้หน่วยเป็น “BTU (British Thermal Unit)” โดย 1 BTU เท่ากับ 252 แคลอรี

3.3 ค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์

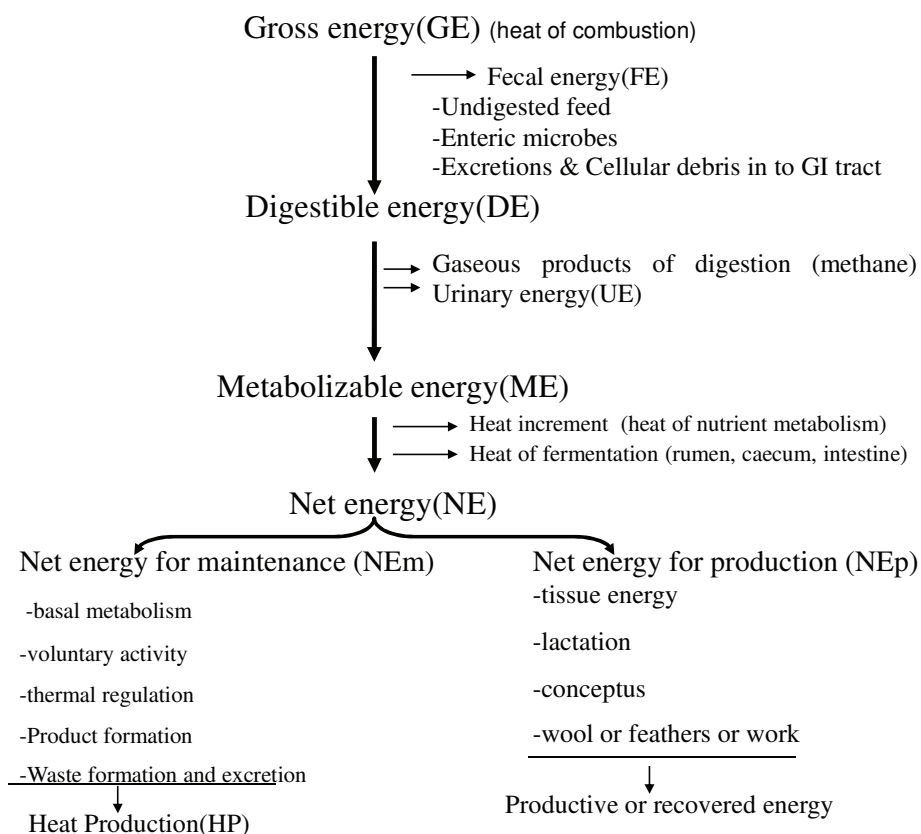
พลังงานในอาหารสัตว์ สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดค่าพลังงานความร้อน ที่เรียกว่า “บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter)” ค่าพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้อาหารอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า “ค่าพลังงานรวม (gross energy, GE)”

หลักการทางพลังงานทางโภชนาศาสตร์สัตว์ สามารถแยกส่วนพลังงานที่กินได้ ตามการนำไปใช้ประโยชน์ของสัตว์เลี้ยง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานรวม ไม่สามารถใช้บ่งบอกความสามารถของการนำไปใช้ประโยชน์พลังงานจากอาหารได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น หากนำค่าพลังงานที่กินได้รวมทั้งหมด หักลบด้วยค่าพลังงานที่สูญเสียออกทางการขับถ่ายมูล (fecal energy, FE) เรียกว่า “ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE)” (ภฤตพล, 2550) ซึ่งประเมินได้จากการทดลอง เพื่อวัดค่าการย่อยได้ (digestion trial) สัดส่วนค่า DE:GE มีความผันแปรสูง เริ่มจาก 0.3 ในพืชอาหารสัตว์คุณภาพต่ำ ถึง 0.9 ในเมล็ดธัญพืชที่มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตาม ค่าพลังงานที่ย่อยได้มีความถูกต้องและความแม่นยำต่ำกว่าค่า “พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME)” ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ประเมินได้จากการนำค่าพลังงานที่กินได้รวมทั้งหมด หักลบ ด้วยพลังงานที่สูญเสียออกทางการขับถ่ายมูล การขับถ่ายปัสสาวะ (urinary energy, UE) และการขับแก๊สมีเทน (methane energy) สัดส่วนระหว่างค่า ME:GE บ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร (metabolizable energy concentration หรือ metabolisability; q) ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ มีความสัมพันธ์กับ ค่าพลังงานที่ย่อยได้สูง วัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตนาวามีค่าสัดส่วน ME:DE ประมาณ

0.82 (ARC, 1980; NRC, 2000) ในขณะที่ วัตถุดิบอาหารเขตร้อนอย่างเช่นประเทศไทยมีค่าสัดส่วน ME:DE อยู่ในช่วง 0.78-0.88 หรือเฉลี่ยประมาณ 0.84 (Chaokaur et al., 2015; Tangjitwattanachai et al., 2015) ในทำนองเดียวกัน ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจาก ไม่ได้คำนึงถึงค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสีย เนื่องจากการกินและการใช้ประโยชน์จากอาหารของสัตว์ (heat increment; HI) (McDonald et al., 2002; NRC, 1981) จึงส่งผลให้ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีความถูกต้องต่ำกว่าค่า “พลังงานสุทธิ (net energy; NE)” ซึ่งเป็น ค่าพลังงานที่ได้จากค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ลบด้วยค่า “พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการกินและการใช้ประโยชน์จากอาหาร”

ค่าพลังงานสุทธิ สามารถแยกออกเป็นสองส่วนหลัก คือ “พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net energy for maintenance; NE_m)” และ “พลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิต (net energy for production; NE_p)” ซึ่งสามารถแยกรายละเอียด ตามชนิด ประเภท และรูปแบบการให้ผลผลิตของสัตว์ (ดูภาพที่ 3.1 ประกอบ) ถึงแม้ว่า ค่าพลังงานสุทธิมีความถูกต้อง และแม่นยำสูงที่สุด แต่วิธีการประเมินค่าพลังงานสุตียังมีข้อจำกัด ในด้านวิธีการวัดค่าพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการกิน และการใช้ประโยชน์จากอาหาร เนื่องจาก เป็นวิธีการที่ซับซ้อน ยุ่งยาก และต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียด ลงทุนสูง จึงส่งผลให้ปัจจุบันในบางประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย เป็นต้น ยังคงใช้ระบบพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ARC, 1980; AFRC, 1993; CSIRO, 2007) สำหรับงานวิจัย ด้านการประเมินค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด

ผลการประเมินค่าพลังงาน ในอาหารสัตว์ที่มีความถูกต้องสูง จะมีผลโดยตรงกับความถูกต้องของการคำนวณ ค่าพลังงาน ในสูตรอาหาร แต่เนื่องจากเครื่องมือ งบประมาณและ ทรัพยากรการตรวจประเมินค่าพลังงานของประเทศไทยมีจำกัด จึงไม่สามารถทำการตรวจค่าพลังงานเป็นรายวัตถุดิบในแต่ละครั้งของการคำนวณสูตรอาหารได้ ผู้ใช้งานอาจเลือกใช้ข้อมูลค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในตารางองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ที่แสดงในบทที่ 15 เพื่อการคำนวณได้ นอกจากนี้ ยังสามารถทำนายค่าพลังงานด้วยความแม่นยำยิ่งขึ้น หากสามารถตรวจวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ เพื่อทำนายค่าพลังงานจากสมการ ตารางที่ 3.1 แสดงสมการเพื่อการทำนายค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้



ภาพที่ 3.1 การใช้ประโยชน์พลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา: Pond et al. (2005)

ตารางที่ 3.1 สมการเพื่อการทำนายค่าโภชนาการที่ย่อยได้ พลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

Sources	Equations ^{1/}	R ²	RMSE ^{2/}	P-value	n
วรรณ และคณะ (2561)*					
(1)	DE = 4.00TDN+ 0.217	0.88	0.24	< 0.001	112
(2)	ME = 3.74TDN + 0.019	0.88	0.22	< 0.001	112
(3)	ME = 0.92DE - 0.189	0.97	0.10	< 0.001	112
Moe and Tyrrell (1972)	ME = 1.01DE - 0.45	NA	NA	NA	NA
NRC (2001)	ME = 1.01DE - 0.45	NA	NA	NA	NA
NRC (2001)**	DE = 0.04409TDN	NA	NA	NA	NA

*TDN (total digestible nutrient, kg/kgDM); **TDN (kg/kgDM); DE (digestible energy, Mcal/kgDM); ME (metabolisable energy, Mcal/kgDM); R² (coefficient of determination); p-value of model; RMSE (root mean squared error); n (number of data)

3.4 ความต้องการพลังงานของโคนม

สามารถจัดแบ่งค่าความต้องการพลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้องตามการใช้ประโยชน์ (ภาพที่ 3.1) ได้แก่ ค่าพลังงานรวมที่กินได้ ค่าพลังงานที่ย่อยได้ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และค่าพลังงานสุทธิ ซึ่งค่าพลังงานสุทธิสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ ซึ่งหมายถึง ปริมาณพลังงานระดับต่ำสุด ที่สัตว์ต้องการนำไปใช้ในการดำเนินกิจกรรมและกระบวนการเมแทบอลิซึมขั้นพื้นฐานของร่างกาย (ARC, 1980; NRC, 1981; Johnson et al., 2003) ส่วนที่สอง คือ ความต้องการพลังงานเพื่อให้ผลผลิต ซึ่งหมายถึง พลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้สร้างผลผลิต ได้แก่ เนื้อ นม ขน ทั้งนี้หมายความว่ารวมถึงพลังงานที่ใช้เพื่อการสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในขณะตั้งท้อง (NRC, 1981; NRC, 2001; McDonald et al., 2002; Pond et al., 2005) ปริมาณพลังงานที่ถูกเก็บกักไว้เพื่อการสร้างผลผลิตดังกล่าว เรียกว่า “พลังงานที่ร่างกายสามารถเก็บกักได้ (energy retention, ER หรือ productive หรือ recovered energy)” (กฤตพล, 2550; McDonald et al., 2002; Pond et al., 2005)

3.4.1 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโครีตนม

การประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตน้ำนมของแม่โครีตนม ตามระบบพลังงานสุทธิ (net energy system) ตามวิธีการของ Moe et al. (1972) กฤตพล และคณะ (2563) ได้ศึกษาความสมดุลพลังงานในแม่โครีตนมไทย จากฐานข้อมูลโคนมระดับสายเลือดพันธุ์ฟรีเซียนร้อยละ 87.5 ขึ้นไป ครอบคลุมช่วงการรีดนมระยะต้น กลาง และปลาย จำนวน 114 ชุดข้อมูล (ตารางที่ 3.2) ได้ผลการวิเคราะห์ห่อภิณาวินิจฉัยเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กินได้ (MEI, $\text{kJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$) กับค่าพลังงานการให้ผลผลิตน้ำนม (ความสมดุลพลังงานที่ปรับพลังงานที่ร่างกายเก็บกักได้และให้ผลผลิตน้ำนมเป็นศูนย์; $E_{(0)}$, $\text{kJ/kgBW}^{0.75}/\text{d}$) ดังนี้

$$E_{(0)} = 0.692\text{MEI} - 356.96 \quad (n = 114, R^2 = 0.98, \text{RSD} = 2.16, P < 0.001) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 โครีตนมไทยสายเลือดพันธุ์ฟรีเซียนร้อยละ 87.5 ขึ้นไป ประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมร้อยละ 69.2 ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (ME_m) เท่ากับ 516.1 กิโลจูลต่อน้ำหนักเมแทบอลิกโคมิชีวิต (หรือ $123 \text{ kcal/kgBW}^{0.75}$) ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพ (NE_m) เท่ากับ 356.9 กิโลจูลต่อน้ำหนักเมแทบอลิกโคมิชีวิต (หรือ $85 \text{ kcal/kgBW}^{0.75}$) หากเปรียบเทียบกับรายงานของ Moe et al. (1972) แนะนำค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพของโครีตนม 305 $\text{kJ/kg BW}^{0.75}$ NRC (2001) แนะนำค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพของโครีตนมมีค่า 330 $\text{kJ/kg BW}^{0.75}$ NRC (2016) และ Freetly (2019) ซึ่งได้พัฒนาปรับปรุงฐานข้อมูลและโมเดลตามระบบพลังงานสุทธิของ Moe et al. (1972) แนะนำค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพของโครีตนมในทวีปอเมริกาเหนือ 322 $\text{kJ/kg BW}^{0.75}$ ($77 \text{ kcal/kg BW}^{0.75}$) ข้อมูลโคนมสายโฮลสไตน์ฟรีเซียนพันธุ์แท้นิวยอร์กหรืออเมริกาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนเลี้ยงในสภาพแวดล้อมของไทยมีค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพสูงกว่าคำแนะนำระบบการจัดการให้อาหารพลังงานโคนมสายโฮลสไตน์ฟรีเซียนพันธุ์แท้นิวยอร์กหรืออเมริกาประมาณร้อยละ 10 อย่างไรก็ตามการพัฒนาโคนมสายโฮลสไตน์ฟรีเซียนพันธุ์แท้นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาคัดเลือกพันธุ์กรรมโคนมให้มีศักยภาพทางการให้ผลผลิตน้ำนมสูงในปัจจุบัน ซึ่งโคนมที่ให้ผลผลิตสูงแตกต่างจากอดีตจะมีอัตราเมแทบอลิซึม และความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพเปลี่ยนแปลงไปตามศักยภาพการให้ผลผลิต ซึ่งผลการวิเคราะห์ห่อภิณาวินิจฉัยครั้งนี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Moraes et al. (2015) ซึ่งได้วิเคราะห์ห่อภิณาวินิจฉัยจากฐานข้อมูลโคนมสายโฮลสไตน์ฟรีเซียนในยุโรปที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ในระยะ 20 ปี จำนวน 1,038 ชุด จาก 40 งานทดลอง พบว่า ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 360 $\text{kJ/kg BW}^{0.75}$ โดยประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมคิดเป็นร้อยละ 63

ตารางที่ 3.2 สรุปฐานข้อมูลการกินได้ของโภชนา พลังงาน และผลผลิตน้ำนมเพื่อการวิเคราะห์ห่อถักโภชนา (n = 114).

Items	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
Crude protein diets, g/kg dry matter(DM)	142.8	142.1	113.1	177.5	15.2
Neutral detergent fiber diet, g/kg DM	432.4	430.4	322.5	557.0	62.6
Ether extract diets, g/kg DM	37.4	32.9	24.9	80.3	14.3
Digestible energy(DE) diet, MJ/kg DM	12.5	12.5	8.8	15.9	1.4
Metabolisable energy(ME) diet, MJ/kg DM	10.5	10.5	6.6	13.8	1.4
DM intake, kg/day	9.1	8.9	3.8	15.7	2.3
DE intake, MJ/day	112.8	107.9	36.0	201.5	29.7
ME intake, MJ/day	96.3	92.3	25.4	175.8	27.4
Milk yield, kg/day	14.1	13.7	5.6	26.4	4.6
Milk fat, g/kg	38.6	36.7	22.7	66.1	7.8
Milk protein, g/kg	30.2	29.6	21.3	41.3	3.7
Milk lactose, g/kg	46.8	46.4	39.3	62.5	3.8
Milk energy, MJ/kg	2.6	2.6	0.8	4.2	0.6
Body weight, kg	450.5	441.5	324.3	649.9	60.4

ที่มา : กฤตพล และคณะ (2563)

ความต้องการพลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนมครั้งนี้ ($516 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$) มีความสอดคล้องกับ Oliveira (2015) ซึ่งได้รายงานผลการวิเคราะห์ห่อถักโภชนาการวิจัยความต้องการพลังงานของโครีดนมภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศบราซิล จากฐานข้อมูล 60 การทดลอง จำนวน 231 ค่าสังเกต พบว่า ประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนมโคสายพันธุ์อินเดียกับยุโรป (*Bos taurus* x *Bos indicus*) ประมาณ $558 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$ แต่มีค่าสูงกว่ารายงานของ De Araujo Carvalho et al. (2018) ศึกษาในประเทศบราซิลโคนมสายพันธุ์กีร์และผลลูกผสมสายพันธุ์กีร์กับโฮลสไตน์ฟรีเซียน ($427 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$) หากเปรียบเทียบกับโคนมพันธุ์แท้ในยุโรปโคนมลูกผสมของไทยมีค่าต่ำกว่า โดยรายงานของ Agnew et al. (2003) พบว่า การวิเคราะห์ห่อถักโภชนาการวิจัยความต้องการพลังงานของโครีดนมในประเทศสหราชอาณาจักร จากฐานข้อมูล 12 การทดลอง จำนวน 139 ชุดข้อมูล พบว่า ประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนมโคสายพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน ประมาณ $600 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$ โดยประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมร้อยละ 65 Xue et al. (2011) พบว่า โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนเปรียบเทียบกับโคลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนกับเจอร์ซี่ในประเทศสหราชอาณาจักรประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนมโคสายพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน ประมาณ 710 และ $670 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$ ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมร้อยละ 58 และ 58 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Dong et al. (2015) พบว่า ความต้องการพลังงานของโคนมยุโรปมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างโคนมพันธุ์แท้โฮลสไตน์ฟรีเซียนเปรียบเทียบกับโคลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนกับเจอร์ซี่ หรือนอร์วีเจียนในประเทศสหราชอาณาจักร โดยประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนมโคสายพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน ประมาณ 686 และ $678 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมร้อยละ 64 และ 64 ตามลำดับ การวิจัยโคนมพันธุ์แท้โฮลสไตน์ฟรีเซียนในเขตร้อน Yan et al. (2016) พบว่า ภายใต้สภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนโคนมพันธุ์แท้โฮลสไตน์ฟรีเซียนในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน ประเมินค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโครีดนม ประมาณ $812 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงาน

ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนมร้อยละ 60 ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นได้ว่า โคนมพันธุ์แทโฮลสไตน์ฟรีเซียนเปรียบเทียบกับโคลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนกับโคนินเดียมีความต้องการพลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพสูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคนมพันธุ์แทโฮลสไตน์ฟรีเซียนที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงคัดเลือกพันธุ์ให้ผลผลิตสูง ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงขึ้นในระยะ 20 ปีที่ผ่านมา จึงอาจมีค่าความต้องการพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การประเมินความต้องการพลังงานของโคนมตามคำแนะนำของ ARC (1980) AFRC (1993) และ NRC (2001) จึงอาจประเมินค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimate)

3.4.2 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำเนินกิจกรรมการเดินและการเล็มกินพืชอาหารสัตว์

เนื่องจากการศึกษาค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพโครีดนมในสภาพการเลี้ยงแบบขังคอกจากสมการที่ 1 โคนมไม่ต้องใช้พลังงานเพิ่มเพื่อกิจกรรมการเดิน หรือการเล็มกินอาหาร ดังนั้น กรณีการจัดการเลี้ยงแบบขังคอกรวมโคสามารถเดินได้อิสระและมีระยะทางต้องเดินจากคอกไปโรงรีดนม ควรเพิ่มค่าความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมการเดินตามสภาพการเลี้ยงในฟาร์มที่เพิ่มขึ้น โดย NRC (2001) แนะนำค่าความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมการเดินตามแนวราบพื้นดินระยะทาง 1 กิโลเมตร ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพิ่ม จำนวน 0.00045 เมกกะแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักโคมีชีวิต (Mcal/kg BW) อีกทั้งกรณี การปล่อยเลี้ยงแปลงพืชอาหารสัตว์เพิ่มค่าความต้องการเพื่อการเล็มกิน 0.0012 เมกกะแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักโคมีชีวิต (Mcal/kg BW) ฉะนั้น หากโครีดนมน้ำหนักมีชีวิต 600 กิโลกรัม เลี้ยงแบบปล่อยแปลงเล็มกินพืชอาหารสัตว์มีระยะทางไกลจากโรงรีดนมเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อกิจกรรมการเดินและการเล็มกินพืชอาหารสัตว์เพิ่มเป็น $(2 \times 0.00045 \times 600 = 0.54) + (0.0012 \times 600 = 0.7) = 1.2$ เมกกะแคลอรีต่อวัน

3.4.3 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการปรับตัวตามสภาพภูมิอากาศ หรือความเครียดเนื่องจากความร้อน

สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการปรับสภาพร่างกายตามสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอาจเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 ถึง 25 ของค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (NRC, 2001) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของไทย ซึ่งโคนมอาจแสดงอาการเครียดเนื่องจากความร้อนตามระดับของความเครียดจากความร้อน (ระดับต้น, กลาง และสูง; mild-severe heat stress) จึงควรคำนึงถึงการเพิ่มค่าความต้องการพลังงานเพื่อการปรับตัวตามสภาพภูมิอากาศ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพ ตามลำดับ)

3.4.4 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม

ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (net energy requirement for lactation; NE_L) หมายถึง พลังงานรวมที่แม่โคให้ผลิตได้ในน้ำนมต่อวัน ซึ่งการวัดปริมาณพลังงานรวมในน้ำนมสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณน้ำนมต่อวัน และค่าความเข้มข้นพลังงานของน้ำนม โดยค่าพลังงานของน้ำนมตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวัดพลังงานความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของโภชนะที่ให้พลังงานในน้ำนม (โปรตีน, ไขมัน และแลคโทส) หรือ การวัดปริมาณพลังงานรวมในน้ำนมจากค่าความร้อนขององค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน (9.29 Mcal/kg) โปรตีน (5.71 Mcal/kg) และแลคโทส (3.95 Mcal/kg) (ตารางที่ 3.3 สมการคำนวณค่าพลังงานรวมในน้ำนม (NRC, 2001) มีดังนี้

$$NE_L \text{ (Mcal/kg milk)} = 0.0929\text{Fat (\%)} + 0.0547\text{Crude protein (\%)} + 0.0395\text{Lactose (\%)} \text{ หรือ}$$

$$NE_L \text{ (Mcal/kg milk)} = 0.0929\text{Fat (\%)} + 0.0547\text{Crude protein (\%)} + 0.192 \text{ หรือ}$$

$$NE_L \text{ (Mcal/kg milk)} = 0.0969\text{Fat (\%)} + 0.360 \dots \dots \dots \text{สมการที่ 3.2}$$

โดย NE_L = ค่าพลังงานรวมในน้ำนม (เมกกะแคลอรีต่อกิโลกรัมของน้ำนม)

$$\text{Fat} = \text{ไขมันนม (\%)} \quad \text{Crude protein} = \text{โปรตีนนม (\%)} \quad \text{Lactose} = \text{แลคโทสในนม (\%)}$$

จากสมการที่ 1 ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของแม่โครีดนมไทย (k_i) เท่ากับ 0.69 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับโครีดนมในยุโรปและอเมริกา (ค่าเฉลี่ย 0.64, ช่วง 0.53-0.70) แสดงให้เห็นว่า โครีดนมลูกผสมพันธุ์ฟรีเซียนของไทยมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารไปเป็นพลังงานสุทธิเพื่อการให้ผลผลิตใกล้เคียงกับโคนมในยุโรปและอเมริกา (ตารางที่ 3.4) แนวทางการใช้ข้อมูลจากตารางค่าความต้องการพลังงานของโครีดนม (ตารางที่ 3.5) ดังตัวอย่างที่ 1 และ 2

ตัวอย่างที่ 1 คำนวณค่าความต้องการพลังงานของโครีดนมสำหรับโครีดนมเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง แม่โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 650 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ยต่อตัววันละ 27 กิโลกรัม คุณภาพน้ำนมมีค่าไขมันนมร้อยละ 4.0 โปรตีนร้อยละ 3.5

ความต้องการพลังงานต่อวัน	NE (Mcal)	ME (Mcal)
เพื่อการดำรงชีพโค 650 กก.	10.94	15.81
เพื่อกิจกรรมและการเดิน ร้อยละ 5 (เพิ่ม)	0.55	0.79
เพื่อให้ผลผลิตน้ำนม 27 กก.	20.52	29.43
รวม	32.01	46.03

ตัวอย่างที่ 2 คำนวณค่าความต้องการพลังงานของโครีดนมสำหรับโครีดนมเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง แม่โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 450 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ยต่อตัววันละ 20 กิโลกรัม คุณภาพน้ำนมมีค่าไขมันนมร้อยละ 4.0 โปรตีนร้อยละ 3.0 แสดงอาการความเครียดเนื่องจากความร้อนระดับกลาง ($THI > 78$)

ความต้องการพลังงานต่อวัน	NE (Mcal)/d	ME (Mcal)/d
เพื่อการดำรงชีพโค 450 กก.	8.30	12.00
เพื่อกิจกรรมและการเดินร้อยละ 5	0.41	0.60
เพื่อลดความเครียดจากความร้อนร้อยละ 10	0.83	1.20
เพื่อให้ผลผลิตน้ำนม 20 กก.	14.60	21.00
รวม	24.14	34.80

3.4.5 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการตั้งท้อง

NRC (2001) แนะนำประเมินค่าความต้องการพลังงานเพื่อการอุ้มท้องของโคนมในช่วงอายุการตั้งท้องระยะท้ายก่อนคลอด 100 วัน โดยเทียบกับน้ำหนักเฉลี่ยแรกเกิดของลูกโคสายพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน 45 กิโลกรัม สัญนิฐานว่าการตั้งท้องระยะ 190 วันแรก ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการอุ้มท้องเป็น 0 โดยค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการตั้งท้องร้อยละ 14 (Bell et al., 1995) สมการคำนวณค่าความต้องการพลังงานเพื่อการอุ้มท้อง (NRC, 2001) มีดังนี้

$$ME = [(0.00318 \times D) - 0.0352] \times (CBW/45)] / 0.14 \dots \dots \dots \text{สมการที่ 3.3}$$

เมื่อ D = อายุการตั้งท้องระหว่าง 190 ถึง 279 วัน

CBW = น้ำหนักแรกเกิดของลูกโค (กิโลกรัม)

ME = ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการตั้งท้อง (เมกกะแคลอรีต่อวัน)

หรือ

$$NE_{\text{pregnancy}} = [(0.00318 \times D) - 0.0352] \times (CBW/45) / 0.218 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.4}$$

เมื่อ $NE_{\text{pregnancy}}$ = ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการตั้งท้อง (เมกกะแคลอรีต่อวัน)

โดย ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการตั้งท้องร้อยละ 0.64

3.4.6 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่ม หรือลดน้ำหนัก

การสะสมพลังงานในร่างกายโครีดนม (body reserves) การสะสมพลังงานของร่างกายส่วนใหญ่เป็นการสะสมไขมันในรูปของไขมันและโปรตีนทำให้สัตว์มีสถานะสมดุลพลังงานเป็นบวก (positive energy balance) ซึ่งส่งผลกระทบทำให้โคเพิ่มน้ำหนัก (live weight gain) แต่หากโคได้รับสารอาหารไม่เพียงพอจำเป็นต้องสลายไขมันและโปรตีนที่สะสมทำให้สัตว์มีสถานะสมดุลพลังงานเป็นลบ (negative energy balance) ซึ่งส่งผลกระทบทำให้โคลดน้ำหนัก (live weight loss) NRC (2001) แนะนำค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนักของโครีดนม โดยการคำนวณจากปริมาณการเก็บกักโปรตีนและไขมันจากการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกาย (body score, BCS 1-5 หน่วย) ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของไขมันที่เก็บสะสมในร่างกายที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายแตกต่างกัน และค่าความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือการลดน้ำหนักในโครีดนม

BCS	% of EB				EBW,% of BCS 3	Energy, Mcal/kg EBW change	Mcal NEL/kg of LW loss	Mcal NEL/kg of LW gain
	Fat	Protein	Ash	Water				
1.0	3.77	19.42	7.46	69.35	72.6	5.14	-	3.60
1.5	7.54	18.75	7.02	66.69	79.4	5.72 (5.14)	3.44	4.01
2.0	11.30	18.09	6.58	64.03	86.3	6.41 (5.72)	3.83	4.50
2.5	15.07	17.42	6.15	61.36	93.1	6.98 (6.41)	4.29	4.90
3.0	18.84	16.75	5.71	58.70	100.0	7.61 (6.98)	4.68	5.34
3.5	22.61	16.08	5.27	56.04	106.9	8.32 (7.61)	5.10	5.84
4.0	26.38	15.42	4.83	53.37	113.7	8.88 (8.32)	5.57	6.23
4.5	30.15	14.75	4.43	50.71	120.6	9.59 (8.88)	5.95	6.73
5.0	33.91	14.08	3.96	48.05	127.4	(9.59)	6.43	-

Empty body weight (EBW) = $0.817 \times \text{น้ำหนักมีชีวิต (live weight, kg)}$

ที่มา: ดัดแปลงจาก NRC (2001)

ตารางที่ 3.4 สรุปค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ ($ME_m, MJ/kgBW^{0.75}$) และค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (k_L) ของโคนม

แหล่งอ้างอิง	โค (ตัว)	ประเทศ	วิธีการ*	สายพันธุ์โค	ME_m	k_L
Denisov (1960)	76	Russian	C, LR	–	0.644	0.70
Blaxter (1962)	–	UK	C, FM	–	0.481	0.62
Moe et al. (1971)	350	USA	C, LR	Holstein	0.510	0.65
Nevile (1974)	24	USA	FT, MR	Hereford	0.720	–
Van Es (1975)	1148	The Netherland	C, MR	Holstein	0.510	0.65
Pate and Mudgal (1977)	24	India	C, MR	Brow SwissxSahiwal	0.573	0.66
Hayasaka et al. (1995)	19	Japan	C, MR	Holstein	0.586	0.64
Yan et al. (1997)	221	UK	C, LR	Holstein-Friesian	0.669	0.65
Agnew and Yan (2000)	1500	UK	C, LR	Holstein-Friesian	0.619	0.66
Agnew et al. (2003)	139	UK	FT, LR	Holstein-Friesian	0.602	0.65
Kebreab et al. (2003)	652	UK	C, NL	Holstein-Friesian	0.615	0.55
Freetly et al. (2006)	–	USA	C, LR	Bos taurus	0.611	0.72
CSIRO (2007)	–	Australia	–	–	0.552	0.62
Calagare et al. (2007)	40	Brazil	CS	Nellore	0.590	–
INRA (2007)	–	French	–	–	0.619	0.60
Strathe et al. (2011)	701	UK	C, B	Holstein-Friesian	0.485	0.60
Xue et al. (2011)	16	USA	C, LR	Holstein and Jersey	0.690	0.58
Fonseca et al. (2012)	20	Brazil	CS	Nellore	0.536	–
Dong et al. (2015)	925	UK	C, LR	Holstein-Friesian	0.682	0.64
Moraes et al. (2015)	1038	USA	C, B	Holstein	0.740	0.70
Oliveira et al. (2015)	231	Brazil	LR	<i>Bos taurus</i>	0.754	0.66
Oliveira et al. (2015)	231	Brazil	LR	<i>B. taurus</i> x <i>B. indicus</i>	0.558	0.53
กฤตพล และคณะ (2563)	114	Thailand	C	87.5%Holstein	0.516	0.69

*B=Bayesian, C=calorimetry, FT=feeding trial, CS=comparative slaughter, FM=fasting metabolism, LR=linear regression of milk energy output adjusted to zero energy balance and ME intake, MR=multiple regression of ME intake with milk energy output, retained energy and body mobilized energy, NL=nonlinear model

ที่มา: ดัดแปลงจาก Oliveira (2015)

ตารางที่ 3.5 ค่าความต้องการพลังงานของโครีดนมไทย

น้ำหนักโครีดนม	ค่าพลังงาน				
Body weight (กิโลกรัม)	NEI (Mcal/d)	ME (Mcal/d)	DE (Mcal/d)	TDN (kg/d)	
ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพต่อวัน					
350	6.88	9.94	11.01	2.70	
400	7.60	10.99	12.15	2.98	
450	8.30	12.00	13.25	3.26	
500	8.99	12.99	14.32	3.53	
550	9.65	13.95	15.37	3.79	
600	10.30	14.89	16.39	4.04	
650	10.94	15.81	17.39	4.29	
700	11.57	16.72	18.38	4.54	
ค่าความต้องการพลังงานเพื่อผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม					
ไขมันนม,%	โปรตีนนม,%				
3.0	2.5	0.61	0.88	1.16	0.24
3.0	3.0	0.63	0.92	1.20	0.25
3.0	3.5	0.66	0.96	1.25	0.26
3.0	4.0	0.69	1.00	1.29	0.27
3.5	2.5	0.65	0.94	1.23	0.25
3.5	3.0	0.68	0.98	1.28	0.26
3.5	3.5	0.71	1.02	1.32	0.28
3.5	4.0	0.74	1.06	1.36	0.29
4.0	2.5	0.70	1.01	1.31	0.27
4.0	3.0	0.73	1.05	1.35	0.28
4.0	3.5	0.76	1.09	1.39	0.29
4.0	4.0	0.78	1.13	1.43	0.30
4.5	2.5	0.75	1.08	1.38	0.29
4.5	3.0	0.77	1.12	1.42	0.30
4.5	3.5	0.80	1.16	1.46	0.31
4.5	4.0	0.83	1.20	1.51	0.32

3.5 สรุป

จากการวิเคราะห์ห่อถั่วครั้งนี้ สรุปได้ว่า ค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 0.123 เมกะแคลอรี ต่อน้ำหนักเมแทบอลิกโคมิชีวิต ค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพ (NEm) เท่ากับ 0.085 เมกะแคลอรีต่อน้ำหนักเมแทบอลิกโคมิชีวิต มีค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ เท่ากับ 0.690 ค่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโครีดนมไทยมีค่าสูงกว่าคำแนะนำของ NRC (2001) ประมาณร้อยละ 10 ภายใต้การจัดการให้อาหารในฟาร์มโครีดนมของไทย ควรเพิ่มค่าความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อกิจกรรมการเดินร้อยละ 5 และความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคนมไทยร้อยละ 5 ถึง 15 ของความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อดำรงชีพ

3.6 เอกสารอ้างอิง

- กฤตพล สมมาตรย์. 2550. โภชนพลังงานศาสตร์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กฤตพล สมมาตรย์ อธิธิพล เผ่าไพศาล กนกวรรณ กองพิธิ ชัยวัฒน์ จรัสแสง และ อติศักดิ์ สังแก้ว. 2563. ความต้องการโภชนาการของโคนมในประเทศไทย: ความต้องการพลังงานของโครีดนม. รายงานวิจัย. กรุงเทพฯ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)
- วรรณ อ่างทอง วิทยา สุมาลย์ ไร่ไพโร นามสาลี แพรวพรรณ ชูช่วย และพิเชษฐ์ จันเป็ง. 2562. การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม. รายงานวิจัยสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- AFRC, 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Agnew, R.E. and T. Yan. 2000. The impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. Livest. Prod. Sci. 66, 197–215.
- Agnew, R.E., T. Yan, J.J. Murphy, C.P. Ferris and F.J. Gordon. 2003. Development of maintenance energy requirement and energetic efficiency for lactation from production data of dairy cows. Livest. Prod. Sci. 82: 151-162.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Slough, U.K.: Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Blaxter, K.L. 1962. The Energy Metabolism of Ruminants. Charles C. Thomas, Springfield, IL.
- Calagare, L., M.M. Alencar, I.U. Packer and D.P.D. Lanna. 2007. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British. J. Anim.Sci. 85: 2413–2422.
- CSIRO, 2007. Feeding Standards for Australian Livestock. Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.
- Dong, L.F., T. Yan, C.P. Ferris and D.A. McDowell, 2015. Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. J. Dairy Sci. 98: 1136-1144.
- Fonseca, M.A., L.S.C. Valadares Filho, L.T. Henriques, P.V.R. Paulino, E. Detmann, P.D.B. Benedeti, L.D. Silva and P.M. Amaral. 2012. Nutritional requirements of primiparous lactating Nellore cows. R. Bras. Zootec. 41: 1222-1230.
- Freetly, H.C., J.A. Nienaber and T.B. Brandl. 2006. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. J. Anim. Sci. 84: 2157-2162.
- Hayasaka, K., N. Takusari and N. Yamagishi, 1995. Energy metabolism in lactating Holstein cows. Anim. Sci. Technol. 66: 374-382.

- INRA, 2007. In: Jarrige, R. (Ed.), Alimentation des Bovins, Ovins, et Caprins. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France.
- Johnson, D.E., C. L. Ferrell, and T. G. Jenkins. 2003. The history of energetic efficiency research: Where have we been and where are we going?. *J. Dairy Sci.* 81: 27-38.
- Kebreab, E., J. France, R.E. Agnew, T. Yan, M.S. Dhanoa, J. Dijkstra, D.E. Beever and C.K. Reynolds. 2003. Alternatives to linear analysis of energy balance data from lactating cows. *J. Dairy Sci.* 86: 2904-2913.
- Lofgreen G.P and W.N. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J Anim Sci.* 27: 793-806.
- McDonald, P., R.A. Edwards and J.F.D Greenhalgh. 2002. *Animal Nutrition*. 6th Edition. Longman, London and New York.
- Moe, P.W., H.F. Tyrrell and W.P. Flatt. 1971. Energetics of body tissue mobilization. *J. Dairy Sci.* 54: 548-553.
- Moe, P.W. and H.F. Tyrrell. 1972. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *J. Dairy Sci.* 55: 480-483.
- Moe, P.W., W.P. Flatt and H.F. Tyrrell. 1972. The net energy value of feeds for lactation. *J. Dairy Sci.* 55: 945-958.
- Moraes, L.E., E. Kebreab, A.B. Strathe, J. Dijkstra, J. France, D.P. Casper and J.G. Fadel. 2015. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98: 4012-4029.
- Nevile Jr., W.E. 1974. Comparison of energy requirement of non-lactating and lactating Hereford cows and estimate of energy efficiency of milk production. *J. Anim. Sci.* 38: 681-686.
- NRC. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th revised ed., Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. 2001. Nutrient requirement of Beef Cattle. 7th edition. Natl. Res. Counc., Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Oliveira, A.S. 2015. Meta-analysis of feeding trials to estimate energy requirements of dairy cows under tropical condition. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 210: 94-103.
- Pate, B.R. and V.D. Mudgal. 1977. Utilization of dietary energy for maintenance, milk production and lipogenesis by lactating crossbred cows during their mid-stage of lactation. *Br. J. Nutr.* 37: 23-33.
- Pond, W.G., D.C. Church, K.R. Pond and P.A. Schoknecht. 2005. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 5th Edition. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- Strathe, A.B., J. Dijkstra, J. France, S. Lopez, S. Yan and E. Kebreab. 2011. A bayesian approach to analyze energy balance data from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 2520-2531.
- Van Es, A.J.H. 1975. Feed evaluation for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 2: 95-107.
- Xue, B., Y. Yan, C.F. Ferris and C.S. Mayne. 2011. Milk production and energy efficiency of Holstein and Jersey-Holstein crossbred dairy cows offered diets containing grass silage. *J. Dairy Sci.* 94: 1455-1464.
- Yan, T., F.J. Gordon, R.E. Agnew, M.G. Porter and D.C. Patterson. 1997. The metabolizable energy requirement for maintenance and the efficiency of utilization of metabolizable energy for lactation by dairy cows offered grass silage-based diets. *Livest. Prod. Sci.* 51: 141-150.

บทที่ 4 โปรตีนและกรดอะมิโน (Protein and amino acid)

4.1 บทนำ

โปรตีน หมายถึง สารชีวโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N) นอกจากนั้นจะมีสารอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ได้แก่ กำมะถัน (S) ฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) ไอโอดีน (I) และโคบอลต์ (Co) แต่มีอยู่ปริมาณค่อนข้างน้อย โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีโครงสร้างซับซ้อน ประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงต่อกันเป็นสายด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) (McDonald et al., 2002) ร่างกายของสัตว์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 12-16 พบในทุกส่วนของร่างกาย ยกเว้นปัสสาวะ และน้ำดี โปรตีนมีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากพลังงาน โปรตีนมีความสำคัญมากในโคระยะรุ่นหรือกำลังเจริญเติบโต ระยะตั้งท้อง และระยะให้นม โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ ฮอร์โมน น้ำเมือก ขน กีบ และเนื้อเยื่อ โปรตีนมีความสำคัญต่อการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอของร่างกาย โปรตีนเป็นสารอาหารที่ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติ มีความจำเป็นในโคนมทั้งการให้ผลผลิตและเพื่อการดำรงชีพ

อาหารโปรตีนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปนั้น สามารถจำแนกออกได้เป็นสองชนิดตามความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักคือ โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP) โปรตีนที่สามารถย่อยได้ในกระเพาะหมักประกอบด้วยไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้และโปรตีนแท้ โปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะแบคทีเรีย การย่อยสลายขั้นแรกจะเกิดภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์โดยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) พันธะเปปไทด์ ได้เป็นกรดอะมิโน และเปปไทด์สายสั้น ๆ ขั้นที่สอง เปปไทด์ และกรดอะมิโนถูกนำเข้าสู่เซลล์ และถูกย่อยสลายต่อได้กรดอะมิโน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ กรดไขมันที่ระเหยง่ายที่มีกิ่งก้าน (branch chain volatile fatty acid) และ มีเทน ซึ่งถือเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมัก ในปัจจุบันนี้หลักการทางด้านอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะคำนึงถึงโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein, MP) ซึ่งจะมาจากสามแหล่งด้วยกันคือโปรตีนของจุลินทรีย์ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก และโปรตีนที่หลุดออกจากทางเดินอาหาร (NRC, 2001) การย่อยสลายโปรตีนที่กระเพาะหมักมีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ในขณะเดียวกันโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักก็มีความสำคัญต่อตัวสัตว์โดยตรง โดยเฉพาะสัตว์ที่อยู่ในระยะที่กำลังให้ผลผลิตในระดับสูง ๆ

มีผลเชิงลบต่ออัตราการเจริญเติบโตของทั้งลูกโคและโคนมสาว ส่งผลต่อเนื่องทำให้การให้ผลผลิตน้ำนมในแม่โครีดนมไม่สอดคล้องกับศักยภาพในการให้น้ำนมของแม่โค ในช่วงของการตั้งท้องโดยเฉพาะระยะ 60 วันสุดท้ายของการตั้งท้อง หากแม่โคนมได้รับอาหารโปรตีนไม่เพียงพออาจส่งผลให้ลูกโคแรกคลอดแสดงอาการอ่อนเปลี้ย (weak calf syndrome) ไม่สามารถลุกยืนได้หรือลุกขึ้นยืนเองได้ช้า หากไม่ได้รับการดูแลอาจตายภายในระยะเวลาประมาณ 3 วันหลังคลอด (Quigley and Drewry, 1998; Anonymous, 2009) ลูกโคแรกคลอดหากไม่ได้รับนมแม่ (colostrum) อย่างเพียงพอภายใน 6-24 ชั่วโมงหลังคลอดจะส่งผลเสียทำให้ลูกโคมีภูมิคุ้มกันโรคต่ำ สัตว์มักป่วยติดเชื้อง่ายและมีอัตราการตายสูงเนื่องจากในนมแม่มีสารประกอบโปรตีนที่สร้างโดยระบบภูมิคุ้มกันของแม่โคเรียกว่า อิมมูโนโกลบูลินจี (immunoglobulin G, IgG) ซึ่งทำหน้าที่สำคัญในการปกป้องร่างกายของลูกโคจากเชื้อแบคทีเรียและไวรัส ส่งผลต่อสุขภาพและการมีชีวิตรอดของลูกโค (Osaka et al., 2014; Shivley et al., 2018) การได้รับโปรตีนไม่เพียงพอในลูกโคก่อนหย่านมอาจส่งผลเสียทำให้ลูกโคเกิดความเครียด การพัฒนาของกระเพาะหมักล่าช้า (Chapman et al., 2017) และมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง (Akayezu et al., 1994) โคนมสาวที่ได้รับโปรตีนไม่เพียงพอส่งผลเสียให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง (Pirlo et al., 1997; Lammer and Heinrichs, 2000) พัฒนาการของโครงสร้างร่างกายและพัฒนาการของเต้านมมีประสิทธิภาพลดลง (Lammer and Heinrichs, 2000) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าโคนมสาวหากได้รับอาหารโปรตีนในระดับต่ำแต่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของความต้องการจะไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต พัฒนาการของเต้านมและการให้น้ำนมในวงจรรอบ

ถัดไป (Pirlo et al., 1997; Lammer and Heinrichs, 2000) สำหรับแม่โคที่กินนมการได้รับอาหารโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการจะส่งผลเสียทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำนมและโปรตีนนมลดลง (Schingoethe, 1996; Ipharraguerre and Clark, 2005. Weekes et al., 2006) อย่างไรก็ตาม กรณีแม่โคนมที่ได้รับอาหารโปรตีนไม่เพียงพอ แต่ยังได้รับอาหารพลังงานเพียงพอประสิทธิภาพการสังเคราะห์และใช้ประโยชน์จากโปรตีนจากจุลินทรีย์จากกระเพาะหมักในร่างกายแม่โคจะเพิ่มสูงขึ้น เพื่อลดผลกระทบต่อการสร้างโปรตีนเนื่องจากโปรตีนจากจุลินทรีย์อุดมไปด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีน และไลซีน ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์โปรตีนนม (Weekes et al., 2006; Robinson, 2010)

เป็นผลเสียทำให้ต้องมีการขจัดโปรตีนส่วนเกินออกจากร่างกาย (NRC, 1989) โดยมีกระบวนการทำงานของเอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (alanine aminotransferase) ในกล้ามเนื้อจะช่วยขจัดหมู่อะมิโน (deamination) ออกจากโครงสร้างของกรดอะมิโนในรูปของแอมโมเนียซึ่งลำเลียงต่อโดยอาศัยวัฏจักรกลูโคส-อะลานีน (Glucose-alanine cycle) และมีกรดอะมิโนอะลานีน (alanine) เป็นตัวลำเลียง (carrier) เพื่อลำเลียงแอมโมเนียที่เกิดขึ้นไปยังตับ ตับจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นยูเรียโดยวัฏจักรยูเรีย (urea cycle) และขจัดออกจากร่างกายผ่านทางไตและปัสสาวะ (Lehninger et al., 1993) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทำงานของวัฏจักรยูเรียจำเป็นต้องอาศัยพลังงานสูงมาก หากโคนมได้รับอาหารโปรตีนมากเกินไปความต้องการต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะส่งผลเสียทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากพลังงานและสมดุลพลังงานของร่างกายลดลง (NRC, 1989; Lehninger et al., 1993) โดย Chapman et al. (2017) รายงานว่าลูกโคที่ได้รับนมเทียมที่มีโปรตีนสูงเกินร้อยละ 26 มีผลเสียทำให้ปริมาณการกินได้ของอาหารชั้นลูกโคและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากโปรตีนลดลง ส่วนแม่โคที่กินนมหากได้รับโปรตีนมากเกินไปความต้องการจะทำให้มีระดับความเข้มข้นของยูเรียในเลือดสูงส่งผลเสียให้มีอัตราการผสมติดลดลง (Canfield et al., 1990) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนจากอาหารเป็นโปรตีนในน้ำนมลดลง (Cressman et al., 1980)

4.2 อาหารโปรตีน และการประเมินคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนในโคนม

4.2.1 แหล่งของโปรตีน

วัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทโปรตีนถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารสัตว์ ซึ่งวัตถุดิบที่ถือเป็นแหล่งโปรตีนจะต้องมีระดับโปรตีนสูงกว่าประมาณร้อยละ 20 และบางชนิดอาจมีโปรตีนสูงถึงประมาณร้อยละ 40-60 ซึ่งมีระดับโปรตีนสูงกว่าความต้องการของสัตว์แหล่งโปรตีนสามารถจำแนกได้ดังนี้คือ

1. แหล่งโปรตีนจากพืช ส่วนใหญ่จะเป็นกากเมล็ดพืชน้ำมัน ตัวอย่าง เช่น กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดงา กากเมล็ดงุ่น กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดดอกคำฝอย กากเรปซิด กากปาล์ม กากเมล็ดยางพารา กากมะพร้าว หรือได้จากเมล็ดพืชตระกูลถั่ว เช่น เมล็ดถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วดำ ฯลฯ (พันทิพา, 2539) นอกจากนั้นยังสามารถนำไปพืชที่มีโปรตีนสูงตัวอย่างเช่น ใบมันสำปะหลัง ใบกระถิน มาเป็นแหล่งโปรตีนได้ (เมธา, 2533)

2. แหล่งโปรตีนที่ได้จากสัตว์ มักจะได้จากซากเนื้อเยื่อของสัตว์หรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเกี่ยวกับเนื้อนมไข่หรืออาจจะเป็นผลผลิตจากโรงงานโดยตรง ตัวอย่างของแหล่งโปรตีนจากสัตว์ เช่น ปลาป่น ขนไก่ป่น เลือดป่น เนื้อและกระดูกป่น หางนมผง หางเนย เป็นต้น

3. แหล่งโปรตีนเซลล์เดียว ได้แก่ ยีสต์ รา แบคทีเรีย และสาหร่ายเซลล์เดียว ซึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนจะมีความแปรปรวนมากในปัจจุบันได้รับความสนใจมากเนื่องจากแหล่งโปรตีนอย่างอื่นหาได้ยากและมีราคาแพงขึ้น

4. กรดอะมิโนสังเคราะห์ ได้มีการนำมาใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องในรูปกรดอะมิโนที่ป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักเป็นการช่วยให้สัตว์มีโอกาสได้รับกรดอะมิโนที่เป็นจำเป็นอย่างเพียงพอกับความต้องการ กรดอะมิโนที่นิยมนำมาป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักและนำมาใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ เมไทโอนีนและไลซีน การเสริมกรดอะมิโนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักจะช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม (Bach and Stern, 2000) และช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในโครุ่น (Oke et al., 1986)

5. แหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ได้แก่ ยูเรีย แอมโมเนีย เกลือแอมโมเนีย เอมีน (amines) เอไมด์(amides) เป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้สารประกอบเหล่านี้ได้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมัก โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะนำเอาไนโตรเจนไปใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ ที่นิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมากที่สุดคือยูเรีย (urea) ซึ่งยูเรียสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ 2 แนวทางคือนำไปผสมลงในอาหารข้นโดยตรง หรือใช้ยูเรีย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารหยาบคุณภาพต่ำ เช่น ฟางหมักยูเรีย เป็นต้น

4.2.2 การประเมินคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนในโคนม

การประเมินคุณค่าทางโภชนาของโปรตีนในอาหารโคนมจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ (proximate analysis) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารนั้นคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 (เนื่องจากโปรตีนมีธาตุไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นธาตุไนโตรเจน 1 หน่วยจะมีค่าเทียบเท่ากับโปรตีน 6.25 หน่วย) โปรตีนที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีนี้เรียกว่าโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ค่าโปรตีนที่ได้ประกอบด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และสารที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบันเนื่องจากทำได้ง่าย สะดวก และต้นทุนต่ำ

ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1988 หรือ พ.ศ. 2531 เป็นต้นมา NRC (1989) ได้ให้ความสำคัญและคำนึงถึงการสลายตัวที่แตกต่างกันของโปรตีนในกระเพาะหมัก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยโปรตีนจากแหล่งวัตถุดิบอาหารต่างชนิดกันจะถูกย่อยสลายได้แตกต่างกัน เป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณค่าของโปรตีนในอาหาร สูตรอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายและไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักในปริมาณที่พอเหมาะจะส่งผลดีต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ สามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและเป็นการเพิ่มการดูดซึมโปรตีนในลำไส้เล็กด้วย (Roe et al., 1990) ซึ่งวิธีการในการวัดค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีนในกระเพาะหมัก และค่าการย่อยได้ในลำไส้เล็กสามารถทำได้ ดังนี้

4.2.2.1 การวัดค่าการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

1) **เทคนิคถุงไนลอน (Nylon bag technique or *in sacco* technique)** เทคนิคถุงไนลอนเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพสูงในการประเมินหาโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก และเป็นที่นิยมแพร่หลายมากที่สุด เทคนิคถุงไนลอนสามารถใช้อธิบายถึงคุณลักษณะในการย่อยสลายของโปรตีน ในอาหารหยาบ (Ørskov and Shand, 1997) และโภชนาตัวอื่น (Olivera, 1998) นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในการศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมภายในกระเพาะหมักได้อีกด้วย (Ørskov and Shand, 1997) เทคนิคถุงไนลอนเป็นเทคนิคที่วัดหาการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยตรง โดยการนำตัวอย่างอาหารไปต้มในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เจาะกระเพาะ แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคถุงไนลอนมีจุดอ่อนคือใช้แรงงาน ต้นทุน และเวลามาก นอกจากนั้นยังต้องใช้สัตว์เจาะกระเพาะซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นข้อจำกัดในการใช้เทคนิคถุงไนลอน (Mathis et al., 2001)

2) **เทคนิคเอนไซม์ (Enzymatic technique)** โดยใช้ โปรตีโอไลติกเอนไซม์เพื่อประเมินหาโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Krishnamoorthy et al., 1983; Roe et al., 1990; Mathis et al., 2001; Cone et al., 2002) ในปัจจุบันนี้มีเอนไซม์หลายชนิดที่ใช้ในการประเมินการย่อยสลายโปรตีน เช่น ไฟคิน (ficin) (Poos-floyd et al., 1985) โบรมีเลน (bromelain) (Tomankova and Kopečný, 1995) เอนไซม์จากโปรตีโอไลติกแบคทีเรียที่อยู่ในกระเพาะหมัก (Mahadevan et al., 1987) *Bacillus subtilis* (Assoumani et al., 1992) และ *Streptomyces griseus* (Krishnamoorthy et al., 1983) ถึงแม้ว่าจะมีเอนไซม์หลายชนิดที่ใช้ได้แต่เอนไซม์จาก *Streptomyces griseus* ได้รับความนิยมสูงสุดในการทำเทคนิคเอนไซม์ (Cone et al., 2004)

4.2.2.2. การวัดการย่อยได้ของโปรตีนที่ลำไส้เล็ก

เป็นที่ทราบกันดีว่าโปรตีนที่ไหลลงสู่ลำไส้เล็กมาจากสามแหล่ง คือโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก โปรตีนของจุลินทรีย์ และโปรตีนที่หลุดออกจากทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นผลรวมของโปรตีนที่จะถูกย่อยและใช้ประโยชน์ได้ในร่างกายต่อไป วิธีการวัดการย่อยได้ในลำไส้เล็กสามารถหาได้สองวิธี คือการใช้เทคนิคถุงโมบาย (mobile bag technique) และการหาการย่อยได้ในหลอดทดลอง (*in vitro* technique) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

1) เทคนิคถุงโมบาย ถูกนำมาใช้ในการวัดการย่อยได้ของโปรตีนในลำไส้เล็ก Marichal et al. (2000) ใช้ศึกษาถึงการย่อยได้ของเลือดปนที่แปรรูปด้วยวิธีการที่ต่างกัน Mupungwa et al. (2002) ใช้วัดการย่อยได้ของโปรตีนในถั่ว 3 ชนิด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดต้องใช้สัตว์เจาะลำไส้เล็ก ใช้แรงงานและต้นทุนสูง

2) เทคนิคการย่อยได้แบบ three step *in vitro* วิธีการนี้มีสามขั้นตอน เป็นการจำลองการย่อยได้ในกระเพาะหมัก การย่อยได้ในกระเพาะจริงและการย่อยได้ในลำไส้เล็ก ซึ่งวิธีการนี้ได้รับความนิยมเป็นวิธีการที่ปรับปรุงโดย Calsamiglia and Stern (1995) เป็นการเลียนแบบการย่อยในสัตว์ เทคนิคนี้จะต้องเตรียมสภาวะต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับที่เกิดในสัตว์มากที่สุด สามารถทำได้ง่ายรวดเร็ว ราคาไม่แพงสามารถใช้ได้กับแหล่งโปรตีนทุกแหล่งและต้องมีความแม่นยำสูง

4.3 การย่อยสลายอาหารโปรตีนในกระเพาะหมัก (degradation of feed proteins in the rumen)

อาหารโปรตีนที่โคนมกินเข้าไปได้จะถูกย่อยสลายภายในกระเพาะหมักได้แตกต่างกัน ตามความสามารถในการถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก คือ โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP) นอกจากนี้แล้วเมื่อพิจารณารายละเอียดตามคุณสมบัติในการละลายได้ (solubility) และการถูกย่อยได้ (degradability) สามารถจำแนกโปรตีนที่สำคัญ 3 กลุ่ม คือ 1) โปรตีนที่ย่อยสลายได้เร็ว (quickly degradable protein, QDP) 2) โปรตีนที่ย่อยสลายได้ช้า (slowly degradable protein, SDP) และ 3) โปรตีนที่กินได้แล้วไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักแต่ถูกย่อยดูดซึมได้ที่ลำไส้ (digestible undegraded feed protein, DUP) ดังนี้ $CP\ Intake = RDP + RUP$ หรือ $CP\ Intake = (QDP + SDP) + DUP$ นั่นเอง ซึ่งโปรตีนทั้ง 3 กลุ่มที่สำคัญนี้ สามารถวัดประเมินได้ด้วยวิธีการมาตรฐานโดยใช้เทคนิคการใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) อ้างอิงตามวิธีการของ Mehrez and Orskow (1977)

$$dg = a + b \{ 1 - e^{(-ct)} \}$$

เมื่อ dg = ค่าอัตราการย่อยสลายของอาหารโปรตีน

a = ไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำ

b = ส่วนที่สามารถถูกย่อยสลายได้

c = อัตราการย่อยสลายของอาหารไนโตรเจน ต่อชั่วโมง

t = เวลา

จากการประเมินการย่อยสลายอาหารโปรตีนในกระเพาะหมักด้วยเทคนิคการใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) จะพบว่าปัจจัยของการคงอยู่ในกระเพาะหมัก (rumen retention time) ของอาหารโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับอาหารและระดับของการให้อาหารแก่สัตว์ และส่งผลต่อค่าอัตราการไหลผ่านออกของอาหารจากกระเพาะหมัก (rumen outflow rate) โดยค่าอัตราการไหลผ่านออกของอาหารจากกระเพาะหมักต่อชั่วโมง (r) จะมีความผันแปรอยู่ระหว่าง 0.02-0.08 ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของการให้อาหาร (level of feeding, L) โดยสามารถคำนวณได้จาก $r = -0.024 + 0.179 \{ 1 - e^{(-0.278L)} \}$ โดยที่ L เป็นระดับเท่าของการให้อาหารเทียบจากระดับดำรงชีพ (เช่น ให้อาหารในระดับ 1 เท่า, 1-2 เท่า, มากกว่า 2 เท่า จะมีค่าอัตราการไหลผ่าน $r = 0.02, 0.05$ และ 0.08 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ) ดังนั้นแล้ว อัตราการไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักจึงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของความสามารถในการย่อยสลายได้ (effective degradability, P) ของอาหารโปรตีน และค่าปริมาณโปรตีนทั้ง 3 กลุ่มที่สำคัญ ดังนี้

$$P = a + (b \times c) / (c + r)$$

โปรตีนที่ย่อยสลายได้เร็ว QDP = a

โปรตีนที่ย่อยสลายได้ช้า SDP = $\{ (b \times c) / (c + r) \}$

โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย DUP = $1 - QDP - SDP$

โดยทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่ย่อยสลายได้เร็วประมาณร้อยละ 80 จะถูกใช้ประโยชน์ได้โดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก ดังนั้นแล้วจะเห็นได้ว่า ผลรวมของปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนที่จะถูกใช้ประโยชน์ได้จริง โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสำหรับการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักคิดเทียบเท่าได้เป็น ค่าประสิทธิภาพของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (effective rumen degradable protein, ERDP) โดยคำนวณได้จาก $ERDP \text{ (g/kg DM)} = (0.8 \times QDP) + SDP$

4.4 การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์

4.4.1 การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (microbial protein synthesis in the rumen)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จำแนกได้เป็น 4 ปัจจัยหลัก ประกอบด้วย 1) พลังงานที่ใช้สำหรับจุลินทรีย์, 2) ไนโตรเจนที่ใช้สำหรับจุลินทรีย์, 3) ระดับของการให้อาหารเพื่อเลี้ยงสัตว์ และ 4) อัตราการไหลผ่านออก โดยปัจจัยทั้ง 4 จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial crude protein, MCP) ที่จะเกิดขึ้นภายในกระเพาะหมัก ดังนี้

ปัจจัยที่ 1) พลังงานที่ใช้สำหรับจุลินทรีย์ เป็นปัจจัยแรกที่มีอิทธิพลหลักต่อการจำกัดการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ ซึ่งจากรายงานของ AFRC (1993) ได้เสนอไว้ว่า ผลผลิตการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (Y) สามารถคิดเทียบกับพลังงานที่ใช้ได้ในรูปของ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ถูกหมักย่อยได้ (fermentable metabolizable energy, FME) ซึ่งค่าผลผลิตการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับของการให้อาหาร (L) โดยสามารถทำนายได้จาก $Y \text{ (g/MJ FME)} = 7.0 + 6.0 \{ 1 - e^{(-0.35 L)} \}$ โดยที่ L เป็นระดับเท่าของการให้อาหารเทียบจากระดับดำรงชีพ (เช่น ให้อาหารในระดับ 1 เท่า สำหรับโคทั่วไป, ให้ระดับ 2 เท่า สำหรับโคนมระยะเจริญเติบโตและให้นมไม่เกิน 20 กก., และให้ระดับ 3 เท่า สำหรับแม่โครีดนมและแม่โคที่ตั้งท้องระยะท้าย โดยเมื่อพิจารณาแล้วจะมีค่าผลผลิตจุลินทรีย์ Y = 9, 10 และ 11 gMCP/MJ FME หรือ 37.7, 41.8 และ 46 gMCP/Mcal FME ตามลำดับ)

ปัจจัยที่ 2) ไนโตรเจนที่ใช้สำหรับจุลินทรีย์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักต่อการจำกัดการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ ผลของการเพิ่มขึ้นของค่าประสิทธิภาพโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (ERDP) จะส่งผลต่อความต้องการปริมาณพลังงาน (FME) จากอาหารและถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยทั่วไปแล้วค่า ERDP จะเป็นส่วนที่สามารถถูกย่อยสลายได้จึงมีประสิทธิภาพเท่ากับ 1.0 ดังนั้นแล้วโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้คิดเป็น $MCP \text{ (g/d)} = ERDP \text{ (g/d)}$

ปัจจัยที่ 3) ระดับการให้อาหาร (level of feeding, L) การลดต่ำลงของระดับการให้อาหาร จะส่งผลกระทบทำให้ระยะเวลาที่อาหารคงค้าง (retention time) อยู่ในกระเพาะหมักนานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้อาหารนั้นถูกย่อยสลายได้มากขึ้น มีผลทำให้เกิดมีการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นด้วยจากอาหารที่คงค้างอยู่ในกระเพาะหมักที่เป็นเวลานานขึ้น

ปัจจัยที่ 4) อัตราการไหลผ่านออก จะมีความสัมพันธ์กับอาหารและระดับของการให้อาหารแก่สัตว์ ซึ่งโดยหลักการจะคำนวณจากระดับของการให้อาหาร (เช่น ให้อาหารในระดับ 1 เท่า, 1-2 เท่า, มากกว่า 2 เท่า จะมีค่าอัตราการไหลผ่าน $r = 0.02, 0.05$ และ 0.08 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ)

การทำนายการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (estimation of MCP supply) จากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ค่าประสิทธิภาพโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (ERDP) มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (MCP) ประกอบกับปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ ทำให้สามารถทำนายการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่จะเกิดขึ้นได้ดังนี้ $MCP \text{ (g/d)} = FME \text{ (MJ/d)} \times Y \text{ (gMCP/MJ FME)}$ นอกจากนี้แล้ว รายงานคำแนะนำที่ใช้

อ้างอิงสำหรับโคเนื้อ (NRC, 2000) และสำหรับโคนม (NRC, 2001) ได้เสนอไว้ว่า ปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักโดยเฉลี่ยประมาณ 130 กรัม จะสังเคราะห์ได้มาจาก 1 กิโลกรัม ของโภชนะที่ย่อยได้รวมทั้งหมด (total digestible nutrients, TDN) ของวัตถุดิบอาหารนั้น ($MCP = 13\% \text{ TDN}$) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็นการทำนายการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์คือ $MCP \text{ (g/d)} = 130 \text{ gMCP} / \text{kgTDN}$

4.4.2 การประสานเวลาและอัตราการย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

เป้าหมายของการให้อาหารโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก คือ ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้สูงสุด และมีการจับยึดเอาไนโตรเจนจากการย่อยสลายโปรตีนไปใช้สังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์มากที่สุด ซึ่งการเพิ่มการจับยึดเอาไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ไม่ได้เป็นการเพิ่มการไหลของกรดอะมิโนลงสู่ลำไส้เล็กเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เป็นการลดการสูญเสียไนโตรเจนด้วย (Bach et al., 2005) โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียจะจับยึดเอาแอมโมเนียจากการดีเอมีเนชัน (deamination) ของกรดอะมิโน และการไฮโดรไลซิสของแหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (NRC, 2001)

การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นหากคำนึงถึงเฉพาะปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเท่านั้น ก็ไม่ได้บ่งชี้ถึงคุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (Nocek and Russell, 1988) โดยจะเห็นได้จากการที่มีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ย่อยสลายได้เป็นจำนวนมากไม่ได้หมายถึงประสิทธิภาพการผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์จะดีขึ้นไปด้วย เพราะการที่อาหารโปรตีนย่อยสลายและปลดปล่อยแอมโมเนียออกมามากเกินไปจนแบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน (NRC, 2001) เมื่อจุลินทรีย์ไม่สามารถจับยึดเอาไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ได้จึงทำให้ประสิทธิภาพการผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์ต่ำ โดยปกติแล้วประสิทธิภาพการผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์ (efficiency of microbial protein synthesis, EMPS) จะวัดในหน่วยกรัมของไนโตรเจนของจุลินทรีย์ต่อหน่วยของพลังงานที่ใช้ในกระเพาะหมักซึ่งมักแสดงในรูปของอินทรีย์วัตถุหรือคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้จริงในกระเพาะหมัก (microbial N, g/kg of organic matter truly degraded in rumen, microbial N g/kgOMTDR) ค่าประสิทธิภาพการผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายคนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 14-60 g N/kgOMTDR เหตุที่มีช่วงห่างมากเนื่องมาจากความผันแปรของชนิดของอาหาร สภาพแวดล้อมในกระเพาะหมัก ตลอดจนวิธีการวัด

กลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์มีหลายวิธีการด้วยกัน เช่น การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของอาหารโปรตีนให้เหมาะสม (manipulating dietary protein component) (Aldrich et al., 1993; Herrera-Saldana et al., 1990; Nocek and Russell, 1988) การประสานเวลาอัตราการย่อยสลายอาหารพลังงานและการปลดปล่อยไนโตรเจน (synchronizing the rate of degradation of dietary energy and nitrogen release) (Sinclair et al., 1993) มีงานทดลองหลายงานทดลองที่ทำการประสานเวลาการย่อยสลายระหว่างแหล่งโปรตีนและอินทรีย์วัตถุ โดยใช้คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ร่วมกับโปรตีนที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์สูงขึ้น (NRC, 2001) การประสานเวลาอัตราการย่อยสลายอาหารพลังงานและการปลดปล่อยไนโตรเจนเป็นวิธีการที่นำเสนอโดย Sinclair et al. (1993) เป็นการคำนวณให้สัดส่วนของการปลดปล่อยไนโตรเจนต่อการย่อยสลายอาหารพลังงานอยู่ในสัดส่วนที่พอเหมาะต่อวัน คือ 25 g N/kgOMTDR วิธีการนี้ได้รับการพิสูจน์โดยการศึกษาในแกะ (Sinclair et al., 1993, 1995; Trevaskis et al., 2001) ในโคนม (Kim et al., 1999) และในโคเนื้อพันธุ์ลูกผสมบราห์มันพื้นเมือง (Chumpawadee et al., 2006) พบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีดัชนีการประสานเวลา (synchrony index) สูงประสิทธิภาพการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์จะสูงขึ้นด้วย

4.5 โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein)

โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ หมายถึง ผลรวมของโปรตีนที่ถูกย่อยและสามารถถูกใช้ประโยชน์ได้โดยตัวสัตว์ สำหรับเมแทบอลิซึมในร่างกายในการใช้เพื่อการดำรงชีพ และการสร้างผลผลิต ได้แก่ การสร้างผลผลิตน้ำนม การเจริญเติบโต การตั้งท้อง และอื่น ๆ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการวัดประเมินหาความต้องการโปรตีนและการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 2001) ซึ่งเป็นที่มาของการนำเสนอใช้ระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (MP system) ในคู่มือคำแนะนำฉบับนี้สำหรับการประเมินหาความต้องการโปรตีนของโคนมไทย ซึ่งโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ โปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยได้ (digestible microbial true protein, DMTP) และ โปรตีนแท้จากอาหารที่กินได้แล้วไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก แต่ถูกย่อยและดูดซึมได้ที่ลำไส้ (digestible undegraded feed protein, DUP)

1) โปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยได้ หมายถึง โปรตีนแท้ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะหมัก ซึ่งเป็นการสังเคราะห์โปรตีนจากแหล่งพลังงานที่หมักย่อยได้ (FME) ของอาหารร่วมกับกรดอมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนที่ได้จากการแตกตัวของแหล่งอาหารโปรตีนในกระเพาะหมัก ซึ่งโปรตีนจากจุลินทรีย์ (microbial crude protein, MCP) สามารถประเมินได้จากค่าประมาณการย่อยได้ 95% ของโปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) ดังนี้ $MCP (g/d) = 0.95 \times RDP$

โดยทั่วไปแล้วโปรตีนจากจุลินทรีย์ (MCP) จะมีองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกอยู่ประมาณ 25% (ซึ่งส่วนนี้จะไม่ได้ถูกใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อของร่างกายและโปรตีนในน้ำนมของโคนมโดยจะถูกขับออกทางปัสสาวะ) ดังนั้นแล้วจะมีเพียง 75% ของโปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักซึ่งจะถูกย่อยได้จริงที่บริเวณลำไส้ (microbial true protein, MTP) และมีค่าการย่อยได้ 85% ดังนั้นจึงสามารถคำนวณ โปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยได้ DMTP (g/d) $= 0.75 \times 0.85 \times MCP = 0.6375 MCP (g/d)$ หรือ $DMTP (g/d) = 0.6375 \times (0.95 \times RDP (g/d))$

2) โปรตีนแท้จากอาหารที่กินได้แล้วไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก แต่ถูกย่อยและดูดซึมได้ที่ลำไส้ (DUP) จะเห็นได้ว่าโปรตีนนี้ จัดเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอาหารโปรตีนที่กินได้แต่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) จากอ้างอิงรายงานของ ARC (1980) ได้ให้คำนิยามของโปรตีน RUP คือ ปริมาณโปรตีนหายไปที่หักลบออกจากโปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ $RUP (g/d) = CP - RDP$ หรือ $RUP (g/d) = CP - [QDP + SDP]$ นอกจากนั้นแล้ว จากรายงานของ AFRC (1993) ได้แนะนำค่าคงที่ 0.85 สำหรับค่าความสามารถในการย่อยได้บริเวณลำไส้ที่อาหาร RUP จะถูกย่อยและใช้ได้เป็น DUP ต่อไป ดังนี้ $RUP (g/d) = DUP / 0.85$ หรือ $DUP (g/d) = 0.85 \times RUP (g/d)$

แต่อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของปริมาณโปรตีน DUP ในวัตถุดิบอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะมีความผันแปรมาก ซึ่งสามารถทำนายได้จากการใช้ค่า RUP ในวัตถุดิบอาหารนั้นคำนวณร่วมกับค่าปริมาณไนโตรเจนที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent insoluble nitrogen, ADIN) ในวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น (Goering and Van Soest, 1970 และ Webster et al., 1984 อ้างอิงโดย AFRC, 1993) ได้ดังนี้ $DUP (g/kgDM) = 0.9 \times \{ RUP - [6.25 \times ADIN] \}$ ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในเขตร้อนจะมีค่า ADIN ในระดับสูง ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของอาหารต่ำกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อยู่ในเขตอบอุ่น

โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable Protein, MP หรือ MP supply) จึงสามารถทำนายได้จาก ค่าโปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยได้ (DMTP) รวมกับค่าโปรตีนแท้จากอาหารที่กินได้แล้วไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก แต่ถูกย่อยและดูดซึมได้ที่ลำไส้ (DUP) โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

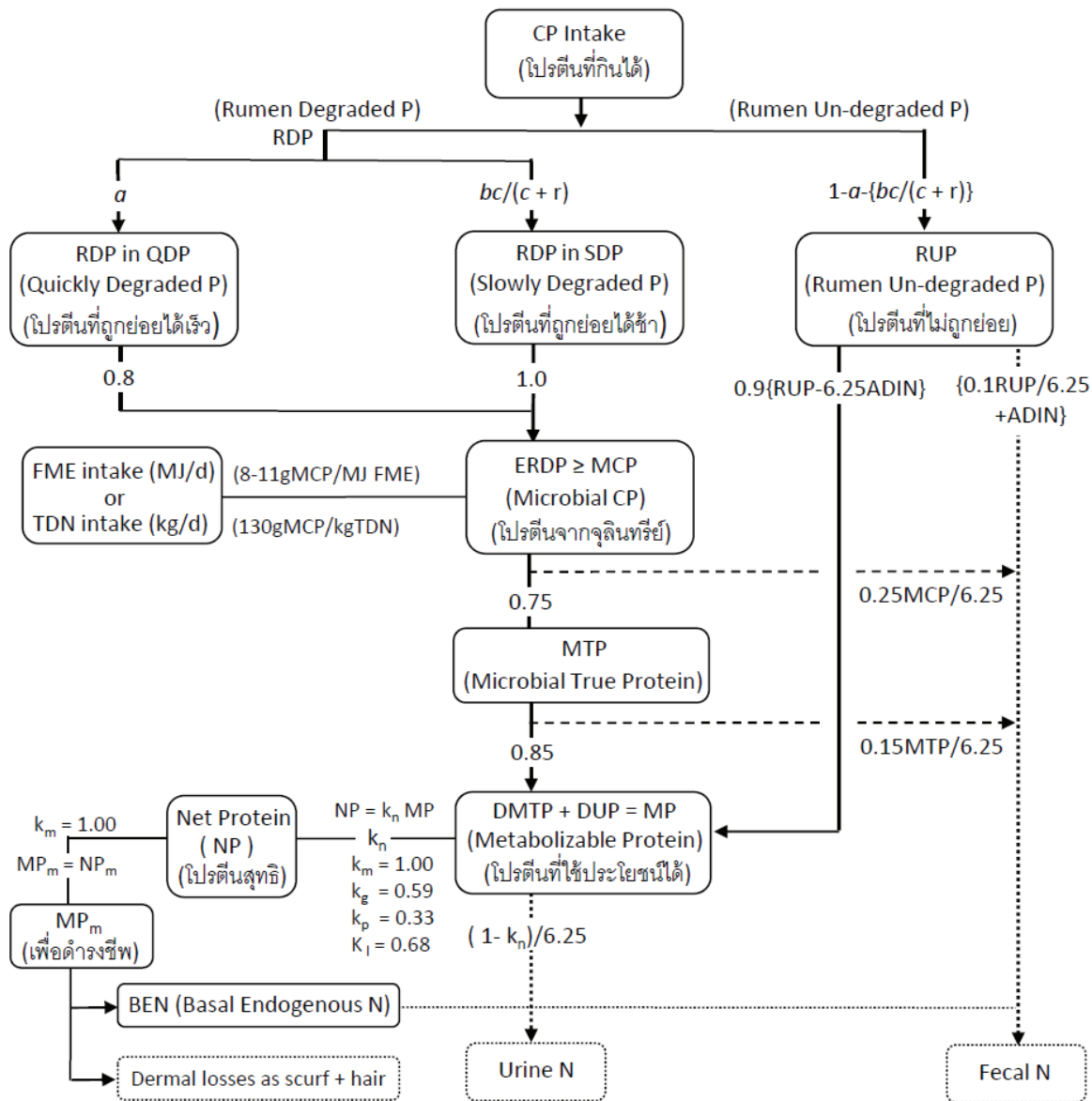
$$MP (g/d) = 0.6375 MCP + DUP \text{ หรือ}$$

$$MP (g/d) = [0.6375 \times (0.95 \times RDP (g/d))] + [0.85 \times RUP (g/d)]$$

กฤตพล และคณะ (2563) ได้รวบรวมผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าในโคนมไทย จำนวน 26 งานวิจัย (มีจำนวนข้อมูลจากค่าเฉลี่ยหรือค่าเฉลี่ย $n = 106$ ข้อมูล) แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์ (meta-analysis) เพื่อประเมินหาค่าปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable Protein, MP หรือ MP supply) ด้วยสมการที่ใช้ทำนายข้างต้นนี้ จากการประเมินด้วยค่าปริมาณโปรตีนที่กินได้ของโปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) ร่วมกับค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ทดลองของแต่ละงานวิจัย

ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนรวมในทางอุดมคติ (ideal amino acid mixture) จะมีค่าเท่ากับ 1.0 สำหรับใช้ในการดำรงชีพ ($k_m = 1.0$) และมีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนในวัตถุดิบต่าง ๆ ($k_n = 0.85$) โดยมีค่าคงที่ของการดูดซึมกรดอะมิโน (relative value, RV) ผันแปรตามสัดส่วนองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนของเนื้อเยื่อสำหรับ เพื่อการเจริญเติบโต, เพื่อการตั้งท้อง และเพื่อการผลิตน้ำนม มีค่า RV = 0.7, 1.0 และ 0.8 ตามลำดับ ดังนั้นแล้วเมื่อทำการพิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโน (k) ร่วมกับค่าคงที่ของการดูดซึมกรดอะมิโน (RV) สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนของเนื้อเยื่อ ทำให้เราสามารถประเมินทราบค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (efficiency of MP utilization, k) อ้างอิงโดย ARC (1980) และ AFRC (1993) ซึ่งมีค่าสำหรับ เพื่อการดำรงชีพ ($k_m = 1.0$) เพื่อการเจริญเติบโต ($k_g = 0.59$) เพื่อการผลิตน้ำนม ($k_L = 0.68$) เพื่อการตั้งท้อง (มีค่า $k_p = 0.85$ และมีค่า $k_p = 0.33$ อ้างอิงโดย NRC, 2001) ตามลำดับ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นทั้งหมด จึงสามารถแสดงเป็นแผนภาพสรุปรวมเกี่ยวกับระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein system) โดยเริ่มต้นตั้งแต่โปรตีนที่กินได้ (CP intake) การจำแนกกลุ่มของอาหารโปรตีนตามการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ 3 กลุ่มหลัก และการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก รวมไปถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อให้ได้โปรตีนสุทธิสำหรับการใช้ประโยชน์ในวัตถุดิบต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ และโปรตีนในรูปแบบของไนโตรเจนที่ต้องการเป็นขั้นพื้นฐานในร่างกายสัตว์ ดังแสดงรายละเอียดของระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ใน ภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนภาพเส้นทางสรุปของระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein system)

ที่มา: ดัดแปลงจาก AFRC (1993)

4.6 ความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ของโคนมไทย

การประเมินค่าความต้องการโปรตีนสำหรับโคนมและโคเนื้อในระบบมาตรฐานสากล ที่มีการรายงานและถูกใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกปัจจุบันนี้ (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 2000, 2001; Kears, 1982) มีการพัฒนาระบบของโปรตีนที่ใช้ในการประเมินให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น เพื่อการเลี้ยงและผลิตโคนมให้ได้อย่างปลอดภัยมีความเหมาะสมเพียงพอตอบสนองต่อการเลี้ยง สามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้จริงในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการผลิตในภาคอุตสาหกรรมโคนมได้ดียิ่งขึ้น โดยในช่วงระยะแรกของความรู้การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เริ่มต้นมาเมื่อ 113 ปีที่แล้ว ตั้งแต่ พ.ศ. 2451 เป็นต้นมา ได้มีการรายงานและเผยแพร่พัฒนาปรับปรุงระบบโปรตีนมาอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงแรกได้มีการนำเสนอใช้ระบบโปรตีนในรูปของ โปรตีนหยาบ และได้มีการนำเสนอหลักการประเมินค่าความต้องการโปรตีนตามวิธีการมาตรฐาน Factorial Method โดยอ้างอิงจาก Mitchell (1929) ซึ่งต่อมาได้เริ่มมีการรายงานค่าความต้องการโปรตีนของสัตว์ในระบบของโปรตีนที่ย่อยได้

ซึ่งถูกใช้ในคู่มือคำแนะนำเล่มแรกของ ARC (1965) และ NRC (1956) จากหลักการประเมินหาความต้องการโปรตีนด้วยวิธีการแฟกทอเรียล (factorial method) ต่อมาได้ถูกพัฒนาอธิบายรายละเอียดของปัจจัย (Factors) ที่ใช้สำหรับการประเมินคำนวณหาความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพตามวิธีการที่อ้างอิงโดย Swanson (1977) และได้ถูกนำไปเป็นพื้นฐานอ้างอิงในหลักการประเมินหาความต้องการโปรตีนสุทธิ (net protein, NP system) ค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein, MP system) ซึ่งเป็นที่มาของการนำเสนอใช้ระบบโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (MP system) ในคู่มือคำแนะนำฉบับนี้ โดยได้อ้างอิงหลักการประเมินและการประยุกต์ใช้สมการในการคำนวณทำนายค่าที่สำคัญต่าง ๆ เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำและใกล้เคียงกับความต้องการโปรตีนของโคนมไทยโดยหลักวิธีการประเมินคำนวณและสมการทำนายค่าที่สำคัญจะได้นำเสนอในรายละเอียดต่อไป

4.6.1 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (Protein requirements for maintenance)

หลักการประเมินหาความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (maintenance net protein requirements, NP_m) คือ ผลรวมของไนโตรเจนพื้นฐานในร่างกาย (basal endogenous nitrogen, BEN or NP_b) กับไนโตรเจนส่วนที่ร่างกายต้องสูญเสียไปในรูปของผิวหนังและขนที่หลุดร่วง (dermal losses as scurf and hair, NP_d) ดังนั้น $NP_m(g/d) = NP_b + NP_d$ โดยที่ค่า $k_m = 1.0$ แสดงว่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้มีประสิทธิภาพสามารถถูกเปลี่ยนนำไปใช้เป็นโปรตีนสุทธิได้ทั้งหมด ($MP_m = NP_m$) จึงทำให้สามารถคำนวณหาความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ (metabolizable protein requirements for maintenance, MP_m) ได้ดังสมการ $MP_m = NP_b + NP_d$ เมื่อ MP_m คือ โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพ, กรัม/วัน; NP_b คือ โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อพื้นฐานภายในร่างกายสัตว์, กรัม/วัน; และ NP_d คือ โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อสำหรับการสูญเสียของร่างกายจากผิวหนังและขนที่หลุดร่วง, กรัม/วัน

1) ความต้องการไนโตรเจนพื้นฐานในร่างกาย (basal endogenous nitrogen, BEN) หรือ ไนโตรเจนของเนื้อเยื่อในร่างกาย (Tissue endogenous nitrogen, TEN) จากคำแนะนำของ ARC (1984) มีค่า $BEN(g/d) = 0.35BW^{0.75}$ เมื่อเทียบเป็นปริมาณโปรตีนด้วยการคูณกับค่าคงที่แฟกเตอร์ 6.25 และคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ ($k_{nb} = 1.0$) จึงได้ค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อพื้นฐานภายในร่างกายสัตว์ (metabolizable protein requirements for tissue endogenous nitrogen, MP_b) คำนวณได้จาก $MP_b(g/d) = 6.25 \times 0.35BW^{0.75} / 1.00 = 2.1875BW^{0.75}$

2) ความต้องการไนโตรเจนส่วนที่ร่างกายต้องสูญเสียไปในรูปของผิวหนังและขนที่หลุดร่วง (dermal losses as scurf and hair) เมื่อเทียบเป็นปริมาณโปรตีนและคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ ($k_{nb} = 1.0$) จึงได้ค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อสำหรับการสูญเสียของร่างกายจากผิวหนังและขนที่หลุดร่วง (metabolizable protein requirements for dermal losses as scurf and hair) คำนวณได้จาก $MP_d(g/d) = 6.25 \times 0.018W^{0.75} / 1.00 = 0.1125BW^{0.75}$

จากหลักวิธีการประเมินและคำนวณหาความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น จากรายงานของ AFRC (1993) ได้เสนอว่า การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของ ปัสสาวะ, มูล รวมถึงผิวหนังและขนที่หลุดร่วงมีค่า $MP_m(g/d) = (MP_b + MP_d) = 2.30g/BW^{0.75}$ แต่ด้วยความแตกต่างระหว่างสภาพภูมิอากาศและวัตถุดิบอาหารที่ใช้เลี้ยงโคจึงเป็นเหตุผลให้ ICAR (2013) ได้ให้คำแนะนำการให้อาหารสำหรับโคในเขตร้อนประเทศอินเดีย ปรับค่าความต้องการให้เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5 เพื่อให้ปลอดภัยและเหมาะสมเพียงพอ (Safety margin) และได้แนะนำให้ปรับค่าความต้องการให้เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10 เพื่อให้มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบในเขตร้อน เนื่องจากมีระดับของผนังเซลล์ หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยในระดับสูง ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (DMI) และปริมาณเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนที่สูญเสียในรูปของมูล (Metabolic fecal nitrogen, MFN) ซึ่ง ICAR (2013) ได้แนะนำค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคในประเทศอินเดียมีค่า $MP_m(g/d) = 2.65BW^{0.75}$

สำหรับฐานข้อมูลการวิจัยโคนมของประเทศไทยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประเมินหาความต้องการโปรตีนของโคนมไทยมีอยู่อย่างจำกัดมาก จากรายงานของ วิทยา และคณะ (2562) ที่ทำการศึกษาวัดไนโตรเจนเมแทบอลิซึมในโคพักรีดที่เลี้ยงในสภาพเขตร้อนชื้นของประเทศไทย จำนวน 116 ข้อมูล พบว่า ปริมาณเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนและโปรตีนจากร่างกายโคนมมีการสูญเสียในรูป

ของมูล (Metabolic fecal nitrogen, MFN) คิดเทียบจากปริมาณไนโตรเจนที่กินได้ (Nitrogen intake, NI) สามารถคำนวณได้จาก $\text{Fecal Nitrogen loss} = 0.1988 \text{ NI} + 0.1709$ ($r^2 = 0.5216$, $n = 116$) หรือคิดเป็น $\text{MFN} = 0.1709 \text{ gN/BW}^{0.75}$ หรือเท่ากับ $1.068 \text{ gCP/BW}^{0.75}$ ตามลำดับ และพบว่า ปริมาณเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนและโปรตีนจากร่างกายโคนมมีการสูญเสียในรูปของปัสสาวะ (Endogenous urinary nitrogen, EUN) คำนวณได้จาก $\text{Urinary Nitrogen loss} = 0.3715 \text{ NI}^2 - 0.1023 \text{ NI} + 0.2037$ ($r^2 = 0.662$, $n = 116$) หรือคิดเป็น $\text{EUN} = 0.2037 \text{ gN/BW}^{0.75}$ หรือเท่ากับ $1.273 \text{ gCP/BW}^{0.75}$ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำค่าทั้งสองที่ได้มารวมกันจะคำนวณได้ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อให้เป็นแหล่งของไนโตรเจนหรือโปรตีนขั้นพื้นฐานภายในร่างกาย (BEN หรือ TEN) สำหรับโคนมไทย มีค่า MP_b เท่ากับ $1.068 + 1.273 = 2.341 \text{ gCP/BW}^{0.75}$

ดังนั้นแล้วจากข้อมูลค่า BEN ของงานวิจัยโคนมไทยข้างต้นที่ได้ ($\text{MP}_b = 2.341 \text{ gCP/BW}^{0.75}$) เมื่อนำมารวมกับค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการสร้างเนื้อเยื่อของผิวหนังและขนที่หลุดร่วงที่แนะนำโดย AFRC (1993) คือ $\text{MP}_d = 0.1125 \text{ BW}^{0.75}$ จึงสามารถประเมินค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคนมไทย $\text{MP}_m(\text{g/d}) = (\text{MP}_b + \text{MP}_d) = 2.453 \text{ gCP/BW}^{0.75}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่า 6.6% เมื่อเปรียบเทียบกับที่รายงานโดย AFRC (1993) = $2.30 \text{ gCP/kgW}^{0.75}$ หนังสือฉบับนี้ได้ใช้เป็นค่าพื้นฐานในการสร้างตารางคำแนะนำสำหรับโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทย โดยมีสมการสำหรับประเมินค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพของโคนมไทย (สมการที่ 4.1) ดังนี้

$$\text{MP}_m = 2.453 \text{ BW}^{0.75}$$

สมการที่ 4.1

เมื่อ MP_m คือ โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพในหน่วยกรัมต่อวัน

BW คือ น้ำหนักโคในหน่วยกิโลกรัม

4.6.2 ความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม (protein requirements for lactation)

เนื่องด้วยการสังเคราะห์ผลผลิตปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบไขมันในน้ำนม มีความแตกต่างกันในแต่ละระยะของจำนวนวันที่ให้นมมาแล้ว ดังนั้นเพื่อให้ง่ายสะดวกและมีมาตรฐานสามารถเทียบเคียงปริมาณผลผลิตน้ำนมของโคตลอดระยะการให้นมได้ จึงได้มีการเสนอค่าปริมาณผลผลิตน้ำนมที่ได้ปรับกับค่าองค์ประกอบไขมันในน้ำนมที่ระดับร้อยละ 3.5 หรือ 4.0 ดังนี้

ปริมาณนมปรับ 3.5% Fat corrected milk (3.5%FCM) คำนวณจาก $3.5\% \text{ FCM} = [0.35 \times \text{MY} (\text{kg})] + [18.57 \times \text{FY} (\text{kg})]$

ปริมาณนมปรับ 4.0% Fat corrected milk (4.0%FCM) คำนวณจาก $4.0\% \text{ FCM} = [0.4 \times \text{MY} (\text{kg})] + [15 \times \text{FY} (\text{kg})]$

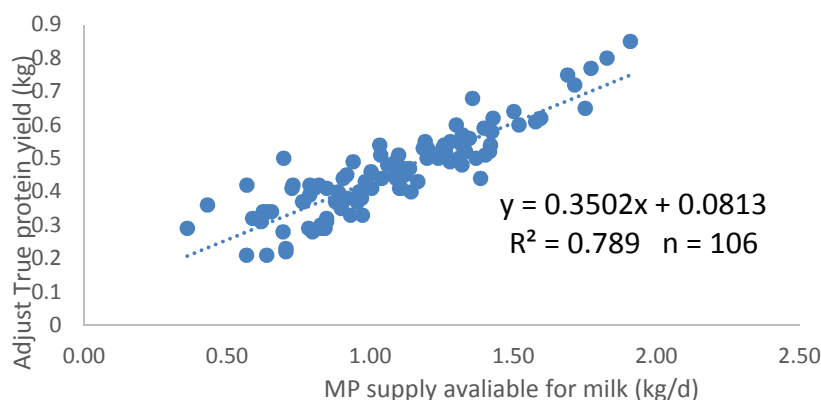
โดยที่ MY คือปริมาณผลผลิตน้ำนมมีหน่วยเป็นกิโลกรัม และ FY คือปริมาณผลผลิตไขมันในน้ำนมมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ($\text{FY} = \text{ปริมาณผลผลิตน้ำนม} \times [\text{ค่า \% ไขมันในน้ำนม} / 100]$)

ในรายงานฉบับนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากบทความวิจัยและผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาศรีษัทธิภาพอาหารของโคนมไทย จำนวน 26 เรื่อง (มีจำนวนชุดข้อมูลจากค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ $n = 106$ ชุดข้อมูล) แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการศึกษาวเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) อ้างอิงวิธีการตาม (Moraes *et al.*, 2018) เพื่อประเมินหาค่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable Protein, MP หรือ MP supply) และนำค่าที่ได้หักลบด้วยค่า MP_m ส่วนที่เหลือจะเป็นค่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการผลิตน้ำนม ($\text{MP supply available for milk}$ หรือ MP_l) ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนแท้ในน้ำนม (true protein yield in milk; TPY) จะทำให้สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและกรดอะมิโนที่ดูดซึมได้ สำหรับข้อมูลของโคนมไทยที่ทำการวิเคราะห์ได้ครั้งนี้พบว่า มีค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้โปรตีนเพื่อสังเคราะห์เป็นโปรตีนแท้ในน้ำนม [k_L , efficiency (TPY / MP for milk)] มีค่าประสิทธิภาพ $k_L = 0.426$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าประมาณร้อยละ 25.4 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้รายงานไว้โดย NRC (2001) และ AFRC (1993) ดังข้อมูลสรุปแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 โดยมีสมการสำหรับประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม (MP requirements for lactation หรือ MP supply available for milk; MP_l) ของโคนมไทย ดังนี้

$$MP_i(\text{g/d}) = [\text{TPY} - 0.0813] / 0.3502 \dots \dots \dots \text{สมการที่ 4.2}$$

เมื่อ MP_i = ค่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนม

TPY = ปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนแท้ในน้ำนม



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการผลิตน้ำนม (MP supply available for milk) กับ ปริมาณผลผลิตโปรตีนแท้ในน้ำนม (true protein yield in milk)

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลงานวิจัยของโคนมไทยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ห่อถัก (meta-analysis)

Database	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	SD
No. data	----- n = 106 -----			
Body weight (kg)	432.05	337.00	520.00	41.44
Diet CP (% of DM)	14.67	9.5	18.30	2.02
Intake				
DM intake (kg/d)	13.59	8.51	19.10	2.30
CP intake (kg/d)	1.99	0.90	3.21	0.48
Metabolizable Protein				
MP supply (kg/d)	1.37	0.623	2.242	0.33
MP supply for milk (kg/d)	1.08	0.360	1.910	0.32
Milk Production				
Milk yield (kg/d)	15.49	7.3	29.0	4.24
Milk protein (%)	3.11	2.39	3.92	0.28
Milk protein yield (kg/d)	0.459	0.210	0.85	0.13
Efficiency				
Efficiency (TPY / MP for milk)	0.426	0.312	0.836	0.088
Efficiency (TPY / MP supply)	0.336	0.227	0.519	0.052
Efficiency (TPY / CP intake)	0.230	0.157	0.360	0.036

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), TPY = ปริมาณผลผลิตโปรตีนแท้ในน้ำนม (true protein yield in milk)

ที่มา : กฤตพล และคณะ (2563)

จากหลักการความต้องการโปรตีนสุทธิเพื่อการสังเคราะห์โปรตีนแท่น้ำนม (requirements for milk protein synthesis, NP_L) ซึ่งค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและกรดอะมิโนที่ดูดซึมได้ สำหรับโคนมไทยมีค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้โปรตีนเพื่อสังเคราะห์เป็นโปรตีนแท่น้ำนม (efficiency (TPY / MP for milk) มีค่าประสิทธิภาพ $k_L = 0.426$ โดยมีสมการประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตน้ำนม (metabolizable protein requirements for lactation, MP_L) ได้ดังนี้

$$MP_L(\text{g/d/kg milk}) = [\text{True protein yield in milk (kg)} \times 1000] / 0.426$$

$$= 2.347 \times [\text{True protein yield in milk (kg)} \times 1000]$$

$$\text{เมื่อ True protein yield in milk (TPY) = ปริมาณผลผลิตโปรตีนแท่น้ำนม (kg)}$$

$$TPY = \text{ปริมาณผลผลิตน้ำนม (kg)} \times [\text{ค่า \% โปรตีนในน้ำนม} / 100]$$

4.6.3 ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (protein requirements for growth)

ด้วยหลักการโปรตีนสุทธิที่ได้จากการเพิ่มน้ำหนักตัว (net protein in the weight gains, NP_g) ในรายงานของ ARC (1980) ได้เสนอสมการแบบเส้นโค้งกำลังสอง (quadratic equation) ทำนายค่าโปรตีนสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัวโค (NP_g) สำหรับโคเพศผู้ตอนพันธุ์ขนาดกลาง คือ $NP_g = \Delta W [168.07 - 0.16869 W + 0.0001633 W^2] \times [1.12 - 0.1223 \Delta W]$ โดยที่ ΔW คือน้ำหนักตัวที่เพิ่ม (kg/d) และ ค่า W คือน้ำหนักตัวโค (kg) แต่อย่างไรก็ตาม ARC (1980) ได้แนะนำให้ทำการปรับค่าแพกเตอร์ให้เหมาะสมตามกลุ่มของขนาดร่างกายและเพศของโค ดังนั้นแล้วเมื่อนำค่าโปรตีนสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัวโค มาพิจารณาร่วมกับค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โปรตีนสำหรับการสังเคราะห์เนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโต $k_g = 0.59$ โดยมีสมการประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการเจริญเติบโต (metabolizable protein requirements for growth, MP_g) ได้ดังนี้

$$MP_g(\text{g/d}) = C [168.07 - 0.16869 W + 0.0001633 W^2]$$

$$\times [1.12 - 0.1223 \Delta W] \times 1.695 \Delta W$$

โดยทั้งนี้ ARC (1980) ได้เสนอแนะเพิ่มเติมในกรณีค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (เพิ่มขึ้น / ลดลง) ของแม่โคนมที่โตเต็มวัยแล้วดังนี้

$$MP_g(\text{g/kg}) \text{ มีค่าเท่ากับ } 233 \text{ สำหรับการเพิ่มน้ำหนักตัวมีชีวิตของแม่โคระหว่างการศึกษา}$$

$$MP_g(\text{g/kg}) \text{ มีค่าเท่ากับ } 138 \text{ สำหรับการสูญเสียน้ำหนักตัวมีชีวิตของแม่โคระหว่างการศึกษา}$$

จากสมการข้างต้น ค่าคงที่ (C) คือ ค่าแพกเตอร์ ที่ใช้สำหรับโปรตีนสุทธิของการเพิ่มน้ำหนักตัวมีชีวิตของโค ซึ่งได้พิจารณาตามกลุ่มของขนาดร่างกายและเพศ ดังแสดงรายละเอียดการใช้ค่า C ในแต่ละกลุ่มต่อไปนี้

ระยะขนาดโตเต็มวัย	โคพ่อพันธุ์	โคเพศผู้ตอน	โคสาว
ช่วงแรก	1.00	0.90	0.80
ช่วงกลาง	1.10	1.00	0.90
ช่วงท้าย	1.20	1.10	1.00

ในรายงานฉบับนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยด้านเมแทบอลิซึมที่ทำการศึกษาค้นคว้าในโคนมไทยระยะโครุ่น-โคสาว และโคนมระยะพักรีด โดยได้นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการศึกษาวเคราะห์เพื่อประเมินหาค่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable Protein, MP หรือ MP supply) ประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการดำรงชีพ (MP_m) และนำค่าที่ได้มาหักลบกันเพื่อ

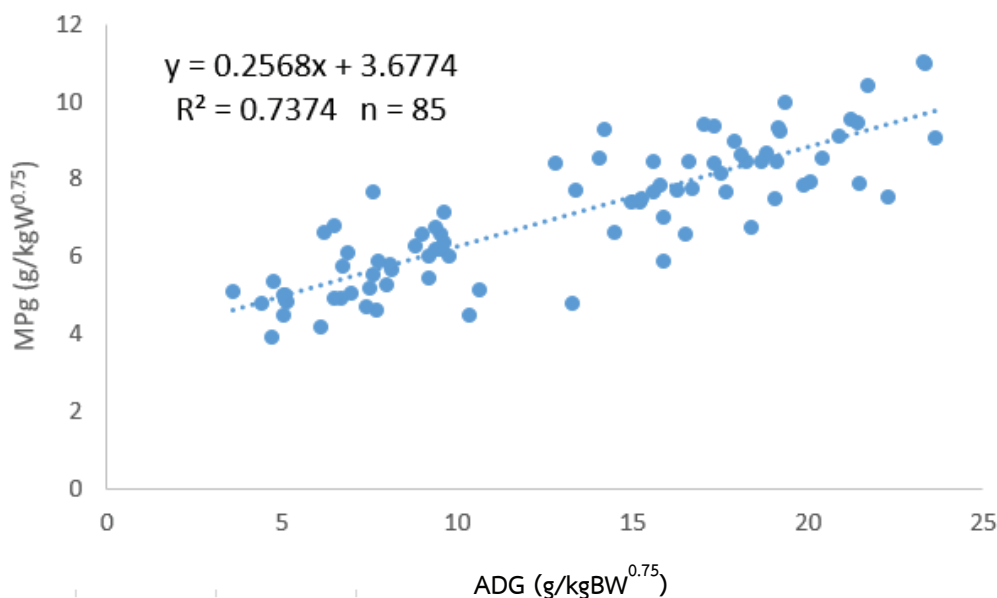
คำนวณหาส่วนที่เหลือจะเป็นค่าโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการเจริญเติบโต (MP supply available for weight gains หรือ MP_g) ดังสมการที่ได้ใช้ในการคำนวณสำหรับข้อมูลสรุปแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 ดังนี้

MP requirements for maintenance หรือ

$$MP_m \text{ (g/d)} = 2.45375 BW^{0.75} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.3}$$

MP requirements for growth หรือ MP supply available for weight gains หรือ

$$MP_g \text{ (g/kgBW}^{0.75}) = 3.6774 + [0.2568 \times ADG] \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.4}$$



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการเจริญเติบโต (MP supply available for weight gain, g/kgBW^{0.75}) กับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของน้ำหนักรวมแทบอริก (average daily gain, g/kgBW^{0.75})

4.6.4 ความต้องการโปรตีนเพื่อการตั้งครรภ์ (protein requirements for pregnancy)

ด้วยหลักการโปรตีนสุทธิเพื่อการตั้งครรภ์สามารถทำการประเมินได้จาก เนื้อเยื่อโปรตีนที่สะสมหรือกักเก็บได้ในแต่ละวัน (daily tissue protein = Net protein, NP_p) สำหรับการสร้างเนื้อเยื่อของมดลูกและการเจริญเติบโตของตัวอ่อนลูกโคในท้องตลอดระยะเวลาการตั้งครรภ์ของแม่โคสำหรับการเตรียมพร้อมเพื่อการคลอดลูกให้มีน้ำหนักแรกเกิดได้ตามศักยภาพของพันธุกรรม โดยหลักการสามารถประเมินหาความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการตั้งครรภ์ จากการคำนวณด้วยค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โปรตีนในการสังเคราะห์เนื้อเยื่อโปรตีนเพื่อการตั้งครรภ์ (k_p) แต่จากข้อมูลปัจจุบันยังมีการรายงานค่าที่แตกต่างกันอยู่ระหว่างคำแนะนำที่อ้างอิงโดย ARC (1980) NRC (2000) สำหรับโคเนื้อ และ NRC (2001) สำหรับโคนม ซึ่งมีค่า k_p เท่ากับ 0.59, 0.65 และ 0.33 ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ว่าในทั้งสามระบบนี้ได้ใช้ข้อมูลพื้นฐานการคำนวณจากค่าน้ำหนักแรกเกิด (calf birth weight, CBW) ของลูกโคเหมือนกัน จากข้อมูลโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นโคนมพันธุ์โฮลส์ไตล์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดที่แตกต่างกันไปในแต่ละฟาร์ม แต่อย่างไรก็ตามในเอกสารคู่มือคำแนะนำฉบับนี้ได้อ้างอิงใช้สมการในการทำนาย ประเมินหาความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการตั้งครรภ์ (MP_p) จากระบบฐานข้อมูลโคนมล่าสุดที่ได้รายงานโดย NRC (2001) ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

$$MP_p(g/d) = [0.69 \times t - 69.2] \times [CBW / 45] / 0.33 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4.5}$$

โดยที่ t คือ จำนวนวันที่ตั้งท้อง (วัน) และ ค่า CBW คือ น้ำหนักแรกเกิดของลูกโค (kg)

4.6.5 สรุปสมการที่ใช้ทำนายประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ สำหรับโคนมไทยระยะรีดนม

สมการที่ใช้ประเมินค่าความต้องการโปรตีน (predicting equation) ของโครีดนมไทยตามช่วงน้ำหนักและระดับการให้ผลผลิตน้ำนม แสดงในตารางที่ 4.2 ประกอบด้วย

Total MP requirements หรือ MP supply = $MP_m + MP_l$

จากสมการที่ 1 MP requirements for maintenance หรือ $MP_m(g/d) = 2.453 BW^{0.75}$

จากสมการที่ 2 MP requirements for lactation หรือ MP supply available for milk หรือ

$$MP_l(g/d) = [\text{True protein yield in milk} - 0.0813] / 0.3502$$

$$\text{RDP requirements} = [MP_l(g/d) \times 64.13 / 100] / [0.6375 \times 0.95]$$

$$\text{RUP requirements} = [MP_l(g/d) \times 35.87 / 100] / 0.85$$

$$\text{CP requirements} = \text{RDP requirements} + \text{RUP requirements}$$

แนวทางการใช้ข้อมูลจากตารางค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนม (ตารางที่ 4.2) สามารถคำนวณหาค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนมไทยตามช่วงน้ำหนัก ระดับการให้ผลผลิตน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ได้ดังแสดงในตัวอย่างที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 คำนวณค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนมสำหรับโครีดนมเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง แม่โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 650 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ยต่อตัววันละ 27 กิโลกรัม คุณภาพน้ำนมมีไขมันนมร้อยละ 3.5 โปรตีนร้อยละ 4.0

ความต้องการโปรตีนต่อวัน	MP (g/d)	RDP (g/d)	RUP (g/d)	CP (g/d)
เพื่อการดำรงชีพโค 650 กก.	393	416	166	582
เพื่อให้ผลผลิตน้ำนม 27 กก.	27 × 119	27 × 126	27 × 50	27 × 177
	= 3,213	= 3,402	= 1,350	= 4,779
รวม	3,606	3,818	1,516	5,361

ตัวอย่างที่ 2 คำนวณค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนมสำหรับโครีดนมเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง แม่โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 650 กิโลกรัม ให้น้ำนมเฉลี่ยต่อตัววันละ 27 กิโลกรัม คุณภาพน้ำนมมีไขมันนมร้อยละ 3.5 โปรตีนร้อยละ 4.0 และต้องการให้แม่โครีดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มน้ำหนักตัววันละ 0.2 กิโลกรัม

ความต้องการโปรตีนต่อวัน	MP (g/d)	RDP (g/d)	RUP (g/d)	CP (g/d)
เพื่อการดำรงชีพโค 650 กก.	393	416	166	582
เพื่อให้ผลผลิตน้ำนม 27 กก.	27 × 119	27 × 126	27 × 50	27 × 177
	= 3,213	= 3,402	= 1,350	= 4,779
เพื่อเพิ่มน้ำหนักตัว 0.2 กก.	51	54	22	76
รวม	3,657	3,872	1,538	5,437

4.6.6. สรุปสมการที่ใช้ทำนายประเมินหาค่าความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ สำหรับโคนมไทยระยะพักรีดและโครุ่น

สมการที่ใช้ประเมินค่าความต้องการโปรตีน (predicting equation) ของโคนมไทยตามช่วงน้ำหนักและระดับของการเจริญเติบโต สำหรับที่แสดงในตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 ประกอบด้วย

Total MP requirements หรือ MP supply = $MP_m + MP_g$

จากสมการที่ 3 MP requirements for maintenance หรือ $MP_m(g/d) = 2.45375 BW^{0.75}$

จากสมการที่ 4 MP requirements for growth หรือ MP supply available for weight gains หรือ

$$MP_g(g/kgBW^{0.75}/d) = 3.6774 + [0.2568 \times ADG]$$

การคำนวณค่า RDP และ RUP สำหรับโคระยะพักรีด (ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3)

$$RDP \text{ requirements} = [MP_g(g/d) \times 67.36 / 100] / [0.6375 \times 0.95]$$

$$RUP \text{ requirements} = [MP_g(g/d) \times 32.64 / 100] / 0.85$$

การคำนวณค่า RDP และ RUP สำหรับโคระยะรุ่น-โคสาว (ดังแสดงใน ตารางที่ 4.4)

$$RDP \text{ requirements} = [MP_g(g/d) \times 33.7 / 100] / [0.6375 \times 0.95]$$

$$RUP \text{ requirements} = [MP_g(g/d) \times 66.3 / 100] / 0.85$$

$$CP \text{ requirements} = RDP \text{ requirements} + RUP \text{ requirements}$$

แนวทางการใช้ข้อมูลจากตารางค่าความต้องการโปรตีนของโคนมระยะพักรีด และโครุ่น-โคสาว (ตารางที่ 4.4) สามารถคำนวณหาค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะพักรีดและโครุ่น-โคสาว ได้ดังแสดงในตัวอย่างที่ 3 และ 4 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 3 คำนวณค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะพักรีด สำหรับการเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง

โดยโคพักรีดมีน้ำหนักเฉลี่ย 650 กิโลกรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

ความต้องการโปรตีนต่อวัน	MP (g/d)	RDP (g/d)	RUP (g/d)	CP (g/d)
เพื่อการดำรงชีพโคพักรีด 650 กก.	316	351	121	473
เพื่อรักษาไม่เปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว	-	-	-	-
รวม*	316	351	121	473

ตัวอย่างที่ 4 คำนวณค่าความต้องการโปรตีนของโครุ่น-โคสาวสำหรับการเลี้ยงแบบขังคอกรวมฝูง โคสาวน้ำหนักเฉลี่ย 300 กิโลกรัม ต้องการเลี้ยงให้มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัววันละ 0.7 กิโลกรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

ความต้องการโปรตีนต่อวัน	MP (g/d)	RDP (g/d)	RUP (g/d)	CP (g/d)
เพื่อการดำรงชีพโคสาว 300 กก.	177	98	138	236
เพื่อให้มีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 0.7 กก./วัน	445	248	347	595
รวม*	622	346	485	831

ตารางที่ 4.2 ค่าความต้องการโปรตีนของโครีดนมไทย

น้ำหนักโครีดนม		Protein Requirements			
Body weight		MP	RDP	RUP	CP
(กิโลกรัม)		(g)	(g)	(g)	(g)
ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพต่อวัน					
350		247	262	104	366
400		273	289	115	405
450		298	316	126	442
500		323	342	136	478
550		347	367	146	514
600		370	392	156	548
650		393	416	166	582
700		416	440	175	616
ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม					
ไขมันนม,%	โปรตีนนม,%				
3.0	3.0	81	86	34	120
3.0	3.5	95	100	40	140
3.0	4.0	108	115	46	160
3.5	3.0	89	95	38	132
3.5	3.5	104	111	44	155
3.5	4.0	119	126	50	177
4.0	3.0	98	104	41	145
4.0	3.5	114	121	48	169
4.0	4.0	130	138	55	193
4.5	3.0	106	112	45	157
4.5	3.5	124	131	52	183
4.5	4.0	142	150	60	210
5.0	3.0	114	121	48	169
5.0	3.5	134	141	56	198
5.0	4.0	153	162	64	226
ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวระหว่างการให้นม (gCP / kg BW change)					
น้ำหนักตัวลดลง	- 0.2 kg.	-51	-54	-22	-76
น้ำหนักตัวคงที่	0.0 kg.	0	0	0	0
น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น	+ 0.2 kg.	51	54	22	76

MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein) RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein) RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein) CP = โปรตีนรวม (crude protein)

ตารางที่ 4.3 ค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะพักรีด (Dry cows)

น้ำหนักโคพักรีด Body weight (กิโลกรัม)	Protein Requirements			
	MP (g)	RDP (g)	RUP (g)	CP (g)
ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพต่อวัน				
350	199	221	76	297
400	219	244	84	328
450	240	267	92	359
500	259	289	100	388
550	279	310	107	417
600	297	331	114	445
650	316	351	121	473
700	334	371	128	500

MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein) RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein) RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein) CP = โปรตีนรวม (crude protein)

ตารางที่ 4.4 ค่าความต้องการโปรตีนของโคนมไทยระยะรุ่น-สาว (Growing-Heifers)

น้ำหนักโครุ่น Body weight (กิโลกรัม)	Protein Requirements			
	MP (g)	RDP (g)	RUP (g)	CP (g)
ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพต่อวัน				
100	78	43	61	104
150	105	59	82	141
200	130	73	102	174
250	154	86	120	206
300	177	98	138	236
350	199	110	155	265
400	219	122	171	293
450	240	133	187	320
500	259	144	202	347
550	279	155	217	372
600	297	166	232	398
650	316	176	246	422

MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable protein) RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein) RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein) CP = โปรตีนรวม (crude protein)

4.7 สรุป

การให้อาหารโปรตีนสำหรับโคนม คือการให้อาหารโปรตีนที่น้อยลงได้เฉพาะหมักอย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด โนโตรเจนที่ได้รับต้องไม่มากเกินไป นอกจากนั้นชนิดและปริมาณของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การให้ผลผลิตสัตว์สูงสุดและใช้โปรตีนหยابน้อยที่สุด ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โปรตีนจะช่วยลดค่าอาหารต่อหน่วยของผลผลิตของโคนม ส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิตด้วย ดังนั้นจึงควรให้อาหารโปรตีนให้เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์และมีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักอย่างเพียงพอเพื่อให้โคนมได้ผลผลิตอย่างเต็มที่

4.8 เอกสารอ้างอิง

- กฤตพล สมมาตรย์ อธิพิศ เผ่าไพศาล กนกวรรณ กองพิธิ ชัยวัฒน์ จรัสแสง และ อติศักดิ์ สังแก้ว. 2563. ความต้องการโภชนาการของโคนมในประเทศไทย: ความต้องการพลังงานของโครีดนม. รายงานวิจัย. กรุงเทพฯ สำนักงานพัฒนาการวิจัยเกษตร (องค์การมหาชน)
- ฉลอง วชิราภกร. 2560. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องประยุกต์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 501 หน้า
- พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี้พับลิชชิง, กรุงเทพมหานคร
- AFRC – Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. Agricultural and Food Research Council. CAB International, Wallingford, UK.
- Akayezu, J.M., J.G. Linn, D.E. Otterby, W.P. Hansen and D.G. Johnson. 1994. Evaluation of calf starters containing different amounts of crude protein for growth of Holstein calves. J. Dairy Sci. 77(7):1882-1889.
- Aldrich, J.M., L.D. Muller, G.A. Vaga and L.C. Griel. 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrition flow and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 76: 1091-1102.
- Anonymous. 2009. Weak Calf Syndrome: Ag animal health spotlight. Washington State University Veterinary MedicineExtension. Online available: <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2147/2015/03/WeakCalfSyndrome-Jan-2009.pdf>
- ARC – Agricultural Research Council. 1965. The Nutrient Requirements of Farm Livestock. No. 2, Ruminants. H.M. Stationery Office, London, UK.
- ARC – Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirements of Farm Livestock. Agricultural Research Council. The Gresham Press, London.
- ARC – Agricultural Research Council. 1984. Report of the Protein Group of the Agricultural Research Council Working Party on The Nutrient Requirements of Ruminants. The Gresham Press, London.
- Assoumani, M.B., F. Vedeau, L. Jaquot and C.J. Sniffen. 1992. Refinement of enzymatic method for estimation the theoretical degradability of proteins in feedstuffs for ruminant. Anim. Feed Sci. Technol. 39: 35-368.
- Bach, A. and M.D. Stern. 2000. Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. Anim. Feed Sci. Technol. 84: 23-32.
- Bach, A., S. Calsamiglia and M.D. Stern. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 88 (E. Suppl.) E9-E21.
- Calsamiglia, S. and M.D. Stern. 1995. A tree-step *in vitro* procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. J. Anim. Sci. 73: 1459-1465.

- Canfield, R.W, C.J. Sniffen and W.R. Butler. 1990. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73 (9): 2342–2349
- Chapman, C.E., T.M. Hill, D.R. Elder and P.S. Erickson. 2017. Nitrogen utilization, preweaning nutrient digestibility, and growth effects of Holstein dairy calves fed 2 amounts of a moderately high protein or conventional milk replacer. *J. Dairy Sci.* 100 (1): 279–292.
- Chumpawadee, S., K Sommart, T. Vongpralub and V. Pattarajinda. 2006. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on ruminal fermentation, microbial protein synthesis, blood urea nitrogen and nutrient digestibility in beef cattle. *Asian-Austr. J. Anim. Sci.* 19 (2): 181-188.
- Cone, J.W., A.A Kamman, A.H. Van Gelder and V.A. Hindle. 2002. Rumen escape protein in concentrate ingredients determined with the nylon bag and enzymatic techniques. *Anim. Feed Sci. Technol.* 97: 247-254.
- Cone, J.W., A.H. van Gelder, A.A. Mathijssen-Kamman and V.A. Hindle. 2004. Rumen escapes protein in grass and grass silage determined with a nylon bag and an enzymatic technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 111: 1-9.
- Cressman, S.G., D.G. Grieve, G.K. Macleod, E. Elizabeth Wheeler and L.G. Young. 1980. Influence of dietary protein concentration on milk production by dairy cattle in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63(11): 1839–1847
- Herrera-Saldana, R., R. Gomezalarcon, M. Torabi and J.T. Huber. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *J. Dairy Sci.* 73: 142-148.
- ICAR – Indian Council of Agricultural Research. 2013. Nutrient Requirements of Cattle and Buffalo. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Iparraguerre I.R and Clark J.H. 2005. Impacts of the source and amount of crude protein on the intestinal supply of nitrogen fractions and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88(Suppl 1): E22-37.
- Kearl. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuff Institute. Utah State University, Logan, Utah, U.S.A.
- Kim, N.S., J.K. Ha, Y.G. Ko, H.D. Kim, W.Y. Kim and B.O. Kwak. 1996. Effects of corn processing methods on the nutrient utilization II: Effect of processed corn on ruminal degradability of starch and lower gut disappearance rates of dry matter and crude protein in Holstein dairy cows. *Kor. J. Anim. Nutr. Feed.* 20(4): 360-370.
- Krishnamoorthy, U., C.J. Sniffen, M.D. Stern and P.J. Van Soest. 1983. Evaluation of mathematical model of rumen digestion and an *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen undegraded nitrogen content of feedstuffs. *Br. J. Nutri.* 50: 555-568.
- Lammers, B.P. and A.J. Heinrichs. 2000. The response of altering the ratio of dietary protein to energy on growth, feed efficiency, and mammary development in rapidly growing prepubertal Heifers. *J. Dairy Sci.* 83(5) : 977-983.
- Lehninger A.L, D.L. Nelson and M.M. Cox. 1993. Principles of Biochemistry. 2nd ed. Worth Publishers, New York.
- Mahadevan, S., F.D. Sauer and J.D. Erfle. 1987. Preparation of protease from mixed rumen microorganisms and its use for the *in vitro* determination of the degradability of true protein in feedstuffs. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 55-64.

- Marichal, M.J., M. Carriquiry, R. Pereda and R. Sanmartin. 2000. Protein degradability and intestinal digestibility of blood meals: Comparison of two processing methods. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 88: 91-101.
- Mathis, C.P., R.C. Cochran, E.S. Vanzant, I.E.O. Abdelgadir, J.S. Heldt, K.C. Olson, D.E. Johnson, J. Caton, D. Faulkner, G. Horn, S. Paisley, R. Mass, K. Moore and J. Halgerson. 2001. A collaborative study comparing an *in situ* protocol with single time point enzyme assays for estimating ruminal protein degradability of different forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 93: 31-42.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh and C.A. Morgan. 2002. *Animal Nutrition*. 6th ed. Longman Scientific and Technical. New York, 693 p.
- Mehrez, A. Z. and Orskow, E. R. 1977. A study on artificial bag technique for determining the digestibility of feeds in rumen. *J. of Agri. Sci. (Cambridge)* 88:645.
- Moraes, L. E., E. Kebreab, J. L. Firkins, R. R. White, R. Martineau and H. Lapierre. 2018. Predicting milk protein responses and the requirement of metabolizable protein by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101(1) : 310–327.
- Mupangwa, J.F., N.T. Ngongoni, J.H. Topps, T. Acamovic and H. Hamudikuwada. 2002. Rumen degradability and post-ruminal digestion of dry matter, nitrogen and amino acids in tree tropical forage legumes estimated by the mobile nylon bag technique. *Livest. Prod. Sci.* 89:452-459.
- Nocek, J.E. and J.B. Russell. 1988. Protein and energy as on integrated system: Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71: 2070-2077.
- NRC – National Research Council. 1956. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 2nd ed. Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC – National Research Council. 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th ed. Update. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC – National Research Council. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC – National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, DC.
- Odai, M., W. Sumamal, R. Narmsilee, P. Pholsen, T. Chuenpreecha and S. Indramanee. 2003a. Energy and nitrogen metabolism of Holstein crossbred dry cows fed Ruzi grass hay with different levels of soybean meal. Improvement of dairy cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. Final report of the collaborative research project between Japan International research Center for Agricultural Science, Japan And Department of Livestock Development, Thailand. p 1-7.
- Odai, M., I. Nonaka, W. Sumamal, R. Narmsilee, P. Pholsen and T. Chuenpreecha. 2003b. Energy and nitrogen metabolism in lactating cows fed with rice straw and corn silage. Improvement of dairy cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand. Final report of the collaborative research project between Japan International research Center for Agricultural Science, Japan And Department of Livestock Development, Thailand. p 8-22.
- Oke, B.O., S.C. Loerch and L.E. Deete. 1986. Effect of rumen protected methionine and lysine on ruminant performance and nutrient metabolism. *J. Anim. Sci.* 62:1101-1112.

- Olivera, R.M.P. 1998. Use of *in vitro* gas production technique to assess the contribution of both soluble and insoluble fractions on nutritive value of forages [Master Thesis in Animal Nutrition]. Aberdeen: University of Aberdeen Scotland.
- Ørskov, E.R and W.J. Shand. 1997. Use of the nylon bag technique for protein and energy evaluation and rumen environment studies in ruminants. *Livestock Research for Rural Development*. 9: 1-5.
- Osaka, I., Y. Matsui and F. Terada. 2014. Effect of the mass of immunoglobulin (Ig)G intake and age at first colostrum feeding on serum IgG concentration in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 97(10): 6608-6612.
- Poos-Floyd, M., T. Klopfenstein and R.A. Britton. 1985. Evaluation laboratory techniques for predicting ruminant protein degradation. *J. Dairy Sci.* 68: 829-839.
- Quigley III, J.D. and J.J. Drewry. 1998. Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre-and postcalving. *J. Dairy Sci.* 81 (10):2779-2790.
- Roe, M.B., C.J. Sniffen and L.E. Chase. 1990. Techniques for measuring protein fractions in feedstuffs. In: *Proceedings of Cornell nutrition conference for feed manufactures October 23-25; 1990*. Department of animal science and poultry and avian science of the New York state collage of agriculture and life Sciences Cornell University. Ithaca, New York.
- Robinson, P.H. 2010. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livest. Sci.* 127: 115-126.
- Schingoethe, D.J. 1996. Dietary influence on protein level in milk and milk yield in dairy cows. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 60:181-190.
- Schwab, C.G. and G. A. Broderick. 2017. A 100 year review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:10094-10112.
- Shivley, C. B., J. E. Lombard, N. J. Urie, D. M. Haines, R. Sargent, C. A. Koprak T. J. Earleywine, II, J. D. Olson and F. B. Garry. 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: Part II. Factors associated with colostrum quality and passive transfer status of dairy heifer calves. *J. Dairy Sci.* 101 (10):9185-9198.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworthy, J. R. Newbold and P. J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 120:251-263.
- Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold and P.J. Buttery. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 124:463-472.
- Swanson, E. W. 1977. Factors for computing requirements of protein for maintenance of cattle. *J. Dairy Sci.* 60:1583-1593.
- Trevaskis, L.M., W.J. Fikerson and J.M. Gooden. 2001. Provision of certain carbohydrate based supplements to pasture fed sheep as well as time of harvesting of the pasture influences pH, ammonia concentration and microbial protein synthesis in the rumen. *Australian J. of Experimental Agri.* 41:21-27.
- Tomankova, O. and J. Kopečný. 1995. Prediction of feed protein degradation in rumen with bromelain. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53:71-80.
- Weekes, T.L. P.H. Luimes and J.P. Cant. 2006. Responses to amino acid imbalances and deficiencies in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89 (6):2177-2187.

บทที่ 5 ไขมัน (Lipids)

5.1 บทนำ

วัตถุประสงค์หลักในการเสริมไขมันในอาหารนั้น เพื่อการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร นอกจากนี้ โคนมยังจะได้ประโยชน์จากไขมันดังกล่าวอีกหลายประการ อาทิ ช่วยเพิ่มการดูดซึมโภชนาอื่นๆ ที่ละลายในไขมัน และช่วยลดการเป็นฝุ่นของอาหาร ไขมันจะมีส่วนประกอบของกรดไขมันสายยาว (long-chain fatty acids, LCFAs) อยู่สูง รวมทั้งไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) กรดไขมันที่ไม่ถูกเอสเทอริไฟด์ (non-esterified FAs, NEFA) และเกลือของกรดไขมันสายยาว (salts of long-chain FAs) การเสริมไขมันในอาหารโคนมนั้นสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่น ในรูปเมล็ดพืชไขมัน ไขมันสัตว์ ไขมันพืช หรือส่วนผสมของไขมันสัตว์และไขมันพืช ไขมันผง (dry-granular fats) และไขมันไหลผ่าน (bypass or protected fats) เมล็ดพืชไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated FAs) อยู่สูง ส่วนไขมันสัตว์ ไขมันพืช หรือส่วนผสมของไขมันสัตว์และไขมันพืช อาจประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ (free FAs) หรือ ทั้งสองชนิด และมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัว (saturated FAs) มากกว่า หรือเท่ากับ 1:1 ไขมันผงส่วนใหญ่หมายถึงไขมันที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักได้น้อย ทั้งนี้เพราะถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีผลกระทบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมักน้อยที่สุด ส่วนไขมันไหลผ่านนั้น จะถูกผลิตขึ้นเพื่อป้องกันการเข้าย่อยสลายจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งสามารถผลิตได้จากไขมันหลายๆ ชนิด และกระบวนการผลิตหลายๆ กระบวนการ เช่น การหุ้มแคปซูล (encapsulated fat) เกลือแคลเซียม (calcium salts) และไขมันที่มีการเติมไฮโดรเจน (hydrogenated fats) เป็นต้น

5.2 แหล่งของไขมัน ชนิดของไขมัน การย่อยและการดูดซึมไขมัน

5.2.1 แหล่งของไขมัน

ไขมันที่ใช้ในอาหารโคนมโดยทั่วไปประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ โกลโคลิปิด ฟอสโฟลิปิด และกรดไขมันอิสระ

ไตรกลีเซอไรด์เป็นไขมันหลักที่พบในเมล็ดธัญพืช เมล็ดพืชไขมัน ไขมันสัตว์ และวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้จากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร และไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนหนึ่งในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม

โกลโคลิปิด เป็นไขมันที่พบในพืชอาหารสัตว์

ฟอสโฟลิปิด เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ ได้จากผนังเซลล์ของสัตว์ และพื้นผิวของเม็ดไขมันในน้ำนม

กรดไขมันอิสระ เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในอาหารโคนม แต่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันทางการค้า

สามารถจำแนกแหล่งของไขมันออกได้เป็น 2 แหล่งหลัก ๆ ได้แก่ แหล่งไขมันจากธรรมชาติ (ไขมันจากพืชและไขมันจากสัตว์) และแหล่งไขมันทางการค้า ที่ผลิตขึ้นเป็นพิเศษจากไขมันพืชและไขมันสัตว์

ไขมันจากธรรมชาติ จากเมล็ดพืชไขมันเป็นแหล่งไขมันหลักจากพืช เช่น ฝ้ายทั้งเมล็ด มีโปรตีน เยื่อใย มีพลังงานสูง และสมดุล แต่มีสารกอสลิปอลที่เป็นพิษต่อสัตว์ แต่ในโคนมที่ใช้ฝ้ายทั้งเมล็ดน้อยกว่าร้อยละ 15 ของวัตถุดิบ ไม่มีผลกระทบจากกอสลิปอล เมล็ดถั่วเหลืองดิบไม่ควรบดและผสมในอาหารที่มียูเรีย เพราะเมล็ดถั่วเหลืองดิบมีเอนไซม์ยูเรียเอส นอกจากนี้ ถั่วเหลืองดิบยังมีองค์ประกอบของสารยับยั้งการทำงานของทริปซิน ทำให้การย่อยได้โปรตีนลดลง เมล็ดถั่วเหลืองอบทำลายยูเรียเอส สารยับยั้งการทำงานของทริปซิน และไลโปออกซิจีเนส (lipoxygenase) และลดการย่อยสลายของโปรตีน ถั่วเหลืองอบจะมีการย่อยสลายโปรตีนประมาณร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดถั่วเหลืองดิบที่ร้อยละ 72 เมล็ดพืชไขมันชนิดอื่น ได้แก่ เมล็ดคาโนลา เมล็ดดอกคำฝอย และเมล็ดทานตะวัน สามารถใช้เป็นแหล่งไขมันในอาหารโคนม อย่างไรก็ตาม การใช้เมล็ดพืชไขมันเป็นอาหารโคนมต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้ เพราะในเมล็ดพืชไขมันนั้นมีองค์ประกอบของไขมันแตกต่างกัน ถ้าหากใช้มากเกินไปจะส่งผลทำให้การย่อยได้คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะเยื่อใยลดลง

ไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารโคมน ได้แก่ ไขมันสัตว์ (tallow) มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าเมล็ดพืชน้ำมัน แต่การใช้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะจะมีสถานะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีมากมายหลายเกรดขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และความสะอาด

จาระบีสีเหลือง (yellow grease) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหาร อาจประกอบด้วยไขมันพืชกับไขมันสัตว์ในส่วนแตกต่างกัน

ไขมันทางการค้า จากการผลิตขึ้นโดยให้มีการย่อยสลายในกระเพาะหมักลดลง และมีรูปเป็นผงหรือเกล็ดแห้ง สะดวกในการใช้ หรือเรียกว่า “ไขมันไหลผ่าน”

กรรมวิธีหลักในการผลิตไขมันไหลผ่านมีด้วยกัน 3 วิธี วิธีแรกคือการเพิ่มความอิ่มตัวของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีจุดหลอมเหลวมากกว่าอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม วิธีที่ 2 คือการทำให้กรดไขมันจับตัวกับแคลเซียมในรูปเกลือแคลเซียม วิธีการสุดท้ายคือการห่อหุ้มไขมันด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อป้องกันไขมันไม่ให้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ปกติจะใช้สารที่ไม่ให้โทษ เช่น โซเดียมอัลกีนท หรือฟอร์มัลดีไฮด์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความอิ่มตัวให้กับกรดไขมันอิสระหรือไตรกลีเซอไรด์ เช่น ไฮโดรจีเนตเต็ด (hydrogenated tallow) หรือ ไฮโดรจีเนตซอยบีนอยล์ (hydrogenated soybean oil) ทำให้มีการย่อยได้ไขมันน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์จะไม่เข้าใกล้ อีกทั้งเอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อนของโคมนไม่สามารถที่จะแยกกรดไขมันออกจากโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์

การจับตัวไขมันในรูปเกลือแคลเซียมเป็นวิธีการปกติที่ผลิตไขมันผง เกลือแคลเซียมสะดวกในการใช้และย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตาม กรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์เกลือแคลเซียมสามารถป้องกันกระบวนการไปโอไฮโดรจีเนชันในกระเพาะหมักได้เพียงบางส่วน และการป้องกันนี้ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวจะน้อยกว่าในกรดไขมันโอลิอิกที่เป็นกรดไขมันหลักในน้ำมันปาล์ม กรดไขมันในเกลือแคลเซียมที่ทำจากน้ำมันปาล์มจะย่อยได้มาก

5.2.2 ชนิดของไขมัน

กรดไขมันอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีโครงสร้างอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวตลอดสาย กรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดธรรมชาติ คือ กรดพาลมิติก (palmitic acid: C16) รองลงมา คือ กรดสเตียริก (stearic acid: C18) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้ ร่างกายได้รับจากอาหารหรือสังเคราะห์ขึ้นได้เอง

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่บนโครงสร้างคาร์บอน ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบ cis และ trans ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อยู่ในรูปแบบ cis ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากที่สุดและมักพบว่าพันธะคู่จะอยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนที่ 9 หรือ 10 โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของโครงสร้างและจำนวนพันธะคู่ ดังนี้

1. กรดไขมันที่มี 1 พันธะคู่ (monounsaturated fatty acids) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่เพียง 1 พันธะ กรดไขมันที่มีมากที่สุดในร่างกาย คือ กรดพาลมิตโอเลอิก (palmitoleic, C16:1) และกรดโอเลอิก (oleic acid, C18:2)
2. กรดไขมันที่มีมากกว่า 1 พันธะคู่ (polyunsaturated fatty acids) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะขึ้นไป ปกติพันธะคู่ของกรดไขมันจะไม่อยู่ชิดกัน มีหมู่ methylene (-CH₂-) คั่นกลาง ตัวอย่างเช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic, C18:2) กรดลิโนเลนิก (linolenic, C18:3) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic, C20:4) เป็นต้น (Park et al., 2013)
3. ไอโคซานอยด์ (eicosanoids) เป็นอนุพันธ์ของกรดไขมันชนิดที่มีพันธะมากกว่า 1 คู่ และมีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม (eicosa หมายถึง 20) ซึ่งเกิดจากกรดไขมันดังกล่าวถูกย่อยแล้วได้ผลผลิตที่มีวงแหวนคาร์บอนตรงกลางโมเลกุล แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ โปรสตาโนอิด (prostanoids) แบ่งออกได้เป็น โปรสตาแกลนดิน (prostaglandins, PGs), โปรสตาไซคลิน (prostaglandins, PGLs) และ ธรอมโบเซน (thromboxanes, TXs) และ ลิวโคไตรอิน (leukotrienes) จะแตกต่างจากโปรสตาโนอิด คือไม่มีวงแหวนคาร์บอน แต่จะเป็นกรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายๆ แทน พบครั้งแรกในเม็ดเลือดขาว ต่อมาพบใน มาสโตไซโตมาเซลล์ (mastocytoma cells), เพลทเลต (platelets) และ มารีโครฟาจ (macrophages) มีหน้าที่เกี่ยวกับโรคมะเร็ง

การจำแนกกรดไขมันตามความจำเป็นของร่างกายได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กรดไขมันไม่จำเป็น (non-essential fatty acid) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง กรดไขมันไม่จำเป็นที่พบมากที่สุดในร่างกาย ได้แก่ กรดพาลมิติก (C16) และกรดสเตียริก (C18) ตามลำดับ

2. กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid; EFA) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Morel et al., 2013) กรดไขมันจำเป็นที่มีความสำคัญต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และ กรดอะราชีดิก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (Park et al., 2013) คือ

2.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) ประกอบด้วย

2.1.1 กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) หรือ ω -3 fatty acid มีสูตรโมเลกุลคือ 18:3 ω -3 เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถผลิตได้เอง ต้องได้รับจากสารอาหารเท่านั้น ω -3 fatty acids มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง C3 นับจากหมู่เมทิล พบมากในอาหารจำพวกปลาและน้ำมันพืช เช่น ปลาแซลมอน (salmon) ปลาซาดีนส์ (sardines) ผลวอลนัท (walnut) และ ถั่วเหลือง (Morel et al., 2013) จากการศึกษาพบว่า ถ้าได้รับกรดไขมันชนิด ω -3 นี้ ในปริมาณที่เพียงพอ (ประมาณ 350-400 มิลลิกรัม/วัน) อาจจะช่วยป้องกันโรคหัวใจได้

2.1.2 Eicosapentaenoic acid (EPA) มีสูตรโมเลกุล 22:5 n-3 โดยมีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 5 คู่ พบมากในปลา น้ำมันตับปลาและสาหร่าย

2.1.3 Docosahexaenoic acid (DHA) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลยาวที่สุด มีสูตรโมเลกุล 22:6 n-3 โดยมีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 6 คู่ เป็นส่วนสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์สมองและจอตา เป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติของเซลล์ประสาทของทารกในครรภ์

2.2 กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) ประกอบด้วย

2.2.1 กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) หรือ ω -6 fatty acid หรือวิตามินเอฟ มีสูตรโมเลกุล 18:2 n-6 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวและเป็นวิตามินประเภทที่ละลายในไขมัน มีประโยชน์ช่วยให้ร่างกายเผาผลาญไขมันอิ่มตัวได้ดีขึ้น ช่วยให้เซลล์ได้รับสารอาหารได้มากขึ้นโดยเป็นตัวบ่อนสารอาหารให้แก่เซลล์ รักษาสมดุลของระบบการแข็งตัวของเลือด เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังหลอดเลือดและเยื่อหุ้มเซลล์ (Morel et al., 2013) รวมตัวกับคอเลสเตอรอลเพื่อขนส่งไปในกระแสเลือด มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์กรดลิโนเลอิกได้ต้องได้จากสารอาหารเท่านั้น กรดลิโนเลอิกมีมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ยกเว้น น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว) ในสัตว์น้ำ เช่น ปลา หอย จะพบกรดลิโนเลอิกได้เช่นกัน โดยเฉพาะในน้ำมันตับปลาคอด จะมีกรดลิโนเลอิกมากที่สุด (NRC, 2000; NRC, 2002)

2.2.2 กรดอะราชีดิก (arachidonic acid) เป็นกรดไขมันที่สร้างจากกรดลิโนเลอิก มีความสำคัญในการพัฒนาของระบบประสาทและการทำงานของระบบประสาทตา นอกจากนี้ยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและป้องกันโรคหัวใจหลอดเลือดได้ด้วย กรดอะราชีดิกมีมากในน้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ถ้าร่างกายขาดจะทำให้ผิวหนังอักเสบ ติดเชื้อง่าย แผลหายช้า

สารประกอบเอซิลกลีเซอไรด์ (acylglyceride)

กรดไขมันเมื่อรวมตัวกับกลีเซอรอลจะได้ สารประกอบกลีเซอไรด์ หรือ เอซิลกลีเซอรอล (acylglycerol) ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

1. โมโนเอซิลกลีเซอไรด์ (monoacylglyceride) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 1 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โดยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดไขมัน 1 หมู่ จะจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-H) ของกลีเซอรอล ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 หรือ 2 อย่างใดอย่างหนึ่งจะได้ 1-monoglyceride หรือ 2-monoglyceride ตามลำดับ
2. ไดเอซิลกลีเซอไรด์ (diacylglyceride) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 2 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โดยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดไขมัน 2 หมู่ จะจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของกลีเซอรอล ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 3 หรือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2
3. ไตรเอซิลกลีเซอไรด์ (triacylglyceride) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โดยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทั้ง 3 หมู่ของกลีเซอรอล จะจับกับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดไขมันทั้ง 3 หมู่กรดไขมันที่มาจับกับกลีเซอรอลอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ กลีเซอไรด์ที่พบมากในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปไตรเอซิลเอซี

5.2.3 การย่อยและการดูดซึมไขมัน

การย่อยและการดูดซึมไขมัน (fat digestion and absorption) Noble (1981) และ Jenkins (1993) ได้ทำการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการย่อยและการดูดซึมไขมัน (lipid digestion and absorption) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องอย่างละเอียด กรดไขมันที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ (esterified FA) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ได้แก่ไตรกลีเซอไรด์จะถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyzed) อย่างรวดเร็วให้อยู่ในรูปอิสระ (free form) โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ไขมัน (lipolytic microorganisms) ภายในกระเพาะหมักหลังจากที่ถูกไฮโดรไลส์แล้วกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกไฮโดรเจเนตต่อโดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักอย่างไรก็ตาม ปริมาณการเกิดไฮโดรเจเนชัน (extent of hydrogenation) ขึ้นอยู่กับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมัน รวมทั้ง ระดับและความถี่ของการให้อาหาร ประมาณได้ว่าการเกิดกระบวนการไฮโดรเจเนชันในกระเพาะหมักของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated FAs; PUFAs) นั้นอยู่ระหว่างร้อยละ 60 – 90 (Bickerstaffe et al., 1972; Mattos and Palmquist, 1977) สำหรับการเกิดไฮโดรเจเนชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เสริมในอาหารอาจอยู่ที่ระดับต่ำระหว่างร้อยละ 30 – 40 โดยเฉพาะถ้ากรดไขมันนั้นถูกเสริมในรูปเกลือแคลเซียม (Klusmeyer and Clark, 1991) เนื่องจากการเกิดกระบวนการไฮโดรเจเนชันในกระเพาะหมัก ฉะนั้นกรดไขมันส่วนใหญ่ที่ผ่านกระเพาะหมักจึงอยู่ในรูปของ C18:0 และไอโซเมอร์ (isomers) ต่างๆ ของ C18:1 Jenkins (1993) ประมาณว่าร้อยละ 85–90 ของกรดไขมันที่ผ่านจากกระเพาะหมักจะเป็นกรดไขมันอิสระ ส่วนอีกประมาณร้อยละ 10–15 จะเป็นฟอสโฟลิพิดจากจุลินทรีย์ (microbial phospholipids) ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์จากกรดไขมันโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

5.3 การย่อยได้และค่าพลังงานของไขมัน

การย่อยได้และค่าพลังงานของไขมัน (digestibility and energy value of fats) ความผันแปรของพลังงานสุทธิเพื่อการให้น้ำนม (net energy for lactation, NE_L) ระหว่างไขมันที่เสริมในอาหารเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกรดไขมันสายยาว และการย่อยได้ของกรดไขมันสายยาว การย่อยได้ของกรดไขมันสายยาวขึ้นอยู่กับปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง ปริมาณไขมันที่กินได้ ลักษณะของไขมันในอาหาร และลักษณะของไขมันที่เสริม ความไม่อิ่มตัวของไขมันเป็นลักษณะที่สำคัญที่สุดที่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ (Grummer, 1995)

ค่าไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้ถึงความไม่อิ่มตัว ค่าไอโอดีนที่สูงแสดงว่าจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันมากกว่า การย่อยได้อาจลดลง ถ้าค่าไอโอดีนต่ำกว่าร้อยละ 45 (Firkins and Eastridge, 1994) ค่าการย่อยได้สูงสุดของไขมันที่มีค่าไอโอดีนมากกว่า 40 จะเป็นร้อยละ 89 เปรียบเทียบกับร้อยละ 74 เมื่อไขมันมีค่าไอโอดีนน้อยกว่า 40 (Jenkins, 1994) กรดไขมันอิ่มตัวจะย่อยได้น้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว และความแตกต่างจะมากขึ้นเมื่อไขมันที่เสริมส่วนใหญ่มีกรดไขมันอิ่มตัว (Borsting et al., 1992)

การเพิ่มความยาวสายโซ่ของกรดไขมัน (FA chain length) อาจเพิ่มการย่อยได้ แต่มีผลน้อยกว่าความไม่อิ่มตัวของไขมัน (Grummer, 1995) นอกจากนี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างความไม่อิ่มตัวและความยาวของสายโซ่ Firkins and

Eastridge (1994) รายงานว่าการเพิ่มสัดส่วน C16:C18 มีผลต่อการย่อยได้เมื่อค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้น การย่อยได้ไขมันในลำไส้เล็ก มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันซึ่งอาจมีผลต่อการสร้างไมเซลล์ (micelle formation) และ การเคลื่อนย้ายกรดไขมันผ่านชั้นของน้ำที่อยู่ใกล้กับไมโครวิลไล (microvilli) ของลำไส้เล็ก

การลดขนาดอนุภาคของไขมันผองอาจเพิ่มการย่อยได้ แต่อาจมีผลเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Firkins and Eastridge (1994) สรุปผลการทดลองหลายๆ การทดลองได้ว่าค่าเฉลี่ยการย่อยได้กรดไขมันของพริลล์แฟต (prilled fat; n = 8) และเฟลคแฟต (flaked fat; n = 5) ไขมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจนเนชัน (hydrogenated tallow) เป็นร้อยละ 77 และ 69 ตามลำดับ

โครงสร้างของไขมัน หรือรูปแบบของไขมันที่เสริมในอาหารอาจมีผลต่อการย่อยได้ไขมันในระดับปานกลาง Firkins and Eastridge (1994) ทบทวนเอกสารและชี้ให้เห็นว่า ค่าการย่อยได้ของกรดไขมันในอาหารที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์พริล (triglyceride prills) หรือกรดไขมันพริล (FA prills) นั้นอยู่ระหว่างร้อยละ 77 หรือ 73 ของอาหารควบคุมที่ไม่ได้เสริมไขมัน อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของโครงสร้างของไขมันอาจถูกบดบัง ค่าเฉลี่ยของค่าไอโอดีนและอัตราส่วน C16:C18 เท่ากับ 20.7 และ 0.41 เมื่อเสริมไตรกลีเซอไรด์พริล และ 11.2 และ 0.45 เมื่อเสริมกรดไขมันพริล ถ้ากรดไขมันที่เสริมอยู่ในรูปเกล็ด ค่าการย่อยได้สามารถหาได้จาก โปรไฟล์ของกรดไขมัน เพราะว่าเกล็ดไม่รวมตัวในกระเพาะจริงและลำไส้เล็กส่วนต้นที่มีสภาพเป็นกรด (Sukhiju and Palmquist, 1990)

ความเข้มข้นของไขมันในอาหารมีผลต่อการย่อยได้ไขมันในกระเพาะส่วนล่าง การย่อยได้ของกรดไขมันลดลงร้อยละ 2.2 ทุกๆ 100 กรัมของการกินได้กรดไขมันที่เสริม เพิ่มขึ้นจาก 200 ถึง 1,400 กรัม/วัน (Palmquist, 1991) การย่อยได้ที่แท้จริงของกรดไขมัน (true FA digestibility) ของไขมันสัตว์ ลดลงเป็นเส้นโค้ง กล่าวคือ ค่าการย่อยได้ลดลงแบบลดถอย (diminish) เมื่อการกินได้กรดไขมันเพิ่มจาก 200 ถึง 900 กรัม/วัน (Weisbjerg et al., 1992) การย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) เพิ่มขึ้นเมื่อไขมันที่เสริมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 3 ของวัตถุดิบแห้ง แต่ลดลงเมื่อไขมันที่เสริมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3 ถึง 6 ของวัตถุดิบแห้ง (Wu et al., 1991) การเพิ่มขึ้นของการย่อยได้เมื่อเสริมไขมันในระดับต่ำอาจชี้ให้เห็นว่า ไขมันที่เสริมนั้นย่อยได้มากกว่าไขมันที่มีอยู่ในอาหาร หรือไม่ก็เกิดจากไขมันในร่างกาย (endogenous fat) ถูกเจือจาง จากการสรุปข้อมูลจาก 20 การทดลอง ชี้ให้เห็นว่าอัตราการลดลงของการย่อยได้ไขมันเมื่อการกินได้ไขมันเพิ่มขึ้นในไขมันที่มีค่าไอโอดีนสูงกว่า 40 มากกว่าไขมันที่มีค่าไอโอดีนน้อยกว่า 40 (Jenkins, 1994)

5.4 ผลกระทบของไขมันต่อการย่อยและหมักในกระเพาะหมัก

ถึงแม้การเพิ่มความไม่อิ่มตัวของไขมันจะเพิ่มการย่อยได้ของกรดไขมัน แต่กระบวนการหมักในกระเพาะหมักจะมีผลในทางตรงกันข้าม (Jenkins, 1993) แหล่งของไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids; PUFAs) สูง ได้แก่ น้ำมันปลาทะเล และน้ำมันพืชบางชนิด การลดลงของการกินได้ ร้อยละของไขมันในน้ำนม และการย่อยได้เยื่อใย เหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงกระบวนการหมักในกระเพาะหมักอัตราที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวถูกปลดปล่อยจากอาหาร และสัมผัสกับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเป็นตัวบ่งชี้ว่ากระบวนการหมักจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไฮโดรเจนเนตกรดไขมันไม่อิ่มตัว ถ้าความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิน กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะสะสมและรบกวนกระบวนการหมัก การเสริมไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในอาหารที่มีเมล็ดพืชไขมัน จะมีส่วนต่อกระบวนการหมักเพียงเล็กน้อย (Knapp et al., 1991; DePeters et al., 1987) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า น้ำมันจะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยจากเมล็ดพืชของเหลวในกระเพาะหมัก เมล็ดพืชไขมันที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion) จะค่อยๆ ปลดปล่อยน้ำมัน ดังนั้นอัตราที่จุลินทรีย์เข้าถึงน้ำมัน อาจเพียงพอที่จะมีผลต่อเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ อาจทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งอยู่ในรูปแคปซูล เพื่อที่จะลดปฏิกิริยารวมระหว่างน้ำมันและจุลินทรีย์ เกลือของกรดไขมันสายยาว (salts of LCFAs) และกรดไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจนเนชัน (hydrogenated FAs) เป็นตัวอย่างของไขมันเม็ดแห้ง (dry granular fats) ซึ่งรบกวนกระบวนการหมักน้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีการละลายได้ดีในตัวกลางที่เป็นของเหลว ไขมันสัตว์ และจากระบีสีเหลือง ดูเหมือนจะมีผลต่อกระบวนการหมักมากกว่าเมล็ดพืชไขมัน หรือไขมันเม็ดแห้ง อย่างไรก็ตาม การเสริมไขมันสัตว์ หรือจากระบีสีเหลืองในระดับไม่เกินกว่าร้อยละ 3 ของวัตถุ

แห่งผสมในอาหาร ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกินได้อาหาร ร้อยละของไขมันนม หรือ กระบวนการหมัก (DePeters et al., 1987; Knapp et al., 1991) ผลของเมล็ดพืชไขมัน ไขมันสัตว์ หรือ จาระบีสีเหลือง ต่อกระบวนการหมัก ผันแปร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหารพื้นฐาน (basal diet) ถ้าอาหารพื้นฐานเป็นต้นข้าวโพดหมัก (corn silage) (Smith et al., 1993) หรืออาหารที่มีพืชอาหารสัตว์เป็นส่วนประกอบอยู่น้อย (Grant and Weidner, 1992) จะมีผลในทางลบมากกว่า

5.5 กระบวนการไบโอไฮโดรจิเนชันในกระเพาะหมัก

5.5.1 ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมันลิโนลิกและกรดไขมันลิโนลินิกในกระเพาะหมัก

ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมันลิโนลิกและกรดไขมันลิโนลินิกในกระเพาะหมัก (Bio-hydrogenation of linoleic and linolenic acid in the rumen) Hartfoot and Hazelwood (1988) อธิบายวิถีไบโอไฮโดรจิเนชัน (biohydrogenation pathway) ของ กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) ว่า กรดลิโนเลนิกจะถูกไอโซเมอไรซ์ (isomerized) โดยแบคทีเรียในกลุ่ม A และ B ไปเป็น cis 9 trans 11 cis 15 18:3 ตามด้วยการไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ของแบคทีเรียในกลุ่ม A และ B ไปเป็น trans 11 cis 15 18:2 และ trans-11 cis-15 18:2 นี้จะถูก ไฮโดรจิเนต (hydrogenate) โดยแบคทีเรียในกลุ่ม B ไปเป็น trans-15 หรือ cis-15 18:1 หรือ โดยแบคทีเรียในกลุ่ม A ไปเป็น trans-11 18:1 Cis และ trans-15 18:1 จะเป็นผลผลิตสุดท้าย ในขณะที่ trans-15 18:1 สามารถถูกไฮโดรจิเนต โดยแบคทีเรียในกลุ่ม B ไปเป็น กรดสเตียริก (stearic acid) ต่อมา Shingfield et. al. (2010) เสนอเพิ่มเติมว่า C18:3, C18:2 และ C18:1 isomers อาจถูกผลิตขึ้นจากกรดลิโนเลนิก (linolenic acid)

5.5.2 ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมันโอเลอิกในกระเพาะหมัก

ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมันโอเลอิกในกระเพาะหมัก (Bio-hydrogenation of oleic acid in the rumen) กรดโอเลอิก (oleic acid) ที่โคนมได้รับจะถูกเปลี่ยนไปเป็น กรดสเตียริก โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า กรดโอเลอิก ยังถูกเปลี่ยนไปเป็น *trans* C18:1 positional isomers (Mosley et al. 2002) ซึ่งขัดแย้งกับวิถี (pathway) ของการเกิดไบโอไฮโดรจิเนชันของกรดโอเลอิกที่ยอมรับในปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโดยตรงไปเป็น กรดสเตียริก ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่า *trans* C18:1 ที่ถูกสร้างขึ้นจาก กรดโอเลอิก เป็นสารตัวกลาง หรือ เป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไบโอไฮโดรจิเนชัน อย่างไรก็ตาม การสร้าง *trans* C18:1 เหล่านี้จาก กรดโอเลอิก เป็นที่น่าสนใจและมีความสำคัญอย่างยิ่ง

มีจุลินทรีย์บริสุทธิ์เพียงไม่กี่ชนิดที่ใช้ กรดโอเลอิก เป็นสารอาหาร เมื่อใช้จุลินทรีย์ผสมในกระเพาะหมัก (mixed ruminal microbes) กรดโอเลอิก อาจไฮเดรต (hydrated), ไฮโดรจิเนต (hydrogenated), หรือ ไอโซเมอไรซ์ (isomerized) (Kemp et al., 1975; Harzlewood et al., 1976; Hudson et al., 1995) *Fusocillus babrahamensis* P2/2, *Fusocillus* T344, and R8/5 Gram-negative rod เป็นเพียงจุลินทรีย์ 3 ชนิดที่เปลี่ยน กรดโอเลอิก ไปเป็น stearic acid ส่วน *F. babrahamensis* P2/2 เปลี่ยน กรดโอเลอิก ไปเป็นกรดไฮดรอกซีสเตียริก (hydroxystearic acid) (Kemp et al., 1975; Harzlewood et al., 1976) ได้เช่นกัน ในขณะที่ *Fusocillus* T344 เปลี่ยน กรดโอเลอิก ไปเป็น *trans*-11 C18:1 (Kemp et al., 1975; Harzlewood et al., 1976) *Butyrivibrio fibrisolvens* ไม่สามารถเปลี่ยน กรดโอเลอิก ไม่ว่าด้วยวิธีใด (Kleper et al., 1966)

Selner and Schultz (1980) แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ *trans* C18:1 ในไขมันนม เมื่อให้โครีดนมได้รับอาหารที่มี กรดโอเลอิก อยู่สูง ทำนองเดียวกัน Jenkins (2000) ให้โคได้รับน้ำมันคาโนลาที่มีองค์ประกอบของ กรดโอเลอิก อยู่สูง และสังเกตพบว่าความเข้มข้นของ *trans* C18:1 ในไขมันนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเป็นไปได้ประการหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของ *trans* C18:1 ในไขมันนม คือ ไอโซเมอร์ (isomers) ถูกสร้างขึ้นระหว่างการเกิดกระบวนการไบโอไฮโดรจิเนชันของ กรดโอเลอิก ในกระเพาะหมักความเป็นไปได้อีกประการหนึ่งคือ กรดโอเลอิก ไปรบกวนการเกิดกระบวนการไบโอไฮโดรจิเนชันของกรดโอเลอิก ส่งผลให้มีการสะสมของ *trans* C18:1

5.5.3 ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมัน ดี เอช เอ ในกระเพาะหมัก

ไบโอไฮโดรจิเนชันกรดไขมัน ดี เอช เอ ในกระเพาะหมัก (Bio-hydrogenation of DHA in the rumen) DHA และ EPA เป็น PUFA ที่พบในน้ำมันปลาทะเลน้ำลึก ซึ่ง PUFA จะมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้มีการพัฒนาตัวเองเพื่อจัดการกับความเป็นพิษสูงของ PUFA (Loor et al., 2005) ได้มีการฉีด DHA เข้าสู่กระเพาะหมัก หรือ ดูโอดินัม (duodenum) ของโคนม และพบว่า เมื่อฉีด DHA เข้าสู่ ดูโอดินัมจะมี DHA ถูกส่งผ่านไปยังน้ำมันมากกว่า (3.11 กรัมต่อวัน) เมื่อ DHA ถูกฉีดเข้าสู่กระเพาะหมัก (0.92 กรัมต่อวัน) ยังรายงานถึงความแตกต่างนี้เป็นผลจากการไฮโดรจิเนชันของ DHA ในกระเพาะหมัก Dohme et al. (2003) รายงานอัตราการเกิด DHA ไบโอไฮโดรจิเนชัน *in vitro* ว่า การเกิดทั้งไลโปไลซิส (lipolysis) และ ไบโอไฮโดรจิเนชัน แต่การเพิ่มระดับของน้ำมันปลาจะลดร้อยละการเกิดทั้งไลโปไลซิส และ bio-hydrogenation ที่ 24 ชั่วโมง อัตราการเกิดไลโปไลซิสลดลงจากร้อยละ 83 เป็น 58 และอัตราการเกิด ไบโอไฮโดรจิเนชัน ลดลงจากมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งให้เห็นว่าระดับของการเสริม DHA และความหลากหลายของอาหารและปัจจัยภายนอกอาจเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเกิดไบโอไฮโดรจิเนชัน ของ DHA

AbuGhazaleh and Jenkins (2004b) สังเกตพบการเปลี่ยนแปลงมากมายของ fatty acid profile ใน ruminal batch culture เมื่อทำการเสริม DHA กล่าวคือสามารถเพิ่ม trans- 18:1 isomers และยับยั้งการเกิด ไบโอไฮโดรจิเนชัน ของกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก นอกจากนี้ยังรายงานว่าการลดลงในทุก DHA cultures ที่การบ่ม 24 ชั่วโมง Doreau and Chilliard (1997) รายงาน total C18:1 fatty acids เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13 เป็น 36 และ กรดสเตียริก ลดลงจากร้อยละ 54 เป็น 7.9 ในอาหารในลำไส้เล็กส่วนต้น เมื่อเสริมน้ำมันปลาในกระเพาะหมัก Donovan et al. (2000) ได้เสริมน้ำมันปลาที่ระดับร้อยละ 0, 1, 2, และ 3 ในโครีดนม และรายงานการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันในน้ำมัน กล่าวคือ total C18:1 isomers, trans-11 C18:1, และ cis-9, trans-11 CLA เพิ่มขึ้นเมื่อระดับ DHA เพิ่มขึ้นถึงระดับร้อยละ 2 หลังจากนั้นคงที่จนกระทั่งถึงระดับร้อยละ 3 DHA นอกจากนี้ยังรายงานว่าการลดลงของกรดสเตียริก ให้ผลตอบสนองในทางตรงกันข้าม ทั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบของไขมันในน้ำมันเป็นผลสะท้อนจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันในกระเพาะหมัก Boeckaert et al. (2008) รายงานว่ามีการเพิ่มขึ้นของ trans-11 18:1 ถึง 6 เท่าในน้ำมันของโคที่ได้รับการเสริมสาหร่ายที่ระดับร้อยละ 0.935 เป็นเวลา 6 วัน และให้ผลตรงกันจนถึงวันที่ 20 ของการเสริม พร้อมกันนี้ กรดโอเลอิก เพิ่มขึ้น และ กรดสเตียริก ลดลง อย่างไรก็ตาม ไม่ส่งผลกระทบต่อกรดลิโนเลอิก หรือ กรดลิโนเลนิก ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของระดับ trans-18:1 โดยเฉพาะ trans-11 18:1 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาหลาย ๆ การศึกษา ที่ทำการเสริม DHA ในขณะที่ผลต่อ กรดสเตียริก, กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก ไม่สอดคล้องกัน อาจเป็นเพราะว่ามีปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันปลากับกรดไขมันชนิดอื่น ๆ จากอาหาร Whitlock et. al. (2006) พบว่า การทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองด้วยน้ำมันปลา สามารถเพิ่ม trans-11 18:1, total 18:1, กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกในไขมันนม เมื่อเสริมน้ำมันปลาแทนน้ำมันถั่วเหลืองเพียงร้อยละ 0.33 แต่ไม่พบผลกระทบต่อกรดสเตียริก

Palmquist and Griinari (2006) พบว่า เมื่อทดแทนน้ำมันทานตะวันด้วยน้ำมันปลา กรดสเตียริก และ กรดลิโนเลอิก ลดลงเป็นเส้นตรง และ trans-11 18:1 และ กรดโอเลอิก เพิ่มขึ้น Cruz-Hernandez et al. (2007) ให้สัตว์ได้รับน้ำมันทานตะวันในระดับที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ได้รับน้ำมันปลาคงที่ พบว่ามีผลทำให้ trans-18:1 และ linoleic acids ลดลง Vlaeminck et al. (2008) ทำการบ่ม DHA ร่วมกับ rumen fluid จากสัตว์ที่ได้ปรับตัวกับการได้รับสาหร่ายทะเล หรือไม่ได้รับสาหร่ายทะเล และพบอิทธิพลของการปรับตัวต่อการสะสม trans-18:1 ใน ruminal batch cultures ของ rumen fluid ที่ไม่ได้ปรับตัวต่อ algae, cultures ในกลุ่มควบคุมมี 1.1 มิลลิกรัม trans-11 18:1 และ DHA cultures มี 3.9 มิลลิกรัม trans-11 18:1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า DHA สามารถเพิ่ม trans-11 18:1 อย่างไรก็ตาม ใน culture ที่ได้ปรับตัวต่อ marine algae cultures ในกลุ่มควบคุมมี 6.4 มิลลิกรัม trans-11 18:1 และ DHA cultures มี 4.3 มิลลิกรัม trans-11 18:1 ความผันแปรนี้ชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบอื่น ๆ ของ algae สามารถนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของ trans-11 18:1 หรือชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลระยะยาวของน้ำมันปลา (fish oil) ต่อผลผลิต trans-11 18:1 ถึงแม้ว่าจะมีความเชื่อมโยงอย่างชัดเจนระหว่างการเสริมน้ำมันปลา โดยเฉพาะ DHA กับการสะสมของ trans-18:1 isomers ในกระเพาะหมักกลไกของการเพิ่มนั้นยังไม่ทราบ DHA อาจปรับเปลี่ยน pathway ของกระบวนการ ไบโอไฮโดรจิเนชัน ที่ทราบแล้ว นำไปสู่การเพิ่ม isomer เหล่านี้ หรือ

pathway ใหม่ ที่เปลี่ยน DHA ไปเป็น trans-18:1 isomers (AbuGhazaleh and Jenkins, 2004b) ส่วน CLA isomers อื่น ๆ มีผลทางชีววิทยาเช่นกัน trans-10, cis- 12 CLA มีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดไขมันในน้ำนมในโคนม

5.6 การเสริมไขมันในอาหารโคนม

ผลตอบสนองด้านการให้ผลผลิตน้ำนมต่อไขมันที่เสริมในอาหารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของอาหาร ระยะให้นม ความสมดุลของพลังงาน องค์ประกอบของไขมัน และปริมาณไขมันที่เสริม ถ้าทำการเสริมไขมันในช่วงหลังคลอดใหม่ จะมีช่วงว่างก่อนที่ผลผลิตน้ำนมจะตอบสนองต่อการเสริมไขมัน (Jerred et al., 1990; Schingoethe and Casper, 1991) Chilliard (1993) สรุปชี้ให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยผลตอบสนองของน้ำนมปรับไขมัน (fat-corrected milk; FCM) ต่อการเสริมไขมัน (เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.5 ของอีเธอร์เอกแทรกซ์ (ether extract, EE) ในช่วงต้นระยะให้นม (เริ่มต้นก่อนสัปดาห์ที่ 4 และสิ้นสุดก่อนสัปดาห์ที่ 11 หลังคลอด) เท่ากับ 0.31 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม ค่าเฉลี่ยผลตอบสนองของน้ำนมปรับไขมัน (FCM) ต่อการเสริมไขมันในช่วงที่ให้นมสูงสุด (peak lactation) (เริ่มต้นก่อนสัปดาห์ที่ 8 และสิ้นสุดก่อนสัปดาห์ที่ 11-24 หลังคลอด; เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 ของอีเธอร์เอกแทรกซ์) หรือในช่วงกลางระยะให้นม (เริ่มต้นหลังสัปดาห์ที่ 7 หลังคลอดไปอีก 5 สัปดาห์; เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4 ของอีเธอร์เอกแทรกซ์) เท่ากับ 0.72 และ 0.65 กิโลกรัม/วัน โดยค่าหลังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม Grummer (1994) สรุปชี้ให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยผลตอบสนองของน้ำนมปรับไขมันต่อการเสริมไขมันเม็ดแห้ง (ประมาณร้อยละ 2.3 ของวัตถุดิบแห้ง) และไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืช (ประมาณร้อยละ 2.65 ของวัตถุดิบแห้ง) และอาหารมีเมล็ดพืชไขมัน เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เท่ากับ 1.1 และ 0.1 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยของโคนทั้งสองรายงานสรุปต่ำกว่า 35 กิโลกรัมต่อวัน

ผลตอบสนองของผลผลิตน้ำนมต่อการเสริมไขมันเป็นแบบเส้นโค้ง (curvilinear) กล่าวคือ ผลตอบสนองลดลงเมื่อระดับการเสริมไขมันเพิ่มขึ้น (Palmquist, 1983; Jenkins, 1994) Kronfeld (1976) ชี้ให้เห็นว่าผลผลิตน้ำนมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อกรดไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่ในอาหารร้อยละ 16 ของพลังงานใช้ประโยชน์ ซึ่งเทียบได้กับประมาณ 600 – 700 กรัมของไขมันต่อวัน (Jenkins, 1997) ผลตอบสนองสูงสุดของผลผลิตน้ำนมต่อการเสริมไขมันจะไม่เกิน 3.5 กิโลกรัมของน้ำนมปรับไขมันต่อวัน ไขมันเสริมประมาณ 700 กรัม จะสามารถให้ผลผลิตน้ำนมได้ 3.5 กิโลกรัมของน้ำนมปรับไขมัน โดยประมาณว่าไขมันย่อยได้ร้อยละ 80 และต่อมสร้างน้ำนมดูดซึมเอากรดไขมันได้ร้อยละ 75 (Jenkins, 1997) โคนินอาหารได้ 23 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง เสริมไขมัน 700 กรัม หรือประมาณร้อยละ 3 ของวัตถุดิบแห้ง

การเสริมไขมันมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นในหลายงานทดลอง แต่ผลตอบสนองค่อนข้างผันแปร ความผันแปรดังกล่าวอาจเนื่องมาจากการกินได้อาหารลดลงเมื่อเสริมไขมัน ถ้าการกินได้อาหารลดลง การกินได้พลังงานโดยรวมอาจไม่เพิ่มขึ้น กลไกการลดลงของการกินได้เนื่องจากไขมันยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด Allen et al. (2000) ทบทวนเอกสารและสรุปถึงปัจจัยที่อาจมีผลต่อการกินได้อาหารเนื่องจากการเสริมไขมัน และการเคลื่อนไหวของกระเพาะ การยอมรับอาหารที่เสริมไขมัน การปลดปล่อยฮอร์โมนจากกระเพาะ และการสันดาปไขมันโดยตับ Sanchez et al. (1998) ชี้ให้เห็นว่าการได้รับโปรตีนใช้ประโยชน์ (metabolizable protein) ไม่เพียงพออาจเป็นสาเหตุทำให้การกินได้อาหารลดลงเมื่อเสริมไขมัน อย่างไรก็ตามการรวบรวมงานวิจัยสรุปได้ว่าองค์ประกอบของโปรตีนหยาบในอาหาร ไม่ปรากฏว่ามีผลต่อการกินได้อาหารเมื่อเสริมไขมัน (Allen et al., 2000) จากการเปรียบเทียบระหว่างเมล็ดพืชไขมัน ไขมันที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจนชัน และไตรกลีเซอไรด์ และเกลือแคลเซียมของกรดไขมัน (CaSFAs) ต่อการกินได้วัตถุดิบแห้ง (Allen et al., 2000) เกลือแคลเซียมของกรดไขมันลดการกินได้วัตถุดิบแห้งประมาณร้อยละ 2.5 ทุกๆ ร้อยละของการเสริมไขมันมากกว่ากลุ่มควบคุมที่เสริมไขมันที่ไม่ได้แปรรูป (unprocessed fat) ลดการกินอาหารได้เช่นเดียวกัน แต่การลดลงนั้นประมาณร้อยละ 50 ของที่สังเกตพบในเกลือแคลเซียมของกรดไขมัน การเสริมไขมันที่มีการเติมไฮโดรเจนและไตรกลีเซอไรด์ ไม่มีผลทำให้การกินได้วัตถุดิบแห้งลดลง ส่วนการเสริมเมล็ดพืชไขมันมีผลในลักษณะสมการกำลังสอง (quadratic effect) ต่อการกินได้วัตถุดิบแห้ง เมื่อเสริมที่ระดับร้อยละ 2 กรดไขมัน ระดับการกินได้ที่ลดลงเนื่องจากการเสริมเมล็ดพืชไขมันนั้นน้อยกว่าการเสริมเกลือแคลเซียมของกรดไขมัน ความแตกต่างของไขมันแต่ละชนิดนั้นอาจเนื่องมาจากการยอมรับของสัตว์ (acceptability) ความยาว

ของสายกรดไขมัน (fatty acid chain length) หรือระดับความอิ่มตัว (degree of saturation) หรือรูปแบบของกรดไขมัน (form i.e. free fatty acid, triglyceride หรือ salt) หลายๆ การศึกษาแนะนำว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวดูเหมือนว่าจะลดการกินอาหารได้มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Drackley et al., 1992; Christensen et al., 1994; Firkins and Eastridge, 1994; Bremmer et al., 1998) กรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารอาจถูกไฮโดรเจเนตในกระเพาะหมักการเสริมเกลือแคลเซียมของกรดไขมันลงบนอาหาร (top-dressed CaSFAs) จะได้รับการยอมรับน้อยกว่าการเสริมไขมันสัตว์ ไขมันสัตว์หุ้มด้วยโซเดียมแอลจีเนต (sodium alginate encapsulated tallow) หรือพริลของกรดไขมันสายยาว (prilled long-chain FAs) (Grummer et al., 1990) แต่ไม่พบความแตกต่างเมื่อไขมันนั้นๆ ถูกเสริมโดยการผสมกับเมล็ดธัญพืช หรือเมื่อโคได้รับการปรับตัว

อิทธิพลของการเสริมไขมันต่อร้อยละของไขมันในน้ำนมค่อนข้างผันแปร และขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไขมันและปริมาณที่เสริม โดยทั่วไปแล้วไขมันห่อหุ้ม (encapsulated fats) เกลือแคลเซียมของกรดไขมัน และไขมันอิ่มตัว (saturated fats) จะไม่มีผลต่อหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม (Sutton et al., 1989; DePeters, 1993) เมื่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เสริมไม่อยู่ในรูปอิสระหรือ ในรูปที่ถูกเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ (esterified FAs) เพิ่มขึ้น โอกาสการลดลงของร้อยละไขมันนมเพิ่มขึ้นด้วย ถ้ามีการสร้าง (formation) ของกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans-FAs) ระหว่างการไฮโดรเจเนชันของจุลินทรีย์ (microbial hydrogenation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งมากขึ้น อาจทำให้เกิดผลในทางลบต่อการสังเคราะห์ไขมันในต่อมน้ำนม (Davis and Brown, 1970; Gaynor et al., 1994)

การเสริมไขมันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมลดลง และมีผลเชิงถดถอยเมื่อปริมาณไขมันที่เสริมเพิ่มขึ้น (ยกตัวอย่างเช่น $y = 101.1 - 0.6381x + 0.0141x^2$, เมื่อ y = milk protein concentration [(treated/control, %) x 100] และ x = total dietary fat, %) (Wu and Huber, 1994) องค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนมที่ลดมากที่สุดคือเคซีน (casein) (DePeters and Cant, 1992) ถึงแม้ว่าร้อยละของโปรตีนในน้ำนมจะลดลง แต่ปริมาณโปรตีนโดยรวมคงที่ หรืออาจเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบ 83 งานทดลอง (กลุ่มเสริมไขมัน vs กลุ่มควบคุม) โดย Wu and Huber (1994) รายงานว่าผลผลิตโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มขึ้น ใน 65 งานทดลอง ลดลง 26 งานทดลอง อย่างไรก็ตาม ใน 15 จาก 26 งานทดลองที่ผลผลิตโปรตีนลดลงนั้น พบว่าผลผลิตน้ำนมลดลงด้วย

การเสริมไขมันยังมีผลในทางบวกต่อการสืบพันธุ์ในโคนม จากการสรุปจาก 20 งานวิจัย ชี้ให้เห็นว่าอัตราการผสมติดจากการผสมครั้งแรก (first-service conception rate) หรืออัตราการผสมติดในภาพรวม (overall conception rate) เพิ่มขึ้น ใน 11 งานวิจัย (Staples et al., 1998) ค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 17 จากทุกงานวิจัย มีเพียง 3 งานวิจัย ที่ให้ผลในทางลบต่อความสมบูรณ์พันธุ์ เนื่องจากการเสริมไขมัน แต่ผลงานวิจัย อาจไม่ชัดเจนทั้งนี้เพราะผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้การเสริมไขมันจะเพิ่มจำนวนกระเปาะไข่ (follicle) และขนาดของกระเปาะไข่แก่ (dominant follicle) งานวิจัย นี้ไม่ได้ตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงพลวัตของกระเปาะไข่ (follicular dynamics) มีผลในทางบวกต่อการสืบพันธุ์หรือไม่ กลไกการทำงานของไขมันที่มีผลต่อการสืบพันธุ์ รวมถึงการปรับปรุงสถานะพลังงานเป็นลบให้ดีขึ้น (amelioration of negative energy balance) การเพิ่มการพัฒนาการของกระเปาะไข่ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพของอินซูลิน กระตุ้นการสังเคราะห์ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (progesterone) และปรับเปลี่ยนผลผลิตและการปลดปล่อยพรอสตาแกลนดิน เอฟ 2 (prostaglandin F_2) ซึ่งมีผลต่อความคงอยู่ของคอร์ปัสลูเทียม (corpus luteum) (Staples et al., 1998) การทบทวนเอกสารของ Staples et al. (1998) จาก 20 การทดลองพบว่า มีเพียงเล็กน้อยที่พบความสัมพันธ์ระหว่างสถานะทางพลังงาน (energy status) กับอัตราการผสมติด (conception rate) อิทธิพลของไขมันต่อระดับอินซูลิน ให้ผลไม่ตรงกัน ถึงแม้ว่าจะมีแนวโน้มลดลง การเสริมไขมันให้ผลตรงกันคือเพิ่มความเข้มข้นของพรอสตา-แกลนดินในพลาสมา แต่การเปลี่ยนแปลงอาจเป็นเพราะ depressed clearance มากกว่าจะเป็นการเพิ่มผลผลิต (Hawkins et al., 1995) Staples et al. (1998) เสนอว่าการเสริมไขมันที่มีกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) อยู่สูง จะลดความเข้มข้นของพรอสตาแกลนดิน เอฟ 2 และป้องกันการลดลงของคอร์ปัสลูเทียม

ในสภาพการจัดการอาหารส่วนใหญ่จะให้อาหารมีไขมันรวมไม่เกินกว่าร้อยละ 6–7 ของวัตถุดิบอาหาร การให้อาหารที่มีความเข้มข้นของไขมันสูงจะทำให้การกินได้อาหารลดลง ถึงแม้ว่าไขมันจะมีผลต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมักน้อยที่สุด (Schauff and Clark, 1992) การลดลงของการกินได้วัตถุดิบ จะเป็นผลเสียซึ่งส่งผลกระทบต่อประโยชน์ที่จะได้จากการเสริมไขมันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร และอาจจำกัดผลตอบแทนด้านผลผลิตน้ำนม ระดับที่เหมาะสมของไขมันที่เสริมในอาหารโคนม ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ซึ่งรวมถึง ชนิดของไขมัน อาหารที่เป็นองค์ประกอบในอาหารพื้นฐาน ระยะการให้นม สภาวะแวดล้อม ระดับการให้ผลผลิตน้ำนม และการจัดการด้านอาหาร มีรายงานพบว่า การให้ไขมันที่ระดับร้อยละ 6 ของไขมันทั้งหมดในอาหาร อาจจะทำให้ผลผลิตในช่วงต้นระยะให้นม เมื่อการกินได้อาหารลดลงเนื่องจากการเสริมไขมัน (Jerred et al., 1990; Chilliard, 1993) ส่วนผสมของเมล็ดธัญพืชและพืชสดมีองค์ประกอบไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 3 ดังนั้นการเสริมไขมันควรเสริมที่ระดับประมาณร้อยละ 3–4 ของวัตถุดิบอาหาร ไขมันที่นิยมใช้เป็นไขมันสัตว์ หรือ ไขมันสัตว์ผสมไขมันพืช และ เมล็ดพืชไขมัน ใช้เป็นไขมันเสริมที่ยอมรับ แต่ถ้าไขมันดังกล่าวมีผลในทางลบต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมักเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม หรือ การกินได้อาหาร ควรเสริมไขมันที่เฉื่อยต่อการย่อยในกระเพาะหมักทดแทนบางส่วน

การเสริมไขมันให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่าลดการย่อยได้ของ แคลเซียม แมกนีเซียม หรือ ทั้งสองอย่าง ในบางการทดลอง (Tillman and Brethour, 1958; Steele, 1983; Palmquist and Conrad, 1978; Rahnema et al., 1994; Zinn and Shen, 1996) กรดไขมันสามารถสร้างสบู่ที่ไม่ละลายร่วมกับประจุบวก (insoluble soap with cations) ในกระเพาะหมัก ถ้าใส่เล็กน้อยปลายและถ้าใส่ใหญ่ การก่อรูปร่างสบู่ (soap formation) จะมากเมื่อระดับความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น (Sukhija and Palmquist, 1990) การก่อรูปร่างสบู่สามารถลดการดูดซึมของแมกนีเซียมจากกระเพาะหมักและลดการดูดซึมแคลเซียมจากลำไส้ ฉะนั้นถ้าจะเสริมไขมันในอาหารควรเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมในอาหาร

สำหรับงานวิจัย ในประเทศไทย การเสริมไขมันนอกจากจะมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหารโคนมแล้ว ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนกรดไขมันในผลิตภัณฑ์สัตว์ให้เป็นกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทั้งนี้การเสริมไขมันมีทั้งในรูปของเหลวและรูปไขมันไหลผ่าน ตัวอย่างงานวิจัยที่ตีพิมพ์ เช่น Sukombat and Chullanandana (2008) เสริมน้ำมันถั่วเหลือง หรือ rumen protected conjugated linoleic acid (RP-CLA) 150 กรัมต่อตัวต่อวัน ให้กับโครีดนมในช่วงกลางระยะให้นม ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นร้อยละของไขมันและผลผลิตไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในโครีดนมที่ได้รับ RP-CLA เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ โคนมที่ได้รับการเสริมทั้งสองกลุ่มจะมีความเข้มข้นของ CLA ในน้ำนมเพิ่มขึ้น Sukombat et al. (2014) เสริมน้ำมันลินสีด หรือลินสีดทั้งเมล็ดให้กับโครีดนมในช่วงต้นระยะให้นม โดยให้โคทั้งสองกลุ่มได้รับน้ำมันลินสีด (linseed) วันละ 300 กรัมต่อตัว การเสริมน้ำมันลินสีด หรือลินสีดทั้งเมล็ดไม่ทำให้การกินได้วัตถุดิบแห้ง ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม *trans*-9- C18:1, *cis*-9, *trans*-11-CLA, n-3 FA และ UFA ในน้ำนมเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวลดลงในโครีดนมที่ได้รับการเสริมน้ำมันลินสีด หรือลินสีดทั้งเมล็ด ทำนองเดียวกัน Sukombat et al. (2013) เสริมลินสีดทั้งเมล็ดให้กับโครีดนมในช่วงต้นระยะให้นม โดยให้โครีดนมได้รับน้ำมันลินสีดที่ระดับ 150 หรือ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลการทดลองพบว่า การกินได้วัตถุดิบแห้ง ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม โคที่ได้รับการเสริมลินสีดทั้งเมล็ดให้น้ำนมที่มี *trans*-9- C18:1, *cis*-9, *trans*-11-CLA, n-3 FA และ UFA เพิ่มขึ้น ในขณะที่ saturated FAs ลดลง Lunsin et al. (2012a) เสริมน้ำมันรำข้าวร่วมกับกากและใบมันสำปะหลังตากแห้งในโครีดนม พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม แต่การเสริมน้ำมันรำข้าวสามารถเพิ่ม *cis*-9, *trans*-11 CLA และ total CLA ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Lunsin et al. (2012b) เสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ในอาหารข้นสำหรับโคนม พบว่า *cis*-9, *trans*-11 CLA และ total CLA เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามระดับของน้ำมันรำข้าวที่เสริม แต่ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

5.7 สรุป

การเสริมไขมันในอาหารโคนมนอกจากจะเพิ่มความเข้มข้นพลังงานในอาหารโดยเฉพาะในช่วงต้นระยะให้นมแล้ว ยังสามารถเพิ่มกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในน้ำมันโคได้ ในกรณีที่ใช้น้ำมันที่เป็นของเหลว (oils) ระดับการเสริมต้องคำนึงถึงระดับไขมันรวมในอาหารโคนมไม่ควรเกินกว่าร้อยละ 6 ของอาหารทั้งหมด ซึ่งปกติอาหารโคนมจะมีไขมันจากวัตถุดิบและพืชอาหารสัตว์อยู่แล้วประมาณร้อยละ 3 ดังนั้นระดับไขมันที่เสริมเพิ่มจะต้องไม่เกินกว่าร้อยละ 3 ของอาหารทั้งหมด แต่ถ้าเป็นไขมันชนิดไหลผ่านจะสามารถเสริมเพิ่มได้ถึงร้อยละ 5 ของอาหารทั้งหมด สำหรับการเสริมเพื่อให้ได้กรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค เช่น ถ้าต้องการเพิ่ม CLA ในน้ำมันโค ให้โคนมกินหญ้าสดและเสริมด้วยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันลิโนลิกอยู่สูง ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน ถ้าต้องการเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำมันโค ให้เสริมด้วยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันลิโนลิกอยู่สูง ได้แก่ น้ำมันลินสีด ถ้าต้องการเพิ่ม DHA และ EPA ในน้ำมันโค ให้เสริมด้วยน้ำมันปลาทะเลน้ำลึก ถ้าต้องการเพิ่มกรดไขมันโอเมก้า 9 ในน้ำมันโค ให้เสริมด้วยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันโอลิกอยู่สูง ได้แก่ น้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม ถ้าต้องการเพิ่มกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคหลาย ๆ ชนิด ให้เสริมด้วยส่วนผสมของน้ำมันพืชชนิดที่มีกรดไขมันที่ต้องการและน้ำมันปลาทะเลน้ำลึก ระดับการเสริมไขมันสำหรับโคนมสายพันธุ์ไทยอยู่ที่ระดับ 200–300 กรัมต่อตัวต่อวัน

5.8 เอกสารอ้างอิง

- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83:1958–1624.
- Bickerstaffe, R., D. E. Noakes and E. F. Annison. 1972. Quantitative aspects of fatty acid biohydrogenation, absorption and transfer of milk fat in the lactating goat, with special reference to the cis-and trans-isomers of octadecenoate and linoleate. *Biochem. J.* 120:607–609.
- Borsting, C. F., M. R. Weisbjerg and T. Hvelplund. 1992. Fatty acid digestibility in lactating cows fed increasing amounts of protected vegetable oil, fish oil, or saturated fat. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Anim. Sci.* 42: 148– 156.
- Bremmer, D. R., L. D. Ruppert, J. H. Clark and J. K. Drackley. 1998. Effects of chain length and unsaturation of fatty acid mixtures infused into the abomasum of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:176– 188.
- Chilliard, Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *J. Dairy Sci.* 76: 3897– 3931.
- Christensen, R. A., J. K. Drackley, D. W. LaCount and J. H. Clark. 1994. Infusion of four long-chain fatty acid mixtures into the abomasum of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1052– 1069.
- Davis, C. L. and R. E. Brown. 1970. Low-fat milk syndrome. Pp. 545–565 in *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. A.T. Phillipson, ed. Newcastle upon Tyne: Oriel Press Limited.
- DePeters, E. J. 1993. Influence of feeding fat to dairy cows on milk composition. Pp. 199– 215 in *Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufacturers*. Cornell University, Ithaca, NY.
- DePeters, E. J. and J. P. Cant. 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: a review. *J. Dairy Sci.* 75: 2043– 2070.
- DePeters, E. J., S. J. Taylor, C. M. Finley and T. R. Famula. 1987. Dietary fat and nitrogen composition of milk from lactating cows. *J. Dairy Sci.* 70: 1192–1201.
- Drackley, J. K., T. H. Klusemeyer, A. M. Trusk and J. H. Clark. 1992. Infusion of long-chain fatty acids varying in saturation and chain length into the abomasum of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75: 1517–1526.

- Firkins, J. L. and M. L. Eastridge. 1994. Assessment of the effects of iodine value on fatty acid digestibility, feed intake, and milk production. *J. Dairy Sci.* 77:2357–2366.
- Gaynor, P. J., R. A. Erdman, B. B. Teter, J. Sampugna, A. V. Capuco, D. R. Waldo and M. Hamosh. 1994. Milk fat yield and composition during abomasal infusion of cis or trans octadecenoates in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77:157–165.
- Grant, R. J. and S. J. Weidner. 1992. Effect of fat from whole soybeans on performance of dairy cows fed rations differing in fiber level and particle size. *J. Dairy Sci.* 75:2742–2751.
- Grummer, R. R. 1994. Fat sources and levels for high milk production. Pp. 130–139 in *Proc. Southwest Nutrition and Management Conference*. University of Arizona, Tucson, AZ.
- Grummer, R.R. 1995. Ruminal inertness vs. intestinal digestibility of fat supplements: can there be harmony. Pp. 13– 24 in *Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufacturers*. Cornell University, Ithaca, NY.
- Grummer, R.R., M.L. Hatfield and M.R. Dentin. 1990. Acceptability of fat supplements in four dairy herds. *J. Dairy Sci.* 73:852–857.
- Hawkins, D.E., K.D. Niswender, G.M. Oss, C.L. Moeller, K.G. Odde, H.R. Sawyer and G.D. Niswender. 1995. Increase in serum lipids increases luteal lipid content and alters the disappearance rate of progesterone in cows. *J. Anim. Sci.* 73:541–545.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851–3863.
- Jenkins, T.C. 1994. Feeding fat to dairy cattle. Pp. 100–109 in *Proc. Dairy Herd Management Conf.* University of Georgia, Athens, GA.
- Jenkins, T.C. 1997. Success of fat in dairy rations depends on the amount. *Feedstuffs* 69(2):11–12.
- Jerred, M.J., D.J. Carroll, D.K. Combs and R.R. Grummer. 1990. Effects of fat supplementation and immature alfalfa to concentrate ratio on nutrient utilization and lactation performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73:2842–2854.
- Klusmeyer, T.H. and J.H. Clark. 1991. Effects of dietary fat and protein on fatty acid flow to the duodenum and in milk produced by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3055–3067.
- Knapp, D.M., R.R. Grummer and M.R. Dentine. 1991. The response of lactating dairy cows to increasing levels of whole roasted soybeans. *J. Dairy Sci.* 74:2563–2579.
- Kronfeld, D.S. 1976. The potential of the proportions of glucogenic, lipogenic, and aminogenic nutrients in regard to the health and productivity of dairy cows. *Adv. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 7:5–26.
- Lunsin, R., M. Wanapat, C. Yuangklang and P. Rowlinson. 2012a. Effect of rice bran oil supplementation on rumen fermentation, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *Livest. Sci.* 145:167-173.
- Lunsin, R., M. Wanapat and P. Rowlinson. 2012b. Effect of cassava hay and rice bran oil supplementation on rumen fermentation, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 25(10): DOI: 10.5713/ajas.2012.12051
- Mattos, W. and D. L. Palmquist. 1977. Biohydrogenation and availability of linoleic acid in lactating cows. *J. Nutr.* 107:1755– 1761.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirement of Beef Cattle 7th Rev. Ed.*) Washington, D.C.: National Academy Press.

- Noble, R.C. 1981. Digestion, absorption, and transport of lipids in ruminant animals. In *Lipid metabolism in ruminants*, p. 57. (W. W. Christie, Ed.), Pergamon Press, Oxford.
- Palmquist, D.L. 1983. Use of fats in diets for lactating dairy cows. Pp. 357– 381 in *Proc. 37th Easter School in Agriculture*, J. Wiseman, ed. London: Butterworth.
- Palmquist, D.L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74:1354–1360.
- Palmquist, D.L. and H. R. Conrad. 1978. High fat rations for dairy cows. Effects on feed intake, milk and fat production, and plasma metabolites. *J. Dairy Sci.* 61:890–901.
- Pearl, G.C. 1995. Feeding fats. *Fats and Proteins Research Foundation Publication No. 269*. Bloomington IL: Fats and Proteins Research Foundation. 23 pp.
- Rahnema, S., Z. Wu, O. A. Ohajuruka, W. P. Weiss and D. L. Palmquist. 1994. Site of mineral absorption in lactation cows fed high-fat diets. *J. Anim. Sci.* 72:229–235.
- Sanchez, W.K, I.P. Moloi and M.A. McGuire. 1998. Relationship between UIP and inert fat examined. Pages 12–13 in *Feedstuffs*, July 13, 1998.
- Schauff, D.J. and J.H. Clark. 1992. Effects of feeding diets containing calcium salts of long-chain fatty acids to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2990–3002.
- Schingoethe, D.J. and D.P. Casper. 1991. Total lactational response to added fat during early lactation. *J. Dairy Sci.* 74:2617–2622.
- Smith, W.A., B. Harris, Jr., H.H. Van Horn and C.J. Wilcox. 1993. Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *J. Dairy Sci.* 76:205–215.
- Staples, C.R., J.M. Burke and W.W. Thatcher. 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81:856– 871.
- Steele, W. 1983. Intestinal absorption of fatty acids, and blood lipid composition in sheep. *J. Dairy Sci.* 66:520–527.
- Sukhija, P.S. and D.L. Palmquist. 1990. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. *J. Dairy Sci.* 73:784–1787.
- Suksombat, W. and Chullanadana, K. 2008. Effects of soybean oil or rumen protected conjugated linoleic acid supplementation on accumulation of conjugated linoleic acid in dairy cows' milk. *Asian-Aust. J. of Anim. Sci.* 21(9):1271-1277.
- Suksombat, W., C. Meeprom and R. Mirattanaphrai. 2013. Milk production, milk composition, live weight change and milk fatty acid composition in lactating dairy cows in response to whole linseed supplementation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 26(8): <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13027>
- Suksombat, W., L.P. Thanh, C. Meeprom and R. Mirattanaphrai. 2014. Effect of linseed oil or whole linseed supplementation on performance and fatty acid composition of lactating dairy cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 27(7):951-959.
- Sutton, J. D. 1989. Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.* 72: 2801– 2814.
- Tillman, A.D. and J.R. Brethour. 1958. The effect of corn oil upon the metabolism of calcium and phosphorous by sheep. *J. Anim. Sci.* 17:782–786.

- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 1998. USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 12-1. Nutrient Data Laboratory Homepage, <http://www.nal.usda.gov>
- Weisbjerg, M.R., C. Borsting and T. Hvelplund. 1992. Fatty acid metabolism in the digestive tract of lactating cows fed tallow in increasing amounts at two feed levels. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 42:106–114.
- Wu, Z. and J.T. Huber. 1994. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 39:141–155.
- Wu, Z., O.A. Ohajuruka and D.L. Palmquist. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025–3034.
- Zinn, R.A. and Y. Shen. 1996. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 74:2303–2309.

บทที่ 6 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

6.1 บทนำ

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารโคนม และเป็นส่วนประกอบของอาหารทั้งหมดร้อยละ 60-70 หน้าที่หลักของคาร์โบไฮเดรตคือเป็นแหล่งอาหารให้พลังงานสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและตัวของสัตว์ ส่วนหน้าที่รองของคาร์โบไฮเดรตยังช่วยในการรักษาสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร คาร์โบไฮเดรตในอาหารประกอบไปด้วยการผสมผสานกันของโมโนเมอร์และโพลิเมอร์จำนวนมากที่มาเรียงต่อกัน คาร์โบไฮเดรตจัดเป็น 2 ประเภท ซึ่งจะถูกกำหนดตามวิธีการวิเคราะห์และความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ คือ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate) และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างพบอยู่ภายในเซลล์ (cell contents) ของพืชและสามารถย่อยได้มากกว่าคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างที่พบในผนังเซลล์ (cell wall)

6.2 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง

น้ำตาล (sugars) แป้ง (starches) กรดอินทรีย์ (organic acid) และคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ เช่น ฟรุคแทน (fructans) จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตสูง คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างและเพคติน (pectin) มีความสามารถในการย่อยได้สูงและโดยทั่วไปจะเพิ่มในอาหารสำหรับโคที่ให้นม กระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างของกระเพาะหมักแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร กระบวนการแปรรูปและรูปแบบการให้อาหาร

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (non fibrous carbohydrate; NFC) สามารถคำนวณได้จากสมการ $NFC = 100 - (\% \text{เยื่อใย} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{เถ้า})$ ซึ่งต่างจากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างเล็กน้อยที่วัดโดยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ (enzymatic methods) Mertens (1988) ได้รายงานว่าองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในอาหารสัตว์หลาย ๆ ชนิดนั้นไม่เท่ากันและไม่ควรใช้แทนกัน ส่วนมากเกิดจากระดับของเพคติน และกรดอินทรีย์ที่ไม่เท่ากันในแต่ละชนิดของอาหาร ปกติเพคตินจะอยู่ในคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย เมื่อใช้วิธีการดัดแปลงวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ ได้แก่ แป้ง ซูโครสและฟรุคแทน จะวัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง แต่ในส่วนของการหยาบโดยเฉพาะอย่างยิ่งหญ้า ฟรุคแทน และซูโครสนั้นเป็นส่วนประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง ส่วนซูโครสพบในพืชหัว เนื้อของผลไม้ และผลพลอยได้จากอาหารอื่น ๆ สำหรับอาหารหลายชนิดคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างจะเป็นน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากข้าวโพดหมัก ธัญพืช และผลพลอยได้ต่าง ๆ แต่ส่วนมากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างจะเป็นแป้งเกือบทั้งหมด (NRC, 2001) Hall et al. (1999) ได้พัฒนาวิธีการแยกคาร์โบไฮเดรตที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent soluble carbohydrates, NDSC) ในอาหารสัตว์ได้ ความแตกต่างของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการใช้ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลางจะเป็นพวกกรดอินทรีย์และโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ละลายได้ในเอทานอลและน้ำ จากแป้งและเยื่อใยที่ฟอกละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent soluble fiber, NDSF) ซึ่งตามขั้นตอนนี้จะช่วยให้การแบ่งคาร์โบไฮเดรตที่ฟอกละลายในสารฟอกที่เป็นกลางได้เป็น 4 ส่วนคือ 1) กรดอินทรีย์ 2) คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำและเอทานอล (total ethanol/water-soluble carbohydrate) 3) แป้ง และ 4) เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกเป็นกลาง

ระดับที่เหมาะสมของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง หรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารสำหรับโคนมไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจน เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะการเป็นกรด (acidosis) และโรคเกี่ยวกับการเผาผลาญอาหารอื่น ๆ ระดับที่สูงสุดของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างควรอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 ของน้ำหนักแห้ง (Nocek, 1997) และระดับที่ยอมรับได้ของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยอาจจะสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 ในอาหารของโคที่ให้ผลผลิตสูง ทั้งนี้มีความสัมพันธ์กับ 1) ผลของแป้งย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วต่อการย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะหมัก ซึ่งสามารถลดความแตกต่าง

ระหว่างอาหารเมื่อเทียบกับการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 2) ปริมาณของ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง หรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยที่จะแทนที่เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber) ในอาหาร เนื่องจากอาจส่งผลต่อการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ในกระเพาะหมักและการผลิตน้ำลาย 3) บริเวณที่ย่อยแบ่ง 4) ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ และสภาวะทางสรีรวิทยาของสัตว์ และ 5) วิธีการป้องกันและการแปรรูปที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนอัตราและขอบเขตของการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง หรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย การให้แบ่งที่ย่อยได้ง่ายจะถูกย่อยและหมักได้อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก กลายเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสายสั้นๆ และกรดแล็กติก ซึ่งก่อให้เกิดการปลดปล่อยโปรตอน ที่ทำลายนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก และสุขภาพตัวสัตว์ การสะสมกรดดังกล่าวในกระเพาะหมัก อาจก่อให้เกิดโรคสภาวะกรดเกินแบบเฉียบพลัน (acute rumen acidosis) และแบบกึ่งเฉียบพลัน (subacute rumen acidosis, SARA) ดังนั้น การให้อาหารจำพวกแบ่งในปริมาณสูงสำหรับโคนมจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความเหมาะสม (จิระชัย, 2561)

การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารมีอิทธิพลต่อรูปแบบการหมักในกระเพาะหมัก การย่อยสลายของเส้นใยและร้อยละไขมันรวม จากรายงานของ Batajoo and Shaver (1994) สรุปได้ว่าสำหรับโคนมที่ผลิตนมมากกว่า 40 กิโลกรัมต่อวัน คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 30 และจากรายงานของ Nocek and Russell (1988) ชี้ให้เห็นว่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยที่ระดับร้อยละ 40 ในอาหารนั้นเหมาะสมที่สุดสำหรับโคให้นม จากการประเมินอาหารที่ใช้ถั่วอัลฟาฟ่าหมักต่อข้าวโพดหมัก 50:50 ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารอยู่ระหว่างร้อยละ 30 ถึง 46 ในขณะที่ Nocek and Russell (1988) พบว่าเมื่อคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารสูงกว่าร้อยละ 45 ถึง 50 หรือน้อยกว่าร้อยละ 25 ถึง 30 จะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง และจากการศึกษาอื่น ๆ ผลผลิตของโปรตีนนมและองค์ประกอบโปรตีนนมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 41.7 เป็น 46.5

แบ่งเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในวัตถุดิบอาหารสัตว์ร้อยละ 50 - 100 นอกเหนือจากระดับแบ่งทั้งหมดแล้ว อัตราและขอบเขตของการย่อยของแบ่งในกระเพาะหมักยังอาจส่งผลต่อปริมาณของแหล่งแบ่งที่สามารถนำมาใส่ในอาหารได้อย่างปลอดภัย อัตราการหมักแบ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของเมล็ดธัญพืชและการแปรรูปเมล็ดธัญพืช จากรายงานของ Herrera-Saldana et al. (1990) ได้จัดอันดับความสามารถในการย่อยสลายแบ่งจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้ ข้าวโอ๊ต > ข้าวสาลี > บาร์เลย์ > ข้าวโพด > ข้าวฟ่าง ในส่วนของวิธีการแปรรูป เช่น บดละเอียดหรือการทำให้เป็นเกล็ดด้วยไอน้ำ (steam flaking) มีผลต่อกระบวนการหมักแบ่งในกระเพาะหมัก ซึ่งการบดเพิ่มอัตราการย่อยอาหารและอัตราการไหลผ่านซึ่งมีผลต่อการย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร ลักษณะเฉพาะของสัตว์และปริมาณการกินได้วัตถุดิบ มีผลต่ออัตราการไหลผ่าน ดังนั้นการบดละเอียดอาจมีผลต่อการย่อยอาหารของแบ่งมันสำปะหลังที่ระดับปริมาณการกินได้วัตถุดิบที่สูงขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลผ่านได้เร็วขึ้นในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง

สำหรับในเขตร้อนโดยเฉพาะประเทศไทย ได้มีการใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างเพื่อมาเป็นแหล่งพลังงานสำหรับเลี้ยงโคนม เช่น ข้าวโพดบด และมันสำปะหลังตากแห้ง (มันเส้น) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้าวโพดมีต้นทุนสูงกว่ามันเส้น ดังนั้น จึงนิยมใช้มันเส้นเป็นแหล่งพลังงานมากกว่า นอกจากนี้แล้ว หากมีการใช้มันเส้นที่ระดับสูงในสูตรอาหารจะต้องมีการใช้แหล่งไนโตรเจน เช่น ยูเรียร่วมเข้ามามีด้วย เพื่อให้เกิดการนำแหล่งพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด Chanjula et al. (2004) ได้ศึกษาผลของการประสานเวลาการย่อยสลาย (synchronize) แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง 2 แหล่ง คือ ข้าวโพด และมันเส้น ในสัดส่วนร้อยละ 75 ในสูตรอาหารข้น โดยใช้ร่วมกับแหล่งไนโตรเจนคือยูเรีย ผลการทดลอง พบว่า การใช้มันเส้นที่ระดับร้อยละ 75 ร่วมกับยูเรียร้อยละ 4.5 ในสูตรอาหารข้น ไม่ส่งผลกระทบในทางลบต่อโคนม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเมล็ดข้าวโพดบด แต่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า ทั้งนี้เพราะมันเส้นมีราคาต่ำกว่านั่นเอง สอดคล้องกับการศึกษาของ Cherdthong et al. (2011) รายงานถึงการใช้มันเส้นในสูตรอาหารข้นที่ระดับร้อยละ 70 ร่วมกับยูเรียสลายช้า (slow-release urea) สามารถเพิ่มการย่อยได้ การผลิตกรดโปรปิโอนิก และปริมาณผลผลิตน้ำนมในโคนมได้ นอกจากนี้แล้ว การใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างจากหัวมันสำปะหลังสด เพื่อเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ทั้งในแง่ของราคาของหัวมันสดที่ต่ำกว่ามันเส้น การใช้หัวมันสดยังทำให้คุณค่าทางโภชนาที่เป็นประโยชน์ไม่สูญหายไป ทั้งในส่วนของพลังงาน วิตามิน และกรดอะมิโน ตลอดจนทั้งรสชาติของหัวมันสดยังอาจ

สามารถกระตุ้นการกินของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดีด้วย การใช้หัวมันสดเพื่อเป็นแหล่งอาหารสัตว์ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเหลือและส่งเสริมการซื้อหัวมันสดหลังจากเกษตรกรในราคาที่เป็นธรรม เป็นการสร้างระบบการผลิตสัตว์ให้เกิดความยั่งยืนต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม การที่หัวมันสดไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้โดยตรงในอาหารสัตว์ เนื่องจากในหัวมันสดประกอบด้วยสารตั้งต้นไฮยาโนเจนิกไกลโคไซด์ (hydrocyanogenic glycosides) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายที่เป็นพิษ หากสัตว์กินกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid) ในปริมาณที่สูงจะเกิดพิษอย่างเฉียบพลันทำให้ตายได้ มีรายงานพบว่ากัมมะถันมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการลดปริมาณไฮยาโนด์ (cyanide) ลงได้ โดยการทำลายกรดไฮยาโนด์เกิดขึ้นโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ไรโดนาส (rhodanase) และเบต้า-เมอแคปโตไพรูเวต (β -mercaptopyruvate) ที่มีอยู่ในเซลล์ของตัวสัตว์และจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถสร้างขึ้นได้ จากการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ Dagaew et al. (2018) ทำการทดลองในโครีดนมโดยมีการเสริมหัวมันสดหลังสับร้อยละ 1.5 น้ำหนักตัวต่อวัน เพื่อเป็นแหล่งพลังงานร่วมกับอาหารอัดก้อนที่มีกัมมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในระดับสูง พบว่าไม่มีผลทางลบต่อค่าความเข้มข้นของสารเมแทบอไลต์ (metabolites) และฮอร์โมนในกระแสเลือด นอกจากนี้ยังปรับปรุงปริมาณการกินได้รวม เพิ่มปริมาณของไขมันนม และลดจำนวนเซลล์โซมาติก (somatic cell count; SCC) โดยการเสริมหัวมันสดที่ระดับร้อยละ 1.5 น้ำหนักตัว ร่วมกับอาหารอัดก้อนที่มีกัมมะถันเป็นองค์ประกอบที่ระดับร้อยละ 4 ถือว่าเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารทางเลือกใหม่ในโคนม

6.3 คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง

เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) และเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) เป็นวิธีการที่พบได้บ่อยในการวิเคราะห์หาปริมาณของเยื่อใยในอาหาร แต่องค์ประกอบทางเคมีอาจไม่เหมือนกัน เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเป็นส่วนโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เซลลูโลส (celluloses) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และลิกนิน (lignin) ส่วนเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในกรดไม่มีส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการแยกคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในพืช และเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยโดยทั่วไปในอาหารสัตว์ นอกจากนี้ปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด และ เยื่อใยหยาบ มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก แต่จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ซึ่งในปัจจุบันเยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยทั้งหมดที่ได้รับความนิยม ร่วมกับการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดในอาหารสัตว์

โดยเฉลี่ยแล้วเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จะย่อยได้ยากกว่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหาร ดังนั้น ปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารจึงมีความสัมพันธ์กับพลังงานในอาหารสัตว์ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางมีผลต่อปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางที่ย่อยได้ ดังนั้นอาหารที่มีลักษณะคล้ายกันเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางอาจแตกต่างกันและไม่จำเป็นต้องมีปริมาณของค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (NE_L) เท่ากันกับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง ดังนั้นในอาหารสัตว์อาจมีพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมในระดับที่มากหรือน้อยกว่าปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง อาจกล่าวได้ว่าปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารสามารถบ่งบอกถึงค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นมในโคนมได้ และปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยอาจส่งผลดีต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก และปริมาณของเยื่อใยที่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางที่สูงจะส่งผลต่อการกินได้วัตถุดิบ และมีผลต่อค่าพลังงานสุทธิเพื่อการให้นม จากการศึกษาของ Mertens (1994) เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารอยู่ในระดับที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้วัตถุดิบในโคนม และปริมาณการกินได้วัตถุดิบอาจมีข้อจำกัดเมื่อโคให้ผลผลิตน้ำนมประมาณ 40 กิโลกรัมต่อวัน อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางมากกว่าร้อยละ 32 และสำหรับโคที่ให้ผลผลิตน้ำนม 20 กิโลกรัมต่อวัน การกินได้วัตถุดิบจะไม่ถูกจำกัดถ้าหากปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางไม่มากเกินไป

ร้อยละ 44 ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารมีผลกระทบต่อสุขภาพของโคนมและกระบวนการหมัก รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก เนื่องจากเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง โดยทั่วไปใช้เวลาในการหมัก และย่อยได้นานกว่าคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย และเนื่องจากเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารทั่วไปได้จากแหล่งของอาหารหยาบที่เป็นโครงสร้างโดยจะส่งเสริมการเคี้ยวเอื้อง และการผลิตน้ำลาย และมีผลต่อปริมาณไขมันในน้ำนม ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย และระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง สามารถบ่งบอกได้ถึง การเปลี่ยนแปลงของการกินอาหารในโคนมได้ในระยะสั้นและผลกระทบระยะยาว (Nocek, 1997)

อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเท่ากับร้อยละ 25 ผลการทดลองพบว่าผลผลิตน้ำนมมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับการให้อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางสูง จากการศึกษา พบว่าปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางที่ร้อยละ 16 ถึง 20 จากพืชอาหารสัตว์ ที่ประกอบไปด้วย ลำต้น ใบและเมล็ด โดยให้สัตว์กินในรูปแบบของ สด แห้ง หรือหมัก ในอาหารที่มีปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางน้อยกว่าร้อยละ 25 และ 16 ส่งผลให้ไขมันในน้ำนมลดลง การศึกษาการให้อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง ร่วมกับข้าวโพดหมัก พบว่า การให้อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางร้อยละ 24 ร่วมกับข้าวโพดหมัก ส่งผลให้ไขมันในน้ำนมลดลงมากกว่าในอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางร้อยละ 29 และ 35 (Cummins, 1992)

นอกจากนี้แล้วการให้สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น (roughage to concentrate ratio, R:C ratio) ยังส่งผลต่อการให้ผลผลิตของโคนมในช่วงต่างๆ ด้วย ดังนั้น ในการประกอบสูตรอาหารจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นด้วย โดยทั่วไปแล้วสัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้นผันแปรตรงกันข้ามกับองค์ประกอบเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ของวัตถุดิบอาหารหยาบแต่ละชนิด เมื่อวัตถุดิบอาหารหยาบมีเยื่อใยในรูปผนังเซลล์สูงขึ้น ทำให้อาหารมีสัดส่วนของอาหารหยาบลดลง และมีสัดส่วนของอาหารข้นเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากวัตถุดิบอาหารหยาบมีเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ลดลง ทำให้อาหารมีสัดส่วนอาหารหยาบเพิ่มขึ้นและมีสัดส่วนอาหารข้นลดลง ซึ่งในโคนมที่ให้ผลผลิตมากกว่า 25 กิโลกรัมต่อวัน ควรที่จะให้สัดส่วนอาหารข้นมากกว่าร้อยละ 60 และอาจมีสัดส่วนของอาหารข้นสูงถึงร้อยละ 80 หากใช้วัตถุดิบอาหารหยาบที่ไม่ได้หั่นสับให้สั้นลง (จีระชัย, 2561) ในทางตรงกันข้ามอาหารที่มีเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ต่ำลง จะมีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยสูงขึ้น เมื่ออาหารมีสัดส่วนอาหารข้นสูงกว่าร้อยละ 60 มีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยของอาหารมีค่ามากกว่าร้อยละ 45 หากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยมีค่าการย่อยได้ง่าย สูงด้วย จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะหมักลดลง ทำให้จุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยไม่สามารถเจริญเติบโต และย่อยเยื่อใยลดลง ในขณะที่ความถี่การป้อนโปรตีนที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากการหมักน้ำตาลโดยจุลินทรีย์ จะมีผลต่อการยับยั้งการกินได้ของโค ทำให้แม่โคกินอาหารได้ลดลง (Allen, 2000) นอกจากนี้ ปริมาณกรดโปรตีนที่สูงขึ้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งยับยั้งการสลายไขมันที่สะสมในร่างกาย และยับยั้งการใช้กรดไขมันอิสระในกระบวนการผลิตพลังงานเปอร์ออกซิโซม ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานต่ำ แต่จะผลิตความร้อนสูงกว่าการใช้กรดไขมันอิสระในกระบวนการผลิตพลังงานในไมโทคอนเดรีย ปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นในเปอร์ออกซิโซม จะทำให้การกินได้ของแม่โคลดลง (จีระชัย, 2561)

6.4 ปริมาณความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางสำหรับโครีดนม

ในโคนมที่มีระดับพลังงานในอาหารต่ำควรได้รับแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางสูง ซึ่งปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในพืชอาหารสัตว์จะมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตในโคนม NRC (2001) ได้แนะนำสำหรับโครีดนมที่ได้รับอาหารที่เอ็มอาร์ (total mixed ration, TMR) และใช้ข้าวโพดบดเป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารรวมควรจะมีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ส่วนแหล่งอาหารหยาบที่ใช้ควรมีเยื่อใยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 19 นอกจากนี้แหล่งอาหารหยาบที่มีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเพียงร้อยละ 15 ในสูตรอาหารรวมควรมีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางมากกว่าร้อยละ 33 (ตารางที่ 6.1) ทั้งนี้ระดับดังกล่าวจะทำให้มั่นใจได้ว่าโครีดนมจะได้รับแหล่งอาหารเยื่อใยอย่างเพียงพอต่อกระบวนการเคี้ยวเอื้อง และส่งเสริมกระบวนการหมักในกระเพาะหมักได้

ตารางที่ 6.1 ปริมาณความต้องการเยื่อใยจากอาหารทั้งหมด และจากแหล่งอาหารหยาบ สำหรับโครีดนมที่ได้รับอาหารที่เอ็มอาร์ โดยใช้ข้าวโพดบดเป็นแหล่งพลังงานหลัก

ระดับต่ำสุดของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากพืชอาหารสัตว์	ระดับต่ำสุดของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหาร	ระดับต่ำสุดของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหาร	ระดับต่ำสุดของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดในอาหาร
19	25	44	17
18	27	42	18
17	29	40	19
16	31	38	20
15	33	36	21

ที่มา: NRC (2001)

ปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในพืชที่ไม่ใช่แหล่งของอาหารหยาบ พบว่า ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนมและไขมันในน้ำมน้อยกว่าการให้แหล่งของอาหารหยาบที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางสูงกว่า อย่างไรก็ตาม Firkins (1997) ได้รายงานว่าการให้พืชอาหารที่ไม่ใช่แหล่งของอาหารหยาบในโคนมช่วยรักษาสมาดุลของค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักและกระบวนการย่อยอาหารในโคนมได้ Mertens (1997) รายงานว่าการได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในปริมาณที่สูงจากแหล่งของพืชอาหารที่ไม่ใช่อาหารหยาบมีผลต่อกระบวนการเคี้ยวเอื้องในโคนมเช่นกัน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไขมันในน้ำนม ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะหมัก หรือการเคี้ยวเอื้องที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง หรือ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารเป็นเรื่องที่ยากเนื่องจากสัมพันธ์กับปริมาณด้วย โดยเฉลี่ยปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารมีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ ถ้าโภชนะทั้งหมดมีความคงที่ ยกเว้นเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง และ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย โดยเปลี่ยนปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากร้อยละ 33 เป็น 28 ของวัตถุดิบ (ลดร้อยละ 15) ค่าเฉลี่ยของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยต้องเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็น 45 ของวัตถุดิบ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 11) (Armentano and Pereira, 1997) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความแปรปรวนปริมาณของโปรตีนหยาบและไขมันที่เสริมในอาหาร โดยมีความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยในอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางร้อยละ 25 อาจมีความแปรปรวนได้ร้อยละ 2 ถึง 9 ในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยมากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกระเพาะอาหารและปัญหาสุขภาพ (Nocek, 1997) ดังนั้นเมื่อต้องใช้เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางระดับต่ำต้องใช้ควบคู่กับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย ในอาหารที่มีปริมาณของโปรตีนหยาบและไขมันต่ำ ควรมีปริมาณของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางที่สูงขึ้น ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยระดับสูงสุดที่แนะนำ

นอกจากนี้ Kanjanapruthipong et al. (2001) ได้ทำการศึกษาวิจัยภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้น (tropical conditions) ของประเทศไทย ซึ่งมีค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 91.5 และ 86.4 ในช่วงกลางวัน และ 81.0 และ 74.2 ในช่วงกลางคืน ซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่า โคนมอยู่ในสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนอย่างมาก การกินอาหารและการนอน (feeding and laying bouts) มีค่าลดลงแบบเป็นเส้นตรงเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการให้แหล่งของเยื่อใยจะมีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากการรายงานของ NRC (2001) ในโคนมพันธุ์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 93.75 ขึ้นไป ได้รับอาหารผสมสำเร็จที่มีระดับโปรตีน และพลังงานใกล้เคียงกัน พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบ ทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ โปรตีนหยาบ พลังงานสุทธิ ปริมาณนมปรับไขมันนมที่ร้อยละ 4 โปรตีนนม และการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวันของโคนมลดลง ส่วนปริมาณการกินได้ของไขมัน และเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง และไขมันนม

เพิ่มขึ้น เมื่อระดับของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบเพิ่มขึ้น จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้น การกินได้ของโคนมจะเพิ่มขึ้น และให้ผลผลิตนม และองค์ประกอบน้ำนมที่เหมาะสม เมื่อโคได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากอาหารหยาบในระดับต่ำ

นอกจากนี้ Kanjanapruthipong and Buatong (2004) ทำการศึกษาการทดแทนแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง ด้วยเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากแหล่งเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบ (non forage fiber, NFF) ในโคนมพันธุ์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 93.75 ขึ้นไป โคนมได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากอาหารหยาบ (ข้าวโพดหมัก) ร้อยละ 17 และ ได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากแหล่งเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบของ เทากับร้อยละ 11, 14, 17 และ 20 ซึ่งได้จากกากมันสำปะหลังแห้งคิดเป็นร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 ของวัตถุดิบ ตามลำดับ พบว่า การใช้เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบในอาหารสามารถทดแทนเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหาร ได้บางส่วน นอกจากนี้ Kanjanapruthipong and Thaboot (2006) ทำการศึกษาในโคนมพันธุ์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเซียนร้อยละ 75.0 - 87.5 จำนวนวันรีดนมเฉลี่ย 55 วัน ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลองมีค่าสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 85.0 และ 76.9 ตามลำดับ โคนมได้รับอาหารที่มีโปรตีนและพลังงานใกล้เคียงกัน ระดับของเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารรวมเท่ากับร้อยละ 23, 25, 27 และ 29 ของวัตถุดิบ และเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากฟางข้าว เทากับร้อยละ 12.8, 14.8, 16.8 และ 18.8 ของวัตถุดิบ แสดงให้เห็นว่าโคนมที่มีการกินได้สูง และมีประสิทธิภาพในการเผาผลาญอาหารเมื่อได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากอาหารหยาบ (ฟางข้าว) ต่ำ จะเป็นผลดีต่อระบบการผลิตภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้น

ส่วน Kanjanapruthipong et al. (2010) ศึกษาผลกระทบของอาหารในช่วง 3 สัปดาห์ก่อนคลอดของโคนมลูกผสม (ร้อยละ 87.5 HF x 12.5 Sahiwal) จำนวน 30 ตัว นำโคเข้าทดลองในช่วง 60 วัน ก่อนคลอด ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลองมีค่าสูงสุด และต่ำสุด เท่ากับ 86.8 และ 77.7 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่บ่งชี้ว่าโคนมมีความเครียดสูง โคนมได้รับอาหารโคระยะพักรีดนม ตามคำแนะนำของ NRC (2001) อาหารทดลองเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวมเท่ากับร้อยละ 28.9, 32.1 และ 34.2 ซึ่งเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากหญ้าขน (Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucaeum) ระดับร้อยละ 17.4, 19.2 และ 21.0 ของวัตถุดิบ หลังคลอดโคนมทุกตัวจะได้รับอาหารโคระยะให้นมที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวม เท่ากับร้อยละ 23 และได้เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบร้อยละ 12.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้อาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบต่ำลงในระยะ 3 สัปดาห์ก่อนคลอดอาจช่วยลดการลดลงของปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ และลดการสลายไขมันที่สะสมในร่างกายของโคนมระยะหลังคลอด จึงอาจเป็นกลยุทธ์ที่ช่วยลดผลกระทบจากฮอร์โมนและความเครียดจากความร้อนของโคนมระยะเปลี่ยนผ่าน (transition)

นอกจากนี้ Kanjanapruthipong and Buatong (2003) ได้ศึกษาผลของอาหารผสมสำเร็จที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบแตกต่างกัน 3 แหล่ง (หญ้าขนหมัก, หญ้าขนหมักร่วมกับมันเส้น และ ข้าวโพดหมัก) โดยอาหารทดลองมีโปรตีนและพลังงานใกล้เคียงกัน และมีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางร้อยละ 28 ซึ่งได้จากอาหารหยาบเท่ากับร้อยละ 17.5 โดยใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 93.75 ขึ้นไป ที่ให้ลูกมาแล้วหลายครั้ง มีจำนวนวันของการให้นม 60 วัน ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลองมีค่าสูงสุด และต่ำสุด เท่ากับ 79.1 - 80.6 และ 66.8 - 68.6 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ สนับสนุนว่าสูตรอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางเท่ากัน แต่ถ้าอาหารหยาบมีคุณภาพแตกต่างกัน อาหารหยาบที่มีคุณภาพสูงสามารถกระตุ้นปริมาณการกินได้ของโคนมให้สูงขึ้น และช่วยเพิ่มผลผลิตนมของโคนมในเขตร้อนชื้นได้ ส่วน Kanjanapruthipong et al. (2015) ทำการศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารและการนอนของโคนมพันธุ์ลูกผสม (ร้อยละ 87.5 HF x 12.5 Sahiwal) จำนวน 30 ตัว ที่อยู่ในระยะแรกของการให้นม (early lactation) เมื่อได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางต่ำ โดยมีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางทั้งจากแหล่งอาหารหยาบ และเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากแหล่งของเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบ เช่น เปลือกเมล็ดถั่วเหลือง (soy hulls) และกากมันสำปะหลัง

แห้ง (cassava residues) โคนมได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวม ร้อยละ 25 ของวัตถุดิบ โดยอาหารควบคุม (control) มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง จากอาหารหยาบ (ฟางข้าว) ร้อยละ 13.9 ส่วนอาหารทดลองที่เหลือจะทดแทนเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากฟางข้าวด้วย เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง และกากมันสำปะหลังแห้ง ระดับร้อยละ 3.9 ของวัตถุดิบ ค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 86.4 และ 91.5 ในช่วงกลางวัน และ 74.2 และ 81.0 ในช่วงกลางคืน ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าโคนมอยู่ในสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนอย่างมาก จากการศึกษาพบว่า ช่วงเวลาการกินอาหารและการนอนลดลงแบบเป็นเส้นตรงเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเวลากลางวัน พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง และกากมันสำปะหลังแห้ง มีปริมาณวัตถุดิบที่กินได้สูงกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากฟางข้าว ส่วนจำนวนมื้ออาหารในช่วงกลางวันและกลางคืนลดต่ำลง ปริมาณอาหารที่กิน (meal size) และระยะเวลาที่ใช้กิน (meal length) ในช่วงกลางวันและกลางคืนจะมากขึ้นในกลุ่มโคที่ได้รับอาหารเยื่อใยจากผิวเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง และกากมันสำปะหลังแห้ง ส่วนโคนมที่ได้รับอาหารเยื่อใยจากเปลือกเมล็ดถั่วเหลือง และกากมันสำปะหลังแห้ง มีความถี่ในการนอน (lay down) ต่ำกว่า และใช้เวลาอนในช่วงเวลากลางวันนานกว่า ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าภายใต้สภาวะเครียดช่วงกลางวัน โคนมระยะแรกของการให้นม เมื่อได้รับอาหารที่มีเยื่อใยจากแหล่งที่ไม่ใช่อาหารหยาบมีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มทั้งระยะเวลาที่ใช้กินและปริมาณอาหารที่กิน และใช้เวลาในการนอนมากกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากฟางข้าว นอกจากนี้โคนมยังให้ผลผลิตนมที่ปรับไขมันนมร้อยละ 4 มากกว่า และสูญเสียน้ำหนักตัวต่ำกว่า รวมถึงอุณหภูมิทวารหนักที่วัดในช่วงเวลาตื่น (15.30 น.) ต่ำกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากฟางข้าว จะเห็นได้ว่าโคนมมีการลดภาระการระบายความร้อนออกจากร่างกาย (heat load) โดยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการกินอาหารและการนอน จึงควรพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของโคนมระยะแรกคลอดที่มีภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน ดังนั้น จากรายงานการศึกษาที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่าโคนมพันธุ์ลูกผสมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ร้อยละ 87.5 ขึ้นไป ที่เลี้ยงภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้นควรได้รับอาหารที่มีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง ดังนี้

1. โคระยะก่อนคลอด ควรได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวมเท่ากับร้อยละ 28.9 และร้อยละ 17.4 ควรมาจากอาหารหยาบ
2. โคระยะแรกคลอด (early lactation) ควรได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวมเท่ากับร้อยละ 23 - 25 และร้อยละ 12.7 - 13.9 ควรมาจากอาหารหยาบ สามารถทดแทนแหล่งเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางจากอาหารหยาบด้วยแหล่งของเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบได้ประมาณร้อยละ 3.9
3. โคระยะกลางของการให้นม (mid lactation) ควรได้รับเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวมร้อยละ 23 - 28 และร้อยละ 12.8 - 17.5 ควรมาจากอาหารหยาบ อาหารหยาบที่มีคุณภาพสูงจะช่วยกระตุ้นการกินได้และการให้ผลผลิตนมของโค

6.5 ความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดในอาหารโครีดนม

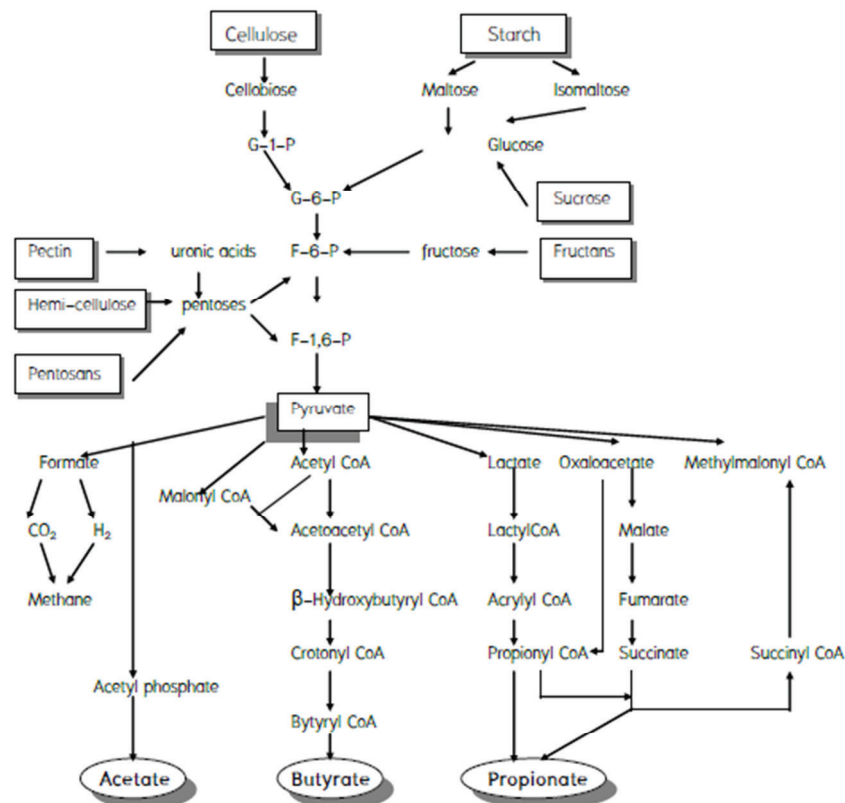
ความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดสำหรับโครีดนม จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางที่สัตว์ได้รับจากทั้งแหล่งอาหารหยาบ และปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางในอาหารทั้งหมด โดย NRC (2001) แนะนำว่าโครีดนมมีความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด ในอาหารรวมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 17 หากอาหารหยาบและอาหารรวมมีปริมาณเยื่อใยร้อยละ 19 และ 25 ตามลำดับ ในขณะที่หากอาหารหยาบและอาหารรวมมีเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง ร้อยละ 15 และ 33 ตามลำดับ โคนมจะมีความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 21 (ตารางที่ 6.1)

6.6 กระบวนการย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในโคนม

6.6.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่กระเพาะหมัก

โคนมสามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้ทั้งรูปของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง ได้แก่ แป้งและน้ำตาล นอกจากนี้ยังสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง ประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส การย่อยคาร์โบไฮเดรตจะเริ่มต้นที่กระเพาะหมัก ซึ่งเป็นการย่อยสลายจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์และขับออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular microbial enzyme) ย่อยสลายให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

ค่าการย่อยได้ของแป้งในกระเพาะหมักอาจย่อยได้ร้อยละ 60 - 95 (Offner et al., 2003) ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยแป้งในข้าวโพดจะมีการย่อยสลายได้ร้อยละ 60 ในขณะที่แป้งในข้าวสาลีสามารถย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 95 นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบยังมีผลต่อการย่อยสลายแป้งได้เช่นกัน เช่น การคั่วจะทำให้การย่อยสลายของแป้งลดลงร้อยละ 17 - 31 ในขณะที่ยอดหนึ่งจะทำให้การย่อยสลายของแป้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 26 นอกจากนี้ขนาดของวัตถุดิบก็มีผลต่อการย่อยสลายแป้งเช่นกัน ขนาดของวัตถุดิบที่ลดลงจะทำให้การย่อยสลายแป้งได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการย่อยสลายแป้งในกระเพาะหมักยังขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กินได้ โดยพบว่าเมื่อสัตว์กินอาหารมากขึ้นจะทำให้การย่อยแป้งลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่เพิ่มขึ้นจะมีอัตราการไหลผ่านของอาหารเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้จุลินทรีย์เข้าทำการย่อยสลายได้ลดลง (Nozriere et al., 2010) ในกระเพาะหมักยังมีการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate) ที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกรดแล็กติกที่มีอยู่ในพืชหมัก ปกติแล้วจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 15 ของวัตถุดิบ และมีอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วมาก (Russell et al., 1992; Petrucci et al., 2002)



ภาพที่ 6.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

ที่มา: บุญล้อม (2541)

การย่อยเยื่อใยในกระเพาะหมักนั้นส่วนมากจะเป็นการย่อยในส่วนของเยื่อใยผนังเซลล์ (เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง) ปริมาณผนังเซลล์ของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับ ชนิดของอาหารหยาบ ระยะการเจริญเติบโตของพืช หรือวิธีการถนอมอาหาร และการย่อยได้ของผนังเซลล์นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเช่นกัน การย่อยได้ของผนังเซลล์อยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 90 (Oba and Allen, 1999) เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใยได้ ดังนั้นการย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะหมักจึงเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายเยื่อใยได้ทันที แต่จะต้องใช้เวลาผลิตเอนไซม์และเข้าทำการย่อยสลายเยื่อใย ช่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่าแล็กเฟส (lag phase) การย่อยสลายเยื่อใยจะเกิดขึ้นหลังจากช่วงแล็กเฟสไปแล้ว ซึ่งช่วงเวลาแล็กเฟสจะขึ้นอยู่กับปริมาณผนังเซลล์ในอาหารและอาจจะใช้เวลานานถึง 10 ชั่วโมง อัตราการย่อยสลายเยื่อใยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เยื่อใยอาหารนั้นอยู่ในกระเพาะหมัก ทั้งนี้ระยะเวลาที่เยื่อใยอยู่ในกระเพาะหมักก็ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นอาหาร และปริมาณอาหารที่กินได้ นอกจากนี้ปริมาณอาหารชิ้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารชิ้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลง มีผลทำให้การทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใยลดลง (Nozriere et al., 1996)

การย่อยหรือหมักคาร์โบไฮเดรตของจุลินทรีย์ขั้นสุดท้ายจะได้กรดไขมันระเหยได้ง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก และ กรดบิวทีริก นอกจากนี้ยังมีแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 6.1 กรดไขมันระเหยได้ง่ายส่วนมากเกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก ปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบในปริมาณมากจะการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตจะเกิดกรดอะซิติกสูง ในขณะที่สัตว์ที่ได้รับอาหารข้นในปริมาณมากจะการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตจะเกิดกรดโพรปิโอนิกสูง อย่างไรก็ตามหากสัตว์ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงก็สามารถเกิดกรดไขมันระเหยได้ง่าย เช่น วาลีน (valine) ลูซีน (leucine) และไอโซลูซีน (isoleucine) สามารถเปลี่ยนเป็นกรดไอโซบิวทีริก (isobutyric acid) กรดไอโซวาเลอิก (isovaleric acid) และกรด 2- เมทิล ไอโซบิวทีริก (2-methyl isobutyric acid) และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ง่ายแล้วเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ได้เช่นกัน (Nozriere et al., 2010)

เมื่อคาร์โบไฮเดรตถูกหมักย่อยในกระเพาะหมักได้ กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก และกรดบิวทีริก กรดไขมันระเหยได้ง่ายเหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก กระเพาะสามลิบบลิบ กระเพาะแท้ และผนังลำไส้เล็ก เข้าสู่กระแสเลือดส่งไปยังตับ โดยกรดบิวทีริกจะเปลี่ยนแปลงผ่านผนังกระเพาะหมักได้เป็น เบต้า ไฮดรอกซีบิวทีเรต (beta-hydroxybutyrate; BHBA) แล้วเข้าสู่กระแสเลือด เมื่อออกจากตับกรดไขมันระเหยได้ง่ายเหล่านี้จะถูกส่งผ่านทางระบบไหลเวียนของเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย

การดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ง่ายผ่านทางผนังของกระเพาะหมักสามารถเกิดขึ้นได้ร้อยละ 65 - 85 ของกรดไขมันระเหยได้ง่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมดุลของอัตราการดูดซึมและอัตราการไหลเวียน (turnover rate) ของของเหลวในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงจะทำให้การดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้ลดลง (Nozriere et al., 2010)

6.6.2 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้เล็ก

การย่อยแบ่งที่เกิดขึ้นในลำไส้เล็ก จะเกิดจากน้ำย่อยจากลำไส้เล็ก (intestinal juice) ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) ขั้นสุดท้ายอยู่หลายชนิด คือเอนไซม์ซูโครส (sucrose) ย่อยซูโครส (sucrose) ได้เป็นกลูโคส (glucose) และฟรุ็กโทส (fructose) เอนไซม์มอลเทส (maltase) ย่อยมอลโทส (maltose) ได้เป็นกลูโคส 2 โมเลกุล และเอนไซม์แลคเทส (lactase) ย่อยแล็กโทส (lactose) ได้เป็นกลูโคส และกาแล็กโทส (galactose) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์โอลิโก -1,6 กลูโคซิเดส (oligo-1,6-glucosidase) ย่อยพันธะ 1,6 ของ limited dextrin

โดยทั่วไปแล้วกลูโคส และน้ำตาลเฮกโซส (hexoses) อื่น ๆ เช่น ฟรุ็กโทส และกาแล็กโทสจะถูกดูดซึมที่ลำไส้โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) เข้าสู่กระแสเลือดแล้วส่งต่อไปยังตับและเนื้อเยื่อเพื่อเปลี่ยนเป็นไกลโคเจน (glycogen) โดยไกลโคเจนนี้จะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นกลูโคสที่เล็กลงน้อยเพื่อใช้ในร่างกายสัตว์ ตัวของสัตว์เป็นแหล่งสำหรับเก็บไกลโคเจนประมาณร้อยละ 10 - 15 ของน้ำหนักตัว ไกลโคเจนอาจพบอยู่ตามเนื้อเยื่อ แต่จำนวนที่มีอยู่เพียงเล็กน้อย เช่นตามกล้ามเนื้อ ในเลือดไม่พบว่ามีไกลโคเจนอยู่เลย

ถ้าสัตว์ได้รับกลูโคสมากเกินไปจนกระทั่งตับ และกล้ามเนื้อไม่สามารถควบคุมดูแลได้ กลูโคสก็จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ ตับของสัตว์นอกจากจะเป็นแหล่งเก็บไกลโคเจนยังทำหน้าที่คอยควบคุมระดับของน้ำตาลในเลือดไม่ให้มีมากหรือน้อยเกินไป หลังจากถูกดูดซึมจะถูกเก็บไว้เป็นการชั่วคราวในรูปของไกลโคเจน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ (hyperglycemia) และหลังจากนั้นไกลโคเจนจึงจะถูกนำออกมาใช้โดยเปลี่ยนเป็นกลูโคสเพื่อให้เกิดการสมดุล เนื่องจากน้ำตาลในเลือดถูกดึงไปใช้ โดยเนื้อเยื่อต่าง ๆ และเป็นการป้องกันมิให้เกิดระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าปกติ (Noziere et al., 2010)

6.6.3 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่ลำไส้ใหญ่

เมื่ออาหารมาถึงลำไส้ใหญ่ ส่วนที่ถูกย่อยจะดูดซึมไปหมด เหลือแต่ส่วนที่ย่อยไม่ได้ ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส รวมทั้งส่วนของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ภายในเซลล์ที่หุ้มด้วยลิกนิน ส่วนใหญ่จะถูกขับออกนอกร่างกายแต่อาจจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่บ้าง ต่อมาในลำไส้ใหญ่ ส่วนใหญ่เป็นต่อมเมือก (mucous gland) ซึ่งผลิตสารเมือกแต่ไม่ผลิตเอนไซม์ ฉะนั้นการย่อยที่ลำไส้ใหญ่จึงเกิดจากเอนไซม์ในลำไส้เล็กที่ติดมากับอาหาร หรือเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ ผลพลอยได้จากการทำงานของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่คือ การสร้างวิตามินเค และ วิตามินบี บางชนิด เช่น ไบโอติน (biotin) ซึ่งสัตว์อาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้บ้าง แต่เนื่องจากลำไส้ใหญ่อยู่เลยตำแหน่งดูดซึมที่สำคัญของร่างกายไปแล้ว ฉะนั้นสัตว์จึงไม่สามารถได้รับวิตามินที่สังเคราะห์นี้ได้เพียงพอกับความต้องการ

6.7 สรุป

โคนมมีความจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานที่ได้จากแหล่งคาร์โบไฮเดรตทั้งที่เป็นโครงสร้างและไม่เป็นโครงสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการดำรงชีพ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต นอกจากนี้ ภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย การให้แหล่งของเยื่อใยจะมีลักษณะที่แตกต่างออกไป สำหรับระดับที่สูงสุดของแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในโครีดนมควรอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางรวมในอาหารควรได้รับประมาณร้อยละ 23 - 28 และปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางควรมาจากอาหารหยาบร้อยละ 12 - 17 สำหรับความต้องการเยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดในอาหารรวมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 17 อย่างไรก็ตาม ระดับความต้องการคาร์โบไฮเดรตในโครีดนมของประเทศไทยยังมีการศึกษาไม่มากนัก ดังนั้นในอนาคตควรจะมีการศึกษาความต้องการโภชนะดังกล่าวเพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาในโครีดนมที่อยู่ภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย และมีการให้วัตถุดิบอาหารเขตร้อน

6.8 เอกสารอ้างอิง

- กมลมาศ ดาแก้ว, อนุสรณ์ เชิดทอง, เมธา วรรณพัฒน์, อนุจิตา เสนาคำสอน, ชนะดล สุภาพงษ์, เบญจมาศ คนแข็ง, และคณะ. 2561. แนวทางใหม่ในการใช้ประโยชน์หัวมันสำปะหลังสดในโครีดนมที่ได้รับการเสริมอาหารอัดก้อนที่มีกัมมะถันเป็นองค์ประกอบระดับสูง. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 35(2) (พิเศษ 2):117-125.
- จิระชัย กาญจนพถุณพิพงศ์. 2561. การจัดการฝูงโคนม. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม: เมจิก พับลิเคชั่น จำกัด.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. J. Dairy Sci. 83(7):1598-1624.
- Armentano, L. and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. J. Dairy Sci. 80(7):1416-1425.

- Batajoo, K.K. and R.D. Shaver. 1994. Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77(6):1580–1587.
- Chanjula, P., M. Wanapat, C. Wachirapakorn and P. Rowlinson. 2004. Effect of synchronizing starch sources and protein (NPN) in the rumen on feed intake, rumen microbial fermentation, nutrient utilization and performance of lactating dairy cows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 17(10):1400-1410.
- Cherdthong, A., M. Wanapat and C. Wachirapakorn. 2011. Effects of urea–calcium mixture in concentrate containing high cassava chip on feed intake, rumen fermentation and performance of lactating dairy cows fed on rice straw. *Livest. Sci.* 136(2-3):76–84.
- Cummins, K. A. 1992. Effect of dietary acid detergent fiber on responses to high environmental temperature. *J. Dairy Sci.* 75(6):1465–1471.
- Firkins, J.L. 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 80(7):1426–1437.
- Hall, M.B., W.H. Hoover, J.P. Jennings and T.K. Miller-Webster. 1999. A method for partitioning neutral detergent soluble carbohydrates. *J. Sci. Food Agr.* 79(15):2079–2086.
- Herrera-Saldana, R., R. Gomez-Alarcon, M. Torabi and J.T. Huber. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial synthesis. *J. Dairy Sci.* 73(1):142–148.
- Kanjanapruthipong, J., N. Buatong and S. Buaphan. 2001. Effects of neutral detergent fiber on dairy performance under tropical conditions. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14(10):1400-1404.
- Kanjanapruthipong, J. and N. Buatong. 2003. Formulating diets on an equal forage neutral detergent fiber from various sources of silage for dairy cows in the tropics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16(5):660-664.
- Kanjanapruthipong, J. and N. Buatong. 2004. Effects of replacing nonfiber carbohydrates with nonforage detergent fiber from cassava residues on performance of dairy cows in the tropics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 17(7): 967-972.
- Kanjanapruthipong, J. and B. Thaboot. 2006. Effects of neutral detergent fiber from rice straw on blood metabolites and productivity of dairy cows in the tropics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19(3):356-362.
- Kanjanapruthipong, J., N. Homwong and N. Buatong. 2010. Effects of prepartum roughage neutral detergent fiber levels on periparturient dry matter intake, metabolism, and lactation in heat-stressed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 2589-2597.
- Kanjanapruthipong, J., W. Junlapho and K. Karnjanasirm. 2015. Feeding and lying behavior of heat-stressed early lactation cows fed low fiber diets containing roughage and nonforage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 98(2):1110-1118.
- Mertens, D.R. 1988. Balancing carbohydrates in dairy rations. *Proc. Large Herd Dairy Mgmt. Conf., Dept. Animal Sci., Cornell Univ., Ithaca, NY.* (pp. 150).
- Mertens, D.R. 1994. Regulation of feed intake. In *Proc in Forage Quality, Evaluation, and Utilization* J.G.C. Fahey, ed., Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison WI. (pp. 450–493).
- Mertens, D.R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80(7):1463–1481.
- Nocek, J.E. 1997. Bovine acidosis: implications on lameness. *J. Dairy Sci.* 80(5):1005–1028.
- Nocek, J.E. and J.B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71(8):2070–2107.

- Nozière P, I. Ortigues-Marty, C. Loncke and D. Sauvant. 2010. Carbohydrate quantitative digestion and absorption in ruminants: from feed starch and fibre to nutrients available for tissues. *Animal*. 4(7):1057-74.
- Nozière, P, J.M. Besle, C.. Martin and B. Michalet-Doreau, 1996. Effect of barley supplement on microbial fibrolytic enzyme activities and cell wall degradation rate in the rumen. *J. Sci. Food and Agri*. 72(2):235–242
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oba, M. and M. S. Allen, 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci*. 82(3):589-596.
- Offner, A, A. Bach and D, Sauvant. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *J. Anim. Feed Sci. Tech*. 106(1-4):81–93.
- Petruzzi, H., A. Danfaer and P. Nørgaard. 2002. A dynamic simulation model of nutrient digestion in the rumen of dairy cows. *J. Anim. Feed Sci. Tech*. 11(3):367–397
- Russell J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest and C.J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci*. 70(11):3551–3561.

บทที่ 7 แร่ธาตุ (Minerals)

7.1 บทนำ

ความสำคัญของแร่ธาตุต่อโคนมนับว่าได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยแล้วว่า ถึงแม้ความต้องการของแร่ธาตุจะคิดเป็นปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโภชนะอื่น แต่พบว่าถ้าหากโคนมได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะส่งผลกระทบต่อโคนมเป็นอย่างมาก จึงทำให้มีความสนใจศึกษาความต้องการแร่ธาตุของโคนมเพิ่มมากขึ้น โดยมีการศึกษาความต้องการของแร่ธาตุในสภาวะต่างๆ ของโคนม เช่น ช่วงการตั้งครรภ์ ช่วงการให้น้ำนม ตั้งแต่ช่วงแรกเกิดถึงหย่านม และช่วงการเจริญเติบโต เป็นต้น ซึ่งการศึกษาความต้องการของแร่ธาตุนั้น จำเป็นที่จะต้องมามีเครื่องมือในการวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารโคนม ทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น ตลอดจนแร่ธาตุในดิน แร่ธาตุในน้ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลความต้องการแร่ธาตุอย่างถูกต้อง

แร่ธาตุ เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อโคนมเช่นเดียวกับโภชนะอื่น ๆ แร่ธาตุแบ่งตามความต้องการของโคนมและปริมาณที่มีอยู่ในร่างกาย ได้แก่ แร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรอง บทนี้ได้กล่าวถึงความสำคัญ หน้าที่และความต้องการแร่ธาตุแต่ละชนิดของโคนม

7.2 ประเภทของแร่ธาตุ

ในการแบ่งประเภทของแร่ธาตุ เราสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายแบบ แต่ในบทนี้ จะแบ่งแร่ธาตุดูตามความต้องการของโคนม โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. แร่ธาตุหลัก (macro minerals) เป็นแร่ธาตุที่โคนมต้องการในปริมาณมาก และมีในร่างกายโคนมในปริมาณมาก ได้แก่ แคลเซียม (Calcium, Ca) ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) โพแทสเซียม (Potassium, K) โซเดียม (Sodium, Na) คลอรีน (Chlorine, Cl) และกำมะถัน (Sulphur, S)
2. แร่ธาตุรอง (micro minerals) เป็นแร่ธาตุที่โคนมต้องการในปริมาณน้อย และพบในเนื้อเยื่อของโคนม ในปริมาณน้อยกว่าแร่ธาตุหลัก แร่ธาตุกลุ่มนี้ ได้แก่ เหล็ก (Iron, Fe) สังกะสี (Zinc, Zn) ทองแดง (Copper, Cu) แมงกานีส (Manganese, Mn) โคบอลต์ (Cobalt, Co) ซีลีเนียม (Selenium, Se) ไอโอดีน (Iodine, I) โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo) และโครเมียม (Chromium, Cr)

7.3 หน้าที่และความสำคัญของแร่ธาตุ

แร่ธาตุแต่ละชนิดในร่างกาย มีหน้าที่จำเพาะ และยังต้องทำงานร่วมกับแร่ธาตุชนิดอื่น เพื่อทำให้ร่างกายทำงานได้อย่างปกติ ซึ่งหน้าที่ทั่วไปของแร่ธาตุ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเนื้อเยื่อ และอวัยวะของร่างกาย ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสและซิลิคอนยังเป็นส่วนประกอบของโปรตีนในกล้ามเนื้อด้วย
2. เป็นส่วนประกอบของของเหลวที่อยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย โดยทำหน้าที่รักษาสสมดุลกรด-ด่าง การรักษาความดันออสโมซิส เพื่อควบคุมสมดุลของน้ำและธาตุในการซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม คลอรีน แร่ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในกระแสเลือด ของเหลวในสมอง กระดูกสันหลังและน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร
3. ควบคุมการเต้นตัวของประสาทและกล้ามเนื้อ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น
4. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับเอนไซม์ หรือเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเอนไซม์ เช่น แมกนีเซียม ซีลีเนียม แมงกานีส และสังกะสี เป็นต้น
5. ทำหน้าที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น
6. เป็นส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไอโอดีน เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ เหล็กเป็นส่วนประกอบในเฮโมโกลบิน โคบอลต์เป็นส่วนประกอบในวิตามินบี 12 เป็นต้น

7.4 แร่ธาตุหลัก

7.4.1 แคลเซียม

แคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกาย โดยพบว่า มีอยู่ประมาณร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักตัว แคลเซียมในร่างกายประมาณร้อยละ 99 พบอยู่ในกระดูกและฟัน แคลเซียมส่วนใหญ่เมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) และส่วนกลาง (jejunum) โดยมีการดูดซึมทั้งแบบใช้พลังงาน และไม่ใช้พลังงาน การดูดซึมแบบใช้พลังงานถูกควบคุมโดยความต้องการของร่างกาย การดูดซึมแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นในช่วงตั้งครรภ์ และช่วงให้นม มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมแคลเซียม เช่น การมีฟลูออรีน และแคลเซียมในอาหารมาก มีวิตามินดีในอาหารน้อย อายุสัตว์มากขึ้น หรือมีการออกซาลิกในอาหาร จะมีผลทำให้การดูดซึมแคลเซียมน้อยลง (McDowell, 1992) หลังจากที่ถูกดูดซึมแล้ว แคลเซียมจะถูกนำเข้าสู่กระแสเลือด แคลเซียมที่อยู่ในพลาสมา มี 3 รูปแบบ คือ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) มีประมาณร้อยละ 46-50 จับตัวกับโปรตีน โดยจับตัวกับอัลบูมินร้อยละ 80 และไกลบูลินร้อยละ 20 ซึ่งการจับตัวกับโปรตีนเป็นการสะสมแคลเซียมที่สำคัญรูปแบบหนึ่ง และรูปแบบสุดท้าย คือ จับตัวกับสารอินทรีย์ เช่น กรดซิตเรต หรือสารอนินทรีย์ เช่น ฟอสเฟส หรือซัลเฟต เป็นต้น แคลเซียมส่วนใหญ่ถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ ส่วนทางปัสสาวะและเหงื่อมีเล็กน้อย นอกจากนี้ การสูญเสียแคลเซียมยังสามารถเกิดได้มากขึ้นเมื่อโคให้น้ำนม เพราะเป็นส่วนประกอบของน้ำนม

แคลเซียม มีหน้าที่สำคัญหลายประการ เช่น ช่วยในการแข็งตัวของเลือด ควบคุมการเต้นของหัวใจ ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เป็นต้น

โดยทั่วไปพืชอาหารสัตว์มีปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมสูง แต่มีปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสต่ำ ปริมาณแร่ธาตุในพืชอาหารสัตว์มีความแปรปรวนเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณแร่ธาตุในดิน ปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกพืชอาหารสัตว์ องค์ประกอบทางเคมีของพืชและอายุของพืช (Swift et al., 2007) ซึ่งโคที่ปล่อยแทะเล็มในทุ่งหญ้า ไม่ค่อยพบปัญหาการขาดแคลเซียมมากนัก ยกเว้นพืชอาหารสัตว์ที่ปลูกในดินที่ถูกชะล้างมากๆ และการมีสารออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์บางชนิดที่ยับยั้งการใช้ประโยชน์แคลเซียม ส่งผลให้สัตว์ขาดแคลเซียมได้แม้พืชอาหารสัตว์จะมีแคลเซียมเพียงพอ ระดับปกติของแคลเซียมในพลาสมาโคอยู่ในช่วง 8-10 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร แต่ในโคที่เป็นไข้ น้ำนม (milk fever หรือ parturient paresis) หรือโคที่ขาดแคลเซียมจะมีแคลเซียมในพลาสมาลดลง เหลือ 3-7 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ลูกโคเมื่อขาดแคลเซียมจะเกิดโรคกระดูกอ่อน (rickets) โดยมีอาการกระดูกบาง กระดูกอ่อน ข้อต่อใหญ่ผิดปกติ ทำให้ขาเสีย ขาแข็ง และพิการ โคโตเต็มวัยจะเกิดโรคกระดูกเปราะ (osteomalacia) เนื่องจากแคลเซียมถูกดึงไปใช้มาก ทำให้กระดูกเปราะหักง่าย นอกจากนี้ เมื่อมีแคลเซียมในเลือดต่ำจะทำให้กล้ามเนื้อ และระบบประสาทเกิดความรู้สึกไวต่อสิ่งเร้ามากกว่าปกติ เกิดอาการกล้ามเนื้อชักกระตุก (tetany) การแข็งตัวของเลือดช้ากว่าปกติ ในโคระยะให้น้ำนมจะเกิดเป็นโรคไข้นมหลังคลอดลูก โดยมีแคลเซียมในเลือดและในน้ำนมลดลง เกิดอาการกล้ามเนื้อกระตุก และล้มลง (Georgievskii, 1982; Kearn, 1982) ในทางปฏิบัติ การเสริมแหล่งอาหารชั้นจากเมล็ดธัญพืช ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม การผลิตน้ำมันพืชหรือน้ำตาลซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูงสามารถเพิ่มปริมาณแร่ธาตุให้เพียงพอ กับความต้องการของโคนมได้ โดยการเสริมแร่ธาตุนิยมเสริมในรูปแบบอนินทรีย์ เช่น ปูนขาว แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมฟอสเฟต เกลือ และ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

ผลพลอยได้จากสัตว์ เป็นแหล่งที่ดีที่สุดของแคลเซียม ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น และกระดูกป่น นอกจากนี้ ในน้ำนม พืชสีเขียว โดยเฉพาะถั่วมีแคลเซียมสูง ส่วนเมล็ดธัญพืชและพืชหัวมีแคลเซียมค่อนข้างต่ำ (McDowell, 1992)

การฉีดแคลเซียม 3 วัน หลังคลอดในโคนม สามารถลดการเกิด subclinical hypocalcemia (SCH) เมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมในซีรัมมีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8.59 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และพบว่าสามารถลดความเสี่ยงได้ร้อยละ 22 ในทุก 1 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรในเลือด และควรให้จนถึงเวลาเฉลี่ย 38 วันหลังคลอด (Martinez et al., 2012)

Leno et al. (2017) ทำการเสริมแคลเซียมเม็ดที่มีความเข้มข้น 54 - 64 กรัมของแคลเซียมหลังคลอดภายใน 24 ชั่วโมง พบว่า แมโคที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดก่อนคลอดต่ำมีสุขภาพที่ดีขึ้น

ผลการศึกษาช่วยให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นหลังจากคลอด 45 วัน การให้อาหารก่อนคลอดที่มีแคลเซียมร้อยละ 1.8 เมื่อเทียบกับ ร้อยละ 1.3 (Diehl et al., 2018)

7.4.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส มีอยู่ในทุกเซลล์ของร่างกาย ประมาณร้อยละ 80 ของฟอสฟอรัสในร่างกาย พบอยู่ในกระดูกและฟัน ส่วนที่เหลือ รวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น ฟอสโฟลิพิด กรดนิวคลีอิก และนิวคลีโอไทด์ เป็นต้น ฟอสฟอรัส จึงมีความสำคัญต่อเนื้อเยื่อ ทุกส่วนของร่างกาย (Temouth, 1990) ฟอสฟอรัสมีอัตราการดูดซึมมากในลำไส้เล็กส่วนต้น โดยมีการดูดซึม ทั้งแบบใช้พลังงาน และไม่ใช้พลังงาน (Georgievskii, 1982) การดูดซึมฟอสฟอรัสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในอาหาร และยังขึ้นอยู่กับแหล่งของ ฟอสฟอรัสในอาหาร ความเป็นกรด-ด่างในลำไส้เล็ก อายุโคนม ปริมาณการกินอาหาร ระดับของวิตามินดี สัดส่วนของแคลเซียมและ ฟอสฟอรัสในอาหาร ระดับของแร่ธาตุชนิดอื่น และสารอาหารชนิดอื่นในอาหาร เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส โพแทสเซียม แมกนีเซียม รวมทั้งระดับไขมัน เป็นต้น หลังจากที่ถูกดูดซึมแล้ว ฟอสฟอรัสจะเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตและไปสะสมที่กระดูกและ ฟัน ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางอุจจาระ ส่วนทางปัสสาวะมีเพียงเล็กน้อย (McDowell, 1992) ฟอสฟอรัส มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดซึ่งมีในเนื้อเยื่อทุกชนิด ฟอสฟอรัสทำหน้าที่ร่วมกับแร่ธาตุชนิดอื่น ควบคุมสมดุลกรด-ด่าง ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน การขนส่งกรดไขมันและกรดอะมิโน (Georgievskii, 1982) นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสยังจำเป็นต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของโคนม โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย (Komisarczuk et al., 1987)

โคนมที่ปล่อยแทะเล็มมักขาดแร่ธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจาก ในพืชอาหารและดินมีฟอสฟอรัสในระดับต่ำ โดยเฉพาะในประเทศ ที่อยู่ในเขตร้อน (McDowell et al., 1986) สำหรับประเทศไทย มีรายงานการขาดฟอสฟอรัสในโคเช่นกัน (Vilchulata et al., 1983; Ngampongsai et al., 1999) การขาดฟอสฟอรัสนอกจากจะทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงแล้ว ยังทำให้มี ปัญหาเกี่ยวกับความสมบูรณ์พันธุ์ด้วย โคนมที่ขาดฟอสฟอรัสแสดงอาการข้อแข็ง เดินกะเผลก กระดูกอ่อน ขอบแทะเล็มสิ่งที่ไม่ใช่ อาหาร (pica) เช่น ก้อนกรวด และรั้วกันคอก เป็นต้น ระดับปกติของฟอสฟอรัสในพลาสมาของโคนมที่โตเต็มที่ คือ 4.5-6.0 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ส่วนลูกโคพบอยู่ในช่วง 6.0-8.0 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (McDowell, 1992) ฟอสฟอรัสพบมากในผลพลอยได้ จากกระดูกสัตว์เช่นเดียวกับแคลเซียม นอกจากนี้ น้ำนม ปลาป่น เนื้อป่น กระดูกป่น และเมล็ดธัญพืช ก็เป็นแหล่งที่ดีของฟอสฟอรัส ส่วนหญ้าและฟางข้าวมีฟอสฟอรัสในระดับต่ำ (Underwood and Suttle, 1999)

Sasitorn et al. (2015) พบว่า สัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม แต่มีผลต่อโปรตีน ในน้ำนม และปริมาณการกินได้ลดลง ถ้าสัดส่วนของแคลเซียม: ฟอสฟอรัสอาหารต่ำกว่า 5.5: 1

Feng et al. (2018) พบว่า การเสริมฟอสฟอรัส 60.3 กรัมต่อวัน ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้และการ ดูดซึมในลำไส้

7.4.3 แมกนีเซียม

แมกนีเซียม พบในร่างกายสัตว์ประมาณร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักตัว แมกนีเซียมที่มีอยู่ในร่างกายเป็นองค์ประกอบของ กระดูกและฟันร้อยละ 60-70 กล้ามเนื้อร้อยละ 25-28 เนื้อเยื่อและของเหลวประมาณร้อยละ 7-8 แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญต่อ การสังเคราะห์โปรตีน การส่งกระแสประสาท และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม ของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน การหดตัวของกล้ามเนื้อ และเกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์ของโคนมด้วย (McDowell, 1992)

โคโคเต็มวัย มีการดูดซึมแมกนีเซียมประมาณร้อยละ 25 ขณะที่ลูกโคช่วงกินนมสามารถดูดซึมแมกนีเซียมได้ถึงร้อยละ 70 และการดูดซึมจะลดลงเมื่อสัตว์อายุมากขึ้น หลังการดูดซึมจะพบแมกนีเซียม 2 รูปแบบในกระแสเลือด คือ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ประมาณร้อยละ 65 และจับตัวกับโปรตีนโดยเฉพาะกับอัลบูมิน ประมาณร้อยละ 35 แมกนีเซียมส่วนใหญ่ถูกขับถ่ายทางอุจจาระ ขณะที่ทางปัสสาวะและน้ำนมมีเพียงเล็กน้อย (Georgievskii, 1982) การขาดแมกนีเซียมมีผลทำให้กล้ามเนื้อกระตุก อ่อนแอ ความดันเลือดลดลง การตื่นตัวของระบบประสาทมากกว่าปกติ นอกจากนี้ สัตว์อาจเกิดโลหิตจางเนื่องจากการแตกสลายของเม็ดเลือดแดง (haemolysis) โดยระดับปกติของแมกนีเซียมในซีรัมโคอยู่ในช่วง 1.8-3.2 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (McDowell, 1992; Underwood and Suttle, 1999)

อาหารในธรรมชาติมีแมกนีเซียมเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เช่น ในใบพืชสีเขียว รำข้าว น้ำนม เนื้อสัตว์ ตับ ไข่แดง ยีสต์ กากเมล็ดฝ้าย เมล็ดลินซีด การเสริมแมกนีเซียมในอาหารสัตว์นิยมใช้แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) และแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate)

การเสริมแมกนีเซียมที่ป้องกันการย่อยได้ในกระเพาะหมักพบว่าการกินได้วัตถุดิบและผลผลิตน้ำนมมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นและพบว่าในกลุ่มที่ไม่ได้ป้องกันมีปริมาณการกินได้อิสระลดลงเนื่องจากการเสริมแมกนีเซียมลดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อโคได้รับข้าวบาร์เลย์เป็นอาหารหลัก 3 กิโลกรัมต่อวัน Bach et al. (2018) ระดับของแมกนีเซียมในเลือดที่เหมาะสม 1.8 – 2.4 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (NRC, 1996) วัณนที่ทำการเสริมและไม่เสริมโมโนซิน (0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ร่วมกับแมกนีเซียม (MgO and $MgSO$) ร้อยละ 0.35 ในสูตรอาหาร พบว่า กลุ่มที่ไม่เสริมโมโนซินมีการดูดซึมแคลเซียมเพิ่มขึ้น และการเสริมแมกนีเซียมมีผลต่อการสังเคราะห์กรดไขมันสายยาวเพิ่มขึ้น และลดการสังเคราะห์กรดไขมัน ในเซลล์เต้านม (Tebbe et al., 2017)

7.4.4 โพแทสเซียม

ในร่างกายสัตว์ พบว่าโพแทสเซียม ประมาณร้อยละ 90 อยู่ภายในเซลล์ (intracellular) โพแทสเซียมถูกดูดซึมมากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น โดยมีการดูดซึมในรูปโพแทสเซียมไอออนผ่านเซลล์มิวโคซาของลำไส้โดยวิธีใช้พลังงาน ฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน (aldosterone hormone) มีอิทธิพลต่อการขับถ่ายโพแทสเซียม โดยถ้ามีโพแทสเซียมในของเหลวระหว่างเซลล์มากจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนอัลโดสเตอโรนมาก ทำให้มีการขับโพแทสเซียมจากร่างกายทางปัสสาวะเพื่อรักษาสสมดุล และมีผลให้อัตราส่วนของโซเดียมต่อโพแทสเซียมในของเหลวระหว่างเซลล์สมดุลด้วย ถ้าในเซลล์มีโพแทสเซียมน้อยจะมีการนำโซเดียมเข้าสู่เซลล์แทนที่โพแทสเซียม เพื่อทำให้เกิดสมดุลของความดันออสโมซิส และความเป็นกรด-ด่าง (Underwood and Suttle, 1999) โพแทสเซียมมีหน้าที่ควบคุมระดับสมดุลของของเหลวภายในเซลล์ (intracellular fluids) มีความสำคัญในส่วนหนึ่งของระบบประสาทและการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ ควบคุมสมดุลความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย เกี่ยวข้องในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โดยเป็นตัวเร่งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไพรูเวทโคเนส เป็นต้น (Kearl, 1982) และช่วยให้กรดอะมิโนถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ โดยแลกเปลี่ยนเอาโพแทสเซียมออกมาภายนอกเซลล์ (Georgievskii, 1982) การขาดโพแทสเซียมมักพบในสัตว์ที่เลี้ยงตามธรรมชาติ ส่วนการเลี้ยงสัตว์ในลักษณะที่เป็นฟาร์มมักไม่ค่อยพบการขาด การขาดโพแทสเซียมทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตชะงัก ผอมแห้ง กล้ามเนื้อไม่มีแรงมีอาการแทะเล็มสิ่งของเช่นเดียวกับอาการขาดฟอสฟอรัส ในสัตว์เคี้ยวเอื้องในระยะเล็กจะเกิดเป็นอัมพาต กล้ามเนื้ออ่อนแอ และผอมแห้ง เนื่องจากในน้ำนมมีโพแทสเซียมต่ำ (Underwood and Suttle, 1999) โพแทสเซียมมีมากในพืช เช่น หญ้าและผักสีเขียว เป็นต้น (McDowell, 1992)

ความสมดุลของโพแทสเซียมในร่างกาย อาหาร ผลผลิตน้ำนม มีผลต่อการเผาผลาญแคลเซียมทั้งระยะสั้นและระยะยาว Berg et al. (2016) การเสริมโพแทสเซียมที่ถูกป้องกันการย่อยในกระเพาะหมัก 68 กรัมต่อวัน ไม่มีผลต่อความน่ากินของโคนม (Kayla and Casper, 2015) Fraley et al. (2015) ได้รายงานการเสริมโพแทสเซียมที่ระดับร้อยละ 0.75 ในสูตรอาหารสามารถเพิ่มไขมันและโปรตีนน้ำนมเพิ่มขึ้น

7.4.5 โซเดียม

โซเดียมเป็นแร่ธาตุหลักในร่างกายส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 90) โดยอยู่ในรูปประจุบวกในของเหลวภายนอก (extracellular fluid) หรือรอบเซลล์ โซเดียมในร่างกายครึ่งหนึ่งอยู่ในพลาสมาและของเหลวระหว่างเซลล์ อีกครึ่งหนึ่งเป็นส่วนประกอบของกระดูก ส่วนอีกร้อยละ 10 ที่เหลือพบในเซลล์ โซเดียมส่วนใหญ่ถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่วนต้น โดยดูดซึมในรูปไอออน โดยวิธีใช้พลังงาน (McDowell, 1992) โซเดียมทำหน้าที่รักษาสสมดุลของความดันออสโมซิสของของเหลวรอบเซลล์ รักษาสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง ถ่ายทอดกระแสประสาทร่วมกับโพแทสเซียม และเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของเซลล์ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ ยังช่วยในการขนส่งน้ำตาล และกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ (Georgievskii, 1982) โคที่ขาดโซเดียมจะเบื่ออาหาร การเจริญเติบโตชะงัก ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง เกิดตะคริว ความดันออสโมซิสลดลง ทำให้มีการสูญเสียน้ำในร่างกายเพิ่มขึ้น และผลผลิตลดลง โซเดียมพบมากในพวกเนื้อสัตว์และอาหารที่ได้จากทะเล โดยทั่วไปให้เสริมในรูปของเกลือแกง (McDowell, 1992)

โคมนได้รับสัดส่วนอาหารหยาดต่ออาหารข้น (20:80 หรือ 30:70) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (ร้อยละ 0 หรือ 1 ของวัตถุดิบ) ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต (สุนทร และคณะ 2547) นอกจากนี้ วิเศษ และ คณะ (2554) ได้ทดสอบการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 2 ระดับ (ร้อยละ 1.5 และ 3.0) ร่วมกับระดับกากมันจากการผลิตกรดซิตริก 3 ระดับ (ร้อยละ 0, 10 และ 20) กากมันจากการผลิตกรดซิตริกสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในการจัดทำเป็นสูตรอาหารผสมสำเร็จได้ที่ระดับร้อยละ 10 การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ควรใช้ที่ระดับร้อยละ 1.5 โดยไม่มีผลกระทบต่อการผลิตในโคมน

7.4.6 คลอรีน

คลอรีน เป็นธาตุไอออนประจุลบที่สำคัญที่สุดในร่างกาย มีอยู่ในของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (intra-extracellular fluid) ทั้งนี้ประมาณร้อยละ 65 ของคลอรีนในร่างกายอยู่ในของเหลวภายนอกเซลล์ คลอรีนส่วนใหญ่ถูกดูดซึมที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้นโดยวิธีใช้พลังงาน ส่วนที่ลำไส้ใหญ่มีการดูดซึมคลอรีนโดยวิธีการแพร่ คลอรีนมีบทบาทควบคุมความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในร่างกายให้สมดุล ควบคุมความดันออสโมซิสของของเหลวในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของกรดเกลือในกระเพาะอาหารเพื่อทำให้สภาพในกระเพาะเกิดสภาวะเป็นกรด (Georgievskii, 1982) การขาดคลอรีนในสัตว์จะแสดงอาการการเจริญเติบโตชะงัก ปริมาณของคลอรีนในกล้ามเนื้อ ตับ ไต และสมองลดลง ความเป็นด่างในเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจากการมีไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น

พืชอาหารสัตว์มีคลอรีนอยู่น้อย ประมาณร้อยละ 0.003 – 0.342 โดยพบมากในปลาและเนื้อสัตว์ แต่แหล่งคลอรีนในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มาจากเกลือแกง (McDowell, 1992)

7.4.7 กำมะถัน

กำมะถัน ในร่างกายมี ประมาณร้อยละ 0.15 ของน้ำหนักตัว โดยพบกระจายอยู่ทั่วร่างกายในรูปกำมะถัน กำมะถันในรูปซัลเฟตไอออนเกิดการดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่วนต้นแบบใช้พลังงาน ส่วนกำมะถันในรูปสารประกอบอินทรีย์จะดูดซึมได้อย่างรวดเร็ว ส่วนกำมะถันส่วนเกินจะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระและปัสสาวะในรูปแบบซัลเฟตไอออน (McDowell, 1992; Underwood and Suttle, 1999) กำมะถันในรูปซัลเฟตไอออนทำหน้าที่รักษาสสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย นอกจากนี้ กำมะถันยังเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน ซึ่งสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน เป็นส่วนประกอบของไบโอตินซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน เป็นส่วนประกอบของมิวโคโพลิแซคคาไรด์ซึ่งสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของคอลลาเจน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เป็นส่วนประกอบของวิตามินบีสอง (riboflavin) และโคเอนไซม์เอ (coenzyme A) ที่สำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนประกอบของเฮพาริน ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว และยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ฮอร์โมนเอสโตรเจน และอินซูลิน นอกจากนี้ กำมะถันยังเป็นส่วนประกอบของผม ขน และเล็บ (McDowell, 1992; Kears, 1982) การขาดกำมะถันทำให้เกิดการขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ขาดวิตามินบี1 และ

ขาดไบโอติน ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนช้าลง มีไขมันสะสมในตับมาก อาการขาดที่สังเกตได้ คือ น้ำหนักลด ผอมแห้ง อัตราการงอกของขน เล็บ เขา และผมต่ำ กำมะถันพบในขนสัตว์ ประมาณร้อยละ 4 ส่วนการเสริมในอาหารสัตว์ปกติเสริมในรูปของแร่ธาตุกำมะถัน (element sulfur) หรือโซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate, Na_2SO_4) และไม่ควรใส่ในอาหารเกินร้อยละ 0.3-0.4 อาจทำให้เกิดพิษได้ (Kandyli, 1984)

Sinclair et al. (2017) พบว่าการเสริมกำมะถัน 2 มิลลิกรัม และ โมลิบดีนัม 6.5 มิลลิกรัม ของปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง พบว่า โคที่ได้รับหญ้าหมักมีปริมาณการกินได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหมักมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพน้ำนม ปริมาณของกรดไขมันเพิ่มขึ้น Sinclair et al. (2013) รายงานว่าการเพิ่มของซัลเฟอร์และโมลิบดีนัม มีผลทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในตับลดลงและไขมันนมเพิ่มขึ้น

7.5 แร่ธาตุรอง

7.5.1 เหล็ก

เหล็ก พบอยู่ในรูปของเฮโมโกลบิน (haemoglobin) และไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งทำให้เกิดสีแดงในเลือด และในกล้ามเนื้อ เหล็กยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฮีโม (heme) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ cytochrome ที่มีความสำคัญในกระบวนการหายใจของเซลล์ นอกจากนี้ เหล็กยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ เช่น xanthine oxidase, succinate dehydrogenase สัตว์ที่ขาดเหล็กจะแสดงอาการไม่ยอมกินอาหาร (anoraxia) การเจริญเติบโตลดลง และเกิดโรคโลหิตจาง แต่ถ้าสัตว์ได้รับเหล็กในปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีผลต่อเมแทบอลิซึมของทองแดงโดยเฉพาะในลูกสัตว์ และทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง น้ำหนักลด เกิดอาการท้องร่วง (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.2 สังกะสี

สังกะสีมีบทบาทต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ การสร้างกระดูกและเลือด รวมทั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิก โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากสังกะสีทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ความเข้มข้นของสังกะสีในเลือดโคอยู่ระหว่าง 12.0–18.5 ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนในน้ำนมประมาณ 0.05 – 1.0 ไมโครโมลต่อลิตร แต่ปริมาณสังกะสีเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้นกับปริมาณของสังกะสีที่ได้รับ ระยะเวลาของการให้นม และการให้นมน้ำเหลือง

ในโคที่ขาดสังกะสีจะมีการหลั่งน้ำลายมาก ขนแข็งกระด้างไม่มีความยืดหยุ่น และเกิดขนร่วงบริเวณรอบๆ ปากและตา กระดูกข้อต่อเคลื่อนไหว มีการแตกหักของกีบ ผิวหนังบริเวณจมูก คอ อวัยวะ มีลักษณะหยาบแห้ง เป็นขุย และหลุดลอกได้ง่าย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผิวหนังแบบนี้ เรียกว่า “parakeratosis” อาการเหล่านี้ มีผลทำให้ การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากปริมาณการกินได้ลดลงและประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าขาดแคลนหายากและมีความไวต่อการติดเชื้อโรค รวมทั้งการพัฒนาและการสร้างสเปิร์มลดลง (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.3 ทองแดง

ทองแดง มีความสำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง มีผลต่อการนำเหล็กไปเป็นโครงสร้างของฮีโม และช่วยให้เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่ นอกจากนี้ ทองแดงในรูป cupric ion (Cu^{2+}) ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจง เช่น sulphide oxidase, tyrosine iodooxidase เป็นต้น และยังช่วยในการรักษากิจกรรมของ labile hypophyseal hormones ในเลือดอีกด้วย การดูดซึมทองแดงส่วนมากเกิดในลำไส้เล็กและในลำไส้ใหญ่ เมื่อถูกดูดซึมทองแดงจะจับกับอัลบูมิน และกรดอะมิโนแบบหลวม ๆ เพื่อให้สามารถส่งผ่านไปยังตับ ซึ่งเป็นที่เก็บสะสมของทองแดง การดูดซึมทองแดงในสัตว์ที่โตเต็มที่ อยู่ระหว่างร้อยละ 5-10 แต่ในลูกสัตว์ทองแดงถูกดูดซึม ระหว่างร้อยละ 15-30 ส่วนทองแดงที่ถูกขับออกมาจะอยู่ในมูลเป็นส่วนมาก มีส่วนน้อยถูกขับออกมาด้วยปัสสาวะ ในสัตว์เกือบทุกชนิดการขาดทองแดงจะมีลักษณะอาการโลหิตจาง อัตราการเจริญและการพัฒนาดังกล่าว มีอาการท้องร่วง

ชนมีสีจางลง ยับยั้งการสร้างกระดูก และเกิดการแตกร้าวของกระดูก ในโคที่ขาดทองแดงมีการเจริญเติบโตลดลงและมีปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ ลูกโคมีการเพิ่มน้ำหนักน้อย และกระดูกแตกหักง่าย การทำงานของกระดูกสันหลังส่วนท้ายผิดปกติและชนมีสีซีดจาง (allotriophagy) นอกจากนี้ การขาดทองแดงในโคยังทำให้มีมูลเหลวคล้ายกับท้องเสีย (scour) หรือ “peat diarrhea” (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.4 แมงกานีส

แมงกานีส พบมากใน ชน ผม ตับและกระดูก มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็น co-factor ของเอนไซม์หลายชนิด และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีหลายกระบวนการ โดยเฉพาะ redox processes คือ การสังเคราะห์ mucopolysaccharides ที่ใช้ในการสร้างกระดูกและฟัน การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนหลายชนิด แมงกานีสยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) นอกจากนี้ แมงกานีสยังมีบทบาทที่สำคัญในการสืบพันธุ์ การสร้างเลือด และการทำงานของต่อมไทรอยด์

แมงกานีสมีการดูดซึม ที่ลำไส้เล็กที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นและลำไส้ใหญ่ ส่วนที่ดูดซึมไม่ได้จะถูกขับออกทางมูล สัตว์ที่มีอายุน้อยที่ได้รับอาหารที่มีแมงกานีสต่ำจะทำให้การสร้างกระดูกผิดปกติ ส่วนในสัตว์ที่โตเต็มวัยจะมีปัญหาทางด้านการสืบพันธุ์ เช่น ทำให้การเป็นสัดช้า หรือขยายช่วงการแสดงอาการเป็นสัด (oestrous) มีอัตราการผสมติดต่ำ (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.5 โคบอลต์

โคบอลต์ ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์วิตามินบี 12 และวิตามินบีตัวอื่น ๆ โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมัก เนื่องจากโคบอลต์เป็นองค์ประกอบของวิตามินบี 12 หน้าที่ของโคบอลต์จึงเหมือนกับหน้าที่ของวิตามินบี 12 คือ มีส่วนในการควบคุมกระบวนการ hemopoiesis และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน กรดนิวคลีอิก คาร์โบไฮเดรต และโคบอลต์ทำหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น arginase, glycine-glycyl-dipeptidase, carboanhydrase aldolase, oxalysuccinic acid decarboxylase, deoxyribonuclease เป็นต้น โคบอลต์จะดูดซึมในลำไส้เล็ก และมีการสะสมในร่างกายน้อยมาก ส่วนใหญ่พบที่ตับ ในสัตว์ที่ขาดโคบอลต์จะมีลักษณะอาการโลหิตจาง ไม่อยากอาหาร และอ่อนเปลี้ย (exhaustion) เกิด fatty degeneration ในตับ และมีปริมาณวิตามินบี 12 ลดต่ำลง (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.6 ซีลีเนียม

ซีลีเนียม พบอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อ เซลล์ และของเหลวในร่างกาย ความเข้มข้นของซีลีเนียมในเลือดโคมีค่าระหว่าง 50-180 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของซีลีเนียมในเม็ดเลือดแดงมีมากกว่าในพลาสมาสองเท่า หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าร้อยละ 70 ของซีลีเนียมในเลือดอยู่ในเม็ดเลือดแดง ซีลีเนียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์พันธุ์ มีผลต่อการป้องกันโรคหลายชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับวิตามินอี โรคเหล่านี้ ได้แก่ Muscular dystrophy หรือ White muscle disease ในลูกแกะและลูกโค ซีลีเนียมที่มีบทบาทในการป้องกันโรค ส่วนมากอยู่ในรูปเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ ซีลีเนียมที่ได้รับจากอาหารมีการดูดซึมอย่างรวดเร็วในส่วนปลายของลำไส้เล็ก โดยวิธีอาศัยพลังงาน (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.7 ไอโอดีน

ไอโอดีน มีอยู่มากในต่อมไทรอยด์ (ร้อยละ 70-80) กล้ามเนื้อ (ร้อยละ 10-12) กระดูกสันหลัง (ร้อยละ 3-4) โครงร่าง (ร้อยละ 3) และอวัยวะอื่น ๆ (ร้อยละ 5-10) สำหรับในเลือดทั้งหมด (whole blood) มีไอโอดีน 50-150 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในพลาสมา มีเพียง 50-70 ไมโครกรัมต่อลิตร ไอโอดีนที่พบในพลาสมาอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ โดยอยู่ในรูปของฮอร์โมนที่จับอยู่กับโกลบูลิน เป็นส่วนใหญ่ และจับกับอัลบูมินเป็นส่วนน้อย หน้าที่ของไอโอดีนในร่างกายสัตว์ที่สำคัญ คือเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ (thyroid hormone) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพลังงาน และการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์

ไอโอดีนที่ได้รับจากอาหาร เกือบทะเล น้ำ และแร่ธาตุเสริมจะถูกย่อยสลายให้เป็นไอโอดายด์ (iodide) และส่วนมากจะถูกดูดซึมที่กระเพาะหมัก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ต่อมไทรอยด์ทันที การขาดไอโอดีนมีผลต่อการสังเคราะห์ thyroxine และ triiodothyronine ในต่อมไทรอยด์ ทำให้มีการขยายขนาดเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของต่อมไทรอยด์ และเกิดอาการคอหอยพอก (goiter) (Underwood and Suttle, 1999)

7.5.8 โมลิบดีนัม

โมลิบดีนัมมีความสำคัญต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ flavoprotein คือ xanthine oxidase ซึ่งมีโมลิบดีนัมเป็นองค์ประกอบ และมีบทบาทที่สำคัญต่อการสลายกรดนิวคลีอิก (nucleic acid catabolism) รวมทั้งการเกิดกระบวนการรีดักชันของ ferric ion (Fe^{3+}) เป็น ferrous ion (Fe^{2+}) เพื่อให้เกิดการสะสมเหล็กในเนื้อเยื่อในรูปของ ferritin และ hemosiderin ปกติในเลือดโคมีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมอยู่ระหว่าง 0.62-1.88 ไมโครโมลต่อลิตร (0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยสัตว์จะไม่ขาดโมลิบดีนัม แต่อาการผิดปกติมักเกิดจากการได้รับโมลิบดีนัมมากเกินไป โดยมีอาการคล้ายคลึงกับที่พบในสัตว์ที่มีการขาดทองแดง ในโคพบว่ามีปัญหาทางด้าน การสืบพันธุ์ การเจริญเติบโตลดลง ท้องร่วง และซุบซอม (Underwood and Suttle, 1999)

7.6 ความต้องการแร่ธาตุของโคนม

ความต้องการแร่ธาตุของโค ขึ้นอยู่กับพันธุ์ น้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต ช่วงการตั้งท้อง ปริมาณน้ำนม และอายุของสัตว์ (Kearl, 1982; McDonald et al., 1995) โดยปกติความต้องการแร่ธาตุจะระบุเป็นปริมาณต่อวัน เช่น กรัมต่อวัน หรือสัดส่วนหรือร้อยละของแร่ธาตุแต่ละชนิดในอาหาร (ตารางที่ 7.1) ซึ่งการระบุความต้องการแร่ธาตุแบบหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่าแบบแรก ระดับความต้องการแร่ธาตุที่ระบุจะเป็นระดับต่ำสุดที่โคจะได้รับแร่ธาตุเพียงพอต่อความต้องการ (McDowell, 1992) การหาความต้องการแร่ธาตุ สามารถประเมินได้จากวิธีแฟคทอเรียล (factorial method) และวิธีหาสมดุลของแร่ธาตุ ซึ่งมีความผันแปรค่อนข้างสูง ขึ้นกับพันธุ์โค การใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ รูปแบบการเลี้ยง (แทะเล็มหรือเลี้ยงในโรงเรือน) รวมทั้งการเป็นโรค และพยาธิ เป็นต้น (McDonald et al., 1995)

สำหรับความต้องการแร่ธาตุของโคในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลเพียงพอในการแนะนำระดับความต้องการแร่ธาตุ แม้แต่ระดับความต้องการแร่ธาตุของโคในประเทศกำลังพัฒนาโดย Kearl (1982) แสดงเพียงระดับความต้องการแคลเซียม และฟอสฟอรัสต่อวันของโคเท่านั้น ปัจจุบันระดับความต้องการแร่ธาตุของโคที่แนะนำโดย NRC (2001) เป็นแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาก

ตารางที่ 7.1 ความต้องการแร่ธาตุของโคนมในสูตรอาหาร

แร่ธาตุ	โครุ่น-สาว	แม่โค	
		ระยะตั้งท้อง	ระยะให้นมช่วงแรก
แคลเซียม, ร้อยละ	0.31	0.18	0.27
ฟอสฟอรัส, ร้อยละ	0.27	0.18	0.27
แมกนีเซียม, ร้อยละ	0.10	0.12	0.20
โพแทสเซียม, ร้อยละ	0.60	0.60	0.70
โซเดียม, ร้อยละ	0.07	0.07	0.10
กำมะถัน, ร้อยละ	0.15	0.15	0.15
โคบอลต์, มก./กก.	0.10	0.10	0.10
ทองแดง, มก./กก.	10.00	10.00	10.00
ไอโอดีน, มก./กก.	0.50	0.50	0.50
เหล็ก, มก./กก.	50.00	50.00	50.00
แมงกานีส, มก./กก.	20.00	20.00	20.00
ซีลีเนียม, มก./กก.	0.10	0.10	0.10
สังกะสี, มก./กก.	30.00	30.00	30.00

ที่มา: NRC (2001)

ตารางที่ 7.2 แหล่งแร่ธาตุและการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ

แร่ธาตุ	แหล่ง	ปริมาณแร่ธาตุ (ร้อยละ)	การใช้ประโยชน์ได้
แคลเซียม	โมนโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate)	16.2	สูง
	ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate)	23.2	สูง
	หินปูนบด (ground limestone)	38.5	ปานกลาง
	แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)	40	ปานกลาง
	เปลือกหอยบด (oyster shell ground)	38.0	-
	กระดูกป่นอบ (steamed bone meal)	29.8	-
ฟอสฟอรัส	ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate)	18.5	ปานกลาง
	แคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate)	18.6-21	สูง
	กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid)	23-25	สูง
	กระดูกป่นอบ (steamed bone meal)	12.6	สูง
แมกนีเซียม	แมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate)	21-28	สูง
	แมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride)	12	สูง
	แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate)	9.8-17	สูง
โพแทสเซียม	โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride)	50	สูง
	โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate)	41	สูง

ตารางที่ 7.2 แหล่งแร่ธาตุและการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ (ต่อ)

แร่ธาตุ	แหล่ง	ปริมาณแร่ธาตุ (%)	การใช้ประโยชน์ได้
โคบอลต์	โคบอลต์คาร์บอเนต (cobalt carbonate)	46-55	ยังไม่มีการทดสอบ
	โคบอลต์ซัลเฟต (cobalt sulfate)	21	ยังไม่มีการทดสอบ
	โคบอลต์คลอไรด์ (cobalt chloride)	24.27	-
ทองแดง	คิวพริกซัลเฟต (cupric sulfate)	25	สูง
	คิวพริกคาร์บอเนต (cupric carbonate)	53	ปานกลาง
	คิวพริกคลอไรด์ (cupric chloride)	37.2	สูง
	คิวพริกออกไซด์ (cupric oxide)	80	ต่ำ
ไอโอดีน	แคลเซียมไอโอเดต (calcium iodate)	63.5	สูง
	โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)	69	สูง
	คิวปรัสไอโอไดด์ (cuprous iodide)	66.6	สูง
	เฟอร์รัสคาร์บอเนต (ferrous carbonate)	36-42	ต่ำ
เหล็ก	เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate)	20-30	สูง
	เฟอร์รัสออกไซด์ (ferrous oxide)	11.46	-
	แมงกานีสซัลเฟต (manganous sulfate)	27	สูง
แมงกานีส	แมงกานีสออกไซด์ (manganous oxide)	52-62	สูง

ตารางที่ 7.2 แหล่งแร่ธาตุและการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ (ต่อ)

แร่ธาตุ	แหล่ง	ปริมาณแร่ธาตุ (%)	การใช้ประโยชน์ได้
ซีลีเนียม	โซเดียมซีลีไนท์ (sodium selenite)	40	สูง
	โซเดียมซีลีเนต (sodium selenate)	45.6	สูง
กำมะถัน	แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate)	12-20	ต่ำ
	โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate)	28	สูง
	แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate)	12-20	ต่ำ
	โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate)	28	สูง
	โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate)	10	ปานกลาง
	ผงกำมะถัน (sulfur powder)	99.0	-
	ซิงค์คาร์บอเนต (zinc carbonate)	52	สูง
	ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride)	48	ปานกลาง
สังกะสี	ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate)	22-36	สูง
	ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)	46-73	สูง

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก McDowell (1992) และ Kears (1982)

7.7 สรุป

แร่ธาตุมีความสำคัญต่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตของโคนม ในการประกอบสูตรอาหารจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับความต้องการแร่ธาตุของโคนม เพื่อให้โคนมได้รับแร่ธาตุเหมาะสมกับเพศ อายุ และระดับการให้ผลผลิต สามารถให้ผลผลิตได้ตามเป้าหมายการผลิตโคนมอย่างมีประสิทธิภาพ

7.8 เอกสารอ้างอิง

- Georgievskii, V.I. 1982. The physiological role of macroelements. In: Mineral Nutrition of Animals. (V.I. Georgievskii, B. N. Annenkov and V. I. Samokhin (Eds)). Mansells Bookbinders Ltd, Essex. UK. (pp. 91-170).
- Kandyli, K. 1984. Toxicology of sulfur in ruminants: Review. J. Dairy Sci. 67(10):2179-2187.

- Kearl, L.C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute. Utah Agricultural Experiment Station. Utah State University, Logan, Utah.
- Komisarczuk, S., R.J. Merry and A.B. McAllan. 1987. Effect of different levels of phosphorus on rumen microbial fermentation and synthesis determined using a continuous culture technique. *Br. J. Nutr.* 57(2):279-290.
- McDowell, L.R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press, Inc., San Diego, California.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad and G.L. Ellis. 1986. Mineral deficiencies and toxicities of tropical forages for grazing livestock. In: International Rangeland Development Symposium, Orlando.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, and C.A. Morgan. 1995. Animal Nutrition. Singapore: Longman Singapore Publishers.
- Ngampongsai, W., P. Chitprasan and W. Pralomkarn. 1999. Evaluating the mineral status of beef cattle in Songkhla province, southern Thailand. I. macro-minerals, hemoglobin and hematocrit. *Songklanakarin. J. Sci. Technol.* 21(3):285-292.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th edition. Washington, DC: The National Academies Press.
- Ternouth, J.H. 1990. Phosphorus and beef production in northern Australia. 3. Phosphorus in cattle - a review. *Trop. Grasslands.* 24(3):159-169.
- Underwood, E.J. and N.F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. Guildford and King's Lynn, Oxon: Biddles.
- Vilchulata, P., S. Shipadpanich and L.R. McDowell. 1983. Mineral status of cattle raised in villages in central Thailand. *Trop. Anim. Prod.* 9(1-4):131-137.

บทที่ 8 วิตามิน (Vitamins)

8.1 บทนำ

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารและเป็นสารสำคัญที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยแต่สัตว์ขาดไม่ได้ โดยความต้องการวิตามินของร่างกายจะอยู่ในระดับไมโครกรัมหรือมิลลิกรัม/วัน ในอาหารที่กินเข้าไป วิตามินมีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกายสิ่งมีชีวิตให้ทำหน้าที่ได้เป็นปกติ ทั้งในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนในเซลล์ของร่างกายกระบวนการเจริญเติบโต ตลอดจนการสืบพันธุ์ (McDowell, 2000) ดังนั้นวิตามินจึงช่วยให้ร่างกายทำงานได้เป็นปกติ ในขณะที่สัตว์เจ็บป่วยการทำงานของระบบต่าง ๆ ผิดปกติไป วิตามินจะช่วยประคับประคองไม่ให้งานเหล่านั้นด้อยลง แต่จะช่วยเสริมให้ดีขึ้น ภาวะปกติวิตามินช่วยเร่งการเจริญเติบโต เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร เพิ่มผลผลิตและช่วยในการต้านทานโรค การขาดวิตามินชนิดหนึ่งชนิดใดหรือมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับวิตามินชนิดนั้นทำงานไม่เต็มที่หรือผิดปกติไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิต และเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้ง่าย

โดยปกติจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถสังเคราะห์วิตามินบางชนิดเพื่อเป็นโภชนะสำหรับโคนมได้ โดยสัตว์จะมีความต้องการวิตามินที่แตกต่างกันตามชนิดและช่วงอายุของสัตว์ สัตว์เคี้ยวเอื้องระยะก่อนหย่านมที่กระเพาะหมักมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ จะมีความต้องการวิตามินเช่นเดียวกับสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง แต่สัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มที่แล้ว สามารถสังเคราะห์วิตามินที่ละลายได้ในน้ำและวิตามินเคได้ (Church, 1993) โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและลำไส้ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการส่วนในกลุ่มวิตามินที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถสังเคราะห์ได้ (วิตามินเอ ดี และ อี) หรือในกรณีที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินเหล่านี้ได้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์เนื่องจากการขาดโภชนะบางชนิด เช่น การขาดแร่ธาตุโคบอลต์ ส่งผลให้สัตว์มีการสังเคราะห์วิตามินบี 12 ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จำเป็นต้องมีการเสริมลงในอาหารสัตว์เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ (ปิ่น, 2561)

8.2 ประเภทของวิตามิน

วิตามินสามารถจำแนกตามคุณสมบัติในการละลายได้เป็น 2 ประเภท คือ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และเค) ซึ่งในธรรมชาติพบอยู่ร่วมกับไขมันในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยมีการดูดซึมร่วมกับไขมันจากการอาศัยน้ำดีช่วยในการดูดซึม วิตามินในกลุ่มนี้ไม่ถูกขับออกจากร่างกาย สามารถสะสมในเนื้อเยื่อต่างๆ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อมีการขาดวิตามินในร่างกาย และวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid, C) และวิตามินบีรวม (vitamin B complex)

8.2.1 วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน

วิตามินในกลุ่มนี้ประกอบด้วยวิตามินเอ ดี อี และเค อย่างไรก็ตาม มีเพียงวิตามินเอและอีเท่านั้นที่สัตว์จำเป็นต้องได้รับการเสริมในอาหาร เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์วิตามินเคได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและลำไส้เล็ก ในขณะที่วิตามินดีสามารถสังเคราะห์ได้จากการกระตุ้นการสังเคราะห์ที่ผิวหนังโดยแสงแดด โดยกระบวนการย่อยวิตามินกลุ่มละลายได้ในไขมันในกระเพาะหมักมีความแตกต่างกัน เช่น วิตามินเอและโครทินอยด์ร้อยละ 62 - 69 จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่จากการวัดระดับปริมาณวิตามินเอในกระเพาะแท้ พบว่ามีปริมาณร้อยละ 43 ของวิตามินที่ได้รับเข้าไป แสดงให้เห็นถึงกระบวนการสังเคราะห์กลับคืน (recovery) โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเช่นเดียวกับในวิตามินบีและวิตามินอี ในขณะที่วิตามินเคนั้น สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์ได้บริเวณระบบทางเดินอาหารส่วนปลาย โดยปกติวัตถุดิบอาหารสัตว์มีสารตั้งต้นของวิตามินเอและอีในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องมีการเสริมวิตามินในสูตรอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม ในรูปแบบการจัดการโคนมที่มีการขังคอกและมีโอกาสได้รับแสงแดดหรือสัดส่วนวิตามินในอาหารไม่เหมาะสม จำเป็นต้องเสริมแหล่งวิตามิน เอ ดีและ อี ลงในอาหารโคนมด้วย

8.2.1.1 วิตามินเอ (Vitamin A; Retinol)

วิตามินเอจัดเป็นวิตามินที่สำคัญที่สุดสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ หน้าที่ของวิตามินเอเกี่ยวข้องกับความสามารถในการมองเห็น การสร้างกระดูก ตลอดจนมีความจำเป็นสำหรับการคงสภาพให้เป็นปกติและการทำหน้าที่ของเนื้อเยื่อบุผิว (epithelial tissues) ของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตา ระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ และระบบขับถ่ายของเสีย นอกจากนี้ วิตามินเอยังจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์กลูโคสและการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ของโคนม โดยมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ฟอลลิเคิล ฮอร์โมนเพศ และการพัฒนาของไข่และตัวอ่อนในโคนม (Gomez et al., 2004; Ikeda et al., 2005; Chiamenti et al., 2010) การทำงานของวิตามินเอในร่างกายสัตว์จะอยู่ในรูปแบบของเรตินอล ซึ่งแหล่งของเรตินอลจะพบเฉพาะในเนื้อเยื่อของสัตว์เท่านั้น โดยเฉพาะบริเวณตับ ส่วนในพืชไม่พบวิตามินเอ แต่สามารถพบโปรวิตามินเอ (provitamin A) ในรูปของรงควัตถุที่เรียกว่า “แคโรทีนอยด์ (carotenoids)” ซึ่งเป็นสารที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โดยสารแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิด คือ แอลฟา, แกมมา และ เบต้าแคโรทีน (β -carotene) และ สารฟลิกแซนทีน (cryptoxanthin) เมื่อสารเหล่านี้เข้าไปในระบบทางเดินอาหารสัตว์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดส์ จะได้วิตามินเอ 2 โมเลกุล แต่เมื่อถูกดูดซึมแล้วจะมีประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งของวิตามินเอในน้ำหนักเท่ากัน โดยปกติอาหารหยาบมีปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โคที่ปล่อยลงทะเลในแปลงหญ้าหรือได้รับอาหารหยาบคุณภาพดีจะไม่แสดงอาการขาดวิตามินเอ แต่ในระบบอุตสาหกรรมการผลิตโคนมที่ให้ผลผลิตสูงที่มีการเลี้ยงโคแบบขังคอกตลอดเวลา และอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วยอาหารข้นพวกธัญพืช การเสริมวัตถุดิบอาหารข้นที่มีเบต้าแคโรทีนระดับกลาง เช่น ข้าวโพดหรือกากเอทานอล จึงได้รับความนิยมในทางปฏิบัติมากกว่าการเสริมอาหารหยาบระดับสูง นอกจากนี้ จากการรายงานของ Park et al. (1983) ปริมาณเบต้าแคโรทีนในอาหารหยาบมีค่าลดลงตามอายุของพืชอาหารสัตว์ระยะเวลาในการเก็บรักษา (หญ้าหมักและหญ้าแห้ง) ดังนั้น สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความเสี่ยงต่อการขาดวิตามินเอสูงหากได้รับอาหารคุณภาพต่ำที่ไม่มีสีเขียวหรือได้รับหญ้าหมักหรือหญ้าแห้งเป็นระยะเวลานาน (Park et al., 1983; NRC, 2001)

การขาดวิตามินเอจะพบในลูกโคเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะลูกโคที่เกิดจากแม่ที่ได้รับอาหารที่ขาดวิตามินเอในช่วงกำลังตั้งท้อง ทำให้ลูกอ่อนที่อยู่ในท้องได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดย Puvogel et al. (2008) รายงานว่าโดยลูกโคแรกคลอดจะมีระดับวิตามินเอในกระแสเลือดต่ำ แต่เมื่อน้ำเหลืองจัดเป็นอาหารแหล่งวิตามินที่ละลายในไขมันสูง หากลูกโคได้รับมน้ำเหลืองจากแม่โคปกติจะไม่แสดงอาการขาดวิตามินเอ แต่จากผลกระทบต่อเนื่องของลูกโคหลังคลอดที่ได้รับมน้ำเหลืองจากแม่โคที่มีวิตามินเอในมน้ำเหลืองต่ำกว่าแม่โคทั่วไป ทำให้ลูกโคแสดงอาการขาดวิตามินเอขึ้นได้ นอกจากนี้แม้ในลูกโคที่เกิดจากแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีวิตามินเอเพียงพอแต่ได้รับวิตามินเอจากอาหารน้อยเกินไปหรือได้รับน้ำมน้อยกว่าปกติ ก็แสดงอาการขาดวิตามินได้เช่นกัน (Podhorský et al., 2007) อาการขาดวิตามินเอในลูกโคที่สังเกตได้คือเบื่ออาหาร ต่อมาจะมีอาการท้องร่วง มองไม่ค่อยเห็นในที่มืด ขนหยาบหยาบ ขนฟูม ตาเปื่อยและ และสุดท้ายอาจตาบอดได้ ในโครุ่นมีโอกาที่จะเกิดการขาดวิตามินเอได้เช่นกัน โดยจะมีอาการขั้นแรก คือ มองไม่เห็นในที่มืด และอาจจะมีอาการสั่นกระตุก ขาบวม ส่วนใหญ่จะเกิดกับโครุ่นที่ได้รับพืชหมักเป็นอาหารหยาบหลักเป็นเวลานานถึงแม้ว่าจะได้รับแคโรทีนอย่างเพียงพอก็ตาม ส่วนในโคเจริญวัยหรือโตเต็มที่แล้วไม่ค่อยแสดงอาการขาดวิตามินเอให้เห็นมากนัก หรืออาจจะแสดงอาการขาดให้เห็นหลังจากที่ได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอต่อความต้องการมาเป็นระยะเวลานาน ส่วนแม่โคการขาดจะทำให้ประสิทธิภาพในการผสมพันธุ์ต่ำ ระยะเวลาในการตั้งท้องจะสั้นกว่าปกติ รกค้าง ในบางกรณีอาจจะมีการแท้ง ลูกโคอ่อนแอ ไม่สมบูรณ์และมีอัตราการตายสูงกว่าปกติ โคพ่อพันธุ์ที่เกิดการขาดวิตามินเอจะทำให้ความสามารถในการผสมพันธุ์ลดลงและตัวสุจิที่ไม่สมบูรณ์จะมีจำนวนมากขึ้น

ปริมาณวิตามินเอที่สัตว์ได้รับจากวัตถุดิบอาหารสามารถคำนวณได้จากปริมาณเบต้าแคโรทีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเบต้าแคโรทีน 1 มิลลิกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ 400 หน่วยสากล หรือคิดเป็นเรตินอล 120 ไมโครกรัม โดยความต้องการวิตามินเอเพื่อการเจริญเติบโตของลูกโคมีค่าเท่ากับ 80 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว นอกจากนี้ การเสริมวิตามินเอ 200,000 หน่วยสากล/วัน แก่ลูกโคแรกคลอดสามารถส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตของลูกโคได้ (Moosavian et al., 2010) ในขณะที่

โคให้นมโตเต็มวัยมีความต้องการวิตามินเอเพิ่มขึ้นเป็น 110 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยในโคนมปกติ (ปริมาณน้ำนมต่ำกว่า 35 กิโลกรัม) มีความต้องการวิตามินเอ 70,000 หน่วยสากล/วัน ในขณะที่โคที่มีปริมาณน้ำนมสูงกว่า 35 กิโลกรัม/วัน มีความต้องการวิตามินเอเพิ่มขึ้น 1,000 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (NRC, 2001; Weiss, 2018; ตารางที่ 8.1) จากการรายงานของ Oldham et al. (1991) การเพิ่มระดับวิตามินเอในสูตรอาหารส่งผลเพิ่มปริมาณน้ำนมของโคนมได้ โดยโคให้นมระยะแรกที่ได้รับวิตามินเอ 280 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว มีปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นเป็น 40 กิโลกรัม/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ 75 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว (ปริมาณน้ำนม 35 กิโลกรัม)

ความต้องการวิตามินเอยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ชนิดและพันธุ์โค อาหารที่ได้รับ และสภาวะความเครียด เช่น ปริมาณวิตามินเอที่สามารถทำงานได้ (retinol ester) จากเบต้าแคโรทีนในสูตรอาหารเมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีอาหารชั้นสูงมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากการเสื่อมสภาพในกระเพาะหมัก (NRC, 2001) อย่างไรก็ตาม ในกรณีโคนมที่ให้อาหารหยาบสูงที่มีปริมาณวิตามินเอสูง ยังคงมีความต้องการการเสริมวิตามินเอในสูตรอาหารระดับเดียวกับโครีดนมเนื่องจากต้องการวิตามินเอเพื่อการพัฒนาของต่อมน้ำนมในระหว่างพักการรีดนม รูปแบบการเสริมวิตามินเอในสูตรอาหาร นิยมเสริมในรูปแบบออล-ทรานซ์ เรตินิล อะซิเตท (all-trans retinyl acetate) และออล-ทรานซ์ เรตินิล พาลมิเตท (all-trans retinyl palmitate) เนื่องจากมีความคงทนในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีอัตราการเสื่อมเพียงร้อยละ 1 /เดือน แต่การผสมวิตามินเอร่วมกับแร่ธาตุหรือวิตามินอื่น ๆ จะส่งผลเร่งอัตราการเสื่อมสภาพให้เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 5 - 6 /เดือนได้ (Coelho, 1991)

8.2.1.2 วิตามินดี (Vitamin D)

วิตามินดีพบมากในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะน้ำมันปลา โดยโครงสร้างของวิตามินดีที่มีความสำคัญในทางอาหารสัตว์ มี 2 รูปแบบ คือ วิตามินดี 2 (ergocalciferol) ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้ในพืชและเชื้อรา และวิตามินดี 3 (cholecalciferol) ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ผิวหนังของสัตว์ โดยเมื่อสัตว์หรือพืชได้รับแสงแดดหรือรังสียูวี (UV) จะเกิดการกระตุ้นการสังเคราะห์วิตามินดีได้โดยสารโปรวิตามินดี (provitamin D) ชนิด 7-ดีไฮโดรโคเลสเตอรอล (7-dehydrocholesterol) ที่ผิวหนังสัตว์เปลี่ยนไปเป็นวิตามินดี 3 (De Silva and Anderson, 1995) ส่วนในพืชและจุลินทรีย์ เช่น ราข้าว ยีสต์ และรา จะเปลี่ยนโปรวิตามินเออร์โกสเตอรอล (ergosterol) เป็นวิตามินดี 2 แหล่งของวิตามินดีส่วนใหญ่จะอยู่ในอาหารที่ได้จากสัตว์และปลา ในขณะที่พืชจะพบวิตามินดีน้อยมาก ยกเว้นในหญ้าแห้งที่ทำให้แห้งโดยแสงแดด โคนมสามารถใช้วิตามินดีได้ทั้งรูปแบบวิตามินดี 2 และ 3 โดยวิตามินดีจะถูกขนส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นสาร 25-ไฮดรอกซีวิตามินดี (25-hydroxyvitamin D) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมน 1,25-ไดไฮดรอกซีโคเลสเตอรอล (1,25-dihydroxycholecalciferol) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตในเลือด ช่วยดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุหลักในการสร้างกระดูก รวมทั้งเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยแคลเซียมที่สะสมออกจากไต จึงทำให้วิตามินดีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกระดูกและมีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสัตว์ ในลูกโคที่ขาดวิตามินดีจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากการเกิดโรคกระดูกอ่อน (rickets) ส่วนในสัตว์ที่เจริญวัยแล้วจะทำให้เกิดโรคกระดูกนุ่ม (osteomalacia)

การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องในเขตร้อนที่มีปริมาณแสงแดดอย่างเพียงพอสัตว์จะได้รับวิตามินดีในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ (30 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว หรือ 20,000 หน่วยสากล/วัน; Weiss, 2018) อาการขาดวิตามินดีจึงมักไม่ค่อยพบเห็นเหมือนกับอาการขาดวิตามินชนิดอื่นๆ โดยหน่วยความต้องการวิตามินดีอยู่ในหน่วยสากล หรือ 0.025 มิลลิกรัม ของ 25-ไฮดรอกซีวิตามินดี โดย Horst et al. (1994) รายงานว่าในโคนมปกติมีระดับ 25-ไฮดรอกซีวิตามินดี ในกระแสเลือด 20 - 50 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งการเสริมวิตามินดีที่ระดับ 7.5 และ 15 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว สามารถรักษาความเข้มข้นของวิตามินดีในกระแสเลือดที่ 25 และ 31 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ในโคนมและโครีดนมระยะแรกได้ (Vinet et al., 1985) นอกจากนี้ โคนมที่ได้รับการเสริมวิตามินดีที่ระดับ 50 - 70 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว หรือ 40,000 หน่วยสากล/วัน มีอัตราการกลับสัดเร็วขึ้น 16 วัน รวมทั้งสามารถให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น (Ward et al., 1971) ส่วนในสัตว์ที่มีระดับ 25-ไฮดรอกซีวิตามินดี ในกระแสเลือดต่ำกว่า 5 นาโนกรัม/มิลลิลิตร จะแสดงอาการขาดวิตามินดี ซึ่งสามารถเสริมวิตามินให้แก่สัตว์ในอาหารหรือในรูปฉีดเข้ากล้ามเนื้อได้ ส่วนใหญ่

วิตามินที่ให้อยู่ในรูปวิตามินดี 3 อย่างไรก็ตาม การเสริมวิตามินดีในอาหารมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากวิตามินบางส่วนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก การเสริมวิตามินดีโดยการฉีดสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ แต่มีข้อจำกัดในระดับการใช้ซึ่งสามารถให้ได้ในปริมาณจำกัด (ต่ำกว่าการเสริมในอาหาร 100 เท่า) และอาจเกิดความเป็นพิษจากวิตามินเมื่อให้ซ้ำได้ การเสริมวิตามินดีที่ระดับสูง (120 - 140 หน่วยสากล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว หรือ 80,000 หน่วยสากล/วัน) ก่อให้เกิดพิษจากวิตามินดีได้ (Hibbs and Conrad, 1983) เนื่องจากวิตามินดีส่วนเกินจะถูกสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ และก่อให้เกิดอาการเป็นพิษจากวิตามินดีได้ โดยสัตว์จะแสดงอาการเป็นพิษเมื่อระดับวิตามินดีในกระแสเลือดอยู่ในระดับ 200 - 300 นาโนกรัม/มิลลิลิตร หรือได้รับอาหารที่มีวิตามินดีสูงกว่า 2,200 หน่วยสากล/กิโลกรัมอาหารเป็นระยะเวลานาน หรือได้รับอาหารที่มีระดับวิตามินดีสูงกว่า 25,000 หน่วยสากล/กิโลกรัมอาหารแบบเฉียบพลัน ซึ่งสัตว์จะมีปริมาณแคลเซียมในเลือดและเกล็ดเลือดสูง การกินได้ลดลง มูลแห้ง ปัสสาวะบ่อย ไตวาย การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลง

8.2.1.3 วิตามินอี (Vitamin E)

วิตามินอีตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปของแอลกอฮอล์ ประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 กลุ่ม 8 ชนิด คือ สารกลุ่มโทโคฟีรอล (tocopherols) 4 ชนิด ได้แก่ แอลฟา แกมมา เบต้า และซิกมา โทโคฟีรอล (α, γ, β และ σ tocopherol) และสารกลุ่มโทโคไตรเอนอล (tocotrienols) 4 ชนิด ได้แก่ แอลฟา แกมมา เบต้า และซิกมา โทโคไตรเอนอล (α, γ, β และ σ tocotrienol) โดยวิตามินอีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุดคือ แอลฟาโทโคฟีรอล และเป็นชนิดที่ใช้พบมากที่สุด ในธรรมชาติและวัตถุดิบอาหารสัตว์ แหล่งของวิตามินอีตามธรรมชาติมีความแปรปรวนมาก พบมากในพืชสีเขียวหรือน้ำมันพืช ในหญ้าสดทั่วไปไม่มีวิตามินอีเป็นส่วนประกอบประมาณ 80 - 200 หน่วยสากล/กิโลกรัม โดยพืชอาหารสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีมากกว่าพืชที่มีอายุมาก ส่วนใบของพืชจะมีมากกว่าลำต้นประมาณ 20 - 30 เท่า วิตามินอีในพืชอาหารสัตว์จะสลายอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว และอาหารหยาบที่ผ่านการตากแดดเพื่อทำหญ้าแห้งจะเกิดการสูญเสียมากกว่าร้อยละ 90 แต่ในการทำพืชหมักหรือการใช้ความร้อนเพื่อการอบแห้งจะสูญเสียวิตามินอีในปริมาณที่น้อยกว่า ในส่วนของวัตถุดิบอาหารข้นส่วนใหญ่ยกเว้นถั่วเหลืองดิบและเมล็ดฝ้ายมีวิตามินอีต่ำเนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูปทำลายโครงสร้างของวิตามินอีได้

วิตามินอีมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) โดยเป็นตัวให้อิเลตรอน (hydrogen donor) แก่วิตามินเอ ดี และไขมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ในระบบขนถ่ายไฮโดรเจน (hydrogen transferring systems) เพื่อป้องกันการเกิดเพอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) อีกด้วย วิตามินอีจึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาสภาพของผนังเซลล์ กระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดไขมันอะโรมาติก เพิ่มความต้านทานของเม็ดเลือดแดง การสร้างโปรตีนในส่วนของการเมแทบอลิซึมกรดนิวคลีอิก ควบคุมการทำงานของต่อมไทรอยด์ ตับอ่อน และต่อมหมวกไต การสังเคราะห์โคเอนไซม์และวิตามินซี เป็นส่วนประกอบของไซโตโครมรีดักเตส (cytochrome reductase) ในกระบวนการเมแทบอลิซึม การสร้างฮอโมนพอสตาแกลนดิน (prostaglandin) ป้องกันการออกซิไดส์วิตามินเอและมีส่วนช่วยให้วิตามินเอใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ทั้งในการดูดซึมและการสะสมวิตามินเอ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ โดยมีผลต่อการสร้างน้ำเชื้อในเพศผู้ และการตกไข่และการผสมติดในเพศเมีย

ความต้องการวิตามินอีของโคมีค่าเท่ากับ 15 - 60 หน่วยสากล/กิโลกรัมอาหาร (NRC, 2001) โดยในโคที่มีการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันปกติและสุขภาพดีควรมีระดับแอลฟาโทโคฟีรอล ประมาณ 3 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร การเสริมวิตามินอีเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของโคนมจำเป็นต้องคำนึงถึงอาหารพื้นฐานของโคนมเป็นอันดับแรก โดยในโคนมที่ได้รับอาหารหยาบสดซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินอีที่ดี จึงมีความต้องการการเสริมวิตามินอีต่ำกว่าในโคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารหยาบสำรองที่ผ่านการเก็บรักษามาเป็นเวลานาน (3,000-4,000 หน่วยสากล/วัน; Spears and Weiss, 2007) ซึ่งโคนมที่ได้รับหญ้าสดมีความต้องการการเสริมวิตามินอีต่ำ

กว่าโคที่ได้รับหญ้าแห้งประมาณร้อยละ 67 (NRC, 2001) โดยปกติในโคให้นมควรได้รับการเสริมวิตามินอี 0.8 หน่วยสากล/กิโลกรัม น้ำหนักตัว (500 หน่วยสากล/วัน) ในขณะที่โคแห้งนมต้องได้รับการเสริมวิตามินอี 1.6 หน่วยสากล/กิโลกรัม น้ำหนักตัว (80 หน่วยสากล/กิโลกรัมอาหาร หรือ 1,000 หน่วยสากล/วัน) นอกจากนี้ในโคนมก่อนคลอดควรมีการเสริมวิตามินอีเพื่อเป็นการเพิ่มระดับการแพร่วิตามินอีสู่ลูกโคผ่านทางรกและนม น้ำเหลือง (3 - 6 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) โดยโครีดนมตั้งท้องระยะท้ายมีความต้องการวิตามินอี 2.6 หน่วยสากล/กิโลกรัม น้ำหนักตัว นอกจากนี้พบว่าแม่โคที่ได้รับการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 3,000 หน่วยสากล/วัน เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนคลอดสามารถส่งเสริมสุขภาพระบบสืบพันธุ์หลังคลอด โดยส่งผลลดอัตราการเกิดโรคค้ำของแม่โคนมที่ขาดวิตามินอีได้ ในขณะที่แม่โคที่มีระดับโทโคฟีรอลในกระแสเลือดปกติ ไม่มีความแตกต่างจากการเสริมวิตามินอี (Spears and Weiss, 2007) เช่นเดียวกับการรายงานของ Moeini et al. (2009) ที่รายงานว่าโคนมที่ได้รับการเสริมวิตามินอีในรูป d, l-alpha-tocopheryl acetate ร่วมกับซิลิเนียมส่งผลต่อสุขภาพระบบสืบพันธุ์ของโคนมให้นมครั้งแรก โดยเพิ่มอัตราการผสมติดหลังคลอดและเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้

การขาดวิตามินอี จะพบในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่อายุน้อยมากกว่าในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว โดยจะเกิดลักษณะความบกพร่องของกล้ามเนื้อเนื่องจากโภชนาการ (nutritional muscular dystrophy; NMD) เป็นลักษณะการตายของกล้ามเนื้อลาย (striated skeletal muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) ทำให้กล้ามเนื้อและคอไม่ทำงาน คอและขาแข็งและสัตว์เกิดเป็นอัมพาต กรณีที่อาการรุนแรงกล้ามเนื้อจะซีดจนดูเหมือนสีขาว (white muscle disease) สัตว์จะมีอาการหายใจติดขัดและตาย ซึ่งพบได้ในลูกโคที่แม่โคได้รับหญ้าแห้งในระหว่างการตั้งท้องและไม่ได้รับอาหารชั้นในช่วงหลังของการตั้งท้อง โดยแนวทางการป้องกันการขาดวิตามินอีในลูกโคที่ได้ผลดีคือ การให้วิตามินอีแก่แม่โคนมที่อยู่ในระยะเวลาอู้มท้องอย่างเพียงพอจะทำให้ลูกโคในท้องได้รับวิตามินอีในระดับที่ต้องการด้วย นอกจากนี้ Godden (2008) กล่าวว่าเมื่อเสริมวิตามินอีและซิลิเนียมโดยการฉีดแก่แม่โคตั้งท้องระยะท้าย สามารถเพิ่มสัดส่วนวิตามินอีในนม น้ำเหลืองและส่งผลเพิ่มปริมาณวิตามินอีที่ลูกโคได้รับได้ อย่างไรก็ตาม ความต้องการวิตามินอีในลูกโคมีความแปรปรวนตามอัตราการเจริญเติบโตของลูกโค โดยระดับความต้องการวิตามินอีเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเจริญเติบโตของลูกโค (Nonnecke et al., 2009) ส่วนในสัตว์ที่โตเต็มที่และได้รับวิตามินอีไม่เพียงพอต่อความต้องการเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการเป็นหมันแบบถาวรได้ การเสริมวิตามินอีในอาหารโคนมเสริมในรูปดีแอล -แอลฟา โทโคฟีรอล อะซิเตท (DL- α tocopherol acetate) และดีแอล -แอลฟา โทโคฟีรอล ฟอสเฟต (DL- α tocopherol phosphate) ซึ่งนอกจากการเสริมวิตามินอีแล้วการให้ซิลิเนียมแก่สัตว์จะช่วยป้องกันโรคกล้ามเนื้อเสื่อมได้ แต่การใช้ซิลิเนียมเสริมในอาหารไม่ควรจะให้ในปริมาณมากเกินไป ความต้องการเพราะอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ โดยความต้องการวิตามินอีสำหรับการป้องกันการออกซิไดซ์จะมากขึ้นถ้าในอาหารขาดซิลิเนียมเนื่องจากซิลิเนียมเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์กลูตาไธโอน เพอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ซึ่งเอนไซม์นี้เป็นตัวกระตุ้นให้มีการสลายสารเพอร์ออกไซด์ (peroxide) จากสารอนุมูลอิสระได้

ตารางที่ 8.1 ความต้องการวิตามินเอ ดี และอี ในโคนมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียนระยะต่าง ๆ

		ผลผลิต	ปริมาณ	วิตามินเอ		วิตามินดี		วิตามินอี		
		น้ำนม	การกินได้							
ระยะโคนม		(กิโลกรัม/	(กิโลกรัม/	หน่วย	หน่วย	หน่วย	หน่วย	หน่วย	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
		วัน)	วัน)	สากล/	สากล/	สากล/	สากล/	สากล/	สากล/	
		วัน)	วัน)	วัน	กิโลกรัม	วัน	กิโลกรัม	วัน	กิโลกรัม	
โคสาว	อายุ 6 เดือน		5.2	16,000	3,076	6,000	1,154	160	31	NRC (2001)
	อายุ 12 เดือน		7.1	24,000	3,380	9,000	1,268	240	34	NRC (2001)
	อายุ 18 เดือน		11.3	36,000	3,185	13,500	1,195	360	32	NRC (2001)
โคทอง	ตั้งท้อง 240 วัน		14.4	80,300	5,576	21,900	1,520	1,168	81	NRC (2001)
	ตั้งท้อง 270 วัน		13.7	82,610	6,030	21,530	1,645	1,202	88	NRC (2001)
	ตั้งท้อง 279 วัน		10.1	83,270	8,244	22,710	2,249	1,211	120	NRC (2001)
โครีดนม	ระยะต้น	25	13.5	75,000	5,540	21,000	1,511	545	40	NRC (2001)
		35	15.6	75,000	4,795	21,000	1,308	545	35	NRC (2001)
		45	19.8	49,500	2,123	13,500	579	360	16	NRC (2001)
	ระยะกลาง	25	20.3	75,000	3,685	21,000	1,004	545	27	NRC (2001)
		35	23.6	75,000	3,169	21,000	864	545	23	NRC (2001)
		45	26.9	75,000	2,780	21,000	680	545	18	NRC (2001)

8.2.1.4 วิตามินเค (vitamin K)

วิตามินเคเป็นวิตามินที่มีความสำคัญในการแข็งตัวของเลือด เนื่องจากเป็นสารสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนโปรทรอมบิน (prothrombin) และโปรตีนอีกหลายชนิดที่ช่วยให้เลือดแข็งตัว เช่น โปรคอนเวอร์ทิน (proconvertin) พลาสมาทรอมโบพลาสติน แอนทีซีเดนท (plasma thromboplastin antecedent) และสจิวต์-เพราเวอร์ แฟคเตอร์ (Stewart-Prower factor) นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ป้องกันเลือดออกตามผิวหนังและกล้ามเนื้อ โดยวิตามินเคเป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ชนิดที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ วิตามินเค 1 (phylloquinones) ที่พบในแบคทีเรียและพืชอาหารสัตว์ และวิตามินเค 2 (Menaquinone) พบมากในปลาป่นและสามารถสังเคราะห์ได้โดยจุลินทรีย์บางชนิดในระบบทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง วิตามินเค 2 เป็นแหล่งที่สำคัญที่สุดของวิตามินเค เพราะสามารถสังเคราะห์ได้โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะหมัก ส่วนวิตามินเค 1 จะได้จากพืชสีเขียว ในสัตว์เคี้ยวเอื้องภายใต้สภาพปกติจะได้รับวิตามินเคอย่างเพียงพอจากอาหารและการสังเคราะห์โดยแบคทีเรียในทางเดินอาหาร แต่บางครั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องอาจแสดงอาการขาดวิตามินเคได้โดยมีสาเหตุจากการได้รับสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์โปรทรอมบินและแสดงอาการเลือดไหลไม่หยุด การเสริมวิตามินเคในอาหารนิยมเสริมในรูปเกลือของวิตามินเค 3 เช่น มินาไดโอน โซเดียมไบซัลไฟต์ (menadione sodium bisulfite) หรือ มินาไดโอน ไดเมทิลไพริมิดอล ไบซัลไฟต์ (menadione dimethylpyrimidol bisulfite) ซึ่งเป็นวิตามินสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินเคในธรรมชาติและคงตัวต่อความร้อนสูงได้

8.2.2 วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ

วิตามินในกลุ่มนี้เป็นวิตามินที่สามารถละลายในน้ำและดูดซึมได้โดยไม่ต้องอาศัยน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยวิตามินซีและวิตามินบีรวม ได้แก่ ไรอะมีน (B1) โรโบฟลาวิน (B2) ไนอะซิน (B3) กรดแพนโทเทนิก (B5) ไพโอติน (B6) กรดโฟลิก (B9) ไฮยโนโคบาลามิน (B12) อินอซิทอล และโคลีน สัตว์ต้องการวิตามินเหล่านี้เพื่อใช้เป็นโคแฟกเตอร์ในระบบเอ็นไซม์ของกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์วิตามินเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้ในระดับที่พอเพียงกับความต้องการ ทำให้โดยทั่วไปแล้วไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเสริมวิตามินในกลุ่มนี้ลงในอาหารสัตว์ที่กระเพาะหมักพัฒนาเต็มที่ ยกเว้นในกรณีลูกสัตว์ที่กระเพาะหมักยังไม่พัฒนาหรือสัตว์ได้รับอาหารที่ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในกระเพาะหมักผิดปกติ และทำให้การสังเคราะห์วิตามินเหล่านี้ลดลงกว่าที่ร่างกายต้องการ จึงต้องมีการเสริมวิตามินให้กับสัตว์ โดยปกติวิตามินกลุ่มนี้ไม่สามารถสะสมในร่างกายและไม่เป็นพิษเนื่องจากวิตามินส่วนเกินจะถูกขับออกทางปัสสาวะ ยกเว้นวิตามินบี 12 ที่ร่างกายสามารถสะสมได้

8.2.2.1 ไรอะมีน (Thiamine; Vitamin B1)

ไรอะมีนเป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำที่มีสีขาวและมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ โดยไรอะมีนในรูปแบบไรอะมีนไพโรฟอสเฟต (thiamine pyrophosphate) เป็นรูปแบบที่พร้อมทำงานในร่างกายสัตว์ ซึ่งทำหน้าที่หลักในการเป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โดยการเกิดกระบวนการดีคาร์บอกซิลเลชัน (decarboxylation) ของแอลฟา-คีโตแอซิด (α -Keto acid) ในกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์คีโตเลส (transketolase reactions) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนไพรูเวท (pyruvate) ให้กลายเป็นอะซีทิล โค เอ (acetyl CoA; De Silva and Anderson, 1995) วัตถุประสงค์หลักของไรอะมีน ได้แก่ ธัญพืช โดยเฉพาะเมล็ดข้าวหรือข้าว กากธัญพืช กากถั่วเหลืองและยีสต์ อย่างไรก็ตามในวัตถุดิบสดบางชนิดมีเอนไซม์ย่อยวิตามินบี 1 (thiaminase) อยู่ด้วย โดยเอนไซม์จะยับยั้งหรือต่อต้านการทำงานของวิตามินบี 1 สัตว์ที่ได้รับอาหารสดเหล่านี้ติดต่อกันนานจะทำให้สัตว์เกิดการขาดไรอะมีนได้ โดยการขาดไรอะมีนจะทำให้สัตว์เบื่ออาหาร การเจริญเติบโตลดลง ความสามารถในการย่อยอาหารลดลง และตายเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเป็นจำนวนมาก แต่โดยทั่วไปแล้วในสัตว์เคี้ยวเอื้องโตเต็มวัยจะมีการสังเคราะห์ไรอะมีนในกระเพาะประมาณ 28-72 มิลลิกรัม/วัน (Breves et al., 1981) ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของโค จึงไม่เกิดการขาดไรอะมีนกับสัตว์เคี้ยวเอื้องถึงแม้ว่าจะให้อาหารที่มีไรอะมีนอยู่เป็นจำนวนที่น้อยมากก็ตาม ยกเว้นในกรณีที่เมแทบอลิซึมของอาหารในกระเพาะ

หมักผลิตภัณฑ์ โคได้รับอาหารที่มีซัลเฟตสูง (Gould et al., 1991) หรือระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลงอย่างรวดเร็ว (Zinn et al., 1987) ทำให้การสังเคราะห์โรอะมินลดลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม โดยวิตามินสังเคราะห์ที่นิยมใส่ในอาหารสัตว์ ได้แก่ โรอะมินไฮโดรคลอไรด์ (thiamin hydrochloride) และโรอะมินโมโนไนเตรท (thiamin mononitrate) เนื่องจากมีความคงตัวสูง

8.2.2.2 ไรโบฟลาวิน (Riboflavin; Vitamin B2)

ไรโบฟลาวินเป็นผลิตภัณฑ์ของชีวสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบของฟลาวิน อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (flavin adenine dinucleotide; FAD) โดยฟลาวิน อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ เป็นโคแฟกเตอร์ในกระบวนการถ่ายทอดพลังงานเพื่อให้ได้พลังงานออกมาในรูปอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate; ATP) (De Silva and Anderson, 1995) ไรโบฟลาวินละลายน้ำได้เล็กน้อย ทนกรด และความร้อน สลายตัวเมื่อถูกแสงสว่าง และออกซิเจน พบมากในยีสต์ นม และพบบ้างปริมาณน้อยในปลาป่น และพืชสีเขียว (NRC, 2001) ไม่พบการรายงานปริมาณความต้องการการเสริมไรโบฟลาวินในโคนมเนื่องจากปริมาณการสังเคราะห์ในกระเพาะหมักเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โดย Zinn et al. (1987) รายงานว่าไรโบฟลาวินหมุนเวียนในร่างกายสัตว์ส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์ในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ เนื่องจากไรโบฟลาวินเกือบทั้งหมดถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก แต่มีการสังเคราะห์ไรโบฟลาวินกลับคืนในกระเพาะหมักที่ระดับร้อยละ 148 ที่ได้รับในอาหาร โดยพบว่าโคนมมีการสังเคราะห์และอัตราการไหลผ่านของไรโบฟลาวินสู่กระเพาะแม่ 15.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของอินทรีวัตถุที่ย่อยได้ โดยมีการดูดซึมที่ส่วนลำไส้เล็กประมาณร้อยละ 25 อาการขาดไรโบฟลาวินในสัตว์พบว่าจะมีอาการคล้ายอาการขาดโรอะมิน โคนมมีความอยากอาหารลดลง การเจริญเติบโตลดลง อาการที่เป็นลักษณะเฉพาะของการขาดไรโบฟลาวินคือ มีอาการเลือดออกบริเวณตา และเลนส์ตาเป็นสีขาวขุ่น (NRC, 2001)

8.2.2.3 ไนอะซิน (Niacin, Vitamin B3)

ไนอะซินหรือกรดนิโคตินิก (nicotinic acid) เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide adenine dinucleotide; NAD) และนิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟต (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; NADP) ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของของกรดอะมิโน กรดไขมัน และกลูโคสในตับ (Belenky et al., 2007; Jitrapakdee, 2012) นอกจากนี้ไนอะซินยังมีบทบาทในการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและปริมาณผลผลิตน้ำนมอีกด้วย โดย Erdman (1992) และ Drackley (1992) รายงานว่าการเสริมไนอะซินในอาหารส่งผลให้โคนมมีปริมาณน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น 1.1 หรือ 0.42 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ โดยไนอะซินสามารถสังเคราะห์ได้ในสัตว์ทั่วไปจากกรดอะมิโนทริปโตเฟน ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบคทีเรียเช่นเดียวกับภายในเนื้อเยื่อของร่างกาย ดังนั้น สัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในกระเพาะหมัก จึงสามารถสังเคราะห์ไนอะซินได้ทั้งโดยตัวสัตว์เอง และโดยแบคทีเรียในกระเพาะหมัก ทำให้สัตว์ได้รับไนอะซินในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ โดยไนอะซินส่วนใหญ่ถูกย่อยและดูดซึมในกระเพาะหมักและในขณะที่ยังบางส่วน (30 - 100 กรัม/กิโลกรัม) ไหลผ่านออกไปสู่ลำไส้เล็ก (Santschi et al., 2005) โดยปกติสัตว์จะไม่ขาดไนอะซินถ้าได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนทริปโตเฟนมาก แต่สัตว์มีโอกาสที่จะขาดไนอะซินได้ถ้าได้รับกรดอะมิโนทริปโตเฟนในอาหารน้อยกว่าระดับที่ร่างกายต้องการ เนื่องจากโดยทั่วไปกรดอะมิโนทริปโตเฟนพบได้น้อยในเนื้อสัตว์ ดังนั้นในอาหารสัตว์จึงควรเพิ่มไนอะซินด้วย (De Silva and Anderson, 1995) โดยโคนมที่ได้รับไนอะซินไม่เพียงพอจะแสดงอาการเติบโตช้าและเกิดโรคโลหิตจาง นอกจากนี้การเสริมไนอะซินในระดับสูงส่งผลให้เกิดความเป็นพิษได้โดยจะยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน (Pires and Grummer, 2007; Kinoshita et al., 2016)

8.2.2.4 กรดแพนโทเธนิก (Pantothenic acid, Vitamin B5)

กรดแพนโทเธนิกในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเกลือโซเดียมและเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียม แพนโทธีเนต (calcium pantothenate; ร้อยละ 92 กรดแพนโทเธนิก) แหล่งที่พบกรดแพนโทเธนิกในธรรมชาติ ได้แก่ ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากพืช รวมถึงตับ กรดแพนโทเธนิกทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์เอ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยเป็นโคเอนไซม์ของอะเซทิล เอซิล หรือ โปรปิโอนิก โคเอนไซม์เอ โดยกรดแพนโทเธนิกจะเป็นตัวพาสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสลายกรดไขมัน กระบวนการสลายไขมัน และอะเซทิลเลชั่น และช่วยในการขนส่งพลังงานในปฏิกิริยาต่าง ๆ (De Silva and Anderson, 1995)

ปริมาณความต้องการการเสริมกรดแพนโทเธนิกในอาหารสัตว์ยังไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถสังเคราะห์ได้ 20 - 30 เท่าของปริมาณในอาหาร โดยคิดเป็น 2.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของอินทรีย์วัตถุที่ได้รับในอาหาร (Zinn et al., 1987) ในสัตว์ที่พบการขาดกรดแพนโทเธนิกนั้นมีสาเหตุไม่แน่ชัด โดยสัตว์จะแสดงอาการมีอัตราเมแทบอลิซึมเพิ่มสูงขึ้น ตับทำงานผิดปกติ เกิดแผลบริเวณเนื้อเยื่อเมือก เบื่ออาหาร มีไขมันสะสมบริเวณตับมาก และอัตราการตายสูง (NRC, 2001) โดยรูปแบบที่นิยมเสริมในอาหาร คือ แคลเซียม-ดี-แพนโทธีเนต (calcium-D-pantothenate) ซึ่งมีความคงตัวสูง

8.2.2.5 ไพริดอกซิน (Pyridoxine; Vitamin B6)

ไพริดอกซินเป็นสารอนุพันธ์ของไพรีดิน (pyridine) ทนต่อความร้อนแต่มีความไวต่อแสง ในธรรมชาติพบได้ 3 รูปแบบคือไพริดอกซิน ไพริดอกซอล (pyridoxal) และไพริดอกซามีน (pyridoxamine) ไพริดอกซินทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการทรานซอะมิเนชัน (transamination) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสลายกรดอะมิโนเพื่อให้ได้พลังงาน (De Silva and Anderson, 1995) พบมากในยีสต์และผลิตภัณฑ์จากธัญพืช สัตว์ที่ขาดไพริดอกซินจะพบว่าไม่สามารถสังเคราะห์ไพรีดินได้ ผิวหนังเกิดการอักเสบ เบื่ออาหาร มีอาการโลหิตจาง แสดงอาการทางประสาท กระวนกระวาย และตกใจง่าย (NRC, 2001) รูปแบบที่นิยมใส่เสริมในอาหาร สัตว์อยู่ในรูปไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์ (pyridoxine hydrochloride) เนื่องจากมีความคงตัวสูง

8.2.2.6 ไบโอติน (Biotin; Vitamin B6)

ไบโอตินพบมากในตับและยีสต์ ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ไพรูเวตคาร์บอกซิเลส (pyruvate carboxylase) และพร็อพอนิล-โคเอนไซม์เอ (propionyl-CoA) ในกระบวนการขนส่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์กลูโคสของเซลล์ตับ (Ferreira and Weiss, 2007) ไบโอตินสามารถสร้างได้จากแบคทีเรียในลำไส้เล็กของสัตว์ 9 นาโนกรัม/ลิตรของของเหลวในกระเพาะหมัก แต่ปริมาณที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ สัตว์จำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหาร นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการดูดซึมไบโอตินถูกยับยั้งได้โดยสารประกอบไกลโคโปรตีน ที่ชื่อว่าอะวิดิน (avidin) ซึ่งพบมากในไข่ขาว โดยเมื่ออะวิดินรวมตัวกับไบโอติน จะทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมสารประกอบนี้ไปใช้ประโยชน์และเกิดการขาดไบโอตินขึ้น ซึ่งการทำลายโครงสร้างของอะวิดินด้วยความร้อนส่งผลให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมไบโอตินไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (De Silva and Anderson, 1995) โดยพบว่า การเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/วัน ส่งผลให้โคนมมีสุขภาพดีขึ้น (Fitzgerald et al., 2000) อย่างไรก็ตาม การเสริมไบโอตินที่ระดับ 30 มิลลิกรัม/วัน ยังไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการให้น้ำนมของโคนมได้ แต่การเสริมไบโอตินร่วมกับไนอะซิน (45 กรัม/วัน) มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณไขมันนมของโคนม (Wei et al., 2018)

8.2.2.7 กรดโฟลิก (Folic acid; Vitamin B9)

กรดโฟลิกในธรรมชาติพบได้ในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ รวมถึงในยีสต์ด้วย (NRC, 2001) โมเลกุลของกรดโฟลิกประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เพเทโรดีน (pterodine) กรด p-อะมิโนเบนโซอิก (p-aminobenzoic acid) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดโฟลิกทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ในการขนส่งสารประกอบที่มี 1 คาร์บอน เช่น การขนส่งเมทิลในการสังเคราะห์

โปรตีนและกรดนิวคลีอิกในดีเอ็นเอ (Bailey and Gregory, 1999) ในโคสามารถสังเคราะห์กรดโฟลิกได้จาก กรด p-อะมิโนเบนโซอิก ในอาหาร (De Silva and Anderson, 1995) โดยโคสามารถสังเคราะห์กรดโฟลิกภายในกระเพาะหมักได้ 16.5 - 21.0 มิลลิกรัม/วัน (Santschi et al., 2005; Schwab et al., 2006) ในขณะที่ NRC (2001) รายงานว่าโคนมให้นม 35 กิโลกรัม/วัน มีความต้องการกรดโฟลิก 35 มิลลิกรัม/วัน (เพื่อการดำรงชีพ 33 มิลลิกรัม และสำหรับการผลิตน้ำนม 2 มิลลิกรัม) จึงจำเป็นต้องเสริมกรดโฟลิกในอาหารของโคให้นมระดับสูง นอกจากนี้ในลูกโคที่กระเพาะหมักยังไม่พัฒนามีโอกาสขาดกรดโฟลิกได้ ซึ่งสัตว์ที่ขาดกรดโฟลิกจะมีเกล็ดเลือดและเม็ดเลือดขาวลดลง เกิดโรคโลหิตจาง การเจริญเติบโตลดลง ตับมีขนาดใหญ่ และมีการอัตราการตายสูง ซึ่งการเสริมกรดโฟลิก 40 มิลลิกรัม โดยการฉีดให้แก่ลูกโคสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของลูกโคได้ร้อยละ 8 (Dumoulin et al., 1991) และการเสริมกรดโฟลิก 2.6 กรัม/วัน แก่โคนมให้นมระยะแรกส่งผลเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมและโปรตีนนมได้ (Graulet et al., 2007) นอกจากนี้ การเสริมกรดโฟลิกร่วมกับวิตามินบี 12 ในสูตรอาหารโคนมสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนม (Preynat et al., 2009) และอัตราการตั้งท้อง (Juchem et al., 2012) อย่างไรก็ตาม กรดโฟลิกมากกว่าร้อยละ 95 ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Santschi et al., 2005) การเสริมกรดโฟลิกในรูปแบบป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักที่ระดับ 0 - 3 กรัม/วัน สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม โปรตีนนม และอัตราการผสมติด และยังส่งผลลดการสูญเสียน้ำหนักตัวในภาวะสมดุลพลังงานติดลบในโคนมอีกด้วย (Li et al., 2016)

8.2.2.8 ไชยานิโคบาลามิน (Cyanocobalamin; Vitamin B12)

วิตามินบี 12 โครงสร้างมีสูตรโครงสร้างเป็น $C_{61-64}H_{86-92}N_{14}O_{14}PCo$ ซึ่งมีโคบอลต์อยู่กลางโมเลกุลจึงเป็นที่มาของชื่อโคบาลามิน (cobalamine) มีความสำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมหลายกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนกรดไขมันโปรปิโอนตในการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) ในร่างกาย การขาดวิตามินบี 12 มีผลให้การสังเคราะห์กลูโคสผิดปกติ ส่งผลต่อการพัฒนาการเจริญเติบโตและระบบสืบพันธุ์และยังยับยั้งการสังเคราะห์โคลีนอีกด้วย ในโคนมมีความต้องการวิตามินบี 12 ระหว่าง 0.34 - 0.68 ไมโครกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยวิตามินบี 12 พบได้เฉพาะในเนื้อเยื่อสัตว์และจุลินทรีย์เท่านั้น โคนมจึงโอกาสขาดวิตามินบี 12 มีไม่มากเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่กระเพาะหมักพัฒนาสมบูรณ์แล้วสามารถสังเคราะห์วิตามินนี้ได้ แต่ในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ยังมีการพัฒนาของกระเพาะหมักไม่สมบูรณ์ การสังเคราะห์วิตามินบี 12 ยังไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ ในกรณีนี้จำเป็นต้องมีการเสริมวิตามินบี 12 ให้กับลูกโควัยอ่อน โดยรูปแบบที่นิยมใส่เพิ่มในอาหารคือไชยานิโคบาลามิน เนื่องจากมีความคงตัวสูง หรืออาจเสริมโคบอลต์ลงในอาหารแทนวิตามินบี 12 เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตาม การเสริมวิตามินบี 12 ในอาหารสัตว์ควรคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยอัตราการสังเคราะห์วิตามินบี 12 โดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ถูกยับยั้งจากปริมาณวิตามินบี 12 ในอาหาร การได้รับยาปฏิชีวนะและการขาดโคบอลต์ในอาหาร (NRC, 2001) นอกจากนี้ในการผลิตอาหารที่มีความชื้นและมีความเป็นกรดสูงส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของวิตามินบี 12 ได้อีกด้วย

ตารางที่ 8.2 ปริมาณความต้องการ อัตราการสังเคราะห์ในกระเพาะหมักและการไหลผ่านสู่ลำไส้เล็กของวิตามินบีในโคนม

วิตามิน	ปริมาณความต้องการ			การสังเคราะห์ใน	การไหลผ่านกระเพาะ
	เนื้อเยื่อ (มิลลิกรัม/วัน)	น้ำนม (มิลลิกรัม/วัน)	รวม (มิลลิกรัม/วัน)	กระเพาะหมัก (มิลลิกรัม/วัน)	หมัก (ร้อยละของ อาหาร)
ไบโอติน	5	1	6	14	100
กรดโฟลิก	33	2	35	7	3
ไนอะซิน	256	33	289	1804	6
กรดแพนโทเทนิค	304	121	425	38	22
ไรโบฟลาวิน	95	61	156	261	1
ไรอะมีน	26	15	41	143	52
B6	26	22	48	96	100
B12	0.4	0.2	0.6	70	10

ที่มา: NRC (2001)

8.2.2.9 อินอซิทอล (Inositol)

อินอซิทอลเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชและสัตว์ รูปแบบของอินอซิทอลที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมคือไมโออินอซิทอล (myoinositol) หรือเรียกว่ามีโซอินอซิทอล (mesoinositol) ในสัตว์อินอซิทอลจะพบในรูปฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ส่วนในพืชจะพบอินอซิทอลในรูปฟอสฟอริกเอสเทอร์ (phosphoric ester; phytic acid) ซึ่งสามารถย่อยสลายและใช้ประโยชน์ได้ในกระเพาะหมัก (McDonald et al., 2011) นอกจากนี้ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถสังเคราะห์อินอซิทอลได้จาก ดี-กลูโคส (D-glucose; NRC, 2001) โคนมจึงได้รับอินอซิทอลเพียงพอต่อความต้องการ ในสภาวะการเกิดไขมันพอกตับ (fatty liver) การเสริมอินอซิทอลระดับ 17 กรัม สามารถควบคุมระดับการสะสมไขมันที่ตับได้ และการเสริมที่ระดับ 37 กรัม สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมและไขมันนมได้ (Grummer et al. (1987)

8.2.2.10 โคลีน (Choline)

โคลีนเป็นวิตามินที่ไม่ได้มีหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ แต่ทำหน้าที่สำคัญในการให้หมู่เมทิลในกระบวนการเมแทบอลิซึมหลายกระบวนการ เช่น การเข้าร่วมตัวกับอะซิติลโคเอนไซม์เอ เปลี่ยนไปเป็นอะซิติลโคลีน (acetylcholine) โดยเอ็นไซม์โคลีนอะซิติเลส (choline acetylase) ซึ่งอะซิติลโคลีนมีความสำคัญสำหรับการทำงานของระบบประสาทให้เป็นไปตามปกติ (Niculescu et al., 2006) นอกจากนี้โคลีนยังส่งผลยับยั้งการเกิดโรคไขมันพอกตับและกระตุ้นความสมบูรณ์พันธุ์ในโคนม (Cooke et al., 2007; Walsh et al., 2007) สัตว์ที่ขาดโคลีนจะมีการเจริญเติบโตช้า ตับมีสีเหลืองอ่อนและมีน้ำหนักมากขึ้นเนื่องจากการสะสมของไขมันมากขึ้น มีเลือดออกบริเวณไตและลำไส้เล็ก ช่องท้องขยาย เกิดโลหิตจาง ลำตัวมีสีซีด และมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น ส่วนในลูกโคที่ขาดโคลีนพบว่าแสดงอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง ไขมันพอกที่ตับและไตอักเสบ สัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไปได้รับโคลีนเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย โดยการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ซึ่งสามารถสังเคราะห์โคลีนได้จากเมทาโรนีน การเสริมโคลีนที่ระดับ 15 และ 60 กรัม/วัน ให้กับโคนมไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนม (Lima et al., 2012; Acosta et al., 2016) แต่ในลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องที่การสังเคราะห์โคลีนยังไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่อาจจะต้องมีการเสริมในอาหาร โดย Johnson et al. (1951) รายงานว่าลูกโคมีความต้องการการเสริมโคลีน 260 มิลลิกรัม/ลิตรน้ำนม การเสริมโคลีนลงในอาหารของโคช่วยทำให้อัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากการทำให้ประชากรของแบคทีเรียภายในกระเพาะหมักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดมีความต้องการโคลีนหรือกลุ่มเมทิลมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตาม สูตรอาหารโคนมควรมีการเสริมโคลีนเพื่อเป็นการลดความต้องการเมทาโรนีน ที่เป็นกรดอะมิโน

จำเป็นและจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอาจสังเคราะห์เมทไธโอนีนจากกำมะถันได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม (De Silva and Anderson, 1995) โดยรูปแบบที่นิยมเสริมในอาหาร ได้แก่ โคลีนคลอไรด์ (choline chloride) และโคลีนแซนเทต (choline xanthate) อย่างไรก็ตาม โคลีนในอาหารทั้งจากวัตถุดิบและจากการเสริมถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ผลผลิตเป็นแก๊สมีเทน (Sharma and Erdman, 1989) จึงควรเสริมในรูปแบบที่ป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Ardalan et al., 2010; Lima et al., 2012)

ตารางที่ 8.3 บทบาทของวิตามินที่สำคัญและอาการขาดวิตามินในโค

ชนิดวิตามิน	แหล่งวิตามิน	หน้าที่ของวิตามิน	อาการขาดวิตามิน
วิตามินที่ละลายในไขมัน			
วิตามินเอ	น้ำมันปลา	การทำงานของเนื้อเยื่อผิว การมองเห็นและการสืบพันธุ์	ตาบอด (blindness), ติดเชื้อในเยื่อผิว
วิตามินดี	น้ำมันปลา, หญ้าแห้ง	การดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัส	โรคกระดูกอ่อน (ricket), โรคไข้น้ำนม (milk fever)
วิตามินอี	อาหารหยาบสด, ธัญพืช	สารต้านอนุมูลอิสระ, การสร้างเซลล์-เลือด, การทำงานของระบบสืบพันธุ์	กล้ามเนื้ออ่อนแรง (muscle degeneration) ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ลดลง และมีอาการทางประสาท
วิตามินเค	อาหารหยาบสด	สังเคราะห์ Prothrombin ในการแข็งตัวของเลือด	โลหิตจาง (anemia), เลือดแข็งตัวช้า
วิตามินที่ละลายในน้ำ			
วิตามินบี 1	เมล็ดพืช	กระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน	แคะแกร็น โรคปลายประสาทอักเสบ
วิตามินบี 2	อาหารหยาบ, นม	กระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโน	เดบิโตซ่า เป็นแผลที่มุมปาก ท้องเสีย โลหิตจาง

ตารางที่ 8.3 บทบาทของวิตามินที่สำคัญและอาการขาดวิตามินในโค (ต่อ)

ชนิดวิตามิน	แหล่งวิตามิน	หน้าที่ของวิตามิน	อาการขาดวิตามิน
วิตามินบี 3	ยีสต์ ทรีปโตเฟน	การขนส่งไฮโดรเจน (NAD, NADP) กระบวนการเมแทบอลิซึมของโภชนะ	โตช้า แคระแกร็น เกิดผิวหนัง เป็นขุย (dermatitis) ที่ขาและเกิด อัมพาตได้
วิตามินบี 5	ยีสต์, ธัญพืช	กระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดไขมันและอะซิเตท (coenzyme A)	โตช้า แคระแกร็น ขนหยาบ ท้องเสีย เกิด ผิวหนังเป็นขุย ที่ขาและปาก
วิตามินบี 6	ธัญพืช, ยีสต์	กระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน	โตช้า ขนหยาบ ชักเกร็ง โรค ผิวหนังรอบตา และไขมันพอก ตับ
กรดโฟลิก	อาหารหยาบสด, ธัญพืช, กากพืชน้ำมัน	กระบวนการเมแทบอลิซึมของสารประกอบ 1 อะตอมคาร์บอน	โตช้า โลหิตจาง
ไบโอติน	อาหารหยาบ เมทไธโอนีน	การขนส่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	ก๊ีบเป็นแผล ขนร่วง
โคลีน	อาหารหยาบสด, ธัญพืช	ส่วนประกอบของเลซิธิน (Lecithin)	โตช้า เกิดไขมัน พอกตับ และ ข้อขาบวม (perosis)
วิตามินบี 12	จุลินทรีย์	กระบวนการเมแทบอลิซึมของโพธิโอเนท	โตช้า โลหิตจาง
วิตามินซี	อาหารหยาบ	ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน	เกิดการติดเชื้อ ได้ง่าย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mcdonald et al. (2011), ปิ่น (2561)

8.2.2.11 วิตามินซี (Ascorbic acid)

วิตามินซีมีบทบาทในการเติมหมู่ไฮดรอกซี (hydroxylation) ในการเปลี่ยนกรดอะมิโนโปรลีนเป็นไฮดรอกซีโปรลีน (hydroxyproline) สำหรับการสังเคราะห์กระดูกอ่อน และทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์เอเจนต์ (reducing agent) อย่างแรง มีส่วนในการสังเคราะห์คาร์นิทีน (carnitine) ช่วยลดความเป็นพิษของยาฆ่าแมลงและสารพิษต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเซลล์สัตว์ในภาวะเครียดอีกด้วย (Ayo et al., 2006; Ghanem et al., 2008) โดยสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้

ภายในเซลล์ตับจากกรดแอล-กูลอนิก (L-gulonic acid) เมื่ออายุ 3 สัปดาห์ขึ้นไป ดังนั้น วิตามินซีจึงไม่ใช่วิตามินที่จำเป็นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่อายุมากกว่า 3 สัปดาห์ (NRC, 2001) อย่างไรก็ตาม ในโคนมที่ขาดวิตามินเอและวิตามินอีจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์วิตามินซี โดยโคนมไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้เนื่องจากขาดเอนไซม์แอล-กูลอนแลกโตนออกซิเดส (L-gulonolactone oxidase) นอกจากนี้ โคนมในภาวะเครียดมีปริมาณวิตามินซีในกระแสเลือดลดลง (Padilla et al., 2006) ซึ่งอาจส่งผลให้สัตว์ขาดวิตามินซีได้ ในสัตว์ที่ขาดวิตามินซีจะทำให้การสังเคราะห์คอลลาเจนผิดปกติ ซึ่งคอลลาเจนเป็นส่วนประกอบของกระดูก กระดูกอ่อน เส้นเลือด และผิวหนัง โดยการเสริมวิตามินซีมีรูปแบบ 2 รูป คือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid; reduced form) และกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid; oxidized form) ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้เสริมในอาหารสัตว์ คือกรดแอล-แอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิตามินซีส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก และถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนหรือการเก็บรักษาไม่เหมาะสม โดยทั่วไปจะมีการเสริมวิตามินซีเกินกว่าความต้องการประมาณ 5 - 10 เท่า (De Silva and Anderson, 1995) และควรเสริมในรูปแบบของการป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

8.3 ความต้องการวิตามินของโคนมจากปัจจัยเนื่องจากภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress)

ระดับความต้องการวิตามินของโคนมในการดำรงชีพและการให้ผลผลิตจัดอยู่ในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับความต้องการโภชนาหลัก เช่น โปรตีนหรือพลังงาน แต่ในปัจจุบัน การปรับปรุงสายพันธุ์สัตว์ให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการทางตลาดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สัตว์มีความต้องการวิตามินเพิ่มสูงขึ้นแต่มีโอกาสได้รับวิตามินตามธรรมชาติลดน้อยลง และเกิดปัญหาการขาดแคลนวิตามินได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ การเสริมวิตามินในอาหารสัตว์เขตร้อนจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอากาศร้อนและความชื้นเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของวิตามิน โดยวิตามินในวัตถุดิบอาหารสัตว์ถูกทำลายได้โดยแสงแดด รวมทั้งการปนเปื้อนของเชื้อราในวัตถุดิบอาหารสัตว์มีผลต่อเนื้อให้การใช้ประโยชน์วิตามินลดลงอีกด้วย (สาโรช, 2547) นอกจากนี้ พันธุ์โคนมที่นิยมเลี้ยงในการผลิตโคนมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโคนมลูกผสมโคเขตร้อนและพันธุ์โฮสตันฟริเซียนที่มีระดับสายเลือดโฮสตันฟริเซียนสูงกว่าร้อยละ 75 โดย Baker and Strub (1963) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิต (comfort zone) ของโคนมในกลุ่มนี้ควรอยู่ในช่วง 4 - 27 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามจากภูมิประเทศของประเทศไทยที่อยู่ในพื้นที่เขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ส่งผลให้ประเทศไทยมีอากาศร้อนชื้นเกือบทั้งปี โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.0 - 39.9 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 72 - 74 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตโคนมในประเทศได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศในพื้นที่ ในกรณีโคนมมีความเครียดเนื่องจากความร้อนในระดับสูงส่งผลกระทบต่อผลผลิตโคนมทั้งทางด้านระบบสืบพันธุ์และประสิทธิภาพการให้ผลผลิต (Baumgard et al., 2006; Polsky and von Keyserlingk, 2017) โดย Rhoads et al. (2009) รายงานว่าความเครียดเนื่องจากความร้อนส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของต่อมน้ำนม ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมลดลง โดยปริมาณโปรตีนนมมีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนมากกว่าปริมาณน้ำนม เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจึงได้รับผลกระทบด้านเศรษฐกิจจากภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคนม (Barash et al., 2001; กนกกาญจน์ และคณะ, 2556) เนื่องจากข้อกำหนดการรับซื้อน้ำนมดิบของสหกรณ์โคนมต้องมีปริมาณโปรตีนนมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 และราคาน้ำนมดิบมีความแปรผันตรงตามปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนม

การปรับสมดุลของแร่ธาตุและวิตามินในสูตรอาหารสามารถลดผลกระทบด้านลบจากภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนต่อผลผลิตน้ำนมได้อย่างมาก (Shaji et al., 2015) โดย Sejian et al. (2015) รายงานว่าผลผลิตน้ำนมของโคนมในภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุหลักรวมและวิตามินที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม เนื่องจากแร่ธาตุและวิตามินส่งเสริมกระบวนการทำงานของร่างกายในการต่อต้านความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ จากการศึกษาวิตามิน เช่น การเสริมวิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี วิตามินบีรวม ไนอะซิน เพื่อลดผลกระทบจากภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนในโคนม โดย Sacadura et al. (2008) แนะนำว่าการเสริมวิตามินบีรวมซึ่งประกอบด้วยไบโอติน โฟเลท กรดแพนโทเทนิก และไพริดอกซิน จำนวน 3.2, 4.0, 40.0 และ 25.0 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนม ปริมาณไขมันและโปรตีนนม รวมทั้ง

คะแนนร่างกาย (body condition score, BCS) ของโคให้นมระยะแรกได้ ในขณะที่ปริมาณโปรตีนนมของโคให้นมระยะกลางมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนมและไขมันนม นอกจากนี้จากการเสริมวิตามินบีรวมไหลผ่านกระเพาะหมักแก่โคให้นมระยะแรก พบว่า อัตราการผสมติดจากการผสมเทียมครั้งแรก (ร้อยละ 40.6) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (ร้อยละ 35.8) รวมทั้งส่งผลปรับปรุงระบบสืบพันธุ์ของโคนมและลดอัตราการคัตทิ้งของโคนมให้ผลผลิตสูงลงได้ (Juchem et al., 2012)

ไนอะซินได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการเสริมแก่โคนมในภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน เนื่องจากสามารถเพิ่มการไหลเวียนโลหิตออกสู่ผิวหนังและกระตุ้นการขับเหงื่อเพื่อการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในร่างกายกับสภาพแวดล้อมได้ (Zimbelman et al., 2010) นอกจากนี้ ไนอะซินยังส่งผลกระตุ้นการกินน้ำของโคนม ส่งผลให้สามารถลดความร้อนภายในร่างกายโคนมลงได้ (Rungruang et al., 2014) ซึ่งจากการรายงานการเสริมไนอะซินในอาหารโคนมพบว่าสามารถปรับปรุงสมรรถภาพของโคนมได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ส่งผลใดเลย (Schwab et al., 2005) ซึ่งเป็นผลเนื่องจากไนอะซินส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและดูดซึมในลำไส้เล็กมีเพียงร้อยละ 2 - 5 เท่านั้น (Santschi et al., 2005) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Zimbelman et al. (2013) ที่ทดสอบการเสริมไนอะซินไหลผ่าน (ruminally protected niacin, RPNi) จำนวน 12 กรัม สามารถเพิ่มศักยภาพการทนทานต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนในโคให้นมได้เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิร่างกายของโคนมลงและสามารถปรับปรุงปริมาณผลผลิตน้ำนมของโคนมในช่วงเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนระดับสูงได้ สอดคล้องกับการรายงานของ Wrinkle et al. (2012) และ Pineda et al. (2016) ที่ทดลองเสริมไนอะซินไหลผ่าน จำนวน 19 และ 15 กรัม/ตัว/วัน และพบว่าสามารถลดผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากความร้อนลงได้ โดยส่งผลเพิ่มปริมาณไขมันในน้ำนมของโคให้นมระยะกลาง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้และผลผลิตน้ำนม อย่างไรก็ตาม การเสริมไนอะซินในโคให้นมระยะแรกส่งผลลดร้อยละของไขมันนมลง โดยไนอะซินกระตุ้นกลไกการใช้ประโยชน์ไขมันในร่างกายโค ส่งผลลดปริมาณไขมันในกระแสเลือดและไขมันในน้ำนมโคนมระยะแรกลง เนื่องจากปริมาณไขมันตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันนมไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมระยะนี้ที่มีการผลิตน้ำนมปริมาณสูง

นอกจากนี้ จากภาวะความเครียดส่งผลให้เกิดสารอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายสัตว์ การเสริมวิตามินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินเอ ซีและอี เป็นแนวทางลดภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ โดยการเสริมวิตามินเอ (0.23 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) แก่โคสาวในภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน สามารถเพิ่มปริมาณฮอร์โมนเพศ (โปรเจสเตอโรนและเอสตราไดออล) และเพิ่มอัตราการพัฒนาของโอโอไซต์ (oocytes) สู่ระยะเมทาเฟส 2 (metaphase II) ได้ (Maya-Soriano et al., 2012) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิตามินเอส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก จึงส่งผลให้การเสริมวิตามินเอกระตุ้นให้ผลผลิตของโคนม ในภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ไม่ชัดเจน (Arechiga et al., 1998) ในขณะเดียวกัน วิตามินซีจัดเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถกำจัดออกซิเจนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคนมได้ โดยพบว่าการเสริมวิตามินซีแก่โคนมสามารถลดความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ โดยโคนมแสดงอาการเครียดลดลงและมีสุขภาพดีขึ้นอีกด้วย (Havlin and Robinson, 2015) นอกจากนี้ การเสริมวิตามินซีร่วมกับไนอะซินสามารถลดภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนได้ รวมทั้งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมและปริมาณโปรตีนและไขมันในน้ำนมของโคนมได้ (Guo et al., 2017) ในส่วนวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักต่ำ โดยการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 1 - 2 เท่าของการแนะนำโดย NRC (2001) แก่โคนมในภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนสามารถคงปริมาณผลผลิตน้ำนมและไขมันนมไว้ได้ (Staples et al., 2016) นอกจากนี้การเสริมวิตามินอีรวมกับวิตามินเอ วิตามินซี วิตามินดี และซีลีเนียมยังสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิร่างกายสัตว์ในภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อน (Nayyar and Jindal, 2010; Sivakumar et al., 2010) และปรับปรุงอัตราการผสมติด ระยะท้องว่าง ช่วงห่างการให้ลูก (Arechiga et al., 1998; Khorsandi et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 3 - 4 เท่าของค่าแนะนำส่งผลเสียต่อโคนม เนื่องจากวิตามินอีส่วนเกินเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นสารโทโคฟีรอลอิสระที่มีฤทธิ์ในการทำลายผนังเซลล์สัตว์แทน (Staples et al., 2016)

8.4 สรุป

วิตามินสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (วิตามินบีรวมและซี) และไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และเค) มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของโภชนะต่างๆ ภายในเซลล์ร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มวัยสามารถสังเคราะห์วิตามินที่ละลายได้ในน้ำและวิตามินเคได้เพียงพอต่อความต้องการ จึงควรเสริมวิตามินเอ ดี และอีในอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในการให้ผลผลิตของโคนม แต่ในลูกโคระยะก่อนหย่านมที่กระเพาะหมักยังพัฒนาไม่เต็มที่ จำเป็นต้องได้รับการเสริมวิตามินในอาหารเช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

8.5 เอกสารอ้างอิง

- กนกกาญจน์ ธิเบตรัมย์, มนต์ชัย ดวงจินดา, สายัณห์ บัวบาน, จุริรัตน์ แสนโกชน์, และวุฒิกร บุญคุ้ม. 2556. อิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนต่อพันธุกรรมของลักษณะโปรตีนนมและไขมันนมในโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์. เกษตร, 43 (1):151-160.
- ปิ่น จันจุฬา. 2561. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องและเมแทบอลิซึม. หาดใหญ่: เอสพรีน (2004) จำกัด.
- สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- Acosta, D.A.V., A.C. Denicol, P. Tribulo, M.I. Rivelli, C. Skenandore, Z. Zhou, et al. 2016. Effects of rumenprotected methionine and choline supplementation on the preimplantation embryo in Holstein cows. Therio. 85(9): 1669-1679.
- Ardalan, M., K. Rezayazdi and M. Dehghan-Banadaky. 2010. Effect of rumen protected choline and methionine on physiological and metabolic disorders and reproductive indices of dairy cows. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 94(6):E259-65.
- Arechiga, C.F., C.R. Staples, L.R. McDowell and P.J. Hansen. 1998. Effects of timed insemination and supplemental β -carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. J. Dairy Sci. 81(2):390-402.
- Ayo, J.O., N.S. Minka, and M. Mamman. 2006. Excitability scores of goats administered ascorbic acid and transported during hot-dry conditions. J. Vet. Sci. 7(2):127-131.
- Bailey, L.B. and J.F. Gregory. 1999. Folate metabolism and requirements. J. Nutr. 129(4):779-782.
- Baker, D.G. and Strub, J.H.Jr. 1963. Climate of Minnesota. Part II. The Agricultural and Minimum-Temperature-Free Seasons. University of Minnesota: Minnesota Agricultural Experiment Station.
- Barash, H., N. Silanikove, A. Shamay and E. Ezra. 2001. Interrelationships among ambient temperature, day length, and milk yield in dairy cows under a Mediterranean climate. J. Dairy Sci. 84(10):2314-2320.
- Baumgard, L.H., R.P. Rhoads and C.E. Moore. 2006. The Effects of Heat Stress on Production and its Nutritional Implications. TechTalk: Elanco Animal Health, Greenfield, Indiana.
- Belenky, P., K.L. Bogan and C. Brenner. 2007. NAD⁺ metabolism in health and disease. Trends. Biochem. Sci. 32(1):12-19.
- Breves, G., M. Brandt, H. Hoeller and K. Rohr. 1981. Flow of thiamin to the duodenum in dairy cows fed different rations. J. Agric. Sci. 96(3):587-591.
- Chiamenti, A., C.R. Aguiar Filho, L.M. Freitas Neto, R.M. Chaves, F.F. Paula-Lopes, et al. 2010. Effects of retinoids on the in vitro development of *Capra hircus* embryos to blastocysts in two different culture systems. Reprod. Domest. Anim. 45(5):E68-72.

- Church, D.C. 1993. The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition. Prospect Heights, IL: Wavaland Press.
- Coelho, M.B. 1991. Vitamin stability in premixes and feeds: a practical approach. (pp. 56-71). BASF Tech. Symp. Bloomington, MN.
- Cooke, R.F., N. Silva Del Rio, D.Z. Caraviello, S.J. Bertics, M. H. Ramos and R. R. Grummer. 2007. Supplemental choline for prevention and alleviation of fatty liver in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90(5):2413-2418.
- De Silva, S.S. and T. Anderson. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Australia: Springer Science & Business Media.
- Drackley, J.K. 1992. Niacin and Carnitine in the Nutrition of Dairy Cows. In Proc Pacific Northwest Nutr. Conf. Tech. Symp., (pp. 8). October 20, Spokane, WA: Lonza Inc.
- Dumoulin, P.G., C.L. Girard, J.J. Matte and G.J. St-Laurent. 1991. Effects of a parenteral supplement of folic acid and its interaction with level of feed intake of young dairy heifers. *J. Anim. Sci.* 69(4):1657-1666.
- Erdman, R.A. 1992. Vitamins. Large Dairy Herd Management. H.H. Van Horn and C.J. Wilcox, eds. American Dairy Science Association, Champaign, IL. (pp. 297- 308).
- Ferreira, G. and W.P. Weiss. 2007. Effect of biotin on activity and gene expression of biotin-dependent carboxylases in the liver of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90(3):1460-1466.
- Fitzgerald, T., B.W. Norton, R. Elliot, H. Podlich and O.L. Svendsen. 2000. The influence of long-term supplementation with biotin on the prevention of lameness in pasture fed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83(2): 338-344.
- Ghanem, A.M., L.S. Jaber, M. Abi Said, E.K. Barbour and S.K. Hamadeh. 2008. Physiological and chemical responses in water deprived Awassi ewes treated with vitamin C. *J. Arid Environ.* 72(3):141-149.
- Godden, S. 2008. Colostrum management for dairy calves. *Vet. Clin. North. Am. Food. Anim. Pract.* 24(1):19-39.
- Gomez, E., A. Rodriguez, F. Goyache, C. Diez, L. Jose Royo, P.N. Moreira, et al. 2004. Retinoid-dependent mRNA expression and poly-(A) contents in bovine oocytes meiotically arrested and/or matured in vitro. *Mol. Reprod. Dev.* 69(1):101-108.
- Gould, D.H., M.M. McAllister, J.C. Savage and D.W. Hamar. 1991. High sulfide concentrations in rumen fluid associated with nutritionally induced polioencephalomalacia in calves. *Am. J. Vet. Res.* 52(7):1164-1167.
- Graulet, B., J.J. Matte, A. Desrochers, L. Doepel, M-F. Palin and C.L. Girard. 2007. Effects of supplemental folic acid and vitamin B12 on metabolism of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 90(7):3443-3455.
- Grummer, R.R., L.E. Armentano and M.S. Marcus. 1987. Lactation response to short-term abomasal infusion of choline, inositol, and soy lecithin. *J. Dairy Sci.* 70(12):2518-2524.
- Guo, W.J., L. Zhen, J.X. Zhang, S. Lian, H.F. Si, J.R. Guo and H.M. Yang. 2017. Effect of feeding rumen-protected capsule containing niacin, K_2SO_4 , vitamin C and gamma-aminobutyric acid on heat stress and performance of dairy cows. *J. Therm. Biol.* 69:249-253.
- Havlin J.M. and P.H. Robinson. 2015. Intake, milk production and heat stress of dairy cows fed a citrus extract during summer heat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 208:23-32.

- Hibbs, J.W. and H.R. Conrad. 1983. The relation of calcium and phosphorus intake on digestion and the effects of vitamin D feeding on the utilization of calcium and phosphorus by lactating dairy cows. Research bulletin. Ohio State University.
- Horst, R.L., J.P. Goff and T.A. Reinhardt. 1994. Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 77(7):1936-1951.
- Ikeda, S., M. Kitagawa, H. Imai and M. Yamada. 2005. The roles of vitamin A for cytoplasmic maturation of bovine oocytes. *J. Reprod. Dev.* 51(1):23-35.
- Jitrapakdee, S. 2012. Transcription factors and coactivators controlling nutrient and hormonal regulation of hepatic gluconeogenesis. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 44(1):33-45.
- Johnson, B.C., H.H. Mitchell and A. Pinkos. 1951. Choline deficiency in the calf. *J. Nutr.* 43(1):37-48.
- Juchem, S.O., P.H. Robinson, and E. Evans. 2012. A fat based rumen protection technology post-rationally delivers a B vitamin complex to impact performance of multiparous Holstein cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174(1-2):68-78.
- Khorsandi, S., A. Riasi, M. Khorvash, S.A. Mahyari, F. Mohammadpanah and F. Ahmadi. 2016. Lactation and reproductive performance of high producing dairy cows given sustained-release multi-trace element/vitamin ruminal bolus under heat stress condition. *Livest. Sci.* 187:146-150.
- Kinoshita, A., Á. Kenéz, L. Locher, U. Meyer, S. Dänicke, J. Rehage, et al. 2016. Insulin signaling in liver and adipose tissues in periparturient dairy cows supplemented with dietary nicotinic acid. *PLoS One*, 11(1): E0147028.
- Li, H.Q., Q. Liu, C. Wang, Z.M. Yang, G. Guo, W.J. Huo, et al. 2016. Effects of dietary supplements of rumen-protected folic acid on lactation performance, energy balance, blood parameters and reproductive performance in dairy cows. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 213:55-63.
- Lima, F.S., M.F. Sá Filho, L.F. Greco and J.E.P. Santos. 2012. Effects of feeding rumen-protected choline on incidence of diseases and reproduction of dairy cows. *Vet. J.* 193(1):140-145.
- Maya-Soriano, M.J., E. Taberner and M. López-Béjar. 2013. Retinol improves *in vitro* oocyte nuclear maturation under heat stress in heifers. *Zygote*. 21(4):377-384.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, and C.A. Morgan. 2011. *Animal Nutrition*. London: Pearson Prentice Hall.
- McDowell, L.R. 2000. *Vitamins in Animal and Human Nutrition*. Iowa State Univ: Wiley-Blackwell.
- Moeini, M.M., H. Karami and E. Mikaeili. 2009. Effect of selenium and vitamin E supplementation during the late pregnancy on reproductive indices and milk production in heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 114(1-3):109-114.
- Moosavian, H.R., M. Mohri and H.A. Seifi. 2010. Effects of parenteral over-supplementation of vitamin A and iron on hematology, iron biochemistry, weight gain, and health of neonatal dairy calves. *Food Chem. Toxicol.* 48(5):1316-1320.
- Nayyar, S. and R. Jindal. 2010. Essentiality of antioxidant vitamins for ruminants in relation to stress and reproduction. *Iranian J. Vet. Res.* 11(1):30.
- Niculescu, M.D., C.N. Craciunescu and S.H. Zeisel. 2006. Dietary choline deficiency alters global and gene-specific DNA methylation in the developing hippocampus of mouse fetal brains. *FASEB J.* 20(1):43-49.

- Nonnecke, B.J., M.R. Foote, B.L. Miller, D.C. Beitz and R.L. Horst. 2009. Short communication: Fat-soluble vitamin and mineral status of milk replacer-fed dairy calves: Effect of growth rate during the preruminant period. *J. Dairy Sci.* 93(6):2684–2690.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oldham, E.R., R.J. Eberhart and L.D. Muller. 1991. Effects of supplemental vitamin A and B-carotene during the dry period and early lactation on udder health. *J. Dairy Sci.* 74(11):3775–3781.
- Padilla, L., T. Matsui, Y. Kamiya, M. Kamiya, M. Tanaka and H. Yano. 2006. Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows. *Livest. Sci.* 101(1):300–304.
- Park, Y.W., M.J. Anderson, J.L. Walters and A.W. Mahoney. 1983. Effects of processing methods and agronomic variables on carotene contents in forages and predicting carotene in alfalfa hay with nearinfrared-reflectance spectroscopy. *J. Dairy Sci.* 66(2):235–245.
- Pineda, A., J.K. Drackley, J. Garrett and F.C. Cardoso. 2016. Effects of rumen-protected niacin on milk production and body temperature of middle and late lactation Holstein cows. *Livst. Sci.* 187:16–23.
- Pires, J.A.A. and R.R. Grummer. 2007. The use of nicotinic acid to induce sustained low plasma nonesterified fatty acids in feed-restricted Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 90(8):3725–3732.
- Podhorský, A., A. Pechová, R. Dvůrák and L. Pavlata. 2007. Metabolic Disorders in Dairy Calves in Postpartum Period. *Acta. Vet. BRNO.* 76:S45–S53.
- Polsky, L. and M.A.G. von Keyserlingk. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100(11):8645–8657.
- Preynat, A., H. Lapierre, M.C. Thivierge, M.F. Palin, J.J. Matte, A. Desrochers, et al. 2009. Influence of methionine supply on the response of lactational performance of dairy cows to supplementary folic acid and vitamin B12. *J. Dairy Sci.* 92(4):1685–1695.
- Puvogel, G., C. Baumrucker and J.W. Blum. 2008. Plasma vitamin A status in calves fed colostrum from cows that were fed vitamin A during late pregnancy. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 92(5):614–620.
- Reddy, P.G., J.L. Morrill, and R.A. Frey. 1987. Vitamin E Requirements of Dairy Calves. *J. Dairy Sci.* 70(1):123–129.
- Rhoads, M.L., R.P. Rhoads, M.J. Van Baale, R.J. Collier, S.R. Sanders and W.J. Weber et al. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein Cows: production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J. Dairy Sci.*, 92(5):1986–1997.
- Rungruang, S., J.L. Collier, R.P. Rhoads, L.H. Baumgard, M.J. de Veth and R.J. Collier. 2014. A dose-response evaluation of rumen-protected niacin in thermoneutral or heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97(8):5023–5034.
- Sacadura, F., P.H. Robinson, E.H. Evans and M. Lordelo. 2008. Effects of a ruminally protected B-vitamin supplement on milk yield and composition of lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 144(1-2):111–124.
- Santschi, D.E., R. Berthiaume, J.J. Matte, A.F. Mustafa and C.L. Girard. 2005. Fate of supplemental B-Vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88(6):2043–2054.
- Schwab, E.C., C.G. Schwab, R.D. Shaver, C.L. Girard, D.E. Putnam and N.L. Whitehouse. 2006. Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89(1):174–187.

- Schwab, E.C., D.Z. Caraviello and R.C. Shaver. 2005. Review: a meta-analysis of lactation responses to supplemental dietary niacin to dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 21(4):239–247.
- Sejian, V., L. Samal, N. Haque, M. Bagath, I. Hyder V.P. Maurya, et al. 2015. Overview on Adaptation, Mitigation and Amelioration Strategies to Improve Livestock Production under the Changing Climatic Scenario. In: *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*, (pp:359-398). Sejian, V., J. Gaughan, L. Baumgard and C.S. Prasad (Eds.). New Delhi, India: Springer Publisher.
- Shaji, S., P.A. Abdul Niyas, K. Chaidanya, V. Sejian and R. Bhatta, et al. 2015. Ameliorative strategies to sustain livestock production during heat stress. *J. Vet. Sci. Med. Diagn.* 4:3.
- Sharma, B.K. and R.A. Erdman. 1989. Effects of dietary and abomasally infused choline on milk production responses of lactating dairy cows. *J. Nutr.* 119(2):248–254.
- Sivakumar, A.V.N., G. Singh and V.P. Varshney. 2010. Antioxidants supplementation on acid base balance during heat stress in goats. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* 23(11):1462-1468.
- Spears, J.W. and W.P. Weiss. 2007. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Vet. J.* 176(1):70–76.
- Staples, C.R., G.C. Gomes, J.E. Zuniga, L.F. Greco, L.D.P. Sinedino, E. Karadaya, et al. 2016. Effect of increased supplementation of vitamin E during heat stress. 27th Florida Ruminant Nutrition Symposium, February 15 - 17, 2016, Florida.
- Vinet, C., H.R. Conrad, T.A. Reinhardt and R.L. Horst. 1985. Minimal requirements for vitamin D in lactating cows. *Fed. Proc.* 28:549.
- Walsh, R.B., D.F. Kelton, T. Duffield, K.E. Leslie, J.S. Walton and S.J. LeBlanc. 2007. Prevalence and risk factors for postpartum an ovulatory condition on dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90(1):315–324.
- Ward, G., R.C. Dobson and J.R. Dunham. 1972. Influences of calcium and phosphorus intakes, vitamin D supplement, and lactation on calcium and phosphorus balances. *J. Dairy Sci.* 55(6):768–776.
- Wei, X.S., C.J. Cai, J.J. He, C. Yu, F. Mitloehner, B.L. Liu, et al. 2018. Effects of biotin and nicotinamide supplementation on glucose and lipid metabolism and milk production of transition dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 237:106-117.
- Weiss, W.P. 2018. Trace minerals and vitamins for dairy cows. 29th Florida Ruminant Nutrition Symposium, February 5 - 7, 2018, Florida.
- Wrinkle, S.R., P.H. Robinson and J.E. Garrett. 2012. Niacin delivery to the intestinal absorptive site impacts heat stress and productivity responses of high producing dairy cows during hot conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175(1-2):33–47.
- Zimbelman, R.B., L.H. Baumgard and R.J. Collier. 2010. Effect of encapsulated niacin on evaporative heat loss and body temperature in moderately heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93(6):2387–2394.
- Zinn, R.A., F.N. Owens, R.L. Stuart, J.R. Dunbar and B.B. Norman. 1987. B-Vitamin supplementation of diets for feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 65(1):267–277.

บทที่ 9 น้ำ (Water)

9.1. บทนำ

น้ำเป็นโภชนะที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าโภชนะชนิดอื่น ๆ เนื่องจากน้ำเป็นโภชนะที่พบในร่างกายสูงกว่าโภชนะชนิดอื่น ๆ สัตว์จะได้รับน้ำในปริมาณที่เท่าไรยังไม่มียารายงานที่ชัดเจน สิ่งที่เป็นตัวกำหนดคือความต้องการน้ำของสัตว์ในแต่ละประเภทตลอดจนสิ่งแวดล้อมที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำในปริมาณมากหรือน้อย โดยทั่วไปน้ำที่เป็นองค์ประกอบในตัวโคนมจะมีปริมาณร้อยละ 56 - 81 ของน้ำหนักตัว (Murphy, 1992) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโคนมและสภาวะทางสรีรวิทยา (physiological stage) ของสัตว์ โดยพบว่าโคที่อยู่ในช่วงแรกของการให้น้ำนมมีร้อยละของน้ำในร่างกายมากกว่าโคที่อยู่ในช่วงสุดท้ายของการให้น้ำนม ส่วนโคนมแห้งจะมีปริมาณน้ำในร่างกายอยู่ในระดับกึ่งกลางระหว่างโคนมใน 2 ช่วงระยะการให้น้ำนม (Andrew et. al., 1995) ในประเทศไทยไม่มีการศึกษาว่าระดับของน้ำในร่างกายโคนมมีเท่าไร แต่เมื่อพิจารณาจากพันธุ์ อาหาร และสิ่งแวดล้อม ปริมาณน้ำในร่างกายของโคนาจะใกล้เคียงกับที่รายงานไว้ข้างต้น

น้ำมีหน้าที่สำคัญหลายประการในร่างกาย เช่น ช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ โดยระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ออกจากร่างกายด้วยการขับเหงื่อ และการระเหยน้ำจากปอด ช่วยให้อาหารอ่อนนุ่ม กลืนได้สะดวก และช่วยให้อาหารย่อยง่ายขึ้น เป็นตัวทำละลาย (solvent) และตัวพาโภชนะไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย เป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น กระบวนการไฮโดรไลส์เซชัน (hydrolyzation) ต้องใช้น้ำ และในกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ก็มีน้ำเกิดขึ้น ช่วยในการขับของเสียออกจากร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางปัสสาวะ และเหงื่อ เป็นส่วนประกอบของเซลล์ น้ำเหลือง น้ำย่อย เลือด และของเหลวอื่น ๆ ทุกชนิดในร่างกาย

โคนมจะได้รับน้ำจาก 3 แหล่งคือได้รับจากการดื่มน้ำโดยตรง ได้รับน้ำที่อยู่ในอาหารที่สัตว์กินและได้รับน้ำจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย ดังนั้น ความต้องการน้ำของโคจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่สัตว์ได้รับว่าเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ เช่น ในสภาวะอากาศร้อนมาก อุณหภูมิสูง โคจะมีความต้องการน้ำมาก เพื่อใช้ในการปรับสภาพร่างกายให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม หรือโคที่อยู่ในช่วงของการให้น้ำนม โคจะมีความต้องการน้ำมาก เพื่อนำไปใช้สำหรับสร้างเป็นน้ำนม เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการน้ำ เช่น ประเภทของสัตว์ อายุ และกิจกรรม สภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ปริมาณน้ำในอาหารและปริมาณอาหารที่กิน ส่วนประกอบของอาหาร อุณหภูมิของน้ำ ความถี่ในการให้น้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และความเป็นพิษของน้ำ

คำแนะนำเกี่ยวกับความเหมาะสมของเกลือต่อเกลือที่ละลายได้ทั้งหมด และความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำ แสดงในตารางที่ 9.1

9.2 การกินน้ำ

ปริมาณน้ำที่โคนมต้องการ (drinking water intake, DWI) สามารถคำนวณได้จากสมการ (INRA, 2018) ดังนี้

$$\text{Total DWI (TDWI)} = \text{DWI} + \text{THDWI}$$

เมื่อ DWI (l/d) = ปริมาณน้ำที่ดื่ม ที่สามารถคำนวณจากปริมาณน้ำนมและลักษณะของอาหาร ส่วน THDWI คือปริมาณน้ำที่ต้องการในการควบคุมอุณหภูมิ (thermoregulation)

จากข้อมูลของ Khelil-Arfa et al. (2012) รายงานค่าปริมาณน้ำในน้ำนมมีค่าเท่ากับ 0.88 กิโลกรัม/กิโลกรัม ดังนั้นสมการในการคำนวณปริมาณน้ำดื่มที่ได้รับ ดังนี้

$$\text{DWI (l/d)} = -4.34 + 0.88 \times \text{MY} + \text{DMI} \times (4.6 - 100/\text{DM}) + 0.0012 \times (\text{CPf} \times \text{F\%})^2$$

$$(n = 232, R^2 = 0.89, \text{RMSE} = 11.4)$$

ซึ่ง DWI = ปริมาณน้ำดื่มที่ได้รับ (ลิตร/วัน)

MY = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)

DMI = ปริมาณวัตถุดิบที่ได้รับ (กิโลกรัม/วัน)

DM = ปริมาณวัตถุดิบในอาหาร (กรัม/100 กรัม)

CPF = ปริมาณโปรตีนหยาบในอาหารหยาบ (กรัม/กิโลกรัมวัตถุดิบ)

F% = ร้อยละของอาหารหยาบในอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัมวัตถุดิบ)

คำนวณค่าเมื่ออุณหภูมิที่เหมาะสมต่ำกว่าหรือเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณน้ำที่โคนมต้องการ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิน 15 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำดื่มที่ต้องการเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่ต้องการในการควบคุมอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตามสมการของ Boudon et. al. (2012) ดังสมการข้างล่าง

$$THDWI (l/d) = [(85.2 \times \exp^{((T-24.90)/8.0)} + 2.25 \times \exp^{((T-12)/6.8)} - 28.2) \times 0.14 \times BW^{0.57 \times 86.4}] / 2500$$

(n = 89, R² = 0.74, RMSE = 15.4)

ซึ่ง T = ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรอบ (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม)

BW = น้ำหนักตัว (ซึ่งน้ำหนักมาตรฐานของโค จะคำนวณที่น้ำหนักตัว 600 กิโลกรัม)

ตารางที่ 9.1 คำแนะนำเกี่ยวกับความเหมาะสมของเกลือต่อเกลือที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble salt, mg/l = ppm) และความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำ

กลุ่ม	ชนิดของสัตว์	TSS	Mg
1	เหมาะสำหรับ แกะ และโค ทุกช่วงอายุ	<5,000	<600
2	ไม่เหมาะกับลูกแกะ ลูกโคและลูกสัตว์หย่านม, รมั้ดระวังเมื่อให้สัตว์ที่กำลังให้นม เหมาะสำหรับแกะและโคที่โตเต็มวัยที่ไม่ให้นม	5,000-10,000	<600
3	เหมาะสำหรับแกะที่โตเต็มวัยที่ไม่ให้นม รมั้ดระวังในการให้โค	10,000-15,000	<600
4	ไม่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงสัตว์	>15,000	ทุกระดับ
5	รมั้ดระวังเมื่อให้สัตว์ที่กำลังให้นม	ทุกระดับ	>600

ที่มา: CSIRO (2007)

9.3 สรุป

น้ำเป็นโภชนะที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าโภชนะชนิดอื่น ปริมาณน้ำที่โคนมต้องการมีปัจจัยหลัก เช่น การให้ผลผลิต วัตถุดิบและโปรตีนของอาหาร ตลอดทั้งสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นส่งผลต่อความเครียดจากความร้อนของโคนม

9.4 เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมพล เอื้องกลาง. 2552. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 181 หน้า
- บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 170 หน้า
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirement of Domesticated Ruminant. CSIRO PUBLISHING 150 Oxford Street (PO Box 1139), Collingwood VIC 3066 Australia. 270 pp.
- Forbes, J.M. 1986. The Voluntary Food Intake of Farm Animals. Butterworths. & Co. (Publishers) Ltd., 206 pp.
- INRA. 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 640 pp.
- Kearl, L.C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute, Utah Agricultural Experiment Station. Utah State University, Logan, Utah 84322 USA., 150 pp.
- McDonal, P., R.A. Edwards and J.F.D. Greenhalgh. 1981. Animal Nutrition (3rd edition). Longman Group Limited, Longman House, Burn Mill, Harlow, Essex. 479 pp.

บทที่ 10 ภาวะทุพโภชนาการ (Nutritional metabolic disorders)

10.1 บทนำ

การเลี้ยงโคนมให้ประสบผลสำเร็จต้องอาศัยความเอาใจใส่ ความรู้ ความชำนาญด้านการจัดการและการให้อาหารตามความต้องการโภชนา โคนมที่ได้รับโภชนาไม่เพียงพอ หรือไม่สมดุลก่อให้เกิดปัญหาภาวะทุพโภชนาการหรือเมแทบอลิซึม ส่งผลต่อสุขภาพ ผลผลิตตกต่ำ ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ต่ำ มีปัญหาเกี่ยวกับเต้านม ฯลฯ ซึ่งมีผลกระทบทำให้เกษตรกรสูญเสียรายได้ และเพิ่มต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ภาวะทุพโภชนาการในโคนมอาจเกิดขึ้นได้ทุกช่วงการเลี้ยงดู แต่ส่วนใหญ่มักจะพบในช่วงระยะเปลี่ยนผ่าน (transition period) เนื่องจากเป็นช่วงที่แม่โคต้องปรับตัวจากแม่โคอุ้มท้องไปสู่แม่โคให้นม

10.2 โคนมระยะเปลี่ยนผ่าน (transition cows)

เป็นช่วงที่แม่โคต้องปรับตัวจากการตั้งท้องไปสู่ระยะให้นม เป็นช่วงเวลาที่แม่โคมีการเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานอย่างมาก ระยะเวลาดังกล่าวครอบคลุมช่วง 3 สัปดาห์แรกก่อนคลอด ไปจนถึง 3 สัปดาห์แรกของการให้นม เราให้คำจำกัดความโคนมในช่วงนี้ว่า “โคนมระยะเปลี่ยนผ่าน” ในช่วงนี้การจัดการอาหารที่ไม่สัมพันธ์กับความต้องการของแม่โค จะทำให้เกิดความไม่สมดุลด้านพลังงาน และสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็น ส่งผลต่อระบบต่างๆ ของร่างกายที่สำคัญทั้งระบบทางเดินอาหาร ระบบเมแทบอลิซึม ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบสืบพันธุ์ จึงมักพบว่ามีปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นเสมอในโคนมระยะเปลี่ยนผ่านนี้ ซึ่งการจัดการโภชนาการที่ถูกต้องในโคนมระยะ 3 สัปดาห์ก่อนและหลังคลอดนี้ถือเป็นกลยุทธ์สำคัญที่จะช่วยให้แม่โคผ่านช่วงนี้ไปได้อย่างปลอดภัย เป็นการเริ่มต้นที่ดีในการเป็นแม่โค รีดนม สามารถลดปัญหาทางสุขภาพในช่วงการให้นม และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ ดังนั้นความเข้าใจถึง ลักษณะทางชีววิทยา สรีรวิทยา ภูมิคุ้มกันวิทยา และการปรับตัวของแม่โคระยะนี้ถือเป็นพื้นฐานสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการด้านโภชนาในโคนม โคนมระยะเปลี่ยนผ่านจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ดังนี้

10.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวัตถุดิบที่กินได้

อัตราการลดลงของปริมาณวัตถุดิบที่กินได้จะเริ่มลดลงจากร้อยละ 2 ของน้ำหนักตัว ในช่วง 2-3 สัปดาห์แรกของระยะให้นมจนเหลือร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักตัวในช่วง 7 - 10 วันก่อนคลอด ซึ่งปริมาณวัตถุดิบที่กินได้สามารถลดลงอย่างรวดเร็วถึงร้อยละ 30 ในช่วงระยะเปลี่ยนผ่านนี้ สำหรับปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ที่ลดลงในช่วงก่อนคลอดนั้นอธิบายได้จากสภาพทั่วไปทางกายภาพของตัวอ่อน (fetus) มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนกินเนื้อที่ภายในช่องลำตัว (abdominal space) และยังเป็ดกระเพาะหมักทำให้ปริมาตรภายในกระเพาะหมักเปลี่ยนไป ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาและฮอร์โมน (Block and Sanchez, 2000) และตามปกติหลังคลอดแม่โคมักยังกินอาหารได้น้อย แต่จากนั้นปริมาณวัตถุดิบที่กินได้จะขยับขึ้นในอัตรา 1.5 ถึง 2.5 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ภายใน 3 สัปดาห์หลังคลอด มีรายงานว่าอัตราการกินได้ที่เพิ่มขึ้นนี้ในแม่โคต้องสองขึ้นไปจะเร็วกว่าโคต้องแรก (Block and Sanchez, 2000) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของโคแต่ละตัวยังเป็นตัวแปรสำคัญต่อการลดลงและเพิ่มขึ้นของปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ในช่วงก่อนและหลังคลอด

การจัดการที่ทำให้แม่โคคลอดลูกในช่วงที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค (body condition score, BCS) มากเกินไป จะทำให้แม่โคสูญเสียน้ำหนักตัวหลังคลอดมากกว่าแม่โคที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเมื่อคลอด และ ปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ ที่ลดลงหลังคลอดจะต้องใช้เวลาหลังคลอดที่นานกว่าจะกลับสู่สภาวะที่เหมาะสมอีกครั้ง หากปริมาณวัตถุดิบที่กินได้เพิ่มขึ้นยิ่งช้าก็จะยิ่งทำให้เกิดภาวะการขาดสมดุลพลังงาน (negative energy balance, NEB) รุนแรงขึ้น ทำให้เกิดความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมตามมาได้อีกมากมาย

10.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของโคในช่วงนี้มักเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึม ความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของลูกโคและการพัฒนาของต่อมไทรอยด์ รวมถึงการสร้างองค์ประกอบสำคัญๆ ในน้ำนม ช่วงนี้ความเข้มข้นของอินซูลิน (insulin) ในพลาสมา จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนครบกำหนดคลอด ขณะที่โซมาโตโทรปิน (somatotropin) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลาระหว่างสิ้นสุดการตั้งท้องและระยะเริ่มแรกของการให้นม ความเข้มข้นของโปรเจสเตอโรน (progesterone) ในพลาสมา ซึ่งสูงอยู่ในช่วงการตั้งท้องจะตกลงอย่างรวดเร็วในวันคลอด ขณะที่ฮอร์โมนเอสโตรเจน (estrogen) และ กลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoid) จะสูงขึ้นชั่วคราวในระหว่างคลอด

การเปลี่ยนแปลงทางฮอร์โมนเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบลดลงเพียงอย่างเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมของไขมัน ที่ร่างกายต้องสลายไขมันที่สะสมในเซลล์ไขมัน (adipocytes) มาใช้ เป็นผลให้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ (non-esterified fatty acids; NEFAs) ในพลาสมาค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกๆ ของระยะเปลี่ยนผ่าน และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสามวันสุดท้ายของการตั้งท้อง จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของ NEFAs นั้นส่วนหนึ่งจะอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน และอีกส่วนเป็นผลมาจากการขาดพลังงานในช่วงภาวะการขาดสมดุลพลังงานนั่นเอง ความรุนแรงของภาวะการขาดสมดุลพลังงานในช่วงก่อนคลอดนี้จะมีคามผันแปรค่อนข้างมากขึ้นกับการจัดการด้านโภชนา นอกจากนี้นหากมี NEFAs ในพลาสมาสูงขึ้นร่วมด้วยแล้วก็มักจะเป็นผลทำให้เกิดการสะสมของไขมันในตับ (fatty livers) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพอื่นๆ ตามมาในช่วงหลังคลอด

10.2.3 การเปลี่ยนแปลงการทำงานของกระเพาะหมัก

หน้าที่และการทำงานของกระเพาะหมัก (rumen function) ในช่วงแรกของระยะการให้นม โดยเฉพาะแม่โคที่ให้ผลผลิตสูง ในช่วงการให้นม 100 วันแรก (days in milk) มักจะได้รับอาหารในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะอาหารข้น แม้จะมีการสมดุลโภชนาแล้วแต่ปัญหากระเพาะหมักเป็นกรดอย่างรุนแรง (severe rumen acidosis) ก็มักเกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสาเหตุโน้มนำ 2 ประการต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกระเพาะหมัก คือ

1. การปรับตัวของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก หากพิจารณาโคในช่วงหยุดพักรีดนม จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะถูกปรับตัวให้เข้ากับอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลในปริมาณที่ต่ำ เปิดโอกาสให้แบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสมีปริมาณที่สูงขึ้น ขณะเดียวกันแบคทีเรียที่ย่อยสลายแป้งและน้ำตาล (amylolytic bacteria) ก็จะต่ำลง แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่ย่อยสลายแป้งและน้ำตาลนั้นสามารถสร้างกรดแล็กติก (lactic acid) ได้ ดังนั้นในช่วงที่แบคทีเรียชนิดนี้มีปริมาณต่ำก็จะส่งผลทำให้แบคทีเรียที่สามารถนำกรดแล็กติกเหล่านี้ไปใช้ได้มีปริมาณลดลงตามไปด้วย และในทันทีที่มีการเปลี่ยนสูตรอาหารอย่างฉับพลันหลังคลอด ภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดอย่างเฉียบพลัน (acute rumen acidosis) จึงเกิดขึ้นอันเนื่องจากแบคทีเรียที่ใช้สลายกรดแล็กติก ตามที่ไดกล่าวมาข้างต้นนั้นมีอยู่อย่างจำกัด ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีแป้งในอาหารมีมากขึ้น แต่แบคทีเรียที่ใช้กรดแล็กติกกลับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วง 3-4 สัปดาห์ ดังนั้นความเสี่ยงที่จะเกิดการสะสมของกรดแล็กติกในกระเพาะหมักสูง หากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในการให้อาหารจากที่มีเยื่อใยสูงไปสู่อาหารที่มีเยื่อใยต่ำ

2. การปรับตัวทางด้านโครงสร้างของกระเพาะหมักโคในช่วงแห้งนม โครงสร้างผิวผนังกระเพาะหมักที่อยู่ภายในกระเพาะหมักซึ่งปกติจะทำหน้าที่เพิ่มพื้นผิวในการดูดซึมสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acids; VFAs) ที่ได้จากการหมักนั้นจะลดขนาดลงถึงครึ่งหนึ่ง อันเนื่องมาจากการให้อาหารที่มีแป้งและน้ำตาลต่ำ (Dirksen et al., 1985) ดังนั้นเมื่อโคได้รับอาหารที่มีแป้งและน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันในช่วงหลังคลอดก็จะทำให้การหมักคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมักมีมากขึ้น ปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย ที่ได้ก็จะเกินความสามารถของกระเพาะหมักในการดูดซึม ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักสูงขึ้น ปรากฏการณ์นี้มักก่อให้เกิดภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดชนิดกึ่งเฉียบพลัน (sub-acute

rumen acidosis; SARA) ซึ่งไปมีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบและการย่อยได้ที่ลดลง รวมทั้งการเกิดโรคลำไส้อักเสบ (laminitis) ในช่วงต้นๆ หลังการคลอด เป็นต้น

10.2.4 คะแนนร่างกาย กับสมดุลพลังงาน

ในช่วงไตรมาสที่สามของระยะการตั้งท้องอัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก ความต้องการพลังงานในโคอุ้มท้องจะมากกว่าความต้องการในช่วงอื่นๆ ถึง 1.3 – 1.5 เท่า เมื่อสิ้นสุดการตั้งท้อง (Block and Sanchez, 2000) ซึ่งในช่วงระยะเปลี่ยนผ่านนี้โคจะมีความต้องการพลังงานมากกว่าความสามารถที่จะสามารถกินได้ ผลคือเกิดภาวะการขาดสมดุลพลังงาน และน้ำหนักตัวลดลง เพื่อพยายามที่รักษาสมดุลดังกล่าว น้ำหนักตัวแม่โคจะเริ่มลดลงตั้งแต่ช่วงใกล้คลอด (prepartum transition period) และภาวะการขาดสมดุลพลังงาน จะรุนแรงที่สุดในช่วงสัปดาห์แรกหลังคลอด อย่างไรก็ตามระดับความรุนแรงของภาวะการขาดสมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะผันแปรตามคะแนนร่างกายของแม่โค เมื่อคลอด และปริมาณการกินได้ คุณภาพของสูตรอาหาร รวมทั้งฤดูกาล (Block and Sanchez, 2000)

แม่โคเมื่อเริ่มให้นมจะสูญเสียค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค อันเนื่องมาจากภาวะการขาดสมดุลพลังงาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะยังคงเป็นเช่นนี้อีกหลายสัปดาห์จนกว่าปริมาณน้ำนมขึ้นสูงสุด พร้อมๆ กับการฟื้นตัวสูงสุดของปริมาณการกินได้เช่นกัน แล้วจากนั้นจึงเป็นเวลาที่จะเริ่มสะสมค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค ที่หายไปกลับคืนมา มีรายงานว่าแม่โคสามารถให้น้ำนม (milk production) เพิ่มขึ้น หากค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค เมื่อคลอดอยู่ที่ 3.25 โดยเปรียบเทียบกับแม่โคที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคต่ำกว่า 2.20 เมื่อคลอด แต่ในทางกลับกันผลผลิตจะเริ่มลดลงหากแม่โคมีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคมากกว่า 4.00 (Block and Sanchez, 2000) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับแม่โคที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคต่ำ เมื่อทำการคลอดแล้ว แม่โคที่มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคที่สูงกว่าจะมีแนวโน้มที่ให้ผลผลิตน้ำนมในช่วงต้นของการให้นมที่มีปริมาณไขมันมากกว่า ปัจจัยหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำนมที่ลดลง หรือการสลายไขมันที่สะสมในร่างกายมาใช้เนื่องจากการกินได้ที่ลดลงในช่วงนี้ ซึ่งการจัดการแม่โคให้มีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคที่มากเกินไปก่อนคลอด มักจะทำให้เกิดความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมตามมามากมาย เช่น ภาวะคีโตสิส (ketosis) โรคไขมันสะสมในตับ (fatty liver syndrome) ไข้ น้ำนม (milk fever) โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) และปัญหาอื่นๆ เกี่ยวกับการเดินและการเคลื่อนไหวของร่างกาย (locomotion problems) เป็นต้น

เมื่อสิ้นสุดการตั้งท้อง เริ่มเข้าสู่ระยะให้นมจะเป็นช่วงเวลาที่แม่โคมีความต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก ดับเป็นอวัยวะที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการผลิตกลูโคสจากกลีโพรพionate (propionate) และกรดอะมิโน ขณะเดียวกันเนื้อเยื่อและอวัยวะอื่นๆ ก็จะมีการปรับตัวเพื่อลดการนำกลูโคสไปใช้ แต่อาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาการการทำงานของรังไข่หลังคลอดได้ เนื่องจากกลูโคสจัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาของรังไข่ มีรายงานว่าในช่วงสัปดาห์สุดท้ายก่อนคลอด ลูกโคในท้องจะใช้กลูโคสถึงร้อยละ 46 จากแม่โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 30 กิโลกรัมต่อวันต้องใช้กลูโคสจากกระแสเลือดอย่างน้อย 2 กิโลกรัมในการสร้างแล็กโทสในน้ำนม (Block and Sanchez, 2000)

สำหรับการให้คะแนนความสมบูรณ์ของร่างกายโคนั้น ควรเริ่มทำในแม่โคทุกตัวหลังคลอดเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของร่างกายรองรับการเกิดภาวะการขาดสมดุลพลังงานหลังคลอด โดยแนะนำว่าการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โค ควรอยู่ในช่วง 1 - 1.25 คะแนน ซึ่งการจัดการเรื่องปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบจะมีความสำคัญอย่างมากในช่วงนี้ การให้คะแนนครั้งที่สองจะทำหลังจากการให้นมสูงสุดคือประมาณวันที่ 125 - 150 ของการให้นมซึ่งเป็นช่วงที่แม่โคเริ่มได้รับพลังงานจากอาหารมากกว่าความต้องการของร่างกาย แม่โคจะเริ่มสะสมไขมันเพื่อคืนสภาพได้แล้ว ครั้งที่สามจะทำในช่วงวันที่ 225 - 250 ของการให้นม เป็นการตรวจสอบว่าแม่โคมีการสะสมพลังงานกลับคืนได้เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งหากไม่ได้ตามเป้าหมายก็ควรต้องมีการเสริมอาหารเพิ่มขึ้น สำหรับการให้คะแนนครั้งสุดท้ายจะทำเมื่อแม่โคเข้าสู่ระยะแห้งนม โดยระยะนี้สูตรอาหารที่ใช้ควรเป็นสูตรที่ไม่ทำให้แม่โคเพิ่มหรือลด

น้ำหนักตัว ซึ่ง ค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแมโค ในช่วงเข้าสู่ระยะแห้งนมนี้ควรมีค่าเท่ากับเมื่อแมโคเข้าคลอด (พีระศักดิ์ และคณะ 2550)

10.2.5 ปัญหาสุขภาพของโคนมระยะเปลี่ยนผ่าน

ภาวะทุพโภชนาการก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพกับแมโคในช่วงระยะเปลี่ยนผ่าน จำแนกได้ ดังนี้

- 1) ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมพลังงาน เช่น ไขมันสะสมในตับ (fatty liver), คีโตซิส (ketosis), กระเพาะหมักเป็นกรด (subacute และ acute ruminal acidosis) เป็นต้น
- 2) ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมแร่ธาตุเช่น ไชนัม (milk fever), แคลเซียมในเลือดต่ำ (sub-clinical hypocalcemia), การบวมน้ำที่เต้านม (udder edema) เป็นต้น
- 3) ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน เช่น รกค้าง (retained placenta), มดลูกอักเสบ (metritis), เต้านมอักเสบ (mastitis) เป็นต้น

10.3 โรคคีโตซิส (ketosis) และโรคไขมันสะสมในตับ (fatty liver)

ตามปกติไขมันที่สะสมในเนื้อเยื่อไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะถูกลายไกรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งกรดไขมันที่ได้จะถูกนำไป 1). ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมที่ต่อมน้ำนม 2). เป็นแหล่งพลังงานตามเนื้อเยื่อในร่างกาย 3). นำกลับไปยังตับ แล้วนำไปสังเคราะห์กลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์อีกครั้ง ซึ่งจะถูกขับออกมาใหม่ในรูปของก้อนไขมัน-โปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (very low density lipoproteins, VLDL) หรือเกิดออกซิโดซ์เปลี่ยนไปเป็นอะซีทิลโคเอ็นไซม์ เอ (acetyl coenzyme A, acetyl CoA)

ตามธรรมชาติแล้วกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเปลี่ยนอาหารคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก, กรดโพรปิโอนิก และกรดบิวทีริก โดยกรดอะซิติก และกรดบิวทีริก จัดอยู่ในจำพวกสารคีโตจีนิก (ketogenic) ส่วนกรดโพรปิโอนิกจัดเป็นสารพวกไกลโคจีนิก (glycogenic) อัตราส่วน ketogenic : glycogenic = 4:1 กรดโพรปิโอนิกจะเปลี่ยนต่อไปในตับได้กลูโคสเพื่อสังเคราะห์เป็นน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมได้ กรณีที่แมโคขาดสมดุลพลังงานอย่างรุนแรง (severe negative energy balance) ร่างกายมีการสลายไขมันออกมาจากถุงสะสมไขมันในร่างกายในรูปของ NEFAs สายยาวที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันที่สมบูรณ์จนได้อะซีทิลโคเอ็นไซม์ เอ ซึ่งจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยวัฏจักรเครป (Krebs cycle or tricarboxylic acid; TCA) แต่หากอะซีทิลโคเอ็นไซม์ เอ ที่เข้าวัฏจักรเครปมีปริมาณมากเกินไป สารคีโตน (acetoacetic acid, acetone และ beta-hydroxybutyrate; BHB) ก็จะถูกสร้างขึ้นมากตามไปด้วย ยิ่งไปกว่านั้นแมโคในช่วงระยะเปลี่ยนผ่านมีความต้องการกลูโคสเพื่อสังเคราะห์น้ำตาลแล็กโทสในน้ำนม และน้ำตาลฟรุ็กโทสให้แก่ลูกโคในท้องแม่ (fetus) ซึ่งได้จากกระบวนการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคสในตับตามปกติแล้วครึ่งหนึ่งของปริมาณกลูโคสของโคได้มาจาก กรดโพรปิโอนิก ที่ได้รับจากอาหารเข้าทำปฏิกิริยาในวัฏจักรเครป แล้วจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสโดยกระบวนการ สังเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ซึ่งการแย่งสารตั้งต้น (substrates) ร่วมกันในวัฏจักรเครปนี้ก็ยิ่งทำให้เมแทบอลิซึมไขมันหันไปผลิตสารคีโตนเพิ่มขึ้นไปอีก ตามปกติแล้วสารประกอบคีโตนเหล่านี้จะถูกออกซิโดซ์ และนำไปใช้โดยเนื้อเยื่อต่างๆ อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อมีปริมาณมากเกินไปที่จะสลายสารเหล่านี้ได้ จึงทำให้สารเหล่านี้เกิดการสะสมมากในกระแสเลือดจนขับออกปนมากับน้ำนมและปัสสาวะ ร่วมกับความผิดปกติอื่นๆ อันเนื่องมาจากสารคีโตนที่มากเกินไปในร่างกาย เราเรียกความผิดปกตินี้ว่า “ภาวะคีโตซิส” นอกจากนี้สารคีโตนยังมีภาวะเป็นกรดก็ทำให้ร่างกายเกิดภาวะเป็นกรดในเลือดหรือล้ามเนื้อได้อีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นอาจทำให้เกิดข้อสงสัยที่ว่าเหตุใดจึงยังมีการสะสมไขมันที่ตับอีก ทั้งๆ ที่ตับสามารถนำ NEFAs ไปใช้ได้ นั่นก็เป็นเพราะว่าเวลาที่มีการเผาผลาญไขมันเกิดขึ้นอย่างมหาศาลนั้น กระบวนการ re-esterified ของ NEFAs ได้ triglycerides (TAG)

นั้น TAG ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นก้อนไขมัน-โปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (VLDL) ได้เร็วพอที่จะส่งออกไปจากตับ ทำให้เริ่มมีการสะสมของไขมันในตับจนเกิด “ภาวะไขมันสะสมในตับ” นั่นเอง ผลที่ตามมาจากการสะสมของไขมันที่ตับก็คือตับถูกทำลาย สูญเสียหน้าที่รวมไปถึงกระบวนการสังเคราะห์ทริกลีโคไลด์ในตับจากกรดไขมัน กรดอะมิโน และกลีเซอรอล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญมากในโค

10.4 โรคกระเพาะหมักเป็นกรด (rumen acidosis) และโรคอักเสบ (laminitis)

สาเหตุของการเกิดภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปในโคแทบทุกระยะ ซึ่งมักเกิดจากการจัดการอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งในปริมาณสูงเกินไปจนมีผลต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ทำให้แบคทีเรียย่อยคาร์โบไฮเดรต เช่น streptococcus และ lactobacillus เพิ่มจำนวนขึ้น ผลที่ได้คือ กรดแลคติกจำนวนมาก ทำให้ภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมักต่ำลง ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมักลดลง รวมทั้งจุลินทรีย์อื่นๆ ในกระเพาะหมักถูกทำลาย โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียแกรมลบและโปรโตซัว มีผลกระทบทำให้การย่อยได้ลดลง ยิ่งไปกว่านั้นภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดยังไปลดการบีบตัวของกระเพาะหมัก และประสิทธิภาพของกระเพาะหมักในการคลุกเคล้าอาหาร ซึ่งเป็นผลให้ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักลดลง การดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายลดลง นอกจากนี้การบีบตัวและการคลุกเคล้าในกระเพาะหมักที่ลดลงยังส่งผลให้พฤติกรรมการเคี้ยวเอื้องลดลงด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้ปริมาณการหลั่งน้ำลายที่ไหลลงกระเพาะหมักลดลง สภาพความเป็นกรดในกระเพาะหมักก็ยิ่งรุนแรงขึ้น ซึ่งตามปกติแล้วในหนึ่งวันน้ำลายสามารถผลิตได้เพียงพอสำหรับกระเพาะหมักเทียบเท่ากับปริมาณของผงฟู หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) ประมาณ 3 กิโลกรัม (Erdman, 1988) หากเกิดสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะหมักติดต่อกันนานเข้ากระเพาะหมักอาจหยุดทำงาน (rumen stasis) ซึ่งอาการดังกล่าวจะรุนแรงยิ่งขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวจากกระเพาะหมักลดลงต่ำเหลือ 4 ถึง 5 นอกจากนี้กรดที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ขึ้นในกระเพาะหมักทำให้ของเหลวในกระเพาะหลอดเลือดและเนื้อเยื่ออื่นๆ ถูกดึงกลับเข้ามาในกระเพาะหมัก ทำให้เกิดความผิดปกติอื่นๆ ตามมา เช่น เกิดอาการถ่ายเหลวเป็นน้ำ (profuse diarrhea) ขาดน้ำ (dehydration) กระเพาะหมักอักเสบ (ruminitis) และท้องอืด (bloat) เป็นต้น

กรณีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารที่มีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูง จุลินทรีย์จากกระเพาะหมักจะสร้างกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายเพิ่มขึ้น และหากไม่ถูกดูดซึมไปโดยเร็วก็จะสะสมอยู่ในกระเพาะหมัก ซึ่งหากการสะสมของกรดในกระเพาะหมักมีไม่มากก็เพียงแต่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ และผลผลิตน้ำนมเท่านั้น แต่สุขภาพของโคโดยรวมอาจจะยังดีอยู่ และอาจพบว่าปริมาณไขมันในน้ำนมลดลงด้วย แต่หากไม่มีการแก้ไขแบคทีเรียและโปรโตซัวบางชนิดซึ่งไวต่อภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดจะตายแล้วปล่อยสารพิษ (endotoxins) และฮิสตามีน (histamine) ออกมาในกระเพาะหมักเกิดการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งสารเหล่านี้รวมทั้งกรดแลคติกมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อกีบ และเป็นต้นเหตุของการเกิดปัญหาโรคอักเสบ หากการสะสมยังคงดำเนินมากขึ้นเรื่อยๆ ปัญหาที่ต่อเนื่องก็จะยิ่งรุนแรงไม่เพียงแต่ผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ และผลผลิตน้ำนมเท่านั้น แต่รวมถึงผลเสียต่อสุขภาพโดยรวมของโค หรืออาจถึงตายเนื่องจากพิษ

โดยปกติแล้วมักพบว่าภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดแฝง (subclinical rumen acidosis) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในช่วงระยะเปลี่ยนผ่าน หากพิจารณาจากข้อมูลที่ได้กล่าวมา สามารถสรุปข้อควรปฏิบัติเพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดสำหรับโคในช่วงระยะเปลี่ยนผ่านได้ดังนี้

- 1) ควรเพิ่มปริมาณแป้งและน้ำตาล ให้แก่โคในช่วงระยะก่อนคลอด เพื่อเป็นการปรับสภาพผนังกระเพาะหมักให้พร้อมเพื่อรองรับปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมักที่เพิ่มขึ้นหลังคลอด
- 2) ควรเพิ่มความถี่ หรือจำนวนครั้งของการให้อาหารเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงหลังคลอด หรือให้อาหารในรูปของอาหารที่เอ็มอาร์ (total mixed ration; TMR) จะช่วยลดการสะสมของกรดในกระเพาะหมักได้ตลอดทั้งวัน
- 3) ควรมีการให้อาหารที่มีส่วนประกอบของเยื่อใยที่เหมาะสม
- 4) ควรมีการตรวจสอบสูตรอาหารว่ามีกรดแลคติกในสูตรอาหารหลังคลอดอย่างถูกต้อง และเหมาะสม

10.5 โรคระเพาะแต่เคลื่อน (displaced abomasum)

กระเพาะแต่หรืออะโบมาซั่มเคลื่อน เป็นอีกหนึ่งความผิดปกติที่พบได้บ่อยในฟาร์มที่ให้ผลผลิตสูง ส่งผลให้ต้องคัดทิ้งแม่โคก่อนเวลาอันควร เพราะอาจทำให้เกิดความผิดปกติอื่นตามมารวมทั้งผลผลิตลดลงด้วย ได้มีการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การเกิดกระเพาะแต่เคลื่อนมีความสัมพันธ์กับ พันธุ์ อายุ จำนวนการตั้งท้อง และฤดูกาล ภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ ก็ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระเพาะแต่เคลื่อนได้ เนื่องจากแคลเซียมมีความสำคัญต่อการหดขยายของกล้ามเนื้อ แต่ที่สำคัญที่มักก่อให้เกิดความผิดปกติมักมาจากการจัดการด้านโภชนาที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหาโรคระเพาะแต่เคลื่อน ได้แก่

- 1) ภาวะที่โคมีค่าคะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของแม่โคสูงเกินไปเมื่อคลอด การสูญเสียน้ำหนักหลังคลอด และปริมาณกรดไขมันในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น
- 2) ภาวะที่ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบลดลงในช่วงระยะเปลี่ยนผ่าน
- 3) กรณีที่มีสัดส่วนของอาหารหยাবต่ออาหารชั้นลดลง

ดังนั้นหากมีการจัดการการให้อาหารเพื่อบรรเทาการลดลงของปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบในช่วงก่อนและหลังคลอด ก็สามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคระเพาะแต่เคลื่อนได้ การให้อาหารชั้นเพื่อเป็นการเพิ่มพลังงานในช่วงก่อนคลอด จะสามารถลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคระเพาะแต่เคลื่อนในแม่โคได้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแป้งและน้ำตาลในสูตรอาหารจะทำให้ผนังกระเพาะหมักได้มีการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับปริมาณอาหารชั้นที่เพิ่มขึ้นในช่วงหลังคลอด ซึ่งเป็นช่วงที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคระเพาะแต่เคลื่อน และในทางกลับกันถ้าให้อาหารพลังงานต่ำในช่วงก่อนคลอดนี้ ปัญหาภาวะการขาดสมดุลพลังงานก็จะยิ่งรุนแรงและยิ่งเหนี่ยวนำให้เกิดโรคระเพาะแต่เคลื่อนตามมาได้อีกด้วย

10.6 การบวมน้ำที่เต้านม (udder edema)

การบวมน้ำที่เต้านม จัดเป็นความผิดปกติเนื่องจากการสะสมของของเหลวที่มากเกินไปในระหว่างช่องว่างของเซลล์ในต่อมสร้างน้ำนม ซึ่งในรายที่รุนแรงอาจมีทั้งการบวมน้ำและเลือดคั่ง อาจเกิดขึ้นทั้งบริเวณเต้านม สะดือ อวัยวะเพศ หรือแม้กระทั่งเหนียง มักเกิดกับโคสาวท้องมากกว่าแม่โค ส่งผลต่อทั้งสุขภาพและผลผลิต สาเหตุเนื่องจากความผิดปกติของการไหลเวียนเลือดของเต้านมในช่วงท้ายของการตั้งท้อง ที่มีอัตราการไหลเวียนเลือดมายังเต้านมมากกว่าการระบายกลับ อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่างร่วมกัน เช่น ขนาดลูกในช่องเชิงกราน การเปลี่ยนแปลงทางฮอร์โมนโดยเฉพาะคอร์ติโคสเตียรอยด์ ความเข้มข้นของโปรตีน โดยเฉพาะโกลบูลินที่ลดลงในเลือด รวมไปถึงการถ่ายทอดทางพันธุกรรม และปัจจัยด้านโภชนา เป็นต้น

การจัดการอาหารชั้นแก่แม่โคในช่วงท้ายของการตั้งท้องมีบทบาทสำคัญต่อภาวะการบวมน้ำที่เต้านม ปริมาณอาหารชั้นที่ให้จะขึ้นกับขนาดโค ความสมบูรณ์ของร่างกาย โดยทั่วไปจะเสริมอยู่ในอัตราร้อยละ 1 ของน้ำหนักตัว สูตรอาหารสำหรับโคควมมีระดับโภชนาโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินที่เพียงพอ การให้โคได้รับเกลือในอาหารมากเกินไป อาจทำให้เกิดการบวมน้ำที่เต้านม โดยเฉพาะในช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายก่อนคลอด การได้รับเกลือโซเดียมและโพแทสเซียม (โดยเฉพาะเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมคลอไรด์) ในปริมาณที่มากเกินไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการบวมน้ำของเต้านม การจำกัดโซเดียมคลอไรด์และน้ำจึงสามารถลดความรุนแรงและอุบัติการณ์ของอาการบวมน้ำของเต้านมได้ ดังนั้นการจัดการเพื่อลดเกลือทั้ง 2 ชนิดนี้ในน้ำ อาหารชั้น หรือจากการพิจารณาเลือกใช้พืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสมจะสามารถป้องกันและลดการเกิดความผิดปกตินี้ได้ นอกจากนี้ยังมีคำแนะนำให้ใช้แคลเซียมคลอไรด์ซึ่งเป็น anion salt เพื่อลดอุบัติการณ์ดังกล่าวด้วย

นอกจากนี้แล้ว ความเครียดที่เกิดจากการกำจัดสารพิษหรืออนุมูลอิสระจากอาหารในเนื้อเยื่อเต้านม (mammary tissues oxidative stress) เช่น อะฟลาทอกซิน (aflatoxins) ก็มีส่วนทำให้เกิดการบวมน้ำของเต้านมได้ ดังนั้นการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร เช่น วิตามินอี และสังกะสี จึงเข้ามามีบทบาทในการลดการบวมน้ำที่เต้านม

10.7 โรคไข้น้ำนม (milk fever)

ไข้น้ำนมเป็นความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจากความล้มเหลวของกลไกการควบคุมสมดุลแคลเซียม (calcium homeostatic mechanism) เมื่อมีการนำแคลเซียมในร่างกายไปใช้ในปริมาณที่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียแคลเซียมไปกับน้ำนม จนทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในกระแสเลือดต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ส่งผลให้แม่โคเกิดอาการผิดปกติอื่นๆตามมา ซึ่งตามปกติกลไกสมดุลแคลเซียมจะต้องรักษาความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่โคให้อยู่ระหว่าง 9 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ (hypocalcemia) จะส่งผลต่อการทำงานของระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาท ซึ่งหากตรวจพบความผิดปกติได้เร็ว ก็สามารถช่วยชีวิตโดยการฉีดแคลเซียมเข้าทางหลอดเลือดได้ หากแต่เมื่อแม่โคเป็นโรคนี้นี้แล้วก็มักจะเอื้อโอกาสให้เกิดความผิดปกติอื่นๆตามมา เช่น โรคเต้านมอักเสบ โรคกระเพาะที่เคลื่อน ภาวะรูก้าง และโรคคิโตซิส เป็นต้น อันเนื่องมาจากระดับแคลเซียมที่ลดลงโดยตรง หรือภาวะดังกล่าวส่งผลให้แม่โคแรกคลอดช่วงเกิดภาวะการขาดสมดุลพลังงาน โคลินอาหารได้น้อยทำให้ความผิดปกติทั้งหลายทางเมแทบอลิซึมที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยิ่งทรุดลงไปอีก

กลไกสมดุลแคลเซียม (calcium homeostatic mechanism) นั้นมีความเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพาราไทรอยด์ (parathyroid hormone; PTH) การปรับตัวของแม่โคเพื่อรักษาสสมดุลทันทีที่เริ่มให้นมหลังคลอดนั้นจะอาศัยการหลั่งฮอร์โมนพาราไทรอยด์เพื่อ 1). ลดการสูญเสียแคลเซียมในปัสสาวะ 2). ช่วยกระตุ้นการดึงกลับ แคลเซียมของกระดูก และ 3). เพิ่มการสังเคราะห์สารประกอบวิตามินดี (1,25-dihydroxyvitamin D) เพื่อเพิ่มความสามารถในการลำเลียงแคลเซียมในลำไส้ ดังนั้นอะไรก็ตามที่ไปมีผลต่อกลไกในการรักษาสสมดุล (homeostasis mechanisms) นี้ถือเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้น้ำนมทั้งสิ้น นอกจากอายุและพันธุกรรมแล้ว อีกหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญคือหากแม่โคอยู่ในสภาวะกรด-ด่างในร่างกายที่ไม่เหมาะสมซึ่งมักเกิดจากการจัดการอาหาร การให้อาหารแม่โคที่มีแร่ธาตุโพแทสเซียม หรือโซเดียมในปริมาณที่ค่อนข้างสูงจะส่งผลให้ร่างกายแม่โคอยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (metabolic alkalosis) ซึ่งการทำงานของฮอร์โมนพาราไทรอยด์จะลดลงในสภาวะดังกล่าว ส่งผลให้การดึงกลับแคลเซียมของกระดูก (bone resorption) และการผลิตสารประกอบวิตามินดีมีประสิทธิภาพลดลงและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้น้ำนมได้

การจัดการโภชนาการแร่ธาตุมีความสำคัญในการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย การให้อาหารที่มีส่วนประกอบของแร่ธาตุที่เป็นประจุบวก (cation diets) เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มากเกินไปจะทำให้ร่างกายมีเลือดเป็นด่าง (alkalosis) จึงควรพิจารณาการเสริมแร่ธาตุจำพวกนี้ให้ดีในแม่โคช่วงแห้งนม (dry period) เพื่อลดโอกาสเกิดโรคไข้น้ำนมหลังคลอด ในทางปฏิบัติการลดปริมาณแคลเซียมในอาหารแม่โคให้ต่ำลง (ไม่เกิน 15 กรัม/ตัว/วัน) เป็นเวลาสัก 10 วันก่อนคลอดกลับเป็นการป้องกันการเกิดโรคไข้น้ำนมได้ดี ด้วยเหตุที่แม่โคก่อนคลอดถูกทำให้้อยู่สภาวะที่ขาดแคลเซียมจึงทำให้เกิดการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนพาราไทรอยด์ไว้ล่วงหน้าก่อนวันคลอด และเมื่อโคที่เริ่มมีการให้นม กลไกสมดุลแคลเซียมก็จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าช่วยป้องกันการลดลงอย่างรุนแรงของแคลเซียมในเลือดอันเป็นต้นเหตุของโรคไข้น้ำนมได้

10.8 รูก้าง (retained placenta), มดลูกอักเสบ (metritis) และ เต้านมอักเสบ (mastitis)

ภาวะรูก้างในแม่โค คือ การที่ร่างกายแม่โคไม่สามารถขับรกให้หลุดออกมาเองได้ภายใน 12 – 24 ชั่วโมงหลังคลอด และมักจะก่อให้เกิดการติดเชื้อและการอักเสบของมดลูกตามมา ส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิต และการจัดการอันนำไปสู่การคัดทิ้งแม่โค ซึ่งมีปัจจัยทางสรีรวิทยาและโภชนาการหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้อง อาจเกิดจากการเหนี่ยวนำจากหลายสาเหตุ เช่น ความผิดปกติของการคลอด (dystocia) การเกิดลูกแฝด ความเครียด ช่วงการแห้งนมที่สั้น สารพิษจากไมโคท็อกซิน หรือไนเตรท พันธุกรรม และ ไข้น้ำนม เป็นต้น โดยมีภาวะภูมิคุ้มกันที่ลดลง (immunosuppression) ในช่วงระหว่างคลอด (peripartum period) เข้ามาเป็นปัจจัยร่วม การจัดการโภชนาการส่วนใหญ่ก็มักส่งผลต่อสุขภาพและเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย การเกิดรูก้างส่วนใหญ่จะเกิดมาจากการจัดการอาหารในช่วง 6 ถึง 8 สัปดาห์ก่อนคลอด ที่มักขาดสมดุลของพลังงาน โปรตีน ฟอสฟอรัส แคลเซียม ซิลิเนียม ไอโอดีน และวิตามินเอ ดี และ อี

การขาดโภชนาพลังงานและ/หรือโปรตีนอย่างมกนั้นย่อมทำให้เกิดรคค้ำงได้เนื่องจากแม่โคจะอ่อนแรง เกิดความเครียด ในระหว่างคลอด และขาดความแข็งแรงพอที่จะขับรก ดังนั้นปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารยังมีความสำคัญต่อแม่โคในช่วงแห้งนมและการปฏิบัติตามความต้องการโภชนาถือว่ายังละเลยไม่ได้ ช่วงใกล้คลอดนั้นนอกจากพลังงานหลักแล้วแร่ธาตุและวิตามินจะถูกป็นส่วนไปให้กับทารกในครรภ์ แม่โคมักประสบปัญหาความไม่สมดุลในวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ ดังนั้นการเสริมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่เหมาะสมจะไม่ทำให้เกิดภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำจนทำให้สูญเสียความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อที่มดลูกในช่วงคลอดที่จะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดรคค้ำงได้ นอกจากนี้ยังมีวิตามินเอ และเบต้าแคโรทีน วิตามินดี วิตามินอี และซิลิเนียมที่จัดเป็นวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญสำหรับเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและเสริมสร้างภูมิคุ้มกันที่มีประสิทธิภาพที่สามารถลดอุบัติการณ์การเกิดรคค้ำงและมดลูกอักเสบในแม่โคหลังคลอดได้ ยิ่งไปกว่านั้นการจัดการวิตามินและแร่ธาตุที่เหมาะสมในช่วงนี้ยังมีส่วนเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของเต้านมในช่วงปรับตัวคืนสภาพของเต้านม และอาจเป็นการช่วยลดอุบัติการณ์การเกิดโรคเต้านมอักเสบในช่วงการให้นมถัดไปได้อีกด้วย

10.9 กลยุทธ์ในการแก้ปัญหาด้านสุขภาพ ผลผลิต และระบบสืบพันธุ์ในฟาร์มโคนมอันเนื่องมาจากสาเหตุด้านอาหาร

ปัญหาของการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีหลายประการ หากเทียบกับยุโรปหรืออเมริกาการผลิตโคนมของไทยมีต้นทุนการผลิตสูงกว่า สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงอาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพการจัดการฟาร์มที่ไม่ดีเท่าที่ควร ผลผลิตน้ำนมต่ำ อีกทั้งปัญหาคุณภาพน้ำนมรายฟาร์ม ในที่นี้จะกล่าวถึงผลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านอาหารและการให้อาหาร สาเหตุที่ทำให้องค์ประกอบไม่ดีดังกล่าวเกิดมาจากข้อบกพร่องจากการจัดการด้านอาหารและการให้อาหารแก่แม่โค เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นมานานแล้ว ยังคงเกิดขึ้นกับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมอย่างต่อเนื่องและส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมเองในเรื่องราคาและการรับซื้อน้ำนมดิบ โดยต้นทุนการผลิตมากกว่าครึ่งเป็นค่าอาหารโค โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่เห็นความสำคัญของการจัดการด้านอาหารได้ดีเท่าที่ควร เพราะคิดว่าจะไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากขึ้น

ยังมีปัญหาพื้นฐานด้านสุขภาพ คือการที่แม่โครีดนมของเกษตรกรมีคะแนนร่างกายน้อยกว่าที่ควรจะเป็น อีกทั้งปัญหาการเจ็บก๊ีบ อาหารในกระเพาะหมักเป็นกรด ส่งผลต่อการเป็นสัดเจ็บบจนกระทั่งไม่เป็นสัด ฯลฯ ปัญหาเหล่านี้เกิดมาจากการขาดแคลนอาหารหยาบ (ทั้งในเชิงปริมาณหรือคุณภาพ) และการจัดการอาหารชั้นที่ไม่เหมาะสม ที่จะสามารถทำให้แม่โคผลิตน้ำนมที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพได้ การแก้ไขปัญหานี้เกษตรกรไม่ได้ดำเนินการแก้ไขที่ต้นเหตุอย่างแท้จริง เกษตรกรหลายรายแก้ไขปัญหานี้โดยการให้อาหารชั้นแก่แม่โครีดนมมากกว่าที่ควรจะได้รับ เพื่อหวังว่าแม่โคจะให้น้ำนมมากขึ้น ส่งผลทำให้แม่โครีดนมมีปัญหาอาหารในกระเพาะหมักเป็นกรดอย่างเรื้อรัง หากดูผิวเผินจะพบว่าแม่โคให้ผลผลิตน้ำนมได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ส่งผลเสียต่อสุขภาพกับสุขภาพทั่วๆ ไปและปัญหาของระบบสืบพันธุ์ ผลต่อเนืองคือทำให้แม่โคแสดงอาการเป็นสัดไม่ชัดเจนอันเนื่องมาจากปัญหาเจ็บก๊ีบ มีปัญหาผสมติดยากเป็นจำนวนมากตามมา ปัญหาดังกล่าวนั้นเกษตรกรมีความคุ้นเคยจนคิดว่าเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกษตรกรคนใดปรับปรุงการจัดการด้านอาหารหยาบและให้อาหารชั้นในปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมแล้ว จะสามารถทำให้แม่โคภายหลังคลอดลูกและอยู่ในช่วงที่ให้ผลผลิตน้ำนมที่มกมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่เคยเกิดขึ้น สุขภาพก๊ีบดีขึ้น แม่โคแสดงอาการเป็นสัดชัดเจนและมีปริมาณแม่โคเป็นสัดหลังคลอดเร็วขึ้น อีกทั้งส่งผลให้แม่โคมีผลผลิตน้ำนมได้มากขึ้นและมีองค์ประกอบน้ำนมดีขึ้นได้

การดำเนินงานอย่างเป็นระบบในการวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีแก้ไขปัญหานี้ การวางแผนขั้นตอนการดำเนินการเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแก้ไขปัญหานี้ โดยปฏิบัติงานด้านจัดการดูแลสุขภาพและผลผลิตอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ด้วยการอาศัยข้อมูลสารสนเทศจากการจดบันทึกและรายงานจากเกษตรกรประกอบการปรับปรุงการจัดการเป็นวิธีการที่เหมาะสม การหาเหตุผลจากข้อมูลและข้อเท็จจริงจากสิ่งที่เกิดขึ้นจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น สภาพแวดล้อมของโรงเรือนที่โคพักอาศัย สภาพพื้นคอก การถ่ายเทของอากาศ อุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน ประเภทของอาหารและการจัดการให้อาหาร ทั้งอาหารหยาบและอาหารชั้น ตลอดจนอาหารเสริมและแร่ธาตุ จำนวนและสัดส่วนของฝูงโคทั้งลูกโค โคสาว แม่โครีดนม ตลอดจนแม่โคแห้งนม อันด้นต่อไปได้แก่ ค่าคะแนนร่างกาย

ของโคแต่ละตัวในฝูง ระดับอาหารในกระเพาะหมัก เปอร์เซ็นต์การเคี้ยวเอื้อง อัตราการหายใจ สภาพโรกิบ การยืนหรือการเดินที่ผิดปกติ ลักษณะของอุจจาระ และหากมีเศษอาหารหลงเหลือในอุจจาระ กลิ่นแอมโมเนียภายในโรงเรือน ข้อมูลผลผลิตเปรียบเทียบกับวันรีดนมของฝูง ข้อมูลการเป็นสัด/ไม่เป็นสัดหลังคลอด อัตราการผสมติดทั้งแม่โคและโคสาว อัตราการจับสัด การเกิดรกค้าง ผลการตรวจท้องและระบบสืบพันธุ์ การจับสัด การผสมเทียม คุณภาพน้ำนมทั้งปริมาณเซลล์โซมาติกและเกรตน้ำนม ข้อมูลเกี่ยวกับการขึ้นตอนการรีดนม การทำงานของเครื่องรีดนม ตลอดจนความสะอาดของอุปกรณ์รีดนมและระบบท่อลม เป็นต้น

เมื่อได้ข้อมูลต่างๆ แล้ว จึงเริ่มต้นที่ค่าดัชนีต่างๆ ที่ควรจะเป็น เมื่อพบว่ามิดซ์ไนต์ที่ผิดปกติแล้ว กระบวนการบูรณาการเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ จึงควรเริ่มขึ้น โดยเหตุผลที่ว่าสุขภาพเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อทั้งผลผลิตและระบบสืบพันธุ์ การประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดการและหาความเชื่อมโยงของปัญหาต่างๆ นั้น ควรประกอบด้วย การประเมินการจัดการโดยทั่วไปของฟาร์ม การประเมินจากระบบฐานข้อมูลโคในฟาร์ม ร่วมกับการประเมินจากสภาพร่างกายโค ณ เวลาที่ทำการประเมิน

วิธีประเมินและวิเคราะห์เพื่อให้แน่ใจและทราบว่าสาเหตุของปัญหานั้นเกิดจากการจัดการด้านอาหาร สามารถทำได้เบื้องต้นด้วยการสังเกต สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วด้วยตัวเกษตรกรหรือเจ้าหน้าที่ส่งเสริม สิ่งแรกที่ควรดูคือคะแนนร่างกาย การยืนโค้งหลังหรือไม่ อุจจาระอ่อนหรือเหลว ระดับอาหารในกระเพาะหมัก โรกิบมีสีแดงหรือเปล่า ลักษณะของกิบ อัตราการเคี้ยวเอื้อง เป็นต้น (ตารางที่ 10.1)

ตารางที่ 10.1 เกณฑ์การประเมินและวิเคราะห์โดยใช้การสังเกต

สิ่งบอเหตุ	สิ่งที่น่าจะเป็นปัญหา
คะแนนร่างกายต่ำ	แม่โคได้รับอาหารพลังงานไม่เพียงพอ
ยืนโค้งหลังหรือเดินผิดปกติหลายตัว	มีปัญหากระเพาะหมักเป็นกรด
อุจจาระอ่อนหรือเหลว	สัดส่วนอาหารหยาดน้อยเกินไป
ระดับอาหารในกระเพาะหมักต่ำ	ได้รับอาหารหยาดไม่เพียงพอ
โรกิบมีสีแดงหรือชมพู	มีปัญหากระเพาะหมักเป็นกรด
ลักษณะของกิบมีรอยหยักมาก	มีปัญหากระเพาะหมักเป็นกรดอย่างเรื้อรัง
อัตราการเคี้ยวเอื้องน้อย	อาหารหยาดมีขนาดเล็ก หรือสัดส่วนอาหารหยาดน้อยเกินไป

ที่มา: จิตรกมล (2552)

10.10 สรุป

จุดวิกฤตของการเกิดภาวะทุพโภชนาการในโคนมมักอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่าน แต่ความจริงแล้วใช่ว่าการจัดการอาหารที่มีประสิทธิภาพในช่วงนั้นแล้วจะไม่เกิดปัญหาอีกต่อไป ทั้งการจัดการ สภาพแวดล้อม ปัจจัยภายนอกภายใน รวมทั้งตัวสัตว์เอง ยังก่อให้เกิดภาวะทุพโภชนาการขึ้นได้อีกในทุกช่วงอายุและการให้ผลผลิตตลอดการเลี้ยงดู ซึ่งการแก้ปัญหาด้านสุขภาพ ผลผลิต และการสืบพันธุ์ในฟาร์มโคนมที่มีสาเหตุมาจากการจัดการด้านอาหารและการให้อาหารนั้นเพื่อให้แม่โคมีสุขภาพดี แม่โคย่อมแสดงศักยภาพการผลิตน้ำนมที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพ

10.11 เอกสารอ้างอิง

- จิตรกมล ธนศักดิ์. 2552. โคนมระยะเปลี่ยนผ่าน : โรค การวินิจฉัย การรักษา. โรงพิมพ์ศิรินสาร. กรุงเทพฯ.
- พีระศักดิ์ จันทร์ประทีป. 2550. การจัดการและเทคโนโลยีชีวภาพด้านการสืบพันธุ์ในโคนม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Block, E. and W.K. Sanchez. 2000. Special nutrition needs of the transition cow. Proceedings of Mid-south ruminant nutrition conference. (pp. 1-16). Texas, USA: The Texas animal nutrition council.
- Dirksen, G.U., H.G. Liebich and E. Mayer. 1985. Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *Bovine Pract.* 20:116–120.
- Erdman, R.A. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. *J. Dairy Sci.* 71(12):3246-3266.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th revised edition. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Rukkwamsuk, T., T. Wensing and M.J. Geelen. 1998. Effect of overfeeding during the dry period on regulation of adipose tissue metabolism in dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 81(11):2904-2911.
- Rukkwamsuk, T., T.A. Kruij and T. Wensing. 1999. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Vet. Q.* 21(3):71-77.
- Rukkwamsuk, T., T. Wensing and M.J. Geelen. 1999. Effect of overfeeding during the dry period on the rate of esterification in adipose tissue of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 82(6):1164-1169.
- Santos, J.E.P., E.J. DePeters, P.W. Jaron and J.T. Huber. 1999. Effect of prepartum crude protein level on performance of primiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 82(Suppl.1):120
- VandeHaar, M.J. and S.S. Donkin. 1999. Protein nutrition of dry cows. Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf., M. L. Eastridge, ed. April 20, Ft. Wayne, IN, pages 113– 130. The Ohio State University, Columbus.
- VanSaun, R.J. and C.J. Sniffen. 1995. Effects of undegradable protein fed prepartum on lactation, reproduction, and health in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 78:265 (Abstr.).
- VanSaun, R.J., S.C. Idleman and C.J. Sniffen. 1993. Effect of undegradable protein amount fed prepartum on postpartum production in first lactation Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76(1):236–244.

บทที่ 11 สารเสริมและสารประกอบในอาหารเพื่อปรับปรุงการใช้ประโยชน์ในอาหารสัตว์

11.1 บทนำ

สารเสริมในอาหารโคนมมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการพัฒนาระบบทางเดินอาหารและสุขภาพของโคนมในด้านการทำหน้าที่ที่สมบูรณ์ในการดูดซึมสารอาหารให้แก่โคนม โดยมีผลต่อการเพิ่มปริมาณและองค์ประกอบน้ำนม เพิ่มปริมาณการกินได้ การรักษาสมดุลกรด-ด่าง และสภาพแวดล้อมในกระเพาะหมัก เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ในกระเพาะหมัก เช่น การเพิ่มจำนวนโปรตีนจากจุลินทรีย์และกรดไขมันระเหยง่ายในกระเพาะหมัก เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และพัฒนาสุขภาพของโคนม ลดอาการท้องเสียในลูกโค เพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยในอาหารโคนม ลดอาการกระเพาะหมักเป็นกรด และโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติทางอาหารในแม่โคนม เป็นต้น (Hutjens, 2003)

การพัฒนาของระบบทางเดินอาหารโคนม พิจารณาตั้งแต่ลูกโคแรกเกิดควรได้รับนมแม่ที่เพียงพอใน 24 ชั่วโมงหลังคลอด เพื่อลูกโคจะได้รับสารภูมิคุ้มกัน และสารพรีไบโอติกในนมแม่ที่จำเป็นต่อสุขภาพ การพัฒนาทางเดินอาหารและการเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อลูกโคโคนม สามารถพิจารณาระบบทางเดินอาหารลูกโคโคนมได้ 3 ระยะ ระยะที่ 0-3 สัปดาห์ภายหลังคลอด ระยะที่ลูกโคได้รับนมหรือนมผง และเริ่มให้อาหารข้นที่ละน้อย โดยที่กระเพาะแท้ ประมาณร้อยละ 60 ของระบบทางเดินอาหารลูกโคโคนม จะทำหน้าที่ในการย่อยสารอาหาร และ ดูดซึมสารอาหารที่ลำไส้เล็ก เพื่อการเจริญเติบโต รวมทั้งกระตุ้นการพัฒนาของกระเพาะหมัก ที่มีขนาดประมาณร้อยละ 20 ของระบบทางเดินอาหารลูกโคโคนม พร้อมทั้งการพัฒนาเริ่มสร้างระบบภูมิคุ้มกันของลูกโคโคนม (active immune) ระยะที่ 4 - 6 สัปดาห์หลังคลอด ระยะที่ลูกโคได้รับนมหรือนมผง และให้อาหารข้นเพิ่มขึ้น โดยที่กระเพาะแท้ จะมีขนาดลดลงเหลือประมาณร้อยละ 25 ของระบบทางเดินอาหารลูกโคโคนม และ กระเพาะหมักจะมีขนาดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 ของระบบทางเดินอาหารลูกโคโคนม เพื่อทำหน้าที่ย่อยสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและกระตุ้นการพัฒนาของกระเพาะหมักของลูกโคโคนม และ ระยะที่ 6 สัปดาห์หลังคลอดจนถึงระยะหย่านม ระยะนี้ลูกโคได้รับนมหรือนมผง และให้อาหารข้นเพื่อการเจริญเติบโตและกระตุ้นการพัฒนาของกระเพาะหมักจนขนาดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 ของระบบทางเดินอาหารของลูกโคโคนมภายหลังจากระยะหย่านม การพัฒนาของระบบทางเดินของกระเพาะหมัก อาหารของลูกโคโคนมจะดำเนินต่อไปจนถึงแม่โคเจริญเติบโตเต็มที่ (mature cow) โดยที่ขนาดของกระเพาะหมักได้ประมาณร้อยละ 80 ของระบบทางเดินอาหาร และ ขนาดของกระเพาะแท้ ประมาณร้อยละ 7 ของระบบทางเดินอาหาร (Linn, 2018)

ระบบทางเดินอาหารที่มีสุขภาพสมบูรณ์ (gut health) จะต้องมีความสัมพันธ์กันของอาหารและอาหารเสริม จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบการย่อยของระบบทางเดินอาหารของโคนม จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารจะมีหน้าที่ช่วยในการย่อยและการดูดซึม ควบคุมสมดุลพลังงาน ป้องกันการติดเชื้อ และพัฒนาระบบภูมิคุ้มกันของโคนม เมื่อพิจารณาถึงระบบทางเดินอาหารของโคที่สุขภาพสมบูรณ์นั้นควรที่จะให้ความสำคัญใน 3 ระยะ คือ ระยะก่อนหย่านม ระบบทางเดินอาหารเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและหน้าที่ของลำไส้ ระยะหย่านมเป็นระยะเปลี่ยนผ่านของกระเพาะหมัก และกระเพาะแท้ และระยะหลังคลอดของแม่โคนมที่ต้องการสารอาหารพลังงานที่สูง (Steele et al., 2016) Lyte et al. (2018) รายงานความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์กับแม่โคโดยที่จุลินทรีย์จะหลั่งสารเคมีประเภทที่มีผลต่อระบบสรีรวิทยาและระบบภูมิคุ้มกันของแม่โค รวมทั้งมีผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มอื่นในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ Pitta et al. (2018) รายงานว่าประมาณร้อยละ 70 ของพลังงาน และร้อยละ 50 ของโปรตีนที่แม่โคต้องการนั้นมาจากการย่อยได้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักที่มีการย่อยสารเยื่อใย และสารที่ไม่ใช่พวกเยื่อใย เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเพิ่มจำนวนโปรตีนจากจุลินทรีย์ให้แก่แม่โคนม รวมทั้งการปรับปรุงกระบวนการเกิดไบโอไฮโดรจีเนชั่นของสารอาหารไขมันและกระบวนการเกิดแก๊สมีเทน โดยการควบคุมสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ ไขมัน และสารเสริมในอาหาร เช่น โมเนนซิน (monensin) เป็นต้น

นอกจากนี้แล้ว Hutjens (2003) ยังรายงานเพิ่มเติมว่า สารเสริมที่นิยมใช้อาหารโคนม ได้แก่ *Aspergillus oryzae* ไบโอดีดิน เบต้าแคโรทีน แคลเซียม โปรปิโอเนต เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (fibrolytic enzyme) แมกนีเซียมออกไซด์ โมเนนซิน ไนอะซิน โปรฟิรินไกลคอล สารเสริมในอาหารหมัก โซเดียมไบคาร์บอเนต ยีสต์ สารสกัดยัคคา (yucca) และ แร่ธาตุรองอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันสารเสริมในอาหารโคนม (feed additives) สามารถแบ่งได้ 4 ประเภทหลัก ดังนี้ 1). สารเสริมที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร 2). สารพฤษาเคมี (phytonutrients) 3). สารจำพวกที่จับสารพิษจากเชื้อราในอาหารสัตว์ (mycotoxin binder) และ 4). สารเสริมในพืชหมัก (silage additives)

11.2 อาหารเสริมที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร

อาหารเสริมมีหลายชนิดที่สามารถเสริมลงในนมผงและในอาหารลูกโค ได้แก่ ยาปฏิชีวนะที่เสริมในนมผงลูกโคนม เช่น ออกซีเตตราไซคลิน (oxytetracycline) และนีโอมัยซิน (neomycin; Heinrichs, 1993; Heinrichs et al., 1995) เพื่อลดอาการท้องเสียของลูกโคนม (Morrell et al., 1997 และ Quigley et al., 1997) การเสริมอาหารลูกโคมีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะควบคุมการเกิดโรคท้องเสีย เช่น ลาซาโลซิด (lasalocid) และดีโคควิไรท์ (decoquirit) การให้อาหารชั้นลูกโคนม เพื่อให้การกินได้ที่เหมาะสมจะกระตุ้นการพัฒนาของกระเพาะหมักและการเจริญเติบโตของลูกโคนม เช่น การเสริมอาหารด้วย โปรไบโอติก (probiotics) พรีไบโอติก (prebiotics) และซิมไบโอติก (symbiotics) ลงในอาหารโคนมนั้นจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารและสุขภาพของลูกโคนม (Hutjens, 2003)

โปรไบโอติก คือ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตใช้เสริมลงในอาหารโคนม เมื่อโคนมได้รับในปริมาณที่เหมาะสมจะมีผลดีต่อสุขภาพและความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของโคนม (Fuller, 1989) ลักษณะของโปรไบโอติกที่เสริมลงในอาหารโคนมนั้นควรมีลักษณะดังนี้ 1). สามารถมีชีวิตได้ในสภาวะที่ความเป็นกรดต่ำในกระเพาะหมัก และกระเพาะแท้ และทนทานต่อน้ำดี สามารถทนอยู่ได้ในสภาวะและสภาพแวดล้อมของระบบทางเดินอาหารโคนม (Thomas et al., 2003) 2). มีผลต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในโคนม และสามารถปรับปรุงความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ (Fujiwara et al., 2009) และ 3). สามารถสัมผัสกับผิวเซลล์ของลำไส้เล็กอย่างต่อเนื่องและถาวรในทางเดินอาหาร เพื่อช่วยส่งเสริมการย่อยได้ในลำไส้เล็ก และเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์ (Kritas and Morrison, 2005)

โปรไบโอติก สามารถประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มากกว่า 1 สายพันธุ์ที่ใช้ในการเสริมลงในอาหารโคนม ที่สามารถเสริมในรูปผงและเม็ด สามารถใช้เสริมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามต้องการของโคนม จุลินทรีย์ที่ใช้ใน โปรไบโอติก ได้แก่ *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* spp., *Streptococcus* spp., *Saccharomyces* spp. และ endo spore (*Bacillus* spp., *Clostridium* spp.; Grela and Semeniuk, 1999)

โปรไบโอติก สามารถเสริมลงได้ทั้งในอาหารลูกโค อาหารโคสาว อาหารแม่โคนมให้นมและอาหารโคนมแห้ง โดยที่วัตถุประสงค์ของการเสริมโปรไบโอติกลงในอาหารลูกโค เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารและกระเพาะของลูกโคเพื่อที่จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ช่วยลดอาการท้องเสีย และช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของลูกโค นอกจากนี้การเสริมโปรไบโอติกในอาหารแม่โคเพื่อช่วยเพิ่มการให้นมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารของแม่โค (Nocek and Kautz, 2006; Patel et al., 2015) โปรไบโอติกนั้นจะมีผลดีต่อกระบวนการย่อยในระบบทางเดินอาหารของโคนม เช่น ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใย ช่วยการปรับสมดุลกรดต่ำในกระเพาะหมัก ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Yoon and Stem, 1995) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้เล็ก เช่น *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* และ *Pediococcus* (Mountzourit et al., 2007) นอกจากนี้ โปรไบโอติกที่ใช้เสริมลงในอาหารโคนม ควรมีลักษณะที่ทนต่ออุณหภูมิและความชื้นในการอัดเม็ดในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ควรจะทนต่อความชื้นระหว่างการเก็บและควรจะทนต่อสารพิษจากเชื้อราและโลหะหนัก ในระยะเวลาของการทำงานในอาหารสัตว์และอาหารเสริมแร่ธาตุต้องมากกว่า 4 เดือน (Mizak et al., 2012) ปริมาณที่แนะนำของการเสริมโปรไบโอติก คือ 10^9 cfu/กิโลกรัมของอาหาร (Simon, 2005)

พรีไบโอติก คือ สารอาหารจำพวกโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ได้แก่ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharides; FOS) ทรานส์-กาแล็กโต-โอลิโกแซคคาไรด์ (trans-galacto-oligosaccharides; TOS) กลูโค-โอลิโกแซคคาไรด์ (gluco-oligosaccharides) กลีโค-โอลิโกแซคคาไรด์ (glyco-oligosaccharides) แล็กตูโลส (lactulose) แล็กทิทอล (lactitol) มอลโต-โอลิโกแซคคาไรด์ (malto-oligosaccharides) ไชโล-โอลิโกแซคคาไรด์ (xylo-oligosaccharides) สตาชิโอส (stachyose) และ แรฟฟิโรส (raffinose) (Monsan and Paul, 1995; Patterson and Burkholder, 2003) ที่สามารถเสริมลงในอาหารเพื่อช่วยกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโต ช่วยเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นโทษในระบบทางเดินอาหารโคนม (Gibson and Hutkins, 2017) ลักษณะของพรีไบโอติก ได้แก่ สารอาหารที่ไม่ย่อยในระบบทางเดินอาหารและดูดซึมอาหารของสัตว์ แต่มีกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้เล็กที่มีผลดีต่อสุขภาพโคนม และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ความร้อน ความดัน และความชื้นในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ (Wang, 2009) พรีไบโอติกนั้น จะมีผลดีต่ออัตราการเจริญเติบโต โดยการแข่งขันของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในการจับกับเนื้อเยื่อบนวิลไล (villi) ของลำไส้ ช่วยลดความเป็นกรดต่างในลำไส้และช่วยสมดุลสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดท้องเสียในโคนม (Grela et al., 2013) นอกจากนี้ จีระชัย (2561) รายงานว่า การเสริมโซเดียมบิวทิเรตในอาหารชั้นลูกโคก่อนหย่านม หรือ นมผง และ/หรือการใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่มีกรดบิวทิริก ไม่เกิน ร้อยละ 5 ในอาหารชั้นลูกโคก่อนหย่านม จะมีผลให้การพัฒนาของกระเพาะหมักเร็วและดีขึ้น และการพัฒนาของลำไส้เล็ก ทำให้การดูดซึมสารอาหารเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตเร็วขึ้น

ซิมไบโอติก คือ การเสริมร่วมกันของ โปรไบโอติกและพรีไบโอติกลงในอาหารโคนม เพื่อประโยชน์ต่อตัวสัตว์ โดยช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร ช่วยกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโตและช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของโคนม (Gibson and Roberfroid, 1995) ให้ดียิ่งขึ้น มีหลายงานวิจัยที่ศึกษากับลูกโคโดยลูกโคที่ได้รับการเสริม *Lactobacillus* spp, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*, *Synergistococcus thermophilus*, *Aspergillus oryzae* และ *Candida pinotopsi* ลงในอาหารลูกโคพบว่า ลูกโคมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และมีอาการท้องเสียที่ลดลง (Mokhber-Dezfouli et al., 2007) ลูกโคที่ได้รับการเสริมฟรุคโต-โอลิโกแซคคาไรด์มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น มีอาการท้องเสียที่ลดลงและมีภูมิต้านทานโรคเพิ่มขึ้น (Quigley et al., 2002) อย่างไรก็ตาม ลูกโคที่ได้รับการเสริมแมนแนน-โอลิโกแซคคาไรด์ (MOS) แมนแนน-โอลิโกแซคคาไรด์ร่วมกับ *Streptococcus faecium* หรือ แมนแนน-โอลิโกแซคคาไรด์ร่วมกับแบคทีเรีย และ เชื้อรา จะมีปริมาณการกินได้และภูมิต้านทานโรคที่สูงกว่าลูกโคที่ไม่ได้รับการเสริม (Heinrichs et al., 2003; Morrison et al., 2010; Roodposhti and Dabri, 2012) นอกจากนี้ ยังมีรายงานของ Xia et al. (2016) ว่า ลูกโคที่ได้รับการเสริมผลิตภัณฑ์ยีสต์ลงในอาหาร จะมีจำนวน *Butyrivibrio* เพิ่มขึ้น มีปริมาณบิวทิเรตมากกว่า และสัดส่วนของความสูงต่อความลึกของวิลไลในลำไส้เล็กสูงกว่าลูกโคที่ไม่ได้รับการเสริม อีกทั้งในงานทดลองของ Lascano et al. (2009) ที่ศึกษาในโคนม พบว่าโคสาวที่ได้รับการเสริมยีสต์มีชีวิตจะมีร้อยละของการย่อยได้ของวัตถุดิบสูงกว่า และมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้ง่ายมากกว่าโคสาวที่ไม่ได้รับการเสริม

ยังมีรายงานการทดลองกับแม่โคพบว่าแม่โคที่ได้รับการเสริมยีสต์มีชีวิตร่วมกับ *Enterococcus faecium* มีปริมาณน้ำนมที่เพิ่มขึ้น (Nocek and Kautz, 2006) แม่โคที่ได้รับการเสริม *Prevotella bryanti* มีปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น (Chiquette et al., 2008) แม่โคที่ได้รับการเสริม *Lactobacillus casei* และเดกแทรน (dextran; glucose polymer) มีปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น มีจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมลดลง มีการเกิดโรคเต้านมอักเสบลดลง และมีจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหารเพิ่มขึ้น (Yosuda et al., 2007) แม่โคที่เสริมยีสต์ร่วมกับ กลูโค-โอลิโกแซคคาไรด์มีผลให้เมแทบอลิซึมของไนโตรเจน (N-metabolism) สูงกว่าแม่โคที่ได้รับการเสริมยีสต์ หรือ เสริมกลูโค-โอลิโกแซคคาไรด์เพียงอย่างเดียว (Mwenya et al., 2005) แม่โคที่ได้รับการเสริมยีสต์ร่วมกับ *Enterococcus faecium* สามารถรักษาระดับความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักที่มีผลต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อ *Ruminococcus flavefaciens* ในสภาวะเป็นกรดในกระเพาะหมัก (acidosis; Chiquette et al., 2012)

Yutaka et al. (2017) รายงานว่าการเสริมยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*, 1×10^9 CFU/กิโลกรัม จำนวน 10 กรัม/วัน ลงในอาหารโคมนพันธุ์โฮลสโตว์ฟรีเซียนในช่วงกลางถึงปลายระยะให้นม พบว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลงโดยมี *Fibrobacter* เพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะที่ *Bacteroides* มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ Wanapat et al. (2011a; 2011b) พบว่าการใช้มันเส้นหมักด้วยยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารชั้นสามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายทั้งหมด กรดโปรปิโอนิก และลดสัดส่วนของกรดอะซิติก/กรดโปรปิโอนิกได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดโปรปิโอนิกก็จะมีส่วนช่วยเพิ่มสารตั้งต้นในการสังเคราะห์น้ำตาลแล็กโทสในน้ำนม ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำนมได้ และยังพบว่าในกระเพาะหมักมีแบคทีเรีย รา แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส แบคทีเรียที่ย่อยแป้ง และแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประชากรของโปรโตซัวมีจำนวนลดลง ซึ่งการลดลงของโปรโตซัวนอกจากจะช่วยเพิ่มจำนวนแบคทีเรียแล้ว ยังส่งผลต่อการลดลงของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน (methanogens) ด้วย และมีความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2016) ที่ทำการเสริมยีสต์ในโคมนพันธุ์โฮลสโตว์ที่มีภาวะกรดในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ Desnoyers et al. (2009) รายงานเพิ่มเติมว่าการเสริมยีสต์นอกจากสามารถช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมัก ยังมีแนวโน้มที่จะลดความเข้มข้นของกรดแล็กติกในกระเพาะหมักด้วย แต่แอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ในกระเพาะหมักไม่แตกต่างกัน (Li et al., 2016; Wanapat et al., 2011a) ในขณะที่ Wanapat et al. (2011b) พบว่าโคมนที่ได้รับมันเส้นหมักยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน มีค่าแอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมักลดลง

ยังมีงานวิจัยเพิ่มเติมของ วาสนา และคณะ (2556) รายงานว่า การเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* และ *Kodamea ohmeri* 10^9 เซลล์/วัน สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ เพิ่มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และเพิ่มปริมาณไขมันนม แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม สอดคล้องกับการรายงานของ Wanapat et al. (2011b) ในขณะที่ Wanapat et al. (2011a) รายงานว่าการใช้มันเส้นหมักยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนสามารถเพิ่มปริมาณไขมันนมและโปรตีนนม พร้อมทั้งการเพิ่มปริมาณน้ำนม นอกจากนี้ Yuan et al. (2015) รายงานว่าแม่โคในระยะเปลี่ยนผ่านที่ได้รับการเสริมผลิตภัณฑ์ยีสต์ จะมีระบบภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น และมีจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมลดลง เป็นผลให้ช่วยลดการเกิดเต้านมอักเสบในแม่โคนมหลังคลอดด้วย

11.3 อาหารเสริมไฟโตนิวเทรียนท์

ไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrients) หรือ ไฟโตเคมีคอล (photochemicals) หรือที่เรียกกันว่า สารพฤกษเคมี เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น และเป็นสารประกอบที่พบทั้งในผักและผลไม้ และพืชสมุนไพร โดยเป็นสารประกอบที่ทำให้ผักและผลไม้มีสี สีสัน รสชาติ และกลิ่นที่บ่งบอกเอกลักษณ์เฉพาะตัวของผักและผลไม้แต่ละชนิด (วรวรรณ และคณะ, 2554) Sakulpanich and Grissnapan (2008) กล่าวว่าสารไฟโตนิวเทรียนท์ในพืชสมุนไพรสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่อาจช่วยต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดได้ ได้แก่ เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการกำจัดสารพิษ ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย และช่วยด้านการอักเสบ (Sharma et al., 2011) โดยสารประกอบไฟโตนิวเทรียนท์ที่สำคัญและพบบ่อย เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) กลุ่มแทนนินส์ (tannins) และซาโปนิน (saponin) สารประกอบกำมะถัน (sulfur containing compound) เป็นต้น สารไฟโตนิวเทรียนท์ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทน (methane , CH_4) ที่ผลิตขึ้นจากกระบวนหมักในกระเพาะหมัก ซึ่งหากสามารถลดการผลิตแก๊สมีเทนได้นอกจากจะเพิ่มพลังงานที่สัตว์จะได้รับและนำไปสร้างผลผลิต พร้อมทั้งมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน พลังงานที่มีผลต่อการผลิตนม การหลั่งและความไวอินซูลิน (Oh et al., 2016) นอกจากนี้ยังเป็นการผลิตสัตว์ที่คำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อมได้ (อนุสรณ์, 2555) โดยสารแต่ละชนิดจะมีบทบาทหน้าที่แตกต่างกันไป ดังนี้

คอนเดนส์แทนนินส์ (condensed tannins: CT) พบได้ในพืชตระกูลถั่วในเขตร้อน ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์แก๊สมีเทน โดยจะมีทั้งผลยับยั้งโดยตรงต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน หรือมีผลทางอ้อมต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของโปรโตซัว และคอนเดนส์แทนนินส์สามารถพบได้ในชาเมื่อสัมผัสกับผนังลำไส้ จะรวมกับโปรตีนที่ผิวเนื้อเยื่อแล้วตกตะกอนเคลือบเนื้อเยื่อไว้ ทำให้ลดการระคายเคืองและการบีบตัวของลำไส้ นอกจากนี้แทนนินยังจับกับ

โปรตีนที่ผนังเซลล์ของเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส หรือทำให้เชื้อโรคเหล่านั้นเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ (Jean, 1995) ทั้งนี้เนื่องจากคอนเดนส์แทนนินมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ และมีสายพันธะของไฮโดรเจนมาก ดังนั้นจึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ และเข้ายับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเซลล์ การวิจัยในสัตว์ทดลองโดยใช้พืชโดยตรงหรือสารสกัดคอนเดนส์แทนนินส์จากพืช เช่น *Lotus corniculatus*, *Lotus pedunculatus* และ *Acacia mearnsii* ระดับของคอนเดนส์แทนนินส์ที่เหมาะสมต่อการลดแก๊สมีเทนในการศึกษาแบบ *in vitro* อยู่ในช่วง 10 - 20 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้สารคอนเดนส์แทนนินส์ในอาหารสัตว์โดย Reed (1995) รายงานว่า ถ้ามีคอนเดนส์แทนนินส์เป็นองค์ประกอบในอาหารเกินร้อยละ 6 ของวัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้และการย่อยได้จะลดลง แต่ถ้าระดับของคอนเดนส์แทนนินส์อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2 - 4 ของวัตถุแห้ง จะช่วยในการป้องกันการถุกย่อยของโปรตีนในกระเพาะหมัก นั่นคือ เป็นการเพิ่มโปรตีนไหลผ่านโดยพบว่าคอนเดนส์แทนนินส์และโปรตีนจะจับกันอยู่ในรูปของแทนนิน-โปรตีน คอมเพล็กซ์ (tannin-protein complexes; TPC) ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สถานะเป็นต่าง แทนนิน-โปรตีน คอมเพล็กซ์จะคงสภาพที่ความเป็นกรดต่าง 3.5-7.0 และจะเกิดการแตกตัวเมื่อระดับความเป็นกรดต่าง <3.0 และ >8.0 (Jones and Mangan, 1977) นอกจากนี้ยังพบว่าคอนเดนส์แทนนินส์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของไนโตรเจน (N-recycling) สู่กระเพาะหมักและเพิ่มอัตราการหลั่งของน้ำลาย และช่วยเพิ่มปริมาณของการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอีกด้วย (Reed, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anantasook et al. (2013) ที่ได้ทำการเสริมสารไฟโตนิวเทรียนท์กลุ่มคอนเดนส์แทนนินส์จากฝักก้ามปูที่ระดับ 60 กรัม/กิโลกรัม พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ จาก 26.9 เป็น 31.9 กรัม/กิโลกรัม และทำให้ประชากรจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทนลดลงจาก 4.4×10^6 เหลือเพียง 1.4×10^6 เซลล์ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการลดการผลิตแก๊สมีเทนในโครีดนมได้ (Anantasook et al., 2015) นอกจากนี้ แหล่งของคอนเดนส์แทนนินส์จากเปลือกกล้วย ซึ่งพบว่ามีปริมาณมากถึง 110 กรัม/กิโลกรัม เมื่อนำมาแปรรูปเป็นอาหารเสริมอัดเม็ดแล้วเสริมในโครีดนม พบว่าสามารถลดประชากรโปรโตซัว และส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ตลอดทั้งปรับปรุงคุณภาพน้ำนมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (Kang et al., 2016) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของย่อยได้ของสารสกัดชาเขียวในระดับร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 เสริมในกากถั่วเหลืองในหลอดทดลองของ นาริรัตน์ (2557) ที่รายงานว่ามีผลดีต่อระดับไนโตรเจนที่กักเก็บในร่างกายเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนลดลงในกระเพาะหมัก และไม่มีผลเสียต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Barry and Manley, 1984) Buphan et al. (2015) ได้ศึกษาการใช้สารสกัดชาเขียวที่ประกอบด้วย แทนนิน และ สารคาเทชิน ปริมาณร้อยละ 5 ในสูตรอาหารโคนมระยะเปลี่ยนผ่านที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลือง พบว่า สารสกัดจากชาเขียวมีผลต่อการเพิ่มโปรตีนนมในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังคลอดของแม่โคนม

แซฟโฟนินส์ (Saponins: SP) เป็นสารกลุ่มไกลโคไซด์ที่พบในพืชหลายชนิดและมีผลโดยตรงต่อจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แก๊สมีเทนเช่นเดียวกับคอนเดนส์แทนนินส์ นอกจากนี้ยังสามารถลดการย่อยสลายโปรตีน และเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในขณะเดียวกันยังสามารถลดไฮโดรเจนที่จะใช้ในการสังเคราะห์แก๊สมีเทนได้ด้วย อย่างไรก็ตามกลไกการทำงานของแซฟโฟนินส์ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการเจริญเติบโตของโปรโตซัว การเสริมเปลือกมังคุดซึ่งมีแซฟโฟนินส์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงพบว่า สามารถลดประชากรของโปรโตซัวได้เช่นเดียวกัน สารที่ได้จากพืชวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้ทางอุตสาหกรรมการเกษตร โดย Pongchompou et al. (2009) กล่าวว่าเปลือกมังคุดเป็นผลพลอยได้จากการอุตสาหกรรมผลไม้ และมีส่วนประกอบของคอนเดนส์แทนนินส์และแซฟโฟนินส์ในปริมาณที่สูง ในขณะที่ Norapok et al. (2012) พบว่าการเสริมเปลือกมังคุดอัดเม็ดทำให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมเพิ่มขึ้น ตลอดทั้งยังทำให้ปริมาณการผลิตแก๊สมีเทนลดลง โดยสอดคล้องกับ Polyorach et al. (2015) พบว่าการเสริมเปลือกมังคุดบดในระดับ 300 กรัม/ตัว/วัน กับอาหารข้นที่มีมันเส้นหมักยีสต์ 200 กรัม/กิโลกรัม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก เพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม

น้ำมันหอมระเหยและกรดไขมัน (essential oils และ fatty acids) น้ำมันหอมระเหยมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ โดยจะมีลักษณะเป็นการยับยั้งแบบจำเพาะเจาะจงต่อกลุ่มจุลินทรีย์ ทั้งนี้สัดส่วนของ ไฮโดรคาร์บอนส์ ออกซิเจน และ

ซัลเฟต ที่อยู่ในโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันจะเป็นตัวสำคัญต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น ไฮโดรคาร์บอนส์ (p-cymene, terpinene และ R(+)-limonene) มีผลต่อการยับยั้งที่แตกต่างกันและไม่รุนแรงมากนัก ในขณะที่กลุ่มออกซิเจน (เช่น phenols และ S (sulphides)) จะมีผลต่อจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก สำหรับกลไกการยับยั้งคือ จะส่งผลต่อการยับยั้งการขนส่งสารเข้า-ออกเซลล์ และจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยจะทำหน้าที่เฉพาะเจาะจงต่อแบคทีเรียแกรมบวกเท่านั้น ส่วนแบคทีเรียแกรมลบจะคงทนมากกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแบคทีเรียแกรมลบจะมีผนังเซลล์ส่วนนอก (outer membrane) ที่หนากว่าตลอดจนมีกลไกในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก การเสริมน้ำมันลินซีดที่ระดับร้อยละ 5 ของอาหาร ในโคโรดนมพบว่าสามารถลดปริมาณแก๊สมีเทนต่อวันได้ร้อยละ 55.8 รวมทั้งลดจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทนร้อยละ 13 - 73 ทั้งนี้ขึ้นกับระดับและชนิดของอาหารที่เสริม การเสริมน้ำมันหอมระเหยและกรดไขมันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดแก๊สมีเทนควรอยู่ที่ระดับร้อยละ 5 และ 6 ตามลำดับ และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบได้ด้วยในห้องปฏิบัติการ (Mullen et al., 2014)

การใช้สารประกอบออร์กาโนซัลเฟอร์ (organosulfur) และสารประกอบอื่น ๆ ในน้ำมันจากพืช เช่น น้ำมันจากกระเทียม ซึ่งมีสารประกอบหลัก คือ ไดอัลลิลซัลไฟด์ (diallyl sulphide) ไดอัลลิลไดซัลไฟด์ (diallyl disulphide) อัลลิลเมอร์แคปแทน (allyl mercaptan) และอัลลิซิน (allicin) จากงานวิจัยของ Busquet et al. (2005) ได้สังเกตว่าน้ำมันกระเทียม และไดอัลลิลไดซัลไฟด์ (300 มิลลิกรัม/ลิตร ของของเหลวในกระเพาะหมัก) สามารถลดการผลิตแก๊สมีเทนได้มากถึงร้อยละ 74 และ 69 ตามลำดับ โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ได้แนะนำว่า สารทั้งสองชนิดจะมีผลในการยับยั้งการผลิตแก๊สมีเทนโดยการยับยั้งโดยตรงต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ นอกจากนี้ น้ำมันกระเทียมยังมีผลต่อทีเซลล์ (T cell) ที่สามารถกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันของแม่โคนมที่ถูกกระตุ้นด้วยลิโปลิแซคคาไรด์ (lipopolysaccharides; Oh et al., 2017a,b)

ในสภาวะที่แม่โคนมได้รับอาหารชั้นในปริมาณที่สูงจะมีผลลดการเกิดกระเพาะหมักเป็นกรด การเสริมไฟโตนิวเทรียนท์ และ/หรือ ยีสต์จะสามารถลดสภาวะกระเพาะหมักเป็นกรดได้ โดยการให้แม่โคนมเพิ่มเวลาในการเคี้ยวเอื้องเป็นผลให้มีการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้น และปรับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักให้มีค่าสูงขึ้น (Kroger et al., 2017) พร้อมทั้งลดค่าไบโอจีนิก เอมีนส์ (biogenic amines) และลิโปลิแซคคาไรด์ในกระเพาะหมักด้วย (Humer et al., 2018) และลดจำนวนแบคทีเรียแกรมลบ แต่เพิ่มจำนวนแบคทีเรียแกรมบวกในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ยังมีรายงานเพิ่มเติมว่าการเสริมยีสต์ยังมีผลเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย (*Ruminococcus* spp.) ในขณะที่การเสริมไฟโตนิวเทรียนท์จะลดจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยแป้งและน้ำตาล รวมทั้ง *Bacteroides* spp., *Shuttleworthia* spp. และ *Syntrophococcus* spp. ด้วย พร้อมทั้งมีการเพิ่มร้อยละของบิวทิเรตในกระเพาะหมักให้สูงขึ้น (Neubauer et al., 2018) นอกจากนี้การเสริมไฟโตนิวเทรียนท์ ไม่มีผลต่อการให้นมแต่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของแม่โคนมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โมเนซินในอาหารโคนม (Oh et al., 2018)

11.4 อาหารเสริมเพื่อป้องกันการเกิดสารพิษจากเชื้อรา

การป้องกันการเกิดสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxin binders) การจัดการด้านสุขภาพที่ดีของโคนมเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำนมในปริมาณที่สูงขึ้นซึ่งอยู่กับหลายปัจจัย อาหารนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งอาหารที่โคได้รับก็มีหลากหลายทั้งนี้อาจจะมีการปนเปื้อนจากสารพิษที่เกิดจากเชื้อราซึ่งถ้าสัตว์ได้รับปริมาณมากจะส่งผลต่อสุขภาพของโคนมส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต (Diekmann and Green, 1992) สารพิษจากเชื้อราที่สำคัญ คืออะฟลาท็อกซิน (aflatoxin) ซีราลีโนน (zearalenone) ดีออกซินิวาลีนอล (deoxynivalenol) ออกราท็อกซิน (ochratoxin) และฟูโมนิซิน (fumonisin)

อะฟลาท็อกซินสร้างจากเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทนต่อความเป็นพิษของอะฟลาท็อกซิน (aflatoxicosis) ได้ ถ้าโคได้รับจะลดการเจริญเติบโต ลดการกินอาหาร และลดความสมบูรณ์พันธุ์ (Garrett et al., 1968; Guthrie 1979) หากได้รับในปริมาณที่มากจะส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยลดการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกัน (cell mediated immune) ลดการเกิดกระบวนการที่เม็ดเลือดขาวทำลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอม (phagocytosis) และลดการ

ทำงานของคอมพลีเมนต์ (complement) และอินเตอร์เฟียร์รอน (interferon) (Diekman and Green, 1992; Sharma, 1993) การตรวจสอบการปนเปื้อนของอะฟลาท็อกซินในน้ำนมที่เกิดจากการตกค้างในอาหาร ถ้าโคนมได้รับเข้าไปจะถูกเปลี่ยนเป็นสารพิษ ทำให้ร่างกายอ่อนแอ กดภูมิคุ้มกันของร่างกาย และอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ (WHO, 2001) อะฟลาท็อกซินที่พบในแม่โคโดยทั่วไปจะไม่แสดงอาการ แต่ถ้าได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้แม่โคเบื่ออาหาร การกินได้น้อยลง การให้ผลผลิตลดลง (Patterson and Anderson, 1982; Pier, 1992) สัดส่วนของอะฟลาท็อกซินชนิด บี1 ในอาหารชั้นที่โคนมกินเข้าไปต่ออะฟลาท็อกซินชนิดเอ็ม 1 (AFM1) ที่ขับออกทางน้ำนมมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 100 ต่อ 1 (เบญจมาศ, 2544) เป็นพิษต่อร่างกายของคนและสัตว์ มาตรฐานที่กำหนดของประเทศไทย อะฟลาท็อกซินเอ็ม 1 ในน้ำนมไม่ควรเกิน 0.05 ไมโครกรัม/ลิตร

สารพิษเชื้อราฟิวซาไรโนน เป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* มักจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา คือออกซินิวาลีนอล (deoxynivalenol; vomitoxin; DON) เป็นสารพิษที่สร้างขึ้นโดยเชื้อรา *Fusarium* เช่นเดียวกัน โดยจะส่งผลกระทบต่อสัตว์คือ ลดปริมาณอาหารที่กิน ผอมแห้ง น้ำหนักลดลง อาจพบอาการอื่น ๆ ได้แก่ ท้องเสีย ท้องอืด คือออกซินิวาลีนอลจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิต (Trenholm et al., 1985; Whitlow, et al., 1994; Gotlieb, 1997; Seglar, 1997) ฟิวซาไรโนนมีฤทธิ์คล้ายเอสโตรเจน (estrogenic) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการแท้ง หรืออาจจะพบอาการอื่น ๆ เช่น ช่องคลอดอักเสบ ประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ลดลง เป็นต้น

ปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนน้อยกว่า 20 พีพีบี ซึ่งผ่านมาตรฐานขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ในขณะที่ร้อยละ 100 มีอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนน้อยกว่า 100 พีพีบี ระดับต่ำกว่าค่ากำหนดตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ของไทย

11.5 สารเสริมในพืชหมัก

การใช้สารเสริมในพืชหมัก (silage additives) เพื่อเพิ่มคุณภาพหรือรักษาพืชหมักให้อยู่ในสภาพหมักดอง โดยการทำให้พืชหมักเกิดกรดแล็กติกเร็วและมีปริมาณมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับปริมาณน้ำตาลและแบคทีเรียกรดแล็กติกที่เพียงพอ สารเสริมในพืชหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ตามการทำงานหรือปฏิกิริยาในกระบวนการหมัก (Kung et al., 2003) ดังนี้ 1). สารเสริมที่กระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation stimulants) สนับสนุนการทำงานของแบคทีเรียที่ต้องการในกระบวนการหมัก 2). สารเสริมที่ยับยั้งกระบวนการหมัก (fermentation inhibitors) การทำให้เกิดความเป็นกรด หรือการทำลายเชื้อที่เกิดในกระบวนการหมัก การยับยั้งการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ 3). สารเสริมที่ยับยั้งการเน่าเสียจากอากาศ (aerobic spoilage inhibitors) เน้นการปรับปรุงให้พืชหมักมีความคงทนต่อสภาพมีอากาศ (aerobic stability) 4). การเติมเชื้อแบคทีเรีย (inoculants) และ 5). สารเสริมที่ให้โภชนาการ (nutrients) การเติมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของพืชหมัก และ สารดูดซับ (absorbents) ใช้เพื่อป้องกันการสูญเสียจากของเหลวที่ไหลออกจากพืช โดยเพิ่มปริมาณวัตถุแห้ง หรือเติมสารดูดซับความชื้น

11.5.1 สารเสริมที่กระตุ้นกระบวนการหมัก

สารเสริมที่กระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation stimulants) ได้แก่

1.1). น้ำตาล (sugars) ได้แก่ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ หรือ น้ำตาลในพืชที่จะทำให้กระบวนการหมักประสบความสำเร็จ ควรจะมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 2.5 ในพืชสด (Kaiser, 2003) การเติมสารเสริมที่เป็นน้ำตาลจะช่วยปรับปรุงคุณภาพการหมัก โดยเฉพาะพืชเขตร้อนที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ เช่น หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ารูซี่ และถั่วท่าพระสโตไล โดยจะทำให้พืชหมักที่ได้มีปริมาณกรดแล็กติกเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (Shao et al., 2004)

1.2). กากน้ำตาล (molasses) เป็นสารเสริมที่ให้น้ำตาลและนิยมใช้ในกระบวนการหมักพืชมานาน โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสประมาณร้อยละ 83 - 85 ของวัตถุแห้ง และมีปริมาณวัตถุแห้งร้อยละ 70 - 75 ปริมาณที่ใช้ 20 - 40 กิโลกรัมต่อพืชสด 1 ตัน หรือ 50 - 60 กิโลกรัมต่อพืชสด 1 ตัน ในกรณีที่พืชที่นำมาหมักมีปริมาณ

น้ำตาลต่ำมาก ซึ่งอัตราการใช้อาจจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่มีในพืชก่อนหมัก มีรายงานว่า กากน้ำตาล 16.3 กิโลกรัมต่อตันพืชสด สามารถเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ในพืชได้ร้อยละ 1 ต่อหน่วย การเติมกากน้ำตาลสามารถปรับปรุงกระบวนการหมัก โดยดูได้จากปริมาณกรดแล็กติกที่เพิ่มขึ้น ลดปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน และค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลให้เพิ่มปริมาณการกินได้ และการผลิตในสัตว์ นอกจากนั้นการเติมกากน้ำตาลยังช่วยในการย่อยได้ของโภชนะในพืชหมัก แต่การเติมกากน้ำตาลจะทำให้เกิดการสูญเสียกากน้ำตาลไปกับของเหลวในถังหมักประมาณร้อยละ 20 ของกากน้ำตาลที่เติมไป ดังนั้นการเติมกากน้ำตาลในกระบวนการหมัก จึงควรลดความชื้นในพืชสดก่อนหมัก โดยการผึ่งแดดหรือทำให้เหี่ยวก่อน นอกจากนั้น การเติมในปริมาณมากและความหนืดของกากน้ำตาลอาจทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้เมื่อเทียบกับการเสริมชนิดอื่น ดังนั้นจึงมีการละลายกากน้ำตาลกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 หรือมากกว่านั้น เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน เช่น นำไปสเปรย์ในพืชที่สับ (Li et al., 2014; Bureenok et al., 2012) เป็นต้น

1.3). เอนไซม์ (enzymes) การใช้เอนไซม์ในกระบวนการหมักเพื่อจะย่อยหรือทำให้คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างในพืชแตกตัว และปลดปล่อยน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่สามารถใช้ได้โดยแบคทีเรียกรดแล็กติกออกมา ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพการหมักได้ เอนไซม์ที่ผลิตเพื่อการค้าที่ใช้เป็นสารเสริมส่วนมากจะเป็นเอนไซม์ที่ทำงานร่วมกัน หรือใช้เสริมร่วมกับการเติมเชื้อแบคทีเรีย จากการรวบรวมเอกสาร พบว่าการใช้เอนไซม์เป็นสารเสริมมีผลต่อพืชหมักดังนี้ 1). ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลางลดลง (Destat et al., 2016; Ebrahimi et al., 2014) 2). ปรับปรุงคุณภาพการหมัก ลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนียในโตรเจน และเพิ่มอัตราส่วนของกรดแล็กติกต่อกรดอะซิติก 3). ไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียวัตถุแห้งระหว่างกระบวนการหมัก 4). ความคงทนต่อสภาพอากาศไม่เปลี่ยนแปลง และ 5). ไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ซึ่งการลดลงของปริมาณเยื่อใยในพืชหมักโดยเอนไซม์น่าจะส่งผลทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น (Khota et al., 2016; Bureenok et al., 2018) แต่เยื่อใยที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์อาจจะถูกย่อยได้โดยสัตว์ตามปกติอยู่แล้ว ตัวอย่างการศึกษาผลของเอนไซม์ในพืชหมักต่อผลผลิตสัตว์ โดยให้พืชหมักเป็นหญ้าผสมถั่วร้อยละ 50 ในอาหารผสมครบส่วน และยังให้อาหารข้นอีกร้อยละ 50 พบว่า การเติมเอนไซม์ไม่มีผลต่อคุณภาพการหมัก แต่เพิ่มปริมาณการกินได้และผลผลิตน้ำนม อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมต่อหน่วยลดลง (Stokes, 1992) การใช้เอนไซม์ร่วมกับการเติมเชื้อแบคทีเรียพบว่ามีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพการหมัก (Nadeau et al., 2000) Li et al., (2017) รายงานว่า การใช้เอนไซม์ *Acremonium cellulase* ร่วมกับแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* ช่วยปรับปรุงคุณภาพการหมักและการย่อยได้ในกระเพาะหมักของวัวสะไคโลหมัก

ปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองของเอนไซม์ในพืชหมัก ได้แก่ 1). ชนิดของเอนไซม์และปริมาณที่ใช้ ประสิทธิภาพของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้และการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์เอง เอนไซม์เซลลูเลส จะมีผลมากกว่า เอนไซม์เฮไมเซลลูเลส อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการหมัก เอนไซม์เฮไมเซลลูเลสที่มีในพืชจะย่อยเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 40 ของทั้งหมด โดยไม่มีปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่เติมเข้าไป 2). แบคทีเรียกรดแล็กติกบางชนิดไม่สามารถใช้น้ำตาลเพนโทสที่ปลดปล่อยโดยเอนไซม์เฮไมเซลลูเลสได้ ดังนั้นการเสริมเอนไซม์เฮไมเซลลูเลสร่วมกับแบคทีเรียกรดแล็กติก (*Enterococcus*, *Pediococcus*) จะทำให้สามารถย่อยน้ำตาลเหล่านี้ได้ 3). ชนิดของพืชอาหารสัตว์ จากการศึกษาพบว่า การใช้เอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เฮไมเซลลูเลสมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพการหมัก และลดปริมาณเยื่อใยทั้งเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลางในพืชอาหารน้อยกว่าพืชอายุมาก หรือในหญ้ามากกว่าในถั่วอาหารสัตว์ เช่น ถั่วลูเซียน 4). อุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปในพืชหมักแบบม้วนห่อด้วยพลาสติก (baled silage) อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลงได้เช่นกัน การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในช่วง 20-50°C 5). ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์เซลลูเลส คือ 4.5 ซึ่งเป็นข้อด้อย เนื่องจากต้องรอกกระบวนการหมักให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำลง จึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์มีความผันแปรตามแหล่งที่มาของเอนไซม์เซลลูเลสด้วย ส่วนเอนไซม์อะไมเลส (amylases) สามารถเกิดปฏิกิริยาที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6 ได้ 6). ปริมาณของวัตถุแห้งของพืช การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์จะลดลงเมื่อค่าวัตถุแห้งของพืชเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยสลาย

ส่วนของผนังเซลล์ในพืช ทำให้เพิ่มการสูญเสียกับน้ำที่ไหลออกมา ดังนั้นจึงไม่ควรใช้เอนไซม์ในพืชที่มีวัตถุแห้งต่ำ และ 7). เวลาเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์เฮมิเซลลูเลส สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ตลอดช่วงการหมัก อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการหมัก จึงต้องคำนึงถึงด้วย ในอดีตพบว่าการใช้เอนไซม์เป็นสารเสริมในพืชหมักไม่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพการหมักมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากอัตราที่ใช้น้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ให้รวดเร็วและเพียงพอต่อกระบวนการหมักได้ ปัจจุบันการพัฒนาทางเทคโนโลยีอาจจะช่วยปรับปรุงคุณภาพ และลดราคาของเอนไซม์ลง ซึ่งจะทำให้สามารถใช้เอนไซม์ในอัตราที่สูงขึ้นได้

11.5.2 สารเสริมที่ยับยั้งกระบวนการหมัก

กรดและกรดอินทรีย์ การเติมกรดในกระบวนการหมักโดยตรง จะทำให้พืชหมักมีความเป็นกรดทันที เป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในกระบวนการหมัก 1). กรดฟอร์มิก (formic acid) เป็นกรดที่นิยมใช้มากในพืชหมัก โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 85 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ใช้ในอัตราส่วน 2 - 6 ลิตร ต่อตันพืชสด (Desta et al., 2016) 2). กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เป็นกรดแก่กว่ากรดฟอร์มิก แต่มีราคาถูกกว่า การใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 45 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ให้ผลเท่ากับการใช้กรดฟอร์มิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 85 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) มีคุณสมบัติการระเหยน้อยกว่ากรดฟอร์มิก แต่มีฤทธิ์กัดกร่อนมากกว่า การให้พืชหมักที่เสริมด้วยกรดซัลฟูริกอาจจะทำให้สัตว์ได้รับปริมาณซัลเฟอร์มาก ซึ่งจะลดการใช้ประโยชน์ได้ของทองแดง ดังนั้นในการใช้จึงควรปรับปริมาณทองแดงให้เหมาะสมด้วย 3). กรดโพรปิโอนิกเป็นกรดอ่อนกว่ากรดฟอร์มิก มีราคาแพงกว่ากรดฟอร์มิก แต่มีผลต่อเชื้อคลอสตริเดียม *Bacillus* spp. และโมลต์ นอกจากนั้นยังยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ทำให้การลดการสูญเสียในสภาพมีอากาศของพืชหมัก 4). เกลือของกรดฟอร์มิก โดยทั่วไปนิยมใช้แคลเซียมฟอร์มเมท (calcium formate) และแอมโมเนียมเตตราฟอร์มเมท (ammonium tetraformate) มีความเป็นกรดน้อยกว่ากรดอิสระ แต่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของคลอสตริเดียม และมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่า ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่า นิยมใช้ในแถบยุโรป และ 5). เกลือของกรดอื่น ๆ เช่น เกลือโพธิโอเนท ใช้ในการปรับปรุงการทนต่อสภาพมีอากาศ เป็นต้น

11.5.3 สารเสริมที่ยับยั้งการเน่าเสียจากอากาศ

สารเสริมที่ยับยั้งการเน่าเสียจากอากาศ (aerobic spoilage inhibitors) ได้แก่

1). สารเคมีที่ยับยั้งกระบวนการหมัก สารเคมีในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ซึ่งจะทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักทั้งหมด เช่น ฟอร์มาลิน (ร้อยละ 35 ฟอร์มัลดีไฮด์) ฟอร์มัลดีไฮด์นิยมใช้ในแถบยุโรป แต่ปัจจุบันมีการห้ามใช้ในบางประเทศ ส่วนใหญ่นิยมใช้ร่วมกับกรดซัลฟูริกและกรดฟอร์มิก (Chase, 1992) นอกจากจะยับยั้งจุลินทรีย์แล้ว ฟอร์มัลดีไฮด์ยังรวมตัวกับโปรตีนในพืชหมัก ลดการสูญเสียโปรตีนในกระบวนการหมักและในกระเพาะหมัก (Salawu et al., 1999) Guo et al., (2007) กล่าวว่าเมื่อนำไปเลี้ยงโคกับแกะ ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับสัตว์ และต้องใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณ 15 กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนในพืชหมักจึงจะเห็นผล ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็ง จึงต้องใช้อย่างระมัดระวัง

2). การยับยั้งการเน่าเสียจากอากาศ การสูญเสียจากสภาพมีอากาศของพืชหมัก เกิดได้ง่ายในสภาพอากาศเขตร้อน เช่น ประเทศไทย ดังนั้นการใช้สารเสริมบางครั้งจึงเพื่อปรับปรุงการทนต่อสภาพมีอากาศของพืชหมัก เมื่อเปิดถังหมักหรือนำไปเลี้ยงสัตว์ เพื่อลดการสูญเสียขณะนำไปเลี้ยงสัตว์

3). กรดโพรปิโอนิก เป็นกรดอ่อนที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ทำให้ปรับปรุงการทนต่อสภาพมีอากาศของพืชหมัก แต่ต้องใช้ในอัตราสูง ซึ่งกรดชนิดนี้มีราคาแพง มีฤทธิ์กัดกร่อน จึงต้องใช้อย่างระมัดระวัง นอกจากนั้นการใช้กรดโพรปิโอนิกร่วมกับกรดอะซิติกมีผลทำให้พืชหมักมีความทนต่อสภาพมีอากาศ และมีราคาถูกลง นอกจากนั้นสารอื่นๆ ในกลุ่มซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ มีผลต่อการควบคุมการเน่าเสียจากอากาศ (Chen et al., 2014) การเติมเชื้อ (inoculants) การเติมเชื้อแบคทีเรียกรดแล็กติกในพืชหมัก มีผลทำให้พืชหมักมีความต้านทานต่อสภาพมีอากาศได้ไม่ดี โดยในพืชหมักคุณภาพดี มีปริมาณกรดแล็กติกสูง แต่มีปริมาณ

กรดไขมันที่ระเหยได้ต่ำ มีแนวโน้มจะทำให้พืชไม่มีความคงทนต่อสภาพมือออกซิเจนหรืออากาศ มีรายงานว่า กรดอะซิติก ช่วยให้พืชหมักมีความคงทนต่อสภาพมืออากาศในถังหมักได้ดี ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงการเติมเชื้อแบคทีเรียกรดแล็กติกชนิด Heterofermentative ต่อความต้านทานสภาพอากาศ เช่น *Lactobacillus buchneri* ซึ่งพบว่า มีผลปรับปรุงคุณภาพพืชหมักให้ทนต่อสภาพมืออากาศได้ดี มีการสูญเสียวัตถุดิบที่น้อย แต่ปริมาณกรดอะซิติกที่สูง (ร้อยละ 5 ของวัตถุดิบ) อาจจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ในสัตว์ลดลง (Driehuis et al., 1999; Taylor et al., 2002; Kung et al., 2003; Daniel et al., 2013)

4). การเติมเชื้อแบคทีเรีย (inoculants) เพื่อให้จำนวนแบคทีเรียกรดแล็กติกกลุ่ม Homofermentative มีปริมาณเพียงพอที่จะผลิตกรดแล็กติก โดยมีเป้าหมายคือ เพิ่มจำนวนแบคทีเรียกรดแล็กติกในกระบวนการหมัก เพื่อให้มีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียที่ติดมากับใบพืช (epiphytic microbial) และสามารถแข่งขันในการใช้น้ำตาลในการผลิตกรดแล็กติกให้มากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น การใช้แบคทีเรียในพืชหมักมีการใช้ทั้งแบบเชื้อเดี่ยวและเชื้อผสมเป็นสารเสริม เนื่องจากแบคทีเรียแต่ละชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น *Pediococcus* จะสามารถเจริญได้รวดเร็ว และมีจำนวนมากในช่วงแรกของกระบวนการหมัก นอกจากนั้นยังมีการใช้แบคทีเรียกรดแล็กติกร่วมกับแบคทีเรียกรดโปรปิโอนิก เพื่อช่วยในการยับยั้งการสูญเสียพืชหมักในสภาพมืออากาศ (Pholsen et al., 2016; Khota et al., 2016)

ผลของการใช้เชื้อแบคทีเรียในพืชหมักมีความผันแปร แต่ส่วนใหญ่จะให้ผลที่ดีมีประโยชน์จากการรวบรวมเอกสาร พบว่าการเติมเชื้อแบคทีเรียเป็นสารเสริมมีผลต่อพืชหมักดังนี้ 1). การเติมเชื้อแบคทีเรีย สามารถปรับปรุงคุณภาพการหมัก โดยให้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ ปริมาณกรดแล็กติกที่สูงขึ้น มีอัตราส่วนของกรดแล็กติกต่อกรดอะซิติกที่สูง และมีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนที่ต่ำกว่า 2). สามารถลดปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบ 3). การเติมเชื้อแบคทีเรียกรดแล็กติก กลุ่ม Homofermentative ไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียในสภาพมืออากาศได้ 4). มีผลดีต่อปริมาณการกินได้และการย่อยได้เพียงร้อยละ 30 ของการรวบรวมเอกสาร เพิ่มน้ำหนักตัวและผลผลิตน้ำนมร้อยละ 50 และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารร้อยละ 40 ของการรวบรวมเอกสาร

การเติมเชื้อแบคทีเรียกรดแล็กติก เชื้อส่วนมากจะอยู่ในรูปผงแห้ง และนำมาผสมกับน้ำก่อนนำไปใช้ ซึ่งจากการศึกษาของ Cai (2001) และ Cao et al. (2010) พบว่า การบ่มเชื้อผงแห้งในน้ำอุ่นที่มีสารอาหารสำหรับแบคทีเรีย เป็นเวลา 12 - 16 ชม. จะช่วยในการเก็บรักษาและลดการแตกตัวของโปรตีน นอกจากนั้นพบว่ามีการใช้เชื้อแบคทีเรียผสมกับสารเสริมชนิดอื่น เช่น การผสมกับแหล่งที่เป็นน้ำตาลที่ละลายได้ง่าย เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อ การผสมกับเอนไซม์เพื่อปลดปล่อยน้ำตาลจากการแตกตัวของเยื่อใยในพืชอาหารสัตว์ และการนำไปผสมกับสารเสริมที่ปรับปรุงการคงทนต่อสภาพมืออากาศของพืชหมัก จากการศึกษาการเติมแบคทีเรียกรดแล็กติกจากน้ำพืชหมัก (fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria, FJLB) ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกรดแล็กติกในพืชก่อนหมักและนำไปเติมในขั้นตอนการทำพืชหมัก พบว่ามีผลการปรับปรุงคุณภาพการหมัก โดยการลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเพิ่มปริมาณกรดแล็กติก เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้สารเสริม และจากการศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าเมื่อเสริมหญ้าเนเปียร์หมักด้วยน้ำพืชหมัก พืชหมักที่ได้มีปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรดลดลง ซึ่งผลของการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการนี้อาจจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ในกระเพาะหมัก มีรายงานว่า การเติมน้ำพืชหมักมีผลทำให้เพิ่มปริมาณการย่อยได้ของโปรตีนในหญ้าซูซีหมัก การเตรียมน้ำพืชหมักเหมาะสำหรับเกษตรกร เนื่องจากมีวิธีการที่ง่าย และสะดวกต่อการนำไปใช้ การศึกษาการคัดเลือกเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตพืชหมักในประเทศไทย เช่น การเติมเชื้อ *Lactobacillus casei* TH14 ในหญ้าเนเปียร์และกินนีพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพการหมักพืชหมักเหล่านี้ได้ และได้มีการผลิตเพื่อการค้าแล้ว (Bureenok, 2006; Bureenok et al., 2011; Bureenok et al., 2012)

11.5.4 สารเสริมที่ให้โภชนาการ

การเติมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของพืชหมัก และ สารดูดซับ (absorbents) ได้แก่ การเติมธัญพืชต่าง ๆ เช่น มันสำปะหลัง บด กากชาเขียว รำละเอียด และข้าวโพด ในอัตราร้อยละ 5 - 10 โดยน้ำหนักพืชหมัก (Bureenok et al., 2006; Kondo et al., 2004) และข้าวโพดบด (Yang et al., 2004) จะช่วยลดความชื้น และเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียกรดแล็กติกในการสร้างกรดแล็กติก

และเพิ่มความน่ากินของพืชหมักด้วย การเติมมันสำปะหลังบดที่ระดับร้อยละ 5 มีผลทำให้หญ้าเนเปียร์หมักมีค่าความเป็นกรด-ด่าง กรดบิวทีริก และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารเสริม และมีค่าไม่แตกต่างจากสารเสริมแบคทีเรียกรดแล็กติกและกากน้ำตาล (Bureenok et al., 2012) นอกจากนี้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น กากสับปะรด เป็นต้น สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ แต่การใช้ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากไม่สะดวกในการผสมกับพืชสับในกระบวนการหมัก และต้องระวังเรื่องการสูญเสียของเหลวที่ไหลออกจากถังหมัก เนื่องจากวัสดุเหลือใช้พวกนี้มีความชื้นสูง (Shen et al., 2012)

11.6 สรุป

ปัจจุบันการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาการด้านอาหารและการใช้อาหารอย่างมีประสิทธิภาพแก่โคนม อาหารเสริมโคนม พร้อมทั้งอาหารเสริมในอาหารหยาบหมักก็เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาด้านอาหารที่มีผลต่อการเลี้ยงโคนมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบโจทย์และแก้ปัญหาที่ผู้เลี้ยงโคนมประสบในฟาร์ม และป้องกันการเกิดปัญหาของโคนมในฟาร์ม เช่น การใช้อาหารเสริมลงในอาหารลูกโคนมเพื่อลดอาการท้องเสียและการตายในลูกโคระยะก่อน และหลังหย่านม การใช้อาหารเสริมในโครุ่นและโคสาวเพื่อเพิ่มการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบที่มีคุณภาพปานกลาง และการใช้อาหารเสริมในแม่โคนมเพื่อป้องกัน และ/หรือลด 1). การเกิดกระเพาะหมักเป็นกรด 2). การเกิดโรคความผิดปกติของการใช้สารอาหาร 3). การเกิดโรคเต้านมอักเสบ และ 4). การเกิดโรคทางระบบสืบพันธุ์ ในแม่โคนม อาหารเสริมในอาหารหยาบหมัก เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารหยาบเพื่อให้ โคนมสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด อย่างไรก็ตาม การเสริมอาหารเสริมในอาหารโคนม พร้อมทั้งอาหารเสริมในอาหารหยาบหมักนั้น ปัจจัยหลักเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมในแม่โคนมที่ให้ปริมาณน้ำนมที่สูง ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันที่เพิ่มขึ้นทั้งในลูกโคนม โครุ่น และ แม่โคนมเพื่อที่จะช่วยเพิ่มสุขภาพของโคนมให้ดียิ่งขึ้น และช่วยลดต้นทุนในการผลิตโคนมอีกด้วย

11.7 เอกสารอ้างอิง

- จิระชัย กาญจนพถุณพงศ์. 2561. การจัดการฝูงโคนม. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม: บริษัทเมจิค พับลิเคชั่น จำกัด.
- นาริรัตน์ สะอาดเอี่ยม. 2557. อิทธิพลของผลิตภัณฑ์สารสกัดหยาบจากชาเขียวต่อคุณค่าทางโภชนาการของกากกล้วยและสมรรถภาพการผลิตของแกะรุ่น. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วาสนา ศิริแสน, วิโรจน์ ภัทรจินดา, คณิต วิชิตพันธุ์, และรัตนภรณ์ ลีสิงห์. 2556. ผลของสายพันธุ์ยีสต์ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตในโคนม. แก่นเกษตร. 41(ฉบับพิเศษ 1):105-109.
- วรวรรณ กิจผาติ, ญัฐนี อนันตโชค, และ สุจิตรา ทองประดิษฐ์โชติ. 2554. โฟโตนิวเทรียนท์ คุณประโยชน์จากผักผลไม้. จุลสารข้อมูลสมุนไพร. 28:1-8.
- อนุสรณ์ เติมทอง. 2555. แนวทางปัจจุบันสำหรับการลดการผลิตแก๊สเมทาเนนจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง. แก่นเกษตร. 40:93-106.
- Anantasook, N., M. Wanapat, A. Cherdthong and P. Gunun. 2013. Effect of plants containing secondary compounds with palm oil on feed Intake, digestibility, microbial protein synthesis and microbial population in dairy cows. Asian-Australasian J. Anim. Sci. 26(6):820-826.
- Anantasook, N., M. Wanapat, A. Cherdthong and P. Gunun. 2015. Effect of tannins and saponins in *Samanea saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. J. Anim. Physiol Anim. Nutri. 99(2):335-344.
- Barry, T.N. and T.R. Manley. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of 102 *Lotus pedunculatus* for sheep 2. Quantitative digestion of carbohydrates and protein. Br. J. Nutr. 51(3):493-504.

- Buphan, S., N.U. Boonek, N. Buathong, T. Hongsapak and P. Usungnern. 2015. The effects of soybean meal treated with green tea marc crude extract on oxidative status and milk production of dairy cows. The 5th international conference on sustainable animal agriculture for developing countries. 27-30 October, Dusit Thani Pattaya Hotel, Thailand.
- Bureenok, S., T. Namihira, S. Mizumachi, Y. Kawamoto and T. Nakada. 2006. The effect of epiphytic lactic acid bacteria with or without different byproduct from defatted rice bran and green tea waste on napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) silage. *J Sci Food Agric.* 86(7):1073–1077.
- Bureenok, S., C. Yuangklang, K. Vasupen, J. T. Schonewille and Y. Kawamoto. 2012. The effects of additives in Napier grass silages on chemical composition, feed intake, nutrient digestibility and rumen fermentation. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25(9):1248-1254.
- Bureenok, S., W. Suksombat and Y. Kawamoto. 2011. Effects of the fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and molasses on digestibility and rumen fermentation characteristics of ruzi grass (*Brachiaria ruziziensis*) silages. *Livest. Sci.* 138(1-3):266-271.
- Busquet, M., S. Calsamiglia, A. Ferret, M.D. Carro and C. Kamel. 2005. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 88(12):4393–4404.
- Chiquette J., M.A. Allison and M.A. Rasmussen. 2008. *Prevotella bryantii* 25A used as a probiotic in early-lactation dairy cows: effect on ruminal fermentation characteristics, milk production, and milk composition. *J. Dairy Sci.* 91(9):3536-3543.
- Chiquette, J., M.J. Allison and M. Rasmussen. 2012. Use of *Prevotella bryantii* 25A and a commercial probiotic during subacute acidosis challenge in midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95(10):5985–5995.
- Daniel, J.L.P., R.C. Amaral, A. Sá Neto, E.H. Cabezas-Garcia, A.W. Bispo, M. Zopollatto et al. 2013. Performance of dairy cows fed high levels of acetic acid or ethanol. *J. Dairy Sci.* 96(1):398-406.
- Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, G. Bertin, C. Duvaux-Ponter and D. Sauvant. 2009. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.* 92(4):1620-1632.
- Diekman, D.A. and M.L. Green. 1992. Mycotoxins and reproduction in domestic livestock. *J. Anim. Sci.* 70(5):1615-1627.
- Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.* 66(5):365–378.
- Fujiwara, K., M. Yamazaki, H. Abe, K. Nakashima, Y. Yakabe, M. Otsuka et al. 2009. Effect of *Bacillus subtilis* var. natto fermented soybean on growth performance, microbial activity in the ceaca and cytokine gene expression of domestic meat type chicken. *Jpn. Poult. Sci.* 46(2):116-122.
- Garrett, W.N., H. Heitman, Jr. and A.N. Booth. 1968. Aflatoxin toxicity in beef cattle. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 127(1):188-190.
- Gibson, R.G. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Appl. Bacteriol.* 125(6):1401–1412.

- Gibson, G.R and R. Hutkins. 2017. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol Hepatol.* 14:491–502.
- Gotlieb, A. 1997. Causes of mycotoxins in silages. In: "Silage: Field to Feedbunk", NRAES-99, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, (pp. 213-221). Ithaca, NY.
- Grela, E.R. and V. Semeniuk. 1999. Probiotyki w produkcji zwierzęcej. *Medycyna Wet.* 55:222-228.
- Guthrie, L.D. 1979. Effects of Aflatoxin in corn on production and reproduction in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 62:134.
- Heinrichs, A.J., S.J. Wells and W.C. Losinger. 1995. A study of the use of milk replacer for dairy calves in the United States. *J. Dairy Sci.* 78(12):2831-2837.
- Heinrichs, A.J. 1993. Raising dairy replacement to meet the needs of the 21st century. *J. Dairy Sci.* 76(10):3179- 3187.
- Heinrichs, A.J., C.M. Jones and B.S. Heinrichs. 2003. Effects of mannan oligosaccharide or antibiotics in neonatal diets on health and growth of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 86(12):4064-4069.
- Humer, E., I. Kröger, V. Neubauer, K. Schedle, N. Reisinger and Q. Zebeli. 2018. Supplementing phytogenic compounds or autolyzed yeast modulates ruminal biogenic amines and plasma metabolome in dry cows experiencing subacute ruminal acidosis. *J. Dairy Sci.* 101(10):9559–9574.
- Hutjens, M. 2003. Feeding Guide. 2nd edition. WI. USA: W.D. Hoards&Sons Company.
- Jean, B. 1995. Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants. Hampshire.
- Kang, S., M. Wanapat, A. Cherdthong and K. Phesatcha. 2016. Comparison of banana flower powder and sodium bicarbonate supplementation on rumen fermentation and milk production in dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 56(10):1650-1661.
- Kritas, S.K. and B.R. Morrison. 2005. Evaluation of probiotics as a substitute for antibiotics in a large pig nursery. *Vet. Rec.* 156(14):447-448.
- Kroger, I., E. Humer, V. Neubauer, N. Reisinger, S. Aditya and Q. Zebeli. 2017. Modulation of chewing behavior and reticular pH in nonlactating cows challenged with concentrate-rich diets supplemented with phytogenic compounds and autolyzed yeast. *J. Dairy Sci.* 100(12):9702–9714.
- Kung, L., M.R. Stokes and C.J. Lin. 2003. Silage additive. In: Buxton D.R., Muck R.E., Harrison, J.H. (eds.), *Silage Science and Technology*. (pp. 305-360). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Lascano, G. J., G.I. Zanton, F.X. Suarez-Mena and A.J. Heinrichs. 2009. Effect of limit feeding high- and low-concentrate diets with *Saccharomyces cerevisiae* on digestibility and on dairy heifer growth and first-lactation performance. *J. Dairy Sci.* 92(10):5100–5110.
- Li, S., I. Yoon, M. Scott, E. Khafipour and J.C. Plaizier. 2016. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product and subacute ruminal acidosis on product, inflammation, and fermentation in the rumen and hindgut of dairy cows. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 211:50-60.
- Linn, J. 2018. Dairy cattle nutrition. In *Feedstuffs Nutrition Guide Book*. (pp. 16-22).
- Lyte, M., D.N. Villageliú, B.A. Crooker and D.R. Brown. 2018. Symposium review: Microbial endocrinology—Why the integration of microbes, epithelial cells, and neurochemical signals in the digestive tract matters to ruminant health. *J. Dairy Sci.* 101(6):5619–5628.

- Mizak, L., R. Gryko and M. Kwiatak. 2012. Probiotyki w żywieniu zwierząt. Życie Weterynaryjne. 87:736–741.
- Mokhber-Dezfouli, M.R., P. Tajik, M. Bolourchi, and H. Mahmoudzadeh. 2007. Effects of probiotic supplementation in daily milk intake of newborn calves on body weight gain, body height, diarrhea occurrence and health condition. Pak. J. Biol. Sci. 10(18):3136-3140.
- Monsan, P. and F. Paul. 1995. Oligosaccharide feed additives. In: Wallace R.J., Chesson A, editors. VHC biotechnology in animal feeds and animal feeding New York. (p. 233–245). Weinheim: Wiley.
- Morrill, J.L., A.D. Dayton and R. Michelser. 1997. Cultured milk and antibiotics for young calves. J. Dairy Sci. 60(7):1105-1109.
- Morrison, S.J., S. Dawson and A.F. Carson. 2010. The effects of mannan oligosaccharide and *Streptococcus faecium* addition to milk replacer on calf health and performance. Livest. Sci. 131(1-2):292-296.
- Mullen, K.A.E., R.L. Lyman, S.E. Mason, S.P. Washburn and K.L. Anderson. 2014. Short communication: An *in vitro* assessment of the antibacterial activity of plant-derived oils. J. Dairy Sci. 97(9):5587–5591.
- Mwenya, B., B. Santoso, C. Sar, B. Pen, R. Morikawa, K. Takaura, et al. 2005. Effects of yeast culture and galacto-oligosaccharides on ruminal fermentation in Holstein cows. J. Dairy Sci. 88(4):1404–1412.
- Nocek, J. E. and W. P. KAUTZ. 2006. Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre- and postpartum dairy cattle. J. Dairy Sci. 89:260-266.
- Oh, J., E.H. Wall, D.M. Bravo and A.N. Hristov. 2016. Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review. J. Dairy Sci. 100(7):5974–5983.
- Oh, J., M. Harper, F. Giallongo, E.H. Wall, D. Bravo and A.N. Hristov. 2017a. Effects of rumen-protected *Capsicum oleoresin* on immune response in dairy cows intravenously challenged with lipopolysaccharides. J. Dairy Sci. 100(3):1902-1913.
- Oh, J., M. Harper, F. Giallongo, E.H. Wall, D.M. Bravo and A.N. Hristov. 2017b. Effects of rumen-protected *Capsicum oleoresin* on productivity and responses to a glucose tolerance test in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 100(3):1888-1901.
- Oh, J., M. Harper, C.H. Leng, E.H. Wall and A.H. Hristov. 2018. Effects of phytonutrients alone or in combination with monensin on productivity in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 101(8):7190-7198.
- Patel, S., R. Shukla and A. Goyal. 2015. Probiotics in valorization of innate immunity across various animal models. J. Funct. Foods. 14:549–561.
- Patterson, J.A. and K.M. Burkholder. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. Poult. Sci. 82(4):627–631.
- Pier, A.C. 199. Major biological consequences of aflatoxicosis in animal production. J. Anim. Sci. 70(12):3964-3967.
- Pitta, D.W., N. Indugu, L. Baker, B. Vecchiarelli and G. Attwood. 2018. Symposium review: Understanding diet–microbe interactions to enhance productivity of dairy cows. J. Dairy Sci. 101(8):7661–7679.
- Polyorach, S., M. Wanapat, K. Phesatcha and S. Kang. 2015. Effect of different levels of mangosteen peel powder supplement on the performance of dairy cows fed concentrate containing yeast fermented cassava chip protein. Trop. Anim. Health Prod. 47(8):1473-1480.

- Poungchompu, O., M. Wanapat, C. Wachirapakorn, S. Wanapat and A. Cherdthong. 2009. Manipulation of ruminal fermentation and methane production by dietary saponins and tannins from mangosteen peel and soapberry fruit. *Arch. Anim. Nutr.* 63(5): 389-400.
- Quigley, III, J. D., J. J. Drewry, L. M. Murrey and S. J. Ivey. 1997. Body weight gain, feed efficiency, and fecal scores of dairy calves in response to galactosyl-lactose or antibiotics in milk replacers. *J. Dairy Sci.* 80(8):1751-1754.
- Quigley, III, J.D., C.J. Kost and T. A. Wolfe. 2002. Effects of spray-dried animal plasma in milk replacers or additives containing serum and oligosaccharides on growth and health of calves. *J. Dairy Sci.* 85(2):413-421.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.* 73(5):1516-1528.
- Roodposhti, P.M. and N. Dabiri. 2012. Effects of probiotic and prebiotic on average daily gain, fecal shedding of *Escherichia coli*, and immune system status in newborn female calves. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25(9):1255-1261
- Sakulpanich, A. and W. Grssanapan. 2008. Extraction method for high content of anthraquinones from *Cassia fistu* pods. *J. Health Res.* 22(4):167-172.
- Shao, T., N. Ohba, M. Shimojo and Y. Masuda. 2004. Effects of adding glucose, sorbic acid and pre-fermented juice on the fermentation quality of guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) silages. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 17(6):808-813.
- Sharma, R.P. 1993. Immunotoxicity of mycotoxins. *J. Dairy Sci.* 76(3):892-897.
- Simon, O. 2005. Microorganisms as feed additives—probiotics. *Adv. Pork Prod.* 16:161-167.
- Steele, M.A., G.B. Penner, F. Chaucheyras-Durand and L.L. Guan. 2016. Development and physiology of the rumen and the lower gut: Targets for improving gut health. *J. Dairy Sci.* 99(6):4955-4966.
- Trenholm, H. L., R.M. Hamilton, D.W. Friend, B.K. Thompson and K.E. Hartin, 1984. Feeding trials with vomitoxin (deoxynivalenol)-contaminated wheat: effects on swine, poultry and dairy cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 185(5):527-531.
- Wanapat, M., S. Polyorach, V. Chanthakhoun and N. Sornsongnern. 2011a. Yeast-fermented cassava chip protein (YEFECAP) concentrate for lactating dairy cows fed on urea-lime treated rice straw. *Livest. Sci.* 139(3):258-263.
- Wanapat, M., K. Boonnop, C. Promkot and A. Cherdthong. 2011b. Effects of alternative protein sources on rumen microbes and productivity of dairy cows. *Maejo Internat. J. Sci. Tech.* 5(1):13-23.
- Wang, Y. 2009. Prebiotics: present and future in food science and technology. *Food Res. Int.* 42:8-12
- Whitlow, L.W., R.L. Nebel and W.M. Hagler Jr. 1994. The association of deoxynivalenol in grain with milk production loss in dairy cows. In: G. C. Llewellyn, W. V. Dashek and C. E. O'Rear. (Eds.) "Biodeterioration Research 4". (Pp. 131-139). Plenum Press, New York.
- Woodward, S.L., M.J. Auldist, P.J. Laboyrie, E.B.L. Janse and D. Cottle. 1999. Effect of *Lotus corniculatus* and condensed tannins on milk yield and milk composition of dairy cows. *Proc. NZ. Soc. Anim. Prod.* 13:152-155.

- Yoon, I.K. and M.D. Stern.1995. Influence of direct-fed microbials on ruminant microbial fermentation and performance of ruminants: a review. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 8(6):533–555.
- Yuan, K., L.G.D. Mendonça, L.E. Hulbert, L.K. Mamedova, M.B. Muckey, Y. Shen, et al. 2015. Yeast product supplementation modulated humoral and mucosal immunity and uterine inflammatory signals in transition dairy cows. J. Dairy Sci. 98(5):3236–3246.
- Yutaka, U., A. Kiyoshi, H. Toshita, Y. Hiroshi, Y. Hiraoki, Y. Tsuneko et al. 2017. Effects of supplementing an active dry yeast product on rumen microbial community composition and on subsequent rumen fermentation of lactating cows in the mid-to-late lactation period. Anim. Sci. J. 88(1):119-124.

บทที่ 12 สิ่งแวดล้อม (Environment)

12.1 บทนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมได้พัฒนามาใช้ระบบการจัดการแบบรวมฝูงขนาดใหญ่มากขึ้น โดยเฉพาะการคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่สามารถเลี้ยงโคได้จำนวนมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต อย่างไรก็ตามระบบการผลิตในลักษณะนี้ ถ้าไม่ดำเนินการอย่างรอบคอบย่อมมีผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม สภาวะแวดล้อมจะถูกกระทบจากการจัดการฟาร์มโคนมด้วยปัจจัยต่างๆ อาทิ การจัดการด้านโภชนาการไม่เหมาะสม และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการของเสียจากฟาร์ม

ถ้าโคนมได้รับโภชนาการบางชนิดมากเกินไปกว่าความต้องการที่จะใช้ประโยชน์ โภชนะส่วนเกินเหล่านี้จะถูกขับถ่ายทางอุจจาระและปัสสาวะ เป็นผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตน้ำนมด้วย (Chandler, 1996)

Clark and Overton (1995) แนะนำว่าการพัฒนาการจัดการโภชนาการโคนม นอกจากต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตแล้ว ต้องไม่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการเพื่อการเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมยังต้องดำเนินต่อไป ทั้งนี้จะทำให้การเลี้ยงดูโคนมน้อยตัวลง แต่ให้ผลผลิตมากขึ้น ย่อมส่งผลให้มีการขับถ่ายของเสียลดลง โคนมต้องได้รับโภชนาการต่างๆ ตามความต้องการ และต้องให้มีการสูญเสียโภชนาการออกมาทางของเสียให้น้อยที่สุด การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โภชนาการ

ในแง่ของการจัดการสภาพแวดล้อม ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นโภชนาการที่ต้องให้ความสำคัญลำดับแรก นอกจากนี้ผลผลิตจากการหมักย่อยและอื่นๆ ก็มีความสำคัญเช่นกัน อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีเทน (Tamminga, 1992; Chase, 1994; Van Horn et al., 1994; Chandler, 1996; Johnson et al., 1996; Koelsch and Lesoing, 1999; Kuipers et al., 1999; Nelson, 1999) รวมทั้งแร่ธาตุอื่นๆ จากของเสียในสัตว์อาจจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในอนาคต

12.2 ผลกระทบของอาหารต่อการขับถ่ายของเสีย

เมื่อมีความต้องการนมและผลิตภัณฑ์นมเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นด้วย เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมทั่วโลกเลี้ยงโคนมรวมกันมากกว่า 270 ล้านตัว เพื่อผลิตน้ำนมดิบ อุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายด้าน และผลกระทบเหล่านี้จะมีมากขึ้นอยู่กับการปฏิบัติของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมได้แก่ มลภาวะต่อน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ทำลายป่าไม้เนื่องจากการก่อสร้างฟาร์ม เกิดการชะล้างหน้าดิน เกิดการสะสมของธาตุไนโตรเจน รวมถึงการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (PCE 2004; MFE 2007; Clark et. al., 2007; Collins et. al., 2007; Jay and Morad, 2007; Monaghan et. al., 2007; Flemmer and Flemmer, 2008; Moller et. al., 2008) การทำฟาร์มโคนมก่อให้เกิดโภชนาการส่วนเกิน โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่ปนเปื้อนในน้ำ เป็นเหตุให้คุณภาพน้ำเสียหาย ปกติโคนมจะกินอาหารที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนเกินกว่าความสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ไนโตรเจนส่วนเกินนี้จะถูกขับถ่ายออกทางมูลและปัสสาวะ ร่วมกับการขับถ่ายไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตแปลงหญ้า ยิ่งทำให้มีไนโตรเจนส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นในสิ่งแวดล้อม แม้มีการนำมูลสัตว์ไปใช้เป็นปุ๋ยก็ตาม

12.2.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจน เป็นธาตุที่ต้องให้ความสำคัญอันดับแรก ที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม ทั้งนี้เพราะการปนเปื้อนของแอมโมเนียในอากาศ และการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำและน้ำใต้ดิน (Tamminga, 1992; Van Horn et. al., 1994) ไนโตรเจนจะถูกนำมาใช้ในฟาร์มจำนวนมากผ่านทางอาหารจำพวกโปรตีน ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะปนเปื้อนอยู่ในฟาร์มมากกว่าจะถูกนำไปผลิตเป็นน้ำนมและเนื้อเยื่อสัตว์ (Korevaar, 1992; Aarts et. al., 1992; Klausner, 1993) Klausner (1993) ชี้ให้เห็นว่าอาหารสัตว์จะมีส่วนประกอบของไนโตรเจนอยู่ระหว่างร้อยละ 62 - 87 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟาร์ม ยิ่งถ้าขนาดของฝูงสัตว์เพิ่มมากขึ้น สัดส่วนของ

ไนโตรเจนจากอาหารโปรตีนที่นำมาใช้ในฟาร์มจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ปริมาณไนโตรเจนที่นำเข้ามาใช้ในฟาร์มจะเหลือตกค้างอยู่ในฟาร์มระหว่างร้อยละ 64 - 76 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของฟาร์ม (Klausner, 1993)

โคนมจะให้น้ำนมที่มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 25 - 35 ของปริมาณไนโตรเจนที่โคนมกิน (Chase, 1994; Chandler, 1996) และไนโตรเจนเกือบทั้งหมดจะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระและปัสสาวะ Van Horn et. al. (1994) แนะนำว่าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับถ่ายในของเสียสามารถคำนวณได้จากปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กิน ลบด้วยปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำนม การทำให้สัตว์ได้รับไนโตรเจนที่เกินกว่าความต้องการของสัตว์ โดยเฉพาะการให้สัตว์ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักมากเกินไป หรือการให้อาหารที่ไม่สมดุลระหว่างโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก กรดอะมิโน หรือพลังงาน จะทำให้สัตว์ขับถ่ายไนโตรเจนมากขึ้น (Pell, 1992; St. Pierre and Thraen, 1999) เมื่อผลผลิตน้ำนมที่โคนมให้เพิ่มขึ้น การขับถ่ายไนโตรเจนในอุจจาระและปัสสาวะต่อผลผลิตน้ำนมจะลดลง (Chandler, 1996; St. Pierre and Thraen, 1999)

แอมโมเนียและอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารประกอบไนโตรเจนส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ (Van Horn et. al., 1994) ไนโตรเจนเหล่านี้ได้จากอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อย โปรตีนจากจุลินทรีย์ ไนโตรเจนภายในร่างกายสัตว์ที่ขับออกมา ยูเรียและแอมโมเนียไนโตรเจนที่ขับถ่ายในปัสสาวะ

ประมาณร้อยละ 40 - 50 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ขับถ่ายนั้นมาจากยูเรียและแอมโมเนียไนโตรเจนที่ขับทางปัสสาวะ (Van Horn et al., 1994) ยูเรียจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็วเมื่อมีเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกลาง แอมโมเนียไอออน (NH_3) จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ได้แอมโมเนียไอออนที่ไม่ใช่แก๊ส (nongaseous ammonia ion; NH_4^+) ปฏิกิริยานี้จะป้องกันการสูญเสียแอมโมเนียไอออนสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ตามมูลโคนมส่วนใหญ่ไม่มีสภาพเป็นกรดพอที่จะทำให้แอมโมเนียไอออนเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียไอออนที่ไม่ใช่แก๊ส ฉะนั้นจึงเป็นแหล่งที่ทำให้แอมโมเนียไอออนปลดปล่อยสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่แล้วไนโตรเจนร้อยละ 50 - 75 จะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระและอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออนก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นไนเตรท (nitrate ion; NO_3^-) (Van Horn et. al., 1994) ความเข้มข้นของแอมโมเนียไอออนในระบบโรงเรือนโคนม โดยเฉพาะในเขตอบอุ่น จะทำให้ผลผลิตสัตว์ลดลง และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของโคนมและคนเลี้ยง นอกจากนี้ แอมโมเนียไอออนที่ปลดปล่อยสู่อากาศจะทำให้เกิดฝนกรด (acid rain) และถ้าไนโตรเจนส่วนเกินที่มีอยู่ในมูลสัตว์ไปใส่ในแปลงหญ้า น้ำและน้ำใต้ดินอาจถูกปนเปื้อนด้วยไนเตรทไอออน

ในอนาคต การพัฒนาการใช้ไนโตรเจน จะเป็นการพัฒนาทางวิชาการของโภชนศาสตร์โคนม ทั้งนี้รวมถึงการจัดการให้สัตว์ได้รับไนโตรเจนที่เหมาะสม การหมักย่อยในกระเพาะหมัก การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ และการป้องกันการย่อยสลายกรดอะมิโนในกระเพาะหมักโดยให้ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็ก การดูดซึมและเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม และการพัฒนาการใช้ไมเคิล คอมพิวเตอร์ ระบบการให้อาหาร และระบบการจัดการของเสียในฟาร์ม เหล่านี้จะเป็นแนวทางการวิจัยเพื่อศึกษาความต้องการโภชนะ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์โภชนะ และลดการขับถ่ายโภชนะต่างๆ สู่สภาวะแวดล้อม (Clark and Overton, 1995)

ในสถานการณ์ต่างๆ ไป เป็นการยากที่จะระบุปริมาณของโปรตีนหยาบที่เหมาะสมในอาหารที่จะสอดคล้องกับผลผลิตสัตว์ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนหยาบในอาหารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณน้ำนม ร้อยละของโปรตีนในน้ำนม อัตราการเจริญเติบโต ขนาดของตัวสัตว์ ปริมาณและชนิดของพลังงานในอาหาร องค์ประกอบของกรดอะมิโน และอัตราการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร การให้อาหารที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและต่อความต้องการของโคนม จะทำให้การย่อยได้โภชนะ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมลดลง การให้ไนโตรเจนที่เพียงพอจำเป็นต่อการย่อยได้คาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก (Oldham, 1984)

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักในอาหารสัตว์ ปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เพิ่มการย่อยได้คาร์โบไฮเดรต จะเพิ่มพลังงานให้กับสัตว์ ลดปริมาณมูลสัตว์และลดปัญหาของเสีย ในทางตรงกันข้ามการให้อาหารโปรตีนมากเกินไปจะเป็นการสูญเสีย ทำลายสภาพแวดล้อม ลดประสิทธิภาพการผลิตของโคนม ทั้งนี้เพราะโคนมต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนแอมโมเนียไอออนไปเป็นยูเรีย และขับถ่ายออกทางปัสสาวะ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตน้ำนมของเกษตรกร เพราะโปรตีนไม่ได้ถูกใช้เพื่อผลผลิตสัตว์

การให้อาหารหยาบคุณภาพสูง ที่สามารถผลิตได้เองในฟาร์มจะเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการด้านโภชนาการและเพิ่มการกินได้วัตถุแห้ง การจัดการให้โคนมมีการกินได้วัตถุแห้งสูงสุด จะทำให้สามารถใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งจะเป็นผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนของโคนม ลดต้นทุนการซื้ออาหารโปรตีนที่มีราคาแพง (Chase, 1994) การเพิ่มการกินได้วัตถุแห้งขึ้นร้อยละ 5 สามารถลดร้อยละโปรตีนในอาหารลงร้อยละ 1 (Chase, 1994) การให้อาหารที่เอ็มอาร์ ซึ่งประกอบสูตรจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ จะทำให้สามารถประกอบสูตรที่มีคุณค่าทางโภชนาการตรงกับความต้องการของโคนมเพื่อการผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม ขนาดตัวสัตว์ และสถานภาพการตั้งท้อง เป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโภชนาการต้องพยายามทำให้การหมักย่อยในกระเพาะหมัก การสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ และการไหลผ่านของโภชนาการไปยังลำไส้เล็กเหมาะสมและเกิดสมดุล (Clark and Davis, 1983) ในระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก โปรตีนจากอาหารที่สัตว์กินจะถูกย่อยสลายได้ส่วนผสมของเปปไทด์ กรดอะมิโน และแอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์แอมโมเนีย ส่วนเกินจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักและถูกส่งไปยังตับเพื่อขับแอมโมเนียโดยการสังเคราะห์เป็นยูเรีย ส่วนของยูเรียที่ไม่สามารถส่งกลับเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะถูกขับออกทางปัสสาวะ ซึ่งเป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากตัวโคสู่สภาพแวดล้อม จุลินทรีย์ต้องการทั้งไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรตเพื่อการเจริญเติบโต การจัดการอาหารให้มีการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่เหมาะสม จะเพิ่มการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนเพื่อสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (Hoover and Stokes, 1991; Clark et. al., 1992) การย่อยได้วัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะสูงที่สุดเมื่ออาหารมีโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักประมาณร้อยละ 10 - 13 ของวัตถุแห้งทั้งหมดในอาหาร และมีการโบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างประมาณร้อยละ 50 ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Hoover and Stokes, 1991) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เร็วประกอบกับการไหลผ่านของจุลินทรีย์ไปยังลำไส้เล็ก ที่เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการกินได้อาหารจะลดการหมุนเวียนพลังงานและไนโตรเจนในกระเพาะหมัก เนื่องจากลดการแตกของเซลล์ เป็นผลให้ลดความต้องการโภชนาการเพื่อการดำรงชีพ และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากโภชนาการเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Clark et. al., 1992; Russell et. al., 1992)

12.2.2 ฟอสฟอรัส

ประมาณ 2 ใน 3 ของฟอสฟอรัสในวัตถุดิบอาหาร สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถใช้ได้ เพราะฟอสฟอรัสจะรวมตัวอยู่ในรูปกรดอินทรีย์ไฟเตท (organic acid phytate) ในทางตรงกันข้ามจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถย่อยสลายไฟเตททำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น NRC (2001) แนะนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมฟอสฟอรัสในพืชอาหารสัตว์เท่ากับร้อยละ 64 ในอาหารชั้นเท่ากับร้อยละ 70 ในอาหารชั้น และ ในอินทรีย์ฟอสฟอรัส (inorganic source of phosphorus) มากกว่าร้อยละ 70

เมื่อความต้องการของฟอสฟอรัสในอาหารเพียงพอกับความต้องการของโคนม ฟอสฟอรัสส่วนเกินจะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระและปัสสาวะ Morse et. al. (1992) ให้โครีดนมพันธุ์โฮลสไตน์ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับร้อยละ 0.30, 0.41 และ 0.56 โคจะได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณ 60, 82 และ 112 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคำแนะนำความต้องการฟอสฟอรัสตาม NRC (1989) แล้วโคนมจะได้รับฟอสฟอรัสเป็นร้อยละ 79, 108 และ 147 ของความต้องการ อย่างไรก็ตาม ตามคำแนะนำของ NRC (2001) โคนมต้องการอาหารที่มีฟอสฟอรัสประมาณ 58 - 62 กรัมต่อวัน โคนมที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัส 60 กรัมต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าความต้องการ ขับถ่ายฟอสฟอรัสในอุจจาระและปัสสาวะวันละ 42.1 กรัม โคนมที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัส 82 กรัมต่อวันขับถ่ายฟอสฟอรัสทางอุจจาระและปัสสาวะวันละ 50.6 กรัม หรือ 5 กรัมต่อทุกๆ 22 กรัม ของฟอสฟอรัสที่เกินกว่าความต้องการ โคนมที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัส 112 กรัมต่อวันขับถ่ายฟอสฟอรัสทางอุจจาระและปัสสาวะวันละ 79.9 กรัม การเพิ่มการกินได้ฟอสฟอรัสจาก 82 กรัมต่อวัน เป็น 112 กรัมต่อวัน (เพิ่มขึ้น 30 กรัมต่อวัน) จะเพิ่มการขับถ่ายฟอสฟอรัสทางอุจจาระและปัสสาวะวันละ 29.3 กรัม Wu et. al. (1998) และ Satter and Wu (1999) แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียฟอสฟอรัสทางอุจจาระเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อโคได้รับ

ฟอสฟอรัสเพียงพอต่อความต้องการแล้ว ซึ่งความต้องการอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.35 ฟอสฟอรัสในอาหาร นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าความต้องการฟอสฟอรัสของโคจากงานวิจัยนี้จะต่ำกว่าที่ NRC (1989) แนะนำไว้ที่ร้อยละ 0.48 ในอาหารสำหรับโคนมในช่วงต้นระยะให้นม และร้อยละ 0.41 ในอาหารสำหรับโคนมในช่วงปลายระยะให้นม อาหารที่โคนมได้รับส่วนใหญ่จะมีฟอสฟอรัสอยู่เกินกว่าความต้องการอยู่แล้ว ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับร้อยละ 0.52 ในอาหารโคนมที่ให้น้ำนมมาก (Sansinena et. al., 1999)

12.3 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก แอมโมเนีย และกลิ่น

โคนมและมูลโคนมปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ การจัดการของเสียที่ไม่ถูกต้องจะมีผลกระทบต่อเกิดการเกิดแก๊สเรือนกระจกมาก แก๊สเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อย ได้แก่ แก๊สมีเทน และไนตรัสออกไซด์จากของเสียจากโคนม

แก๊สมีเทนเป็นแก๊สตัวการสำคัญที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการเลี้ยงโคนม ประมาณกว่าร้อยละ 50 ของแก๊สที่ปลดปล่อยทั้งหมด โดยที่การปลดปล่อยมีเทนจากระบบทางเดินอาหาร เป็นแหล่งที่มากที่สุดของสัตว์ เมื่อคิดเป็นค่าคาร์บอนเทียบเท่า (CO₂-e) สัตว์ปล่อยแก๊สมีเทนจากระบบทางเดินอาหารร้อยละ 15.9 เมื่อเทียบกับการปล่อยเนื่องจากการจัดการมูลสัตว์ร้อยละ 9.8 ของภาคการเกษตรทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการทำปศุสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีสาเหตุที่สำคัญมาจากความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร ซึ่งเกิดจากปัจจัยของ คุณภาพของอาหารหายาบ วิธีการจัดการให้อาหาร พันธุกรรม และสิ่งแวดล้อมที่ผลต่อการกินและการย่อยอาหาร เช่น อุณหภูมิและความชื้น ในการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเปลี่ยนเป็นมีเทนร้อยละ 2 - 13 อาหารที่มีคุณภาพสูง มีร้อยละของการย่อยได้สูง ก็จะเปลี่ยนเป็นมีเทนต่ำ อาหารคุณภาพต่ำมีร้อยละการย่อยได้ต่ำ จะเปลี่ยนเป็นมีเทนสูง (IPCC, 2006) การย่อยได้ต่ำของหญ้าเป็นสาเหตุหลักของการปลดปล่อยแก๊สมีเทน โดยเฉพาะการเลี้ยงโคนมในระบบปล่อยและเก็บหญ้า ในขณะที่การปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์อยู่ระหว่างร้อยละ 27 ถึง 38 ของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการใส่ปุ๋ยมูลโคในแปลงหญ้าและการตากมูลโค ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีบทบาทเพียงเล็กน้อยในการปลดปล่อยแก๊สในฟาร์ม มีเพียงร้อยละ 5 - 10 ของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด

มีเทน และไนตรัสออกไซด์ มีการผลิตในระหว่างการเก็บรักษาและวิธีการเก็บที่แตกต่างกัน การปล่อยแก๊สมีเทนจากการจัดการมูลสัตว์ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสัตว์ที่ขังคอก ซึ่งมีการจัดการมูลสัตว์ภายใต้ระบบการจัดการที่แตกต่างกัน ปริมาณของมีเทนที่ปล่อยออกมาจากการจัดการมูลสัตว์เกิดจาก 3 ปัจจัย คือ (1) ระบบการจัดการมูล (2) สภาพแวดล้อมและ (3) ปริมาณและองค์ประกอบของปุ๋ย ปุ๋ยคอกที่มีการจัดการเป็นของแข็งหรือวางบนทุ่งหญ้ามักมีแนวโน้มที่จะปล่อยมีเทนได้น้อยเนื่องจากสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทน รวมทั้งอุณหภูมิ ความชื้นความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสม ยกเว้นกรณีของอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง และอยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง จะทำให้เกิดการผลิตมีเทนได้ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของมูลสัตว์ซึ่งมีผลมาจากคุณค่าทางอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะเป็นปัจจัยเกื้อหนุนที่สำคัญในการปล่อยมีเทนจากการจัดการมูลสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครีดนมที่กินอาหารมากขึ้นและมีการขับถ่ายสูงกว่าโคประเภทอื่น

ส่วนของไนตรัสออกไซด์สามารถปล่อยได้โดยตรงและโดยอ้อมในระหว่างการเก็บและการจัดการมูลสัตว์ การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์โดยตรงเกิดจากกระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrification) และสลายสารประกอบไนโตรเจน (denitrification) ส่วนการปล่อยไนตรัสออกไซด์ทางอ้อม เกิดจากการระเหย การชะล้าง การไหลออกไปในรูปของไนไตรท์ และไนเตรท และเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์ กับไนโตรเจน

การปล่อยไนตรัสออกไซด์จากการจัดการมูลสัตว์ ขึ้นอยู่กับการย่อยได้และองค์ประกอบของอาหารสัตว์ การจัดการมูลสัตว์ระยะเวลาในการจัดการ และสิ่งแวดล้อม การปล่อยแก๊สไนโตรเจน และ ไนตรัสออกไซด์สูงเกี่ยวข้องกับการกินอาหารที่มีไนโตรเจนสูง โปรตีนสูง และขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและระดับความชื้นของมูลสัตว์ ปุ๋ยที่เก็บไว้เป็นเวลานานทำให้เกิดการปล่อยสารไนตรัสออกไซด์ค่อนข้างสูง

การย่อยได้ของอาหารมีผลกระทบต่อการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุด การย่อยได้อาหารเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 จากค่าเฉลี่ยการย่อยได้ร้อยละ 56 จะลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 14.8 การลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊สมีเทน ซึ่งเป็นผลมาจากคุณภาพของอาหารที่ให้โคนมกิน ดังนั้นจะเสนอแนะทางเลือกในทางปฏิบัติเพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ดังนี้

การจัดการอาหาร : ปริมาณของแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นมีอิทธิพลอย่างมากจากรูปแบบ คุณภาพ และองค์ประกอบของอาหาร กลยุทธ์การให้อาหารที่สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนลงได้ ได้แก่

- ให้อาหารที่มีระดับของแป้งเพิ่มขึ้น เสริมไขมันในอาหาร ลดสัดส่วนของเยื่อใยในอาหาร
- เพิ่มคุณภาพของอาหารหยาบ
- ใช้สารเสริมในอาหารในการปรับเปลี่ยนประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เพื่อสร้างสมดุลและเปลี่ยนแปลงกระบวนการหมักในกระเพาะหมักเพื่อลดการปลดปล่อยแก๊ส

ในระยะยาวสิ่งที่สามารถทำได้ และมีผลกระทบในแนวตั้งคือการปรับปรุงพันธุ์โคนมให้มีลักษณะประสิทธิภาพการใช้อาหารดี ซึ่งจะได้ผลดีที่ไปด้วยกันคือ ให้ผลผลิตสูง การย่อยได้สูง ลดต้นทุนการผลิต ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งในระบบทางเดินอาหารและการจัดการมูลสัตว์ต่ำ ซึ่งในต่างประเทศได้ดำเนินการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โคนมลักษณะนี้ควบคู่ไปกับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ด้านการให้ผลผลิต

แนวทางที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การปรับปรุงพันธุ์พืชอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพสูงขึ้น มีคุณค่าทางอาหารสูง ผลผลิตสูง มีความน่ากิน

การจัดการมูลโค : ปรับการจัดการมูลโค การใช้การหมักย่อยด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทน ใช้เทคนิคการจัดการมูลโคโดยการเก็บมูลโคออกจากโรงเรือนให้หมดและทำบ่อย ๆ การจัดการที่ร่อนนอนและมูลโคเพื่อหลีกเลี่ยงการหมักหมม

แก๊สแอมโมเนียที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือนเกิดจากอาหารที่ให้โคนมกินมีไนโตรเจนส่วนเกินมากเกินไป เกินกว่าที่โคนมจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด ทำให้ไนโตรเจนส่วนเกินถูกขับออกทางมูลและปัสสาวะ

12.4 สรุป

การทำฟาร์มโคนมมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก มีการปนเปื้อนของธาตุอาหารและแก๊สที่เกิดจากการทำฟาร์มทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุหลักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำ การจัดการให้อาหารที่มีประสิทธิภาพที่โคนมใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้ได้มากที่สุด ก็จะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปลดปล่อยสู่ธรรมชาติน้อยที่สุดเช่นกัน แก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากการทำฟาร์มโคนมส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สมีเทน ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักย่อยอาหารในกระเพาะหมัก อาหารคุณภาพต่ำที่ย่อยยากจะก่อให้เกิดแก๊สมีเทนมากเช่นกัน ดังนั้น การลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนสามารถทำได้โดยใช้พืชอาหารสัตว์ที่ย่อยได้ง่าย เพิ่มสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ การเสริมสารประกอบ หรือน้ำมันที่มีคุณสมบัติลดประชากรโปรโตซัว และจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทนสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนสู่บรรยากาศได้

12.5 เอกสารอ้างอิง

- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, and H. Van Keulen. 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Neth. J. Agric. Sci.* 40(3):285–299.
- Chandler, P.T. 1996. Environmental challenges as related to animal agriculture dairy. In *Nutrient Management of Food Animals to Enhance and Protect the Environment*. E. T. Kornegay ed. (pp. 7–19). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Chase, L.E. 1994. Environmental considerations in developing dairy rations. In *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.* (pp. 56– 62). Rochester, NY: Cornell Univ.
- Clark, J.H. and C.L. Davis. 1983. Future improvement of milk production: Potential for nutritional improvement. *J. Anim. Sci.* 57(3):750–764.
- Clark, J.H., T.H. Klusmeyer, and M.R. Cameron. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75(8):2304–2323.
- Clark, J.H., and T.R. Overton. 1995. The dairy industry and dairy cattle nutrition in the 21st century. In *Proc. California Anim. Nutr. Conf.* (pp. 4–59) Pomona, CA: California State Polytechnic University.
- Clark D.A., J.R. Caradus, R.M. Manoghan, P. Sharp, and B.S. Thorrold. 2007. Issues and options for future dairy farming in NZ. *NZ J. Agric. Res.* 50(2):203-221.
- Collins R., M. McLeod, M. Hedley, A. Donnison, M. Close, J. Hanly et al. 2007. Best management practices to mitigate faecal contamination by livestock of New Zealand waters. *NZ J. Agric. Res.* 50: 267-278.
- Flemmer, C. and R. Flemmer. 2008. Water effluent from New Zealand dairy farms from 1997 to 2000. *NZ J. Agric. Res.* 51(2):181-189.
- Hoover, W. H. and S.R. Stokes. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 74(10):3630–3644.
- IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES.
- Jay M. and M. Morad. 2007. Crying over spilt milk: a critical assessment of the ecological modernization of New Zealand's dairy industry. *Soc. Nat. Resour.* 20(5): 469-478.
- Klausner, S.D. 1993. Mass nutrient balances on dairy farms. In *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.* (pp. 126– 129). Rochester, Ithaca, NY: Cornell University.
- Koelsch, R. and G. Lesoing. 1999. Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *J. Dairy Sci.* 82(Suppl. 2):63– 71.
- Korevaar, H. 1992. The nitrogen balance on intensive Dutch dairy farms: A review. *Livest. Prod. Sci.* 31(1-2):17– 27.
- Kuipers, A., F. Mandersloot, and R.L. Zom Ronald. 1999. An approach to nutrient management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 82(Suppl. 2):84–89.
- MFE. 2007. Environment New Zealand 2007. Form <http://www.mfe.govt.nz/publications/ser/enz07-dec07/html/index.html>
- Moller H., C.J. Macleod, J. Haggerty, C. Rosin, G. Blackwell, C. Perley et al. 2008. Intensification of New Zealand agriculture: implications for biodiversity. *NZ. J. Agric. Res.* 51(3):253-263.

- Monaghan R.M., M.J. Hedle, H.J. Di, R.W. McDowell, K.C. Cameron, and S.F. Ledgard. 2007. Nutrient management in New Zealand pastures—recent developments and future issues NZ. J. Agric. Res. 50(2):181-201
- Morse, D., H.H. Head, C.J. Wilcox, H.H. van Horn, C.D. Hissem, and B. Harris, Jr. 1992. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. J. Dairy Sci. 75(11):3039–3049.
- Nelson, C.J. 1999. Managing nutrients across regions of the United States. J. Dairy Sci. 82(Suppl. 2):90–100.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6th Revised Edition. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oldham, J.D. 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. J. Dairy Sci. 67(5):1090–1114.
- PCE. 2004. Growing for good: intensive farming, sustainability and New Zealand's environment. Wellington, New Zealand.
- Pell, A.N. 1992. Does ration balancing affect nutrient management? In Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf. (pp. 23–31). Rochester, NY. Cornell Univ., Ithaca, NY.
- Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest, and C.J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70(11):3551–3561.
- Sansinena, M., L.D. Bunting, S.R. Stokes, and E.R. Jordan. 1999. A survey of trends and rationales for dietary phosphorus recommendations among mid-south dairy nutritionists. Proceedings of the 1999 Mid-South Ruminant Nutrition Conference: 6–7 May 1999, Texas Agricultural Extension Service, Dallas, TX. (pp. 51–54).
- Satter, L.D. and Z. Wu. 1999. New strategies in ruminant nutrition. Getting ready for the next millennium. In Southwest Nutr. and Mgt. Conf. Proc. Phoenix, AZ. Univ. of Arizona, Tucson. (pp. 1– 24).
- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. J. Dairy Sci. 75(1):345–357.
- Van Horn, H.H., A.C. Wilkie, W.J. Powers, and R.A. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. J. Dairy Sci. 77(7):2008–2030.
- Wu, Z., L.D. Satter, R. Sojo, and A. Blohowiak. 1998. Phosphorus balance of dairy cows in early lactation at three levels of dietary phosphorus. J. Dairy Sci. 81(Suppl.1):358.

บทที่ 13 การจัดการให้อาหารโคนม (Feeding management of dairy cattle)

13.1 บทนำ

การจัดการให้อาหารโคนมระยะต่าง ๆ ให้ได้โภชนาการตรงตามความต้องการของสัตว์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ ปัจจัยด้านพันธุกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านการจัดการฟาร์ม นอกจากนี้ในปัจจัยของตัวโคแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับ น้ำหนักตัวโค ปริมาณน้ำนมที่ให้ โขมน้ำนม และการเพิ่มหรือลดของน้ำหนักตัวโคในระหว่างการให้น้ำนม โคนมที่อายุและขนาดตัวที่แตกต่างกัน จะกินอาหารในปริมาณที่ต่างกันด้วย โคนมที่สามารถกินอาหารได้มากเกินความต้องการ ย่อมได้รับโภชนาการเพียงพอหรืออาจมากกว่า ความต้องการ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและเสียค่าใช้จ่ายอาหารเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามโคนมที่กินอาหารได้น้อยย่อมได้รับ โภชนาการไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้แม่โครีดนมไม่สามารถให้ผลผลิตน้ำนมตามความสามารถทางพันธุกรรม ปัจจุบันจึงนิยม ให้อาหารตามระดับที่คำนวณความต้องการโภชนาการต่าง ๆ ของโคนมขึ้น โดยกำหนดเป็นความต้องการปริมาณโภชนาการต่อวัน ดังนั้น ในหลักการที่โคนมกินอาหารในปริมาณที่ต่างกันแต่ควรได้รับโภชนาการตามที่ต้องการ จึงต้องสมดุลความเข้มข้นของโภชนาการให้แตกต่างกันด้วย สำหรับโคนมที่กินอาหารได้มาก ความเข้มข้นของโภชนาการในรูปร้อยละของวัตถุดิบของอาหารจะลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อโคนมกินอาหารได้น้อยความเข้มข้นของโภชนาการในรูปร้อยละของวัตถุดิบของอาหารย่อมเพิ่มสูงขึ้น ความต้องการอาหาร โคนมประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา ยังไม่มีการรวบรวมเป็นรูปเล่มมาก่อน ทั้งนี้เพราะงานวิจัยที่ผ่านมา มีจำนวนจำกัดและกระจายอยู่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ มีการตีพิมพ์เผยแพร่เพียงบางส่วน จึงทำให้การรวบรวมผลงานทำได้ยาก ดังนั้นข้อมูลความต้องการโภชนาการของโคนมครั้งนี้จึงเกิดจากการตรวจสอบเอกสารวิจัยในประเทศไทยบางส่วนและใช้ข้อมูลจากการวิจัยในต่างประเทศเป็นหลัก

13.2 การจัดการให้อาหารลูกโค

การจัดการให้อาหารลูกโคจะแบ่งออกเป็นช่วงตามการพัฒนาการของกระเพาะหมักและการได้รับน้ำนมหรืออาหารเสริม ซึ่งลูกโคที่เกิดใหม่เปรียบเหมือนสัตว์กระเพาะเดี่ยว กระเพาะหมักยังไม่มีการพัฒนาเต็มที่ มีความต้องการภูมิคุ้มกันของร่างกาย รวมถึงระบบทางเดินอาหารเพื่อลดปัญหาการสูญเสียในช่วงลูกโค ลูกโคแรกคลอด ถึงอายุ 4 เดือน จะได้รับการจัดการที่ มุ่งเน้น การจัดการลดปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและเอาใจใส่ดูแลความสะอาดของโรงเรือน น้ำดื่ม น้ำนม และอาหาร เพราะส่วนใหญ่ปัญหาของการเลี้ยงในช่วงนี้ ร้อยละ 80 จะเกิดจากการป่วยเป็นโรคปอดบวมและท้องร่วง ส่วนที่เหลือร้อยละ 20 เกิดจากโรคสเคตติก อีดี และแมลงหรือสัตว์มีพิษกัด (Losing and Heinrich, 1997)

การจัดการลูกโคแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ดังนี้

13.2.1 ลูกโคแรกคลอดถึงอายุ 5 วัน

หลักการสำคัญในการจัดการลูกโคในระยะนี้ คือ ให้ลูกโคได้รับภูมิคุ้มกันโรคเร็วที่สุดในช่วง 2 ถึง 3 ชั่วโมงหลังคลอด แม่โคที่คลอดลูกปกติและมีสุขภาพแข็งแรงจะลุกขึ้นเลียตัวลูกทันทีหลังจากคลอดลูก โดยใช้เวลาเลียลูกโคประมาณ 10 ถึง 20 นาที จนจนลูกโคแห้ง กรณีที่แม่โคอ่อนแอไม่ลุกขึ้นเลียลูก ต้องรีบช่วยลูกโคโดยยกขาหลังของลูกโคทั้ง 2 ข้าง ให้หัวห้อยลง แล้วแกว่งไป-มา จนได้ยินเสียงร้องของลูกโค แล้วค่อยวางลูกโคลงบนพื้น และใช้มือล้วงเมือกออกจากปากของลูกโค จากนั้นใช้ผ้าสะอาด ฟางหรือหญ้าแห้งเช็ดเมือกออกจากจมูก เพื่อช่วยให้ลูกโคหายใจได้สะดวกขึ้น และเช็ดตัวจนกระทั่งขนแห้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโรคปอดบวม หลังจากนั้นให้แยกลูกโคออกจากคอกคลอด ทำการป้องกันการติดเชื้อที่สะดือโดยการเปิดสายสะดือ กรอกสายสะดือด้วยทิงเจอร์ ไอโอดีนประมาณ 3 ถึง 5 มิลลิลิตร และปล่อยให้ทิงเจอร์ไอโอดีนไหลตามสายสะดือจนถึงพื้นท้อง ทำการชั่งน้ำหนักลูกโค วัดส่วนสูงรอบอก และความยาวลำตัว จากนั้นทำการย้ายลูกโคขึ้นกรงสำหรับลูกโคแรกคลอดที่มีฟางหรือหญ้าแห้งรองพื้นกรง ป้อนนมน้ำเหลือง (colostrum) ประมาณ 1 ถึง 1.5 ลิตร ทันที หลังจากนั้นให้น้ำนมจากแม่โคมีอยู่ 2 ลิตร แบ่งให้ เช้า และเย็น เป็นเวลา 3 ถึง 5 วัน

ซึ่งจัดเป็นระยะที่สำคัญที่สุดของชีวิตลูกโค อาจกล่าวได้ว่าเป็นระยะวิกฤตสำหรับลูกโค ชีวิตจะเริ่มต้นด้วยดีหรือไม่ มีสุขภาพสมบูรณ์ดี มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ได้รับนม น้ำเหลืองในระยะแรกคลอด เพราะลูกโคแรกคลอดยังไม่มีภูมิคุ้มกันโรค จำเป็นต้องได้รับภูมิคุ้มกันโรคเร็วที่สุด วิธีการที่ดีที่สุดที่ทำให้ลูกโคได้รับภูมิคุ้มกันโรคก็คือ การให้ลูกโคแรกคลอดได้รับนม น้ำเหลืองเร็วที่สุด นม น้ำเหลืองครั้งแรกที่รีดออกจากเต้าจะเป็นนม น้ำเหลืองที่มีภูมิคุ้มกันโรคมากที่สุด (Quigley and Drewry, 1998) ในขณะที่ให้นมแม่ ที่ให้ลูกโคกินในมือต่อ ๆ มาจะมีภูมิคุ้มกันโรคลดลง

ความสามารถในการดูดซึมภูมิคุ้มกันโรคที่ลำไส้เล็กของลูกโคจะลดลงตั้งแต่หลังคลอดถึง 28 ชั่วโมงหลังคลอด (Otterby and Linn, 1981) หมายความว่า ยิ่งให้ลูกโคได้กินนม น้ำเหลืองเร็วเท่าใดความสามารถในการดูดซึมภูมิคุ้มกันโรคยิ่งมากขึ้นเท่านั้น หลังคลอด 6 ชั่วโมงเป็นต้นไป ความสามารถในการดูดซึมภูมิคุ้มกันโรคที่ลำไส้เล็กของลูกโคจะลดลงเรื่อย ๆ ลำไส้เล็กของลูกโค ไม่สามารถดูดซึมภูมิคุ้มกันโรคได้หลังคลอด 28 ชั่วโมงเป็นต้นไป แต่ลูกโคจำเป็นต้องได้กินนมแม่ต่อไปอีก 3 ถึง 5 วันเพราะนมแม่ครั้งถัดไปยังคงประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาที่สูงมาก โดยเฉพาะวิตามินเอที่เป็นโภชนาที่สำคัญในกระบวนการสร้างภูมิคุ้มกันโรค (จิระชัย, 2561)

ลูกโคแรกเกิดแทบจะไม่มีภูมิคุ้มกันโดยเฉพาะไม่มีแกมมาโกลบูลิน (A gamma globulinemic) ซึ่งเป็นโปรตีนขนาดใหญ่ ในระบบภูมิคุ้มกันที่ทำหน้าที่ตรวจจับ และทำลายฤทธิ์ของสิ่งแปลกปลอมที่เข้าร่างกาย และต้องได้รับภูมิคุ้มกันด้วยการดื่มนม น้ำเหลืองซึ่งมีอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulins) ปัจจัยของความสำเร็จในการส่งถ่ายภูมิคุ้มกันมี 4 อย่าง ดังนี้

1. ปริมาณนม น้ำเหลืองที่รีดครั้งแรกต้องไม่เกิน 8.5 กิโลกรัม ทำให้มีความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลินมากกว่า 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (Weaver et al., 2000)
2. ลูกโคต้องได้รับนม น้ำเหลืองไม่น้อยกว่า 1.5 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มากพอ (Beam et al., 2009)
3. ลูกโคต้องได้รับนม น้ำเหลืองทันทีหลังคลอดถึง 24 ชั่วโมง เนื่องจากลำไส้เล็กจะสามารถดูดซึมโมเลกุลขนาดใหญ่รวมทั้งอิมมูโนโกลบูลิน ในปริมาณที่ลดลงตั้งแต่หลังคลอดถึง 24 ชั่วโมง (Stott and Fellah, 1983) ดังนั้นการให้นม น้ำเหลืองยิ่งเร็วยิ่งดี
4. ต้องคำนึงถึงความสะดวกของนม น้ำเหลือง นม น้ำเหลืองจะต้องมีเชื้อโรคน้อยที่สุด เพราะนม น้ำเหลืองที่ไม่สะอาด อาจจะมีเชื้อโรคเช่น *Salmonella* spp., *Mycobacterium paratuberculosis*, *Escherichia coli*, *Mycoplasma bovis mastitis*, *Staphylococcus aureus mastitis*, *Bovine viral diarrhea virus*, *Bovine leukemia* (McGuirk and Collins, 2004)

ไม่ควรปล่อยให้ลูกโคดูดนม น้ำเหลืองจากแม่โคหลังคลอดตามธรรมชาติโดยขาดการควบคุมติดตาม เนื่องจากลูกโคอาจดูดนม น้ำเหลืองไม่มากพอหรือไม่สามารถดูดได้ภายใน 6 ชั่วโมงแรกเกิด และลูกโคอาจดูดนมหรือติดเชื้อโรคจากสภาพแวดล้อมในระหว่างค้นหาหรือดูดหัวนม (Scott and Fellah, 1983)

ความล้มเหลวของการส่งถ่ายภูมิคุ้มกันจากแม่สู่ลูก ก่อให้เกิดอัตราการตายและการเจ็บป่วย (morbidity) เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของลูกจะลดลง และเมื่อลูกโคนมโตเป็นแม่โครีตนมก็จะให้ผลผลิตน้ำนมต่ำและอัตราการคั้ตทิ้งเพิ่มขึ้นในรอบการให้นมรอบแรก ดังนั้นจึงแนะนำให้ผู้เลี้ยงโคนมเลี้ยงนม น้ำเหลืองด้วยการดูดจากขวดนม และดูแลเอาใจใส่เป็นพิเศษในกรณีลูกโคแรกเกิดที่คลอดยาก ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าลูกโคได้รับการส่งถ่ายภูมิคุ้มกันมากพอ โดยลูกโคอายุ 1-7 วัน ต้องมีอิมมูโนโกลบูลินจีในซีรัมที่ระดับไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (Tyler et al., 1996)

13.2.2 ลูกโคอายุ 6 วันถึง 2 เดือน

การจัดการลูกโคในระยะนี้มีจุดประสงค์เพื่อกระตุ้นให้กระเพาะหมักได้รับการพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้ลูกโคได้รับโภชนามากขึ้นจากกระบวนการย่อยและหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และช่วยลดโอกาสการเกิดโรคท้องร่วง (Beharka et al., 1990) หลังจากลูกโคได้รับนมแม่เป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วันแล้ว ควรย้ายลูกโคเข้ากรงเดี่ยวสำหรับเลี้ยงลูกโคอายุ 6 วันขึ้นไป ซึ่งเป็นกรงที่มีขนาดโตกว่ากรงลูกโคแรกคลอด

กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เป็นสารที่สามารถกระตุ้นการพัฒนากระเพาะหมักได้เร็วขึ้น (Stobo et al., 1966) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยและหมักอาหารชั้นมีมากกว่าอาหารหยาบ เพราะอาหารชั้นมีปริมาณโภชนาและมีค่าการย่อยได้สูงกว่าอาหารหยาบ ในขณะเดียวกันอาหารหยาบคุณภาพต่ำอาจก่อให้เกิดความระคายเคืองในลูกโค (Greenwood et al., 1997) และอาจทำให้การพัฒนาของกระเพาะหมักช้าลงเมื่อเกิดปัญหาการระคายเคืองจากอาหารที่ไม่มีคุณภาพ (Stobo et al., 1966) ดังนั้นการฝึกหัดให้ลูกโคกินอาหารชั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของลูกโคในขณะนี้ ควรเริ่มฝึกป้อนอาหารชั้นเข้าปากลูกโคในช่วงหลังคลอด 2 ถึง 3 วัน หลังจากนั้นลูกโคจะเลียกินอาหารชั้นจากถังอาหารเอง (จิระชัย, 2561) แต่ลักษณะและคุณสมบัติของอาหารชั้นสำหรับลูกโคนั้นจะต้องความเฉพาะดังจะกล่าวในข้อต่อไป

วิธีการเลี้ยงนํ้านมลูกโคด้วยการให้ดูดจากหัวนมยางที่สวมขวนนม หรือที่ติดกับถังนมที่แขวนให้ลูกโคดูด ถือเป็นวิธีการที่ส่งผลดีต่อการกินนมที่ให้ไปใช้ประโยชน์ต่อลูกโคได้มากกว่า เพราะการดูดนํ้านมจากถัง จะทำให้ลูกโคได้รับสารอาหารและเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เช่นผลจากการศึกษาพบว่า การให้นํ้านมลูกโคด้วยการดูดนํ้านมจากหัวนมยาง จะทำให้ลูกโคเจริญเติบโตดีกว่าการให้ลูกโคดูดนํ้านมจากถังนม (Herri Gygi et al., 2006) การดูดนํ้านมจากหัวนมยางจะทำให้นํ้านมไหลผ่านหลอดอาหาร (esophageal groove) ไปลงที่กระเพาะแท้ (abomasum) นํ้านมจะถูกย่อยที่กระเพาะแท้และที่ลำไส้เล็ก สารอาหารจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ลูกโคได้รับสารอาหารอย่างเต็มที่

การดูดนํ้านมจากถังจะทำให้นํ้านมส่วนใหญ่ไหลลงสู่กระเพาะหมัก นํ้านมจะถูกย่อยและหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งอาจก่อให้เกิดภาวะเป็นกรดเกินในกระเพาะหมัก ส่งผลให้ผนังของกระเพาะหมักมีลักษณะหนา (hyper-parakeratosis) มักแสดงอาการแทะสิ่งของ (pica) สภาวะดังกล่าวจะส่งผลต่อการย่อยและการดูดซึมสารอาหารได้น้อยลงที่ลำไส้เล็ก เนื่องจากการฝ่อของวิลลัส (villus atrophy) และกิจกรรมของเอนไซม์ของ brush border ที่ลำไส้เล็กลดลง นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นมูลของลูกโคมีสีเทา (clay-like faeces)

การเลี้ยงนํ้านมลูกโคในระยะนี้ ควรเลี้ยงด้วยนํ้านมแม่มี้อละ 3 ลิตร โดยแบ่งให้ เข้าและเย็น จนอายุได้ 2 เดือน จึงทำการหย่านม ในกรณีที่เลี้ยงลูกโคด้วยนมผงให้ใช้สัดส่วนนมผง 1 ส่วน ละลายในนํ้าอุ่น 8 ส่วน และควรฝึกให้ลูกโคปรับตัวเข้ากับนมผงอย่างช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดโรคท้องร่วงจากการย่อยที่ไม่สมบูรณ์ ควรเริ่มฝึกให้กินนํ้านมผสมเมื่ออายุ 21 วัน โดยผสมนํ้านมแม่ 3 ส่วน และนมผงละลายนํ้า 1 ส่วน (นํ้านมแม่ 2.25 ลิตรและนมผงละลายนํ้าอุ่น 0.75 ลิตร) วันถัดไปให้ผสมนํ้านมแม่ 2 ส่วน และนมผงละลายนํ้า 2 ส่วน (นํ้านมแม่ 1 ลิตรและนมผงละลายนํ้าอุ่น 1 ลิตร) วันที่ 3 ให้ผสมนํ้านมแม่ 1 ส่วนและนมผงละลายนํ้าอุ่น 3 ส่วน (นํ้านมแม่ 0.75 ลิตรและนมผงละลายนํ้าอุ่น 2.25 ลิตร) ตั้งแต่อายุ 24 วันเป็นต้นไป ให้นมผงละลายนํ้าอุ่นอย่างเดียวมี้อละ 3 ลิตรจนกระทั่งหย่านม

ควรฝึกลูกโคก่อนหย่านมให้กินอาหารแข็ง หรืออาหารผสมเสร็จ เพื่อเป็นการกระตุ้นการพัฒนาของกระเพาะหมัก และการเปลี่ยนผ่านจากระยะก่อนการเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นระยะสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดีขึ้น ช่วงเปลี่ยนผ่านนี้จะเป็นการเตรียมตัวจากการพึ่งพาการดูดซึมนํ้าตาลกลูโคสจากนํ้านมที่ลำไส้เล็ก มาเป็นการพึ่งพาการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายเพื่อใช้เป็นพลังงานหลักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Baldwin et al., 2004)

ตั้งแต่แรกเกิดถึง 3 สัปดาห์ จัดเป็นช่วงของอายุที่เริ่มพัฒนาสู่เข้าระยะการเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะกระเพาะหมักอยู่ในระหว่างการพัฒนา การพัฒนาของกระเพาะหมักต้องอาศัยนํ้า สารอาหาร และจุลินทรีย์ เป็นส่วนประกอบในการช่วยให้เกิดการพัฒนากการของกระเพาะหมัก

ลูกโคแรกเกิดที่อายุ 1 วัน ยังไม่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ในกระเพาะหมัก และที่อายุ 2 วัน เริ่มตรวจพบจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใย และย่อยแป้งอาศัยอยู่ในกระเพาะหมัก ที่อายุ 3 ถึง 21 วัน ในกระเพาะหมักจะมีจุลินทรีย์ต่างๆ รวมอยู่ครบ เช่นเดียวกับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มที่ กระเพาะหมักของลูกโคในช่วงนี้มีการพัฒนาขยายขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ตั้งแต่ 3 สัปดาห์เป็นต้นไปจัดเป็นช่วงอายุของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ลูกโคจะกินอาหารแข็ง อาหารชั้น และอาหารหยาบได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ย่อยและหมักอาหารได้เพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการกระตุ้นการพัฒนากระเพาะหมักเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อโค

อายุได้ 2-3 เดือน ถือว่ากระเพาะหมักพัฒนาอย่างเต็มที่ มีสภาวะของกระเพาะหมัก เช่นเดียวกับสัตว์เคี้ยวเอื้องเต็มวัยแล้ว (Rey et al., 2012)

ในวัยนี้การให้อาหารหยาบบางส่วน ในปริมาณร้อยละ 10 – 15 ของอาหารข้นและอาหารเสริมที่เป็นอาหารเริ่มต้น (calf starter) ที่ใช้เลี้ยงลูกโค จะช่วยในการพัฒนากระเพาะหมัก และการกินได้ดีขึ้น ซึ่งอาหารหยาบควรมีขนาดความยาว 1-2 เซนติเมตร และไม่ควรอยู่ในรูปดละเอียด (Montoro et al., 2002) นอกจากนั้นอาหารแข็ง และ/หรืออาหารข้นสำหรับลูกโคหมักก่อนหย่านม ไม่ควรประกอบด้วยแป้งที่ย่อยได้ง่ายในสัดส่วนที่มากเกินไป และไม่ควรเป็นอาหารผง (meal starter) แต่ควรเป็นอาหารบดหยาบ (textured starter) จะช่วยในการกระตุ้นการกินและการพัฒนาของกระเพาะได้ดีกว่าอาหารผงและอาหารอัดเม็ด (Bateman et al., 2009)

การกินอาหารแข็งโดยเฉพาะอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง จะกระตุ้นการพัฒนาของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และการเพิ่มการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งจะกระตุ้นการพัฒนาของปุ่มเล็กที่ผนังกระเพาะอย่างรวดเร็ว แต่ข้อควรระวังเรื่องอาหารที่ใช้เลี้ยงลูกโคในวัยนี้ คือ อาหารแข็งและ/หรืออาหารข้นไม่ควรเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายจนเกินไป เพราะจะทำให้การย่อยและหมักเกิดขึ้นได้เร็วเกินไป จนทำให้ความเป็นกรดต่าง ลดลง รวมถึงการเคลื่อนไหวของกระเพาะหมัก (Rumen motility) ลดลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดชั้นคีราตินที่หนา (keratinization) ที่ผนังของกระเพาะหมัก ส่งผลกระทบต่อการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายลดลง นอกจากนั้นอาหารแข็งที่มีเยื่อใยที่ย่อยได้ง่าย (digestible fiber) โดยเฉพาะแหล่งเยื่อใยที่ไม่ใช่อาหารหยาบ ที่ได้จากการศึกษาวิจัย เช่น เปลือกเมล็ดถั่วเหลือง เปลือกส้ม ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบโตของลูกโคในวัยนี้ ดีกว่าลูกโคที่กินอาหารแข็งที่มีเยื่อใยต่ำ (Suarez-Mera et al., 2011)

การเลี้ยงโคในวัยก่อนหย่านม ไม่แนะนำให้ใช้เฉพาะอาหารหยาบ เพราะอาหารหยาบจะทำให้การกินอาหารข้นลดลง และจุลินทรีย์จะผลิตกรดแอซิดมากกว่าที่จะผลิตกรดบิวทริก ซึ่งทำให้การพัฒนากระเพาะหมักช้าลง สำหรับอาหารข้นให้เลือกใช้อาหารข้นสำหรับลูกโคโดยเฉพาะ ห้ามให้อาหารข้นสำหรับโครุ่น โคสาว แม่โครีดนม และแม่โคพักรีดนม เพราะอาจมียูเรียเป็นส่วนผสมซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของลูกโคยังไม่สามารถใช้ยูเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยูเรียในอาหารจึงอาจเป็นพิษกับลูกโคได้ (Zitnan et al., 1998) นอกจากนั้นอาหารหยาบยังมีพลังงานต่ำกว่าอาหารข้น ทำให้ลูกโคเจริญเติบโตน้อยกว่าลูกโคที่กินอาหารข้น (Hill et al., 2008)

ดังนั้นการเลี้ยงลูกโคในวัยก่อนหย่านม มักจะแนะนำให้ลูกโคกินอาหารผสมเฉพาะสำหรับลูกโค ซึ่งมีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบเท่ากับ 85 : 15 ซึ่งอาหารผสมเสร็จหรือที่เอ็มอาร์สำหรับลูกโคจะเป็นอาหารที่ย่อยได้สูงมาก ทำให้การย่อยและหมักเกิดขึ้นได้ง่าย ก่อให้เกิดการผลิตกรดโปรปิโอนิกและบิวทริกเพิ่มขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นการพัฒนาปุ่มเล็ก (papillae) ในกระเพาะหมัก โดยปุ่มเหล่านี้จะช่วยในการปรับสภาพสมดุลในกระเพาะได้จากการที่ทำหน้าที่ดูดซึมกรดไขมันระเหยง่าย หากกรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตขึ้นได้เร็ว และมีปริมาณมากกว่าที่ถูกดูดซึมผ่านปุ่มเล็กๆ จะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักลดลง โดยทั่วไปหากทำการวัดค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 1-5 ชั่วโมงหลังจากลูกโคกินอาหาร ซึ่งในระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความเป็นกรดต่างต่ำที่สุด ลูกโคจะมีค่าความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมัก อยู่ระหว่าง 5.09-5.31 ซึ่งจะต่ำกว่าโคเต็มวัย และหากทำการวัดอย่างต่อเนื่อง และนำค่าเฉลี่ยมารายงานจะเห็นว่าค่าความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักของลูกโคจะไม่แตกต่างจากโคเต็มวัยมากนักคือ มีค่า 6-7 (Laarman and Oba, 2011) อย่างไรก็ตามในช่วงอายุก่อนหย่านมลูกโคที่กินอาหารที่เอ็มอาร์เป็นอาหารเริ่มต้น ควรมีปริมาณอาหารหยาบในรูปวัตถุแห้งไม่น้อยกว่า 80 กรัมต่อวัน เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ค่าความเป็นกรดต่างในกระเพาะหมักต่ำกว่า 5.8 (Laarman and Oba, 2011)

13.2.3 ลูกโคอายุ 3 ถึง 4 เดือน

ลูกโคที่อายุครบ 2 เดือน มีสภาพแข็งแรง และกินอาหารข้นได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม สำหรับลูกโคที่มีสุขภาพไม่ดี และกินอาหารข้นได้น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อวัน ควรยืดระยะเวลาหย่านมอีก 7 ถึง 14 วัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาแคระแกร็นในลูกโค เมื่อครบกำหนดหย่านม ควรให้น้ำนมเฉพาะมือเข้าต่ออีก 3 วัน เพื่อให้ลูกโคปรับตัวเข้ากับการกินอาหารข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดโอกาสการเกิดโรคท้องอืดในลูกโคระยะหลังหย่านม หลังจากหย่านมแล้วลูกโคจะกินอาหารข้นเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 ถึง 2.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

หลังจากหย่านม 7 ถึง 10 วัน ควรจะเริ่มฝึกลูกโคให้กินอาหารหยาบ และย้ายเข้าอยู่ในคอกลูกโครวมเพื่อกระตุ้นให้กินอาหารหยาบได้มากขึ้น หากปล่อยให้กินอาหารข้นเพียงอย่างเดียว ลูกโคอาจตายด้วยโรคท้องอืดได้ เมื่อลูกโคมีอายุประมาณ 3 เดือนเต็ม ซึ่งเป็นระยะที่กระเพาะหมักของลูกโคพัฒนาอย่างเต็มที่แล้ว ลูกโคจะสามารถใช้อาหารหยาบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ก็ควรให้อาหารหยาบที่มีคุณภาพดี เช่น หญ้าพืชอาหารสัตว์ที่มีอายุไม่เกิน 60 วัน เป็นต้น

13.3 การจัดการให้อาหารโครุ่นอายุ 5 ถึง 8 เดือน

การจัดการโครุ่นในระยะนี้ ยังคงมุ่งเน้นเอาใจใส่ดูแลเรื่องปริมาณการกินได้ และหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ การจัดการโครุ่น ควรแยกเลี้ยงโครุ่นเป็นกลุ่มในคอกที่บรรจุโครุ่นได้ 4 ถึง 6 ตัว เพื่อให้สามารถบริหารจัดการปริมาณ และคุณภาพของอาหารที่ให้อินได้ง่ายยิ่งขึ้น

ถึงแม้โครุ่นที่มีอายุ 5 ถึง 8 เดือน เป็นโครุ่นที่มีความสามารถกินอาหาร โดยเฉพาะอาหารหยาบได้มากขึ้น และมีสุขภาพค่อนข้างแข็งแรง การเปลี่ยนอาหารข้นสำหรับลูกโคเป็นอาหารข้นสำหรับโครุ่นเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญในช่วงนี้ เพราะอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมา อาหารข้นที่ใช้เลี้ยงโครุ่นในระยะเริ่มต้น ยังต้องใช้อาหารข้นสำหรับลูกโคประมาณ 2 ถึง 4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และค่อยๆ ปรับระดับเพิ่มให้เป็นอาหารข้นสำหรับโครุ่น โดยให้พิจารณาการให้มากขึ้นตามการผลัดถ่ายขน ปกติลูกโคจะมีลักษณะขนยาวและแห้ง ส่วนโครุ่นจะมีลักษณะขนสั้นและเป็นมันวาว

การผลัดถ่ายขนของลูกโคจะเริ่มเมื่อมีอายุ 3 ถึง 5 เดือน และผลัดเป็นขนโครุ่นทั่วตัว ในระหว่างอายุ 5 ถึง 8 เดือน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการกินอาหารข้นที่มีความสมดุลของโภชนา และความสมบูรณ์ของร่างกาย โครุ่นที่กินเก่ง และมีสุขภาพแข็งแรง จะผลัดขนเป็นโครุ่นทั่วตัวเมื่อมีอายุ 4 ถึง 5 เดือน หากโครุ่นอายุ 5 ถึง 8 เดือน ตัวใดผลัดขนเป็นโครุ่นทั่วตัวแล้ว ให้ย้ายเข้าคอกที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น สำหรับโครุ่นโดยสมบูรณ์

โครุ่นในระยะนี้ควรมีคะแนนร่างกาย 2.5 ถึง 3.0 และควรมีอัตราการเจริญเติบโตประมาณ 600 ถึง 900 กรัมต่อวัน (Mourits et al., 1997) โครุ่นในระยะนี้ที่ผอมเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อได้รับโภชนาไม่เพียงพอต่อการทำงานของรังไข่ รังไข่อาจลีบเล็กหรือพัฒนาไม่เต็มที่ เมื่อเป็นโคสาวจะไม่แสดงอาการเป็นสัด หรือแสดงอาการเป็นสัดไม่ชัดเจน (Talavera et al., 1985) หากโครุ่นอ้วนเกินไป อาจมีไขมันสะสมที่เต้านมและรังไข่ ซึ่งอาจเปื้อนบังพื้นที่ของเซลล์ที่ทำหน้าที่กลั่นสร้างน้ำนม และรังไข่ ส่งผลให้โคเจริญเติบโตเป็นแม่โครีดนมที่ให้น้ำมน้อย และมีปัญหาการผสมติดยาก (Mourits et al., 1997)

13.4 การจัดการให้อาหารโคสาวอายุ 9 ถึง 15 เดือน

การจัดการโคสาวในระยะนี้ มุ่งเน้นเอาใจใส่ดูแลความสมบูรณ์ของร่างกายให้อยู่ในระดับคะแนนร่างกายที่เหมาะสม ไม่ให้อ้วน หรือผอมเกินไป เพื่อพัฒนาโครงสร้างความเป็นโคนมอย่างต่อเนื่อง (Hoffman et al., 2007) โดยเลือกใช้อาหารที่มีความสมดุลของโภชนาเพื่อควบคุมความสมบูรณ์ของร่างกายให้มีคะแนนร่างกายระหว่าง 2.5 ถึง 3.0 ควบคู่กับอัตราการเจริญเติบโต 500 ถึง 800 กรัมต่อวัน (Mourits et al., 1997) ควรหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดปัญหาบาดเจ็บที่ขาและกีบ

การจัดการโครุ่นให้มีสุขภาพดีอย่างต่อเนื่องจนถึงโคสาว จะช่วยให้โคสาวเริ่มแสดงอาการเป็นสัดครั้งแรกตั้งแต่อายุ 9 ถึง 10 เดือน แต่เพื่อหลีกเลี่ยงการไล่ป็นของโคสาวที่มีขนาดแตกต่างกัน จึงต้องแบ่งโคสาวอายุ 9 ถึง 15 เดือน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่อายุน้อย 9 ถึง 12 เดือน ซึ่งแยกเลี้ยงในคอกที่บรรจุโคสาวได้ 5 ถึง 40 ตัว และกลุ่มที่มีอายุ 13 ถึง 15 เดือน ซึ่งเลี้ยงในคอกที่บรรจุโคสาวได้ 10 ถึง 15 ตัว ทั้ง 2 กลุ่ม จะให้อาหารข้นสำหรับโคสาวในปริมาณ 2 ถึง 4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

พวน (2543) รายงานว่า ปริมาณการกินได้จริงของพลังงานและโปรตีนของโคนม โคจะกินพลังงานได้เท่ากับ 1.04 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) ส่วนโปรตีนโคจะกินได้เท่ากับ 1.00 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) ดังนั้นจากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโคที่ได้รับพลังงาน 1.18 และได้รับโปรตีน 1.00 หรือ 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น

การจัดการเฝ้าระวังและรักษาโคสาวที่มีอาการบาดเจ็บที่ขาหรือกีบ และป่วยด้วยโรคไข้สามวัน (ไข้ขาแข็ง, Bovine ephemeral fever) จะช่วยลดความเสียหายที่อาจส่งผลกระทบต่อการไม่แสดงอาการเป็นสัปดาห์ การจดบันทึกข้อมูลการเป็นสัปดาห์ของโคสาวอายุ 13 ถึง 15 เดือน โดยเฉพาะวัน เวลา และการแสดงอาการเป็นสัปดาห์ที่ผิดปกติ เช่น ระยะเวลาเป็นสัปดาห์หรือยาวเป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้จัดเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนจัดการผสมพันธุ์โคสาวในระยะเวลาที่เหมาะสมต่อไป

13.5 การจัดการให้อาหารโคสาวอายุ 15 เดือน ถึงโคอุ้มท้องแรก ระยะก่อนคลอด

การให้อาหารโคสาว มุ่งเน้นอัตราความต้องการพลังงาน และโปรตีน ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการพัฒนาโครงสร้างด้านความสมบูรณ์ของร่างกาย โคสาวที่มีสุขภาพแข็งแรง สมบูรณ์ จะแสดงอาการเป็นสัปดาห์อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

การให้อาหารต่ำกว่าความต้องการในช่วงแรกหรือในช่วงการเตรียมโคให้น้ำนมปีแรก จะมีผลกระทบต่อขนาดของตัว การเจริญเติบโต การให้น้ำนม การเป็นสัปดาห์ และการผสมติดตั้งท้อง เป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งของปัญหาการให้อาหารที่มีระดับพลังงานมากเกินไปจะทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อพังผืด (parenchyma) แทนเนื้อเยื่อสังเคราะห์และขับหลั่งน้ำนม (Harrison et al., 1983) แต่หากให้อาหารโปรตีนเพียงพอ ปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นระดับของโปรตีนในโคสาวที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงก่อนการให้ผลผลิตในอนาคตของแม่โค

การจัดการผสมพันธุ์โคสาวเป็นสิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่ส่งผลต่อการให้น้ำนม และความสมบูรณ์พันธุ์หลังคลอด ดังนั้นการตัดสินใจผสมพันธุ์จึงควรคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ เช่น

1. โคสาวต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 15 เดือน และมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 320 กิโลกรัม ทั้งนี้เพื่อให้โคสาวมีขนาดโครงสร้างร่างกายโตพอพร้อมรับการคลอด (Hoffman et al., 2007) ซึ่งในประเทศไทยเกษตรกรก็สามารถใช้เกณฑ์นี้ได้เพราะเป็นโคลูกผสมสายพันธุ์ไฮสโตนฟริเซียนที่มีขนาดตัวปานกลาง ส่วนสาเหตุที่ทำการผสมโคสาวที่มีอายุ 15 เดือนขึ้นไปเพราะจะช่วยลดผลกระทบจากปัญหาการกินอาหารได้ไม่เพียงพอต่อการสร้างน้ำนม และระบบสืบพันธุ์ในช่วงหลังคลอด หากผสมพันธุ์โคสาวที่มีอายุน้อยและมีขนาดของโครงสร้างเล็กเกินไป จะส่งผลให้น้ำหนักแม่โคในขณะคลอดน้อยเกินไป และในระยะหลังคลอดอาจไม่สามารถกินอาหารได้เพียงพอต่อการสร้างน้ำนมและการเจริญเติบโตของร่างกาย ซึ่งทำให้แม่โครีดนมที่คลอดลูกตัวแรกมีลักษณะแคระแกรนและมีปัญหาผสมติดยากในอนาคต

2. ไม่ควรผสมพันธุ์โคสาวที่มีระดับสายเลือดโคยุโรปมากกว่าร้อยละ 87.5 ในระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนสิงหาคม ของทุกปี ไม่ว่าจะมีอายุหรือน้ำหนักมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้แม่โครีดนมที่คลอดลูกตัวแรกคลอดในเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นระยะที่มีค่าดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากภูมิอากาศร้อนชื้น (จิระชัย, 2561)

3. ให้เลือกใช้น้ำเชื้อพ่อพันธุ์โคนมที่มีพันธุ์ประวัติคลอดง่าย และมีความสามารถถ่ายทอดลักษณะพันธุ์กรรมที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียเนื่องจากปัญหาการคลอดยาก ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาค้าง มดลูกอักเสบ และผสมติดยากในระยะหลังคลอด

การจัดการแม่โคอุ้มท้องแรกให้มีคะแนนร่างกาย 3.25 ถึง 3.5 ในช่วงก่อนคลอดเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อผลิตภาพการให้ผลผลิตน้ำนมและความสมบูรณ์พันธุ์หลังคลอด (Hoffman et al., 2007) ซึ่งการจัดการแม่โคอุ้มท้องแรกให้มีความสมบูรณ์ของร่างกายที่เหมาะสมดังกล่าว ต้องหลีกเลี่ยงการขุนแม่โคอุ้มท้องแรกในระยะ 2 เดือนก่อนคลอด ทั้งนี้เพราะอาหารจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำหนักของตัวลูกโคมากกว่าตัวแม่โค ทำให้ลูกในท้องตัวโตกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการคลอดยาก ดังนั้นการจัดการแม่โคอุ้มท้องให้มีความสมบูรณ์ของร่างกายที่เหมาะสม จึงควรมีข้อปฏิบัติ ดังนี้

1. เริ่มจัดการดูแลแม่โคอุ้มท้องแรก ที่มีอายุท้อง 5 เดือน ด้วยการให้อาหารชั้นที่มีโภชนาสมตามตารางความต้องการโภชนาในปริมาณ 4 ถึง 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน จนกว่าจะมีคะแนนร่างกายในระหว่าง 3.0 ถึง 3.25 ทั้งนี้เพราะลูกในท้องยังต้องการโภชนาในระดับต่ำและแม่โคอุ้มท้องในระยะนี้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวได้ดี ส่งผลให้ลูกในท้องและแม่โค

มีความสมบูรณ์ของร่างกายทั้งคู่ หลังจากที่มีโคอุ้มท้องแรก มีคะแนนร่างกาย 3.0 ถึง 3.25 แล้ว ให้ลดปริมาณอาหารขึ้นลงเหลือ 2 ถึง 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน เพื่อให้แม่โคอุ้มท้องแรกมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และต่อเนื่อง

2. ในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์ แม่โคอุ้มท้องแรกควรมีคะแนนร่างกายระหว่าง 3.25 ถึง 3.5 ต้องจัดการดูแลเช่นเดียวกับแม่โคพักรีดนมในระยะ 5 สัปดาห์ก่อนคลอด เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับในการคลอด อย่างไรก็ตามควรฝึกแม่โคอุ้มท้องแรกให้คุ้นเคยกับโรงรีดนม โดยฝึกให้เดินผ่านหรือเข้าไปยืนในโรงรีดนมในขณะที่รีดนมตัวอื่น ทั้งนี้เพื่อไม่ให้มีอาการตกใจเมื่อต้องนำมารีดนม

ค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงฝูงโคนมทดแทนคิดเป็นต้นทุนประมาณร้อยละ 20-25 ของต้นทุนการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการใช้ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงฝูงโคนมทดแทน คือ การเลี้ยงฝูงโคนมทดแทนให้โตเร็วแต่ไม่อ้วน เมื่อเป็นแม่โครีดนมจะให้ผลผลิตน้ำนมเต็มศักยภาพทางพันธุกรรม การเลี้ยงโคนมทดแทนตั้งแต่เป็นลูกโคก่อนหย่านมให้โตเร็วแต่ไม่อ้วนสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. เลี้ยงลูกโคก่อนหย่านมด้วยน้ำนมแม่ โดยให้น้ำนมแม่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว (Brown et al., 2005)

2. การเลี้ยงลูกโคก่อนหย่านมด้วยนมผงทดแทนจากนมที่มีโปรตีนร้อยละ 30 และไขมันร้อยละ 16 ซึ่งมีโปรตีนสูงกว่าแต่ไขมันต่ำกว่านมผงทดแทนเดิมที่มีโปรตีนร้อยละ 21 และไขมันร้อยละ 21 โดยให้นมผงทดแทนที่มีโปรตีนสูงนี้ในรูปที่ละลายน้ำแล้วร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว (Brown et al., 2005)

3. การเลี้ยงโครุ่นระหว่างอายุ 3 ถึง 9 เดือน ซึ่งเป็นระยะก่อนวัยเจริญพันธุ์ (prepubertal periods) ด้วยอาหารผสมเสริมที่มีเอนเอร์ยีที่มีสัดส่วนของโปรตีนรวมต่อพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy) ประมาณ 61 กรัมต่อเมกะแคลอรี (Lammers et al., 2000)

13.6 การจัดการให้อาหารโครีดนม

ช่วงการให้น้ำนม (lactation period) ช่วงต้นของรอบการให้น้ำนม แม่โครีดนมต้องการพลังงานปริมาณมาก เพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์น้ำนมเนื่องจากแม่โครีดนมในช่วงต้นของรอบการให้น้ำนมมีความสามารถกินอาหารได้น้อย ซึ่งไม่เพียงพอต่อความสามารถในการสร้างน้ำนม จึงต้องสลายไขมันและกล้ามเนื้อที่สะสมในร่างกายมาเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์น้ำนม การสลายไขมันที่สะสมในร่างกายจำนวนมาก จะก่อเกิดโรคคีโตซิส และไขมันพอกตับ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้กรดไขมันเป็นแหล่งพลังงานผ่านกระบวนการเบตาออกซิเดชัน (beta-oxidation) และข้อจำกัดการทำหน้าที่ของตับของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่จะขับไตรกลีเซอไรด์ออก (triglycerides) ในรูปลิโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำมาก (very low density lipoprotein; VLDL) (Van Kneysel et al., 2007)

การจัดการอาหารเพื่อลดโอกาสการเกิดโรคคีโตซิส และโรคไขมันพอกตับ ทำได้ด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. จัดการเพิ่มการกินได้ของพลังงานในช่วงก่อนคลอด 3 สัปดาห์ เพื่อลดการสลายไขมันและกล้ามเนื้อที่สะสมในร่างกายมาใช้เป็นพลังงานในการสร้างน้ำนม (Kanjanapruthipong et al., 2010)

2. เพิ่มสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นสารตั้งต้นของสารก้ำเนติกกลูโคส (glucogenic substrates) เพื่อให้การสร้างแล็กโทสในน้ำนมได้เพียงพอและลดสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ก่อให้เกิดแหล่งไขมันที่อาจถูกดึงมาสร้างพลังงาน (lipogenic substrates) ซึ่งก่อให้เกิดคีโตเนมากขึ้น (Van Kneysel et al., 2007)

ปกติแล้วแม่โคนมจะได้น้ำตาลจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากแป้งทั้งในรูปที่ย่อยได้ง่ายในกระเพาะหมักและในรูปแป้งไหลผ่าน และสารที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) ส่วนไขมันได้จากอาหารเยื่อใย ไขมัน และไขมันที่สลายจากร่างกาย

แม่โครีดนมที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของแป้งเพิ่มขึ้น จะมีสารประกอบบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตในพลาสมาต่ำกว่า 0.6 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร และมีไตรกลีเซอไรด์ต่ำกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกรัม ของน้ำหนักตัวสด (wet live weight) ขณะเดียวกันแม่โคที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของเยื่อใย และไขมันเพิ่มขึ้นจะมีบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตสูงกว่า 1.2 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร ซึ่งจัดว่าเป็นโรคคีโตซิสแบบไม่แสดงอาการ (subclinical ketosis) และมีไตรกลีเซอไรด์สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกรัม ของน้ำหนักตัวสด ซึ่งจัดว่าเป็นโรคไขมันพอกที่ตับ (Van Kneysel et al., 2007)

จากการศึกษาของ รัชนิกร (2543) พบว่าความต้องการพลังงานและโปรตีนในอาหารของโครีดนม พันธุ์ลูกผสมที่มีสายเลือดโฮสไตน์ฟรีเซียน ประมาณร้อยละ 87.5 ที่ให้นมปานกลาง มีความต้องการพลังงาน ระหว่างร้อยละ 100-110 ของ NRC (1988) ส่วนระดับโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 90-100 ของ NRC (1988) จึงจะเกิดประโยชน์ต่อโคและให้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (รัชนิกร, 2543) ส่วนความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮสไตน์ฟรีเซียนในช่วงกลางของการให้นม อยู่ในช่วงเดียวกันคือร้อยละ 100-110 และ 90-100 ตามลำดับ ที่แนะนำโดย NRC (1988) (เกียรติศักดิ์, 2544) ส่วน บุญล้อม และคณะ (2548) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพโคนม โดยใช้อาหารผสมเสร็จที่เอ็มอาร์คุณภาพดี แนะนำว่าโคนมที่ให้น้ำนมประมาณ 20 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับอาหารผสมเสร็จที่เอ็มอาร์ที่มีโปรตีนร้อยละ 15.5-16 ค่าโภชนาที่น้อยได้รวมทั้งหมดร้อยละ 73-74 เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางร้อยละ 30 และเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรดร้อยละ 16

ภาวะการขาดพลังงาน หรือภาวะคีโตซิสมีผลเสียต่อสมรรถภาพระบบสืบพันธุ์ ทั้งระยะเวลา และระดับความรุนแรงของการขาดพลังงาน ทำให้ความถี่ของการหลั่งโกนาโดโทรปินรีลีสซิงฮอร์โมน (GnRH pulse frequency) ลดลง ซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงวงจรการตอบสนองย้อนกลับที่เกิดผลเสีย (negative feedback loop) ระหว่างความเข้มข้นของเอสโตรเจนและการหลั่งฮอร์โมนลูทีไนซิง (luteinizing hormone; LH) ที่จำเป็นต่อการพัฒนาของฟอลลิเคิล (ถุงไข่) และการตกไข่โดยทำให้เซลล์ไข่ (oocytes) มีคุณภาพต่ำ (Britt, 1992) และขนาดของ “ถุงไข่” เด่น (dominant follicle) ลดลง (Lucy et al., 2009) ซึ่งทำให้การผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจนลดลงและยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนลูทีไนซิง (pulsatile secretion of LH) (Butler et al., 2004) การส่งสัญญาณที่ผิดพลาดของ hypothalamus-pituitary-ovarian axis ที่เป็นผลจากภาวะวงจรการตอบสนองย้อนกลับที่เกิดผลเสีย จะทำให้การทำงานของคอร์ปัสลูเทียม ลำช้าออกไป นอกจากนั้นแม่โครีดนมที่มีคะแนนร่างกายต่ำในช่วงหลังคลอดจะมีผลเสียต่อการตกไข่และการเริ่มทำงานของคอร์ปัสลูเทียมหลังคลอด (Royal et al., 2002) ระยะตกไข่ (Pryce et al., 2000) และระยะหลังคลอดถึงผสมครั้งแรก (Dechow et al., 2004)

การจัดการแม่โครีดนมในด้านต่างๆ รวมถึงด้านอาหาร มีจุดประสงค์เพื่อให้แม่โครีดนมมีสุขภาพแข็งแรง และสามารถผลิตน้ำนมได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม ซึ่งมีผลให้ต้นทุนการผลิตน้ำนมลดลง และมีผลกำไรเพิ่มขึ้น การจัดการแม่โครีดนมต้องจัดการดูแลให้สอดคล้องกับธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในรอบการให้น้ำนมโดยเฉพาะการให้ผลผลิตน้ำนม การกินอาหาร น้ำหนักตัว และการเจริญเติบโตของลูกในท้อง (จิระชัย และ สมเกียรติ, 2536) การเปลี่ยนแปลงการให้ผลผลิตน้ำนม หลังจากการคลอดลูกของแม่โครีดนมจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และให้ผลผลิตน้ำนมสูงสุดหรือที่เรียกว่าพีคของการให้ผลผลิตน้ำนมในช่วงหลังคลอด 6 ถึง 8 สัปดาห์ หลังจากนั้นแม่โครีดนมจะให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเรื่อย ๆ โดยทั่วไปจะหยุดรีดน้ำนมเพื่อรอคลอด หรือพักรีดนมแม่โคเมื่อแม่โครีดนมให้น้ำนมเป็นเวลา 10 ถึง 11 เดือน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณการกินอาหาร แม่โครีดนมมีความสามารถกินอาหารได้น้อยในระยะหลังคลอด 3 ถึง 5 วัน และจะกินอาหารเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งจะสูงสุดในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์ หลังจากนั้นการกินอาหารจะลดลงเรื่อย ๆ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของแม่โครีดนม หลังจากคลอดน้ำหนักตัวของแม่โครีดนมจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์ น้ำหนักตัวจะลดลงต่ำสุด หลังจากนั้นน้ำหนักตัวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างช้า ๆ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 2 เดือนก่อนพักรีดนม การเจริญเติบโตของลูกในท้อง หากแม่โครีดนมเริ่มอ้วนท้องในช่วงหลังคลอด 90 วัน ลูกโคในท้องจะเริ่มเจริญเติบโต และพัฒนาอวัยวะต่าง ๆ ตามช่วงเวลาที่ไปอย่างต่อเนื่องและช้า ๆ จนกระทั่งในช่วงก่อนคลอด 2 เดือน จะมีการ

เจริญเติบโตและพัฒนาอวัยวะต่าง ๆ ที่มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงควรพิจารณาเรื่องอาหารที่แม่โคจะต้องใช้ในการเลี้ยงลูกในท้องควบคู่กับระดับคะแนนความสมบูรณ์ของแม่โคด้วย

จากความสัมพันธ์ของการกินอาหาร น้ำหนักตัวแม่โค และการให้น้ำนมตามช่วงเวลาดังกล่าว จึงมีการแบ่งการจัดการอาหารแม่โครีดนม ออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามระยะเวลาหลังคลอด และ/หรือการให้ผลผลิตน้ำนมและ/หรือการผสมพันธุ์หรือการอุ้มท้อง ทั้งนี้ เพื่อให้การจัดการอย่างทั่วถึง และมีประสิทธิภาพ ดังนี้

13.6.1 การจัดการแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอดถึง 7 วัน

หลังจากแยกลูกโคไปเลี้ยงในโรงเลี้ยงลูกโคแล้ว ควรย้ายแม่โคหลังคลอดกลับเข้ามาอยู่ในคอกที่ใช้สำหรับเตรียมคลอด โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้แม่โคได้พักฟื้นจากการคลอด ควรเอาใจใส่ดูแลการขับรกอย่างใกล้ชิด เพื่อระวังการเกิดโรคมดลูกอักเสบ โรคไข้อันม โรคปอดบวม และป่วยเป็นไข้ตัวร้อน แม่โคที่มีการขับรกปกติ ควรขับรกออกในระยะเวลาหลังคลอด 4 ถึง 6 ชั่วโมง หากแม่โคขับรกออกในระยะเวลาหลังคลอด 6 ถึง 8 ชั่วโมง ควรเฝ้าระวังการเกิดมดลูกอักเสบในระยะต่อมา หากแม่โคไม่ขับรกหลังคลอด 8 ชั่วโมง เป็นต้นไปแสดงว่ารกค้าง (Roberts, 1986)

เฝ้าระวังการเกิดโรคไข้อันม หลังจากคลอดลูก แม่โคที่เป็นโรคไข้อันมจะแสดงอาการภายในระยะหลังคลอดถึง 3 วัน แม่โคจะนอนไม่ยอมลุก และมีอาการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อขาหน้าและขาหลังเหยียดตรง เมื่อสังเกตเห็นอาการดังกล่าวต้องรีบตามสัตวแพทย์ เพราะจะต้องมีการพิจารณาใช้ยาฉีดตามอาการ ซึ่งต้องผ่านการวินิจฉัยโดยผู้รักษา หากรักษาไม่ทันแม่โคที่เป็นโรคไข้อันมอย่างรุนแรงอาจตายในระยะต่อมา

เฝ้าระวังการเกิดโรคปอดบวม หากสังเกตเห็นแม่โคมีอาการหายใจถี่ และแรง และ/หรือหายใจทางปาก มีน้ำลายฟูมปาก ซึ่งอาจเป็นอาการของโรคปอดบวมชนิดเฉียบพลัน ให้รีบตามสัตวแพทย์ ซึ่งต้องมีการฉีดยาปฏิชีวนะ ยาฆ่าเชื้อ รวมถึงยาแก้อักเสบ เป็นต้น หากรักษาไม่ทันแม่โคจะตายในระยะเวลาคืบคลาน

เฝ้าระวังการป่วยเป็นไข้ตัวร้อน ซึ่งมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากติดเชื้อที่มดลูก แม่โคที่มีไข้สูง จะมีอาการซึม และเบื่ออาหาร (LeBlanc et al., 2002) แม่โคหลังคลอดที่มีปัญหาโรคค้างมักจะมีการใช้สูงเสมอ สำหรับแม่โคที่ขับรกเองมีโอกาสเกิดโรคมดลูกอักเสบเช่นกัน การวัดอุณหภูมิที่ทวารหนักในช่วงหลังคลอด 7 ถึง 10 วัน จะเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุด หากอุณหภูมิที่ทวารหนักมีค่าสูงกว่า 39 องศาเซลเซียส ควรรีบให้ยาลดไข้ เพื่อให้แม่โคฟื้นไข้ได้เร็ว และกินอาหารได้เพิ่มขึ้น (จีระชัย, 2561)

เต้านมของแม่โครีดนมในระยะนี้อาจมีอาการบวม น้ำ และมีเลือดมาเลี้ยงเต้านมในปริมาณมาก อาจทำให้อัตราการปล่อยน้ำนมค่อนข้างช้า การรีดนมน้ำเหลืองจึงควรเอาใจใส่ดูแลและระยะเวลาในการรีดนมเป็นพิเศษ เมื่อเห็นน้ำนมหยุดไหลให้ปลดเครื่องรีดทันที หากยังรีดนมต่ออาจทำให้เส้นเลือดภายในเต้านมแตกได้

13.6.2 การจัดการแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 7 วันถึง 3 สัปดาห์

หลังจากแม่โคได้พักฟื้นจากการคลอดแล้ว ควรย้ายแม่โคเข้าคอกรวมที่ซึ่งเฉพาะแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 7 วันถึง 3 สัปดาห์ แม่โครีดนมในระยะนี้เป็นระยะที่มีความเครียดสูงระยะหนึ่งเนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนโภชนาการในกระแสเลือดเป็นน้ำนมได้สูงกว่าความสามารถในการได้รับโภชนาการจากการกินได้ จึงมีการสลายกล้ามเนื้อและไขมันที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเป็นน้ำนม ปริมาณการสลายโภชนาการต่าง ๆ ในร่างกายของแม่โครีดนมจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการกินอาหารได้ให้เพียงพอต่อการถูกใช้ไปสร้างผลผลิตน้ำนม หากแม่โครีดนมกินอาหารได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตน้ำนม จะก่อให้เกิดการสลายโภชนาการต่าง ๆ ที่สะสมในร่างกายมากขึ้น ทำให้แม่โครีดนมสูญเสียน้ำหนักตัวและผอมลงอย่างรวดเร็ว (Domecq et al., 1997a) หากปล่อยให้แม่โครีดนมกินอาหารไม่เพียงพออย่างต่อเนื่องจะทำให้กระบวนการใช้พลังงานในร่างกายแม่โครีดนมไม่มีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดการสะสมไขมันที่ตับ และเป็นโรคคีโตซิสในระยะเวลาคืบคลาน (Veenhuizen et al., 1991) ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมลดลง รังไข่ลีบเล็ก ภูมิคุ้มกันโรคลดลง และง่ายต่อการติดเชื้อโรคต่าง ๆ (Green

et al., 2002) โดยเฉพาะโรคเต้านมอักเสบ และโรคมดลูกอักเสบ การจัดการแม่โครีดนมในระยะนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อให้แม่โครีดนมมีความสามารถกินอาหารได้มากที่สุด ลดการสูญเสียน้ำหนักตัวและมีสุขภาพแข็งแรง ทั้งนี้เพื่อให้แม่โครีดนมสามารถผลิตน้ำนมได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม มีวิธีปฏิบัติดังนี้

1. จัดการอาหารให้มีโภชนาการต่าง ๆ สมดุล

2. ควรให้อาหารในลักษณะอาหารผสมเสร็จที่เอมอาร์ หมายถึงการให้อาหารที่ผสมอาหารข้นและอาหารหยาบเข้าด้วยกัน หรืออาหารกึ่งที่เอมอาร์ หมายถึงการให้อาหารโดยวางอาหารหยาบในรางอาหารก่อน แล้ววางอาหารข้นซ้อนด้านบน โดยให้อาหารสลับกัน 2 ถึง 3 ชั้น เพื่อให้แม่โครีดนมกินอาหารข้นและอาหารหยาบพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะช่วยให้แม่โครีดนมกินอาหารได้มากขึ้น และลดโอกาสการเกิดโรคภาวะกรดในกระเพาะหมัก (จิริชัย, 2561)

เต้านมของแม่โครีดนมในระยะนี้ ยังคงมีอาการบวม น้ำ และมีการไหลเวียนของเลือดไม่สะดวก เมื่อคลำที่ฐานเต้านมจะรู้สึกตึงมือ และไม่นิ่มตามแรงบีบ หลังจากรีดนมเสร็จเต้านมก็ไม่เหี่ยว ซึ่งต่างจากเต้านมที่มีเลือดไหลเวียนได้ปกติ คือเมื่อคลำที่ฐานเต้านมจะมีความรู้สึกนิ่ม หลังจากรีดนมเสร็จเต้านมจะเหี่ยว หากเต้านมของแม่โครีดนมในระยะนี้มีลักษณะบวม น้ำ และเลือดไหลเวียนไม่สะดวก ควรใช้ผ้าชุบน้ำอุ่นประคบเต้านมในขณะที่รีดนมเป็นระยะเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมงของการรีดนม จนกว่าเลือดจะไหลเวียนได้สะดวก โดยเต้านมจะเริ่มเหี่ยวหลังรีดนม และแม่โครีดนมจะเริ่มให้น้ำนมมากขึ้น

13.6.3 การจัดการแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 3 ถึง 10 สัปดาห์

แม่โครีดนมเริ่มปรับตัวด้วยการกินอาหารได้เพิ่มขึ้นในช่วงหลังคลอด 3 สัปดาห์เป็นต้นไป แต่ยังกินอาหารได้ไม่เพียงพอต่อความสามารถในการผลิตน้ำนม การจัดการแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 3 ถึง 10 สัปดาห์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แม่โครีดนมกินอาหารได้เพิ่มขึ้น ลดการสลายโภชนาการที่สะสมในร่างกาย และให้ร่างกายทำงานปกติ (Domecq et al., 1997b) ทั้งนี้เพื่อให้แม่โครีดนมสามารถให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น และแสดงอาการเป็นสัปดาห์แรกในช่วงหลังคลอด 5 ถึง 7 สัปดาห์ การจัดการแม่โครีดนมในระยะนี้ ควรแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 เป็นคอกเฉพาะแม่โครีดนมที่คลอดลูกตัวแรกและ/หรือแม่โครีดนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมมาก ส่วนใหญ่แม่โครีดนมกลุ่มนี้จะอ่อนแอ หากเลี้ยงรวมกับกลุ่มอื่นอาจถูกรังแกหรือไม่สามารถแย่งกินอาหารได้ ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง และการแสดงอาการเป็นสัปดาห์แรกจะใช้เวลามากขึ้น

กลุ่มที่ 2 เป็นคอกสำหรับแม่โครีดนมที่คลอดลูกตั้งแต่ตัวที่ 2 เป็นต้นไป ให้ผลผลิตปานกลาง แม่โครีดนมในกลุ่มนี้มักจะแข็งแรงและแย่งกินอาหารเก่ง การจัดการแม่โครีดนมในกลุ่มนี้จะง่ายกว่า และให้อาหารที่มีคุณภาพด้อยกว่ากลุ่มที่ 1

อาหารที่ใช้สำหรับแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 3 ถึง 10 สัปดาห์ยังเป็นอาหารที่มีความสมดุลของโภชนาการ และยังคงจำเป็นต้องให้อาหารที่เอมอาร์หรือกึ่งผสมเสร็จ ทั้งนี้เพื่อกระตุ้นให้แม่โครีดนมกินอาหารได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสลายไขมันจากเนื้อเยื่อร่างกาย (จิริชัย, 2561)

สำหรับการรีดนมยังคงต้องเอาใจใส่เรื่องสุขศาสตร์การรีดนมอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคเต้านมอักเสบ หากเป็นโรคเต้านมอักเสบในระยะนี้จะรักษาให้หายขาดได้ยาก ก่อให้เกิดการสูญเสียค่ายา และต้องเทน้ำนมทิ้ง

แม่โครีดนมในระยะนี้ที่สามารกกินอาหารเก่ง และมีสุขภาพดี มักจะแสดงอาการเป็นสัปดาห์แรกในช่วงหลังคลอด 5 ถึง 7 สัปดาห์ ควรบันทึกข้อมูลการเป็นสัปดาห์แรก เพื่อช่วยติดตามการเป็นสัปดาห์ และวางแผนการผสมพันธุ์ในระยะต่อมา โดยทั่วไปไม่ควรผสมพันธุ์แม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 3 ถึง 10 สัปดาห์ เพราะเป็นระยะที่แม่โครีดนมให้ผลผลิตน้ำนมสูงสุด แต่ยังไม่สามารถกินอาหารได้มากพอ หากผสมพันธุ์ในระยะนี้ อาจทำให้อัตราการผสมติดลดลง

13.6.4 การจัดการแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์

แม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์ จะเริ่มให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ในขณะเดียวกันยังคงกินอาหารได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสามารถกินอาหารได้สูงสุดในรอบของการให้น้ำนม ทำให้ได้โภชนาการมากกว่าโภชนาการที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำนม ส่งผลให้มีโภชนาการเหลือเพียงพอต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบสืบพันธุ์ ดังนั้นแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 10 ถึง 14 สัปดาห์ จึงเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการผสมพันธุ์มากที่สุด ซึ่งน่าจะทำให้อัตราการผสมติดมีค่าสูงสุด การจัดการแม่โครีดนมในระยะนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อมุ่งเน้นผสมพันธุ์แม่โครีดนมให้อุ้มท้อง

การเอาใจใส่เฝ้าระวังการตรวจสัด ความแม่นยำในการตรวจสัด การสังเกตสีของเมือกที่ขับออกมาจากอวัยวะเพศในระยะก่อนและหลังเป็นสัด ซึ่งช่วยบ่งบอกถึงภาวะติดเชื้อในระบบสืบพันธุ์และการสังเกตเมือกเลือดในระยะหลังเป็นสัด หรือหลังผสมพันธุ์ บ่งบอกถึงระยะเวลาที่ไขตก เป็นเรื่องสำคัญมากที่มีผลต่ออัตราการผสมติด หากแม่โครีดนมในระยะนี้ไม่แสดงอาการเป็นสัด ต้องรีบสังเกต ตรวจจับความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์โดยเฉพาะรังไข่ และ/หรือตรวจอาการโรคมดลูกอักเสบ หากไม่สามารถผสมพันธุ์แม่โครีดนมในระยะนี้ให้อุ้มท้องจะเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลแม่โคในระยะพักรีดนมมากขึ้น และก่อให้เกิดปัญหาการจัดแบ่งกลุ่มแม่โครีดนม (จิระชัย, 2561)

13.6.5 การจัดการแม่โครีดนมในช่วงอุ้มท้องถึงช่วงพักรีดนม

แม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด 14 สัปดาห์เป็นต้นไปและ/หรืออุ้มท้องแล้ว เป็นระยะที่ให้ผลผลิตน้ำนมลดลงอย่างต่อเนื่อง ความต้องการโภชนาการเพื่อใช้ในการผลิตน้ำนมจะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่มีการนำโภชนาการมาผลิต สะสมเป็นไขมันและกล้ามเนื้อในอวัยวะต่าง ๆ มากขึ้น โดยสังเกตเห็นแม่โครีดนมในระยะนี้ เริ่มมีสุขภาพดีขึ้น ไม่เป็นโรคง่าย ขนเป็นมันวาว และร่างกายมีความสมบูรณ์มากขึ้น การจัดการแม่โครีดนมในระยะนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อให้แม่โครีดนมมีการสะสมไขมัน และกล้ามเนื้อตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายอย่างต่อเนื่อง สามารถรักษาระดับการผลิตน้ำนมร้อยละ 5 ต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำนมในเดือนที่ผ่านมา

การเอาใจใส่การให้อาหารเป็นสิ่งสำคัญของการจัดการแม่โครีดนมในระยะนี้หากแม่โครีดนมให้ผลผลิตน้ำนมน้อยกว่า 20 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ควรเปลี่ยนการให้อาหารจากอาหารแบบผสมเสร็จหรือแบบกึ่งผสมเสร็จเป็นแบบให้อาหารข้น และอาหารหยาบแยกกัน ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนค่าผสมอาหารผสมเสร็จที่เฮอร์และ/หรือลดการใช้แรงงานในการผสมอาหารแบบกึ่งผสมเสร็จ เมื่อแม่โครีดนมอุ้มท้องได้ 5 เดือนเป็นระยะที่ต้องให้อาหารข้นเพิ่มขึ้นจนกว่าแม่โครีดนมมีคะแนนร่างกายประมาณ 3.25 แล้วลดอาหารข้นลง เกษตรกรพึงคำนึงเสมอว่าแม่โครีดนมไม่ควรมีความหนาแน่นร่างกายน้อยกว่า 3.0 หรือมากกว่า 3.5 ในขณะพักรีดนม ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการปรับคะแนนร่างกายในระยะพักรีดนมที่ทำได้ค่อนข้างยาก

เมื่อครบกำหนดเวลาพักรีดนมแม่โครีดนม ควรปฏิบัติดังนี้

1. ควรมีการเตรียมพักรีดนมแม่โครีดนมในระยะ 1 สัปดาห์ก่อนครบกำหนดเวลาพักรีดนมโดยเริ่มลดอาหารข้นลงวันละ 0.5 กิโลกรัมต่อตัว จนเหลือการให้อาหารหยาบเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพื่อลดการผลิตน้ำนมและลดความเครียดที่เต้านม ซึ่งช่วยให้พักรีดนมได้ง่ายขึ้น
2. ในระหว่างที่ลดการให้อาหารข้นต้องรีดนมมือเช้าและเย็นเป็นปกติ ไม่ควรรีดนมมือเว้นมือ และวันเว้นวัน เพราะอาจก่อให้เกิดปัญหาโรคเต้านมอักเสบในระยะเตรียมพักรีดนม

13.7 การจัดการให้อาหารแม่โคพักรีดนม

ช่วงพักรีดนม (dry period) วิธีการพักรีดนมแม่โคที่ถูกต้อง คือ ต้องให้แม่โคได้รับสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการในระยะก่อนพักรีดนม (Odensten et al., 2007) อย่างไรก็ตามวิธีพักรีดนมที่นิยม คือ ให้แม่โคได้รับฟางเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 3 ถึง 5 วันก่อนกำหนดวันพักรีดนม ซึ่งจะทำให้ระดับคอร์ติซอล และกรดไขมันอิสระในพลาสมาเพิ่มขึ้นและทำให้ระดับแมกนีเซียมในพลาสมาลดลง แสดงถึงแม่โคอยู่ในภาวะผิดปกติของเมแทบอลิซึม (metabolic disturbances) (Odensten et al., 2007) ซึ่งจะมี

ผลทางลบต่อการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกัน (immune cell functions) ที่เพิ่มโอกาสในการติดเชื้อโรคเต้านมอักเสบในช่วงพักรีดนม (Suriyasathaporn et al., 2000)

ระยะพักรีดนมที่เหมาะสมสำหรับแม่โคที่คลอดลูกตัวแรกยังคงเป็นระยะ 50 ถึง 55 วัน สำหรับแม่โคที่คลอดลูกตั้งแต่ตัวที่ 2 เป็นต้นไป อาจมีระยะพักรีดนมที่ 30 ถึง 35 วัน (Grummer and Rastani, 2004) แม่โคในระยะพักรีดนมจะมีกระบวนการฟื้นฟูสมรรถภาพและสร้างจำนวนเซลล์กลั่นสร้างน้ำนม (secretory cells) เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เพื่อเตรียมตัวสำหรับกลั่นสร้างนมในการให้น้ำนมรอบถัดไป ในขณะที่เดียวกันแม่โคพักรีดนมจะเริ่มสะสมไขมันในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อให้ร่างกายมีความสมบูรณ์อย่างเพียงพอ และพร้อมที่จะสลายกลั่นเนื้อและไขมันสำหรับเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสร้างน้ำนมในการให้น้ำนมรอบถัดไป (Olsson et al., 1998) การจัดการฝูงแม่โคพักรีดนม จึงมุ่งเน้นเอาใจใส่ดูแลสุขภาพ และความสมบูรณ์ของร่างกาย เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการให้น้ำนมในรอบถัดไป หากมีความผิดพลาดในการจัดการฝูงโคพักรีดนม อาจก่อให้เกิดโรคที่เกิดจากความไม่สมดุลของกระบวนการสร้างและสลายไขมัน (metabolic diseases) เช่น โรคไข้นม (milk fever) โรคภาวะคีโตซิส (ketosis) โรคกีบเจ็บ (lameness) เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาคลอดยาก รกค้าง และมดลูกอักเสบ ซึ่งส่งผลให้กลายเป็นแม่โครีดนมที่ให้ผลผลิตน้ำมน้อย และมีปัญหาสมมติยาก ดังนั้นการจัดการแม่โคนมในระยะพักรีดนมจึงเป็นระยะที่สำคัญที่สุดระยะหนึ่ง จึงควรแบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

13.7.1 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงต้นของการพักรีดนม

การจัดการปัจจัยเสี่ยงได้แก่ อาหาร และความสะอาดของพื้นที่คอกที่อาจก่อให้เกิดความเครียดเนื่องจากการคัดเต้านม เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดโรคเต้านมอักเสบในระยะพักรีดนม ควรเพิ่มแร่ธาตุและวิตามิน และจำเป็นต้องลดปริมาณอาหารขลังเหลือ 1 ถึง 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณไขมันที่จะนำไปสู่เต้านม ทำให้เซลล์กลั่นสร้างน้ำนม และหยุดการกลั่นสร้างเร็วที่สุดในขณะเดียวกันเซลล์รอบ ๆ รูหัวนม จะสร้างเนื้อเยื่อปิดรูหัวนม เพื่อไม่ให้เชื้อโรคเข้าสู่เต้านม (Schmidt, 1971) ต้องไม่ปล่อยให้พื้นที่คอกเปียกแฉะ และสกปรก หากสังเกตเห็นอาการบวมแดงที่ฐานเต้านมหรือหัวนมใดหัวนมหนึ่ง หมายความว่าเกิดโรคเต้านมอักเสบที่เต้านมหรือหัวมนั้น ๆ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการรักษาโรคเต้านมอักเสบ โดยรีดน้ำนมเต้านมด้วยมือให้หมดเต้า และสอดยารักษาโรคเต้านมอักเสบ รีดนมทิ้งในมือถัดไป ควรใช้ยารักษาโรคเต้านมอักเสบให้ครบ 3 หลอด หลังจากสอดยารักษาโรคเต้านมอักเสบครบ 3 หลอด ให้รีดน้ำนมทิ้งในมือถัดไปแล้วให้สอดยาพักรีดนม หากไม่รักษาหรือรักษาโรคเต้านมอักเสบไม่หายขาดในระยะเริ่มต้นของ ช่วงพักรีดนม อาจก่อให้เกิดความสูญเสียกับเซลล์ของเต้านมและหัวนม อาจทำให้หัวนมบอดจนไม่สามารถรีดน้ำนมจากเต้านมนั้นได้อีก

13.7.2 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงกลางของการพักรีดนม

หลังจากเต้านมและหัวนมยุบตัวดีแล้ว ฐานเต้านมหดตัวและไม่แดงตึง หมายความว่าเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมได้หยุดสร้างน้ำนมแล้ว แม่โคพักรีดนมในระยะหลังจากพักรีดนม 10 วัน ถึงก่อนคลอด 5 สัปดาห์ เป็นช่วงที่แม่โคเริ่มสะสมไขมันในร่างกายอย่างช้า ๆ และเริ่มสร้างเซลล์สร้างน้ำนมใหม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การจัดการแม่โคพักรีดนมในระยะนี้ต้องมุ่งเน้นเอาใจใส่เรื่องสุขภาพ ความสมดุลของไขมัน ต้องตรวจสอบลักษณะของกีบและพื้นที่กีบของแม่โคพักรีดนมในช่วงนี้ทุกตัวทำการตัดแต่งกีบให้เข้ารูป แล้วพ่นพื้นที่กีบด้วยสารละลายทองแดงซัลเฟต ทั้งนี้เพื่อให้แม่โคพักรีดนมมีกีบที่แข็งแรงพร้อมรองรับการเปลี่ยนแปลงด้านอาหารที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของกีบ โดยเฉพาะโรคกีบเจ็บในช่วงหลังคลอด (Donovan et al., 2004) สำหรับเรื่องอาหารต้องเอาใจใส่ความสมดุลของอาหาร ให้อาหารอย่างพอเพียง ไม่น้อยหรือมากเกินไป หากให้อาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะทำให้สมรรถภาพ และจำนวนเซลล์กลั่นสร้างน้ำมน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการให้น้ำมน้อย และมีปัญหาสมมติยากในช่วงหลังคลอด หากให้อาหารที่ไม่สมดุล อาจก่อให้เกิดปัญหาการคลอดยาก และก่อให้เกิดปัญหาโรคที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสลายไขมันในช่วงหลังคลอด ดังนั้นการให้อาหารแม่โคพักรีดนมในระยะนี้จึงจำเป็นต้องให้อาหารชั้นที่มีความสมดุลของแร่ธาตุ และวิตามิน

เอ ดี และอี ในปริมาณ 1 ถึง 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันนอกจากนั้นยังต้องเอาใจใส่ ดูแลจำนวนของสำหรับเข้ากินอาหารให้เพียงพอต่อจำนวนแม่โคพักรีดนมเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้แม่โคพักรีดนมในระยะนี้ชีวิตกระแทกกัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการแท้งลูกได้

13.7.3 การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์

ปัญหาสุขภาพที่เกิดกับแม่โครีดนมในช่วงหลังคลอด ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากความผิดพลาด ในการจัดการแม่โคพักรีดนม โดยเฉพาะในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์ ปัญหาสุขภาพ ได้แก่ รกค้าง โรคเต้านมอักเสบ โรคไตอักเสบ โรคไขข้อ โรคกรดในกระเพาะ หมัก โรคก๊ีบเจ็บ โรคไขมันสะสมที่ตับ และโรคคีโตซิส (Goff and Horst, 1997) การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์ จึงมีจุดประสงค์เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับการเปลี่ยนแปลงในระยะคลอด ป้องกันไม่ให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสลายโภชนา และป้องกันไม่ให้เกิดโรคเต้านมอักเสบในช่วงก่อนคลอด การจัดการแม่โคพักรีดนมในช่วงนี้ ต้องมุ่งเน้นเลือกใช้อาหารที่มีความสมดุลของโภชนาโดยเฉพาะแป้ง โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินให้อาหารในปริมาณที่เหมาะสม และเอาใจใส่ความสะอาดของคอกเตรียมคลอดและคอกคลอด

การเตรียมความพร้อมรองรับการเปลี่ยนแปลงในระยะคลอด และหลังคลอด ควรเริ่มด้วยการย้ายแม่โคพักรีดนมในช่วงก่อนคลอด 5 สัปดาห์ เข้าคอกเตรียมคลอด ถ่ายพยาธิ ในช่วงก่อนคลอด 5 ถึง 3 สัปดาห์ เป็นช่วงที่เริ่มเตรียมความพร้อมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคภาวะกรดเกินในกระเพาะหมัก และโรคก๊ีบเจ็บในช่วงหลังคลอด ควรให้อาหารชั้น 2 ถึง 3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และให้อาหารหยาบเต็มที่ โดยแบ่งการให้อาหารเป็น 2 มื้อ เช้าและเย็น ทำความสะอาดพื้นคอกวันละ 1 ครั้ง

13.8 การจัดการให้อาหารแม่โคพักรีดนมก่อนคลอดและหลังคลอด 3 สัปดาห์ (Transitional period)

ช่วงก่อนคลอด 3 สัปดาห์ถึงหลังคลอด 3 สัปดาห์ แม่โคจะมีภูมิคุ้มกันทั้งภูมิคุ้มกันสืบทอดและภูมิคุ้มกันได้มาหลังเกิด (innate และ acquired immune systems) ลดลง (Do Amaral et al., 2011) ช่วง 3 สัปดาห์ก่อนคลอด จะเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเมแทบอลิซึมมากที่สุดช่วงหนึ่ง ซึ่งแม่โคใกล้คลอดจะเริ่มกินอาหารได้ลดลง ขณะที่มีความต้องการสารอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญเติบโตของลูกในท้องและเริ่มผลิตน้ำนม หากแม่โคก่อนคลอดในช่วงนี้ได้รับสารอาหารไม่พอและ/หรือในอาหารมีไขมันสูง หรือมีไขมันไหลผ่านมากเกินไป จะทำให้แม่โคในช่วงก่อนคลอดนี้ กินอาหารได้ลดลง ซึ่งก่อให้เกิดภาวะพลังงานสมดุลเชิงลบ (Duske et al., 2009) แม่โคในช่วงก่อนและหลังคลอด 3 สัปดาห์ ที่อยู่ในภาวะสมดุลพลังงานเชิงลบ อาจจะอยู่ในภาวะเสี่ยงสูงที่จะเกิดโรคเต้านมอักเสบแบบเฉียบพลันและแบบไม่แสดงอาการในช่วงต้นของรอบการให้น้ำนม (Moyes et al., 2009) เนื่องจากกรดไขมันอิสระ (nonesterified free fatty acids; NEFA) และเบตาไฮดรอกซีบิวทิเรต (betahydroxybutyrate; BHBA) จะทำให้ภูมิคุ้มกันของเซลล์ (cellular immunity) เสื่อมลง (Suriyasathaporn et al., 2000) นอกจากนั้นยังทำให้ระยะเวลาหลังคลอดถึงไข่ตกยืดยาวออกไป ซึ่งมีผลให้ระยะหลังคลอดถึงผสมติดยาวนานขึ้น อาจใช้เวลานานถึง 190 วันหลังคลอด (Colazo et al., 2009)

ในช่วงก่อนคลอด 2 ถึง 3 สัปดาห์ เป็นระยะที่เตรียมความพร้อมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการคั่ง ควรให้อาหารชั้นเพิ่มเป็น 3 ถึง 4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และให้อาหารหยาบเต็มที่ อาหารที่ใช้เลี้ยงแม่โคในระยะนี้ต้องมีปริมาณไโอไดน ฟอสฟอรัส ทองแดง ซีลีเนียม วิตามินเอ ดีและอี ให้เพียงพอโดยแบ่งการให้อาหารเป็น 2 มื้อ เช้าและเย็น

ในช่วงก่อนคลอด 2 สัปดาห์ ถึง ระยะคลอดเป็นระยะที่เตรียมความพร้อมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคไขมัน โรคไขมันสะสมที่ตับ โรคภาวะคีโตซิส และโรคเต้านมอักเสบ แม่โคในระยะนี้มีความเครียดสูงมาก และกินอาหารลดลง ควรให้อาหารชั้นเพิ่มเป็น 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และให้อาหารหยาบเต็มที่ โดยแบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 มื้อ เช้าและเย็น ทำความสะอาดพื้นคอกวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคเต้านมอักเสบในระยะนี้ เพราะเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมเริ่มมีการกลั่นสร้างน้ำนมแล้ว

ความต้องการแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โพแทสเซียม คลอไรด์ และกำมะถัน เป็นต้น มีความสำคัญต่อการพัฒนา และการคลอดของตัวอ่อนลูกโค แคลเซียมและฟอสฟอรัสสัมพันธ์กับการเกิดไขมัน การให้แคลเซียมต่ำ 20 กรัมต่อวัน หรือควรมีสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหาร 1.5 - 2.0 : 1 ลดการเกิดไขมันได้ การขาดแมกนีเซียมทำให้เกิดอาการชัก (tetany)

การได้รับโพแทสเซียมมากมักเกิดจากการใส่ปุ๋ยในแปลงหญ้ามากเกินไป ทำให้เกิดการบวมน้ำที่เต้านมและลดการใช้ประโยชน์ได้ของแมกนีเซียม แร่ธาตุหลายชนิดมีความสัมพันธ์กัน การให้โซเดียมไบคาร์บอเนตแก่โคพักรีดนม โคจะได้รับโซเดียมมากอาจเกิดการบวมน้ำของเต้านม สำหรับแม่โคที่เคยมีประวัติหรือพันธุ์ประวัติของแม่ที่เคยเป็นโรคไขมัน ต้องเสริมสารเคมีที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในกระเพาะ (Horst et al., 1997) เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต หรือผงยิบซัม 60 ถึง 100 กรัมต่อตัวต่อวัน เพื่อป้องกันการเกิดโรคไขมันในกระเพาะหลังคลอด

แร่ธาตุรอง หรือแร่ธาตุที่มีความต้องการในปริมาณน้อย เช่น เหล็ก ทองแดง โคบอลต์ ไอโอดีน แมงกานีส ซีลีเนียม สังกะสี เป็นต้น มีความสำคัญต่อการอุ้มท้อง และการสะสมแร่ธาตุเหล่านี้ในตับและไตของตัวอ่อนมากกว่าแม่โค ขณะที่การสะสมแร่ธาตุในตับเป็นแหล่งแร่ธาตุที่สำคัญเมื่อเกิดการขาดแร่ธาตุโดยเฉพาะช่วงปลายของการอุ้มท้อง อย่างไรก็ตาม นม น้ำเหลือง นับเป็นแหล่งแร่ธาตุสำหรับลูกโค แร่ธาตุรองมีความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมกับกระบวนการเมแทบอลิซึม การขาดแร่ธาตุโคจะแสดงอาการหลาย ๆ อย่าง คือ การทำงานทางสรีรวิทยาและระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ (ทองแดง สังกะสี ไอโอดีน) การพัฒนาของตัวอ่อนผิดปกติ (ทองแดง แมงกานีส ไอโอดีน) รกค้าง (ทองแดง ซีลีเนียม ไอโอดีน) กระบวนการเมแทบอลิซึมผิดปกติ (เหล็ก สังกะสี ไอโอดีน โคบอลต์) นอกจากนี้แร่ธาตุหลายชนิดมีหน้าที่เกี่ยวกับการต้านอนุมูลอิสระ โคระยะพักรีดนมหรือโคใกล้คลอดอยู่ในช่วงการเปลี่ยนผ่านไปเป็นโคระยะให้นมจึงมีความเครียดค่อนข้างมาก ดังนั้นการได้รับแร่ธาตุจุลธาตุอย่างเพียงพอจะมีส่วนช่วยลดความเครียด และยังส่งผลต่อเนื่องทำให้สุขภาพเต้านม กีบเท้า และสมรรถภาพระบบสืบพันธุ์ของโคหลังคลอดดีขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรให้โคได้รับแร่ธาตุอย่างเพียงพอแก่ความต้องการตลอดช่วงการอุ้มท้อง รวมทั้งมีแร่ธาตุให้โคเสียกินอย่างอิสระ (Andeiu, 2008)

ความต้องการวิตามิน จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก สังเคราะห์วิตามินบีได้เพียงพอต่อความต้องการของโค แต่ในช่วงเกิด ความเครียดตอนเริ่มให้นมหลังคลอดหรือการหมักย่อยในกระเพาะหมักผิดปกติ ควรเสริมไนอาซิน 6 - 12 กรัมต่อวัน ตั้งแต่ 1-2 สัปดาห์ก่อนคลอด จนถึงช่วงแรกการให้นม ช่วยลดอาการผิดปกติจากการขาดพลังงานรวมทั้งเพิ่มการให้นม อาหารโคพักรีดนมต้องเสริมวิตามินเอ วิตามินดีและวิตามินอี วิตามินดีช่วยควบคุมระดับแคลเซียมป้องกันการเกิดไขมัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินบีแล้ว วิตามินละลายในไขมันถูกดูดซึมผ่านรกได้เล็กน้อยเท่านั้น ลูกโคแรกคลอดจึงควรได้รับนม น้ำเหลืองหลังคลอด เพราะน้ำนม น้ำเหลืองเป็นแหล่งวิตามินละลายในไขมัน วิตามินเอและอีช่วยป้องกันโรคและสร้างนม น้ำเหลืองคุณภาพดีรวมทั้งป้องกันการเกิดรกค้าง นอกจากนี้วิตามินดียังสัมพันธ์กับการเกิดเต้านมอักเสบด้วย (NRC, 2001)

13.9 สรุป

การให้อาหารโคนม ต้องให้โคได้รับโภชนาเพียงพอกับความต้องการขึ้นอยู่กับขนาดร่างกาย อัตราการเจริญเติบโต ช่วงการอุ้มท้อง การให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม อาหารต้องมีความสมดุลของโภชนาเพื่อช่วยให้โคนมใช้ประโยชน์จากอาหารได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ สุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์สามารถให้ผลผลิตได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม รวมทั้งไม่ก่อปัญหาเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์ โภชนาหลักที่สำคัญที่โคนมมีความต้องการในปริมาณมาก คือ พลังงานและโปรตีน ส่วนแร่ธาตุและวิตามินนั้นโคนมมีความต้องการในปริมาณที่น้อยและส่วนใหญ่สามารถเสริมในอาหารได้ในรูปของแร่ธาตุหรือวิตามินผสมสำเร็จรูป

13.10 เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ ศรีพันธุ์บุตร. 2544. การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมระยะกลางที่ได้รับฟางข้าวหมัก
 ุยเป็นอาหารหยาบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัย
 เทคโนโลยีสุรนารี.
- จีระชัย กาญจนพลพิงค์ และสมเกียรติ ทิมพัฒน์พงศ์. 2536. หลักการให้อาหารโคนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
 นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

- จิระชัย กาญจนพถุฒิพงศ์. 2561. การจัดการฝูงโคนม. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม: บริษัทเมจิค พับลิเคชั่น จำกัด.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล สมคิด พรหมมา และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2548. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมโคโดยใช้อาหารผสมครบส่วนและอาหารชั้นคุณภาพดี. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- พวน ทัศนพงษ์. 2543. การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รัชนิกร มูลปา. 2543. การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2557. อาหารและฟาร์มโคนมสมัยใหม่. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Baldwin, R.L., K.R. McLeod, J.L. Klotz and R.N. Heitmann. 2004. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and post-weaning ruminant. J. Dairy Sci. 87(E Suppl.): E55-E65.
- Bateman, H.G. II, T.M. Hill, J.M. Aldrich and R.L. Schlotterbeck. 2009. Effects of corn processing, particle size, and diet form on performance of calves in bedded pens. J. Dairy Sci. 92(2):782-789.
- Beam, A.L., J.E. Lombard, C.A. Koprak, L.P. Garber, A.L. Winter and J.A. Hicks. 2009. Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and association management practices on US dairy operations. J. Dairy Sci. 92(8):3973-3980.
- Beede, D.K. and R.J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. J. Anim. Sci. 62(2):543-554.
- Beharka, A.A., T.T. Nagaraja and J.L. Morrill. 1990. Effect of physical form of diet on ruminal microbial and metabolic development in young calves. In: The 1990 Annual Kansas State University Dairy Day. J. S. Stevenson. Ed. Agricultural Experimental Station, KSU. pp. 9-11.
- Britt, J.H. 1992. Impacts of early postpartum metabolism on follicular development and fertility. Bovine Pract. 24:39-43.
- Brown, E.G., M.J. VandeHaar, K.M. Daniels, J.S. Liesman, L.T. Chapin and D.H. Keisler. 2005. Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. J. Dairy Sci. 88(2):585-594.
- Dechow, C.D., G.W. Rogers, U. Sander-Nielsen, L. Klei, T.J. Laylor and J.S. Clay. 2004. Correlations among body condition scores from various sources dairy from and cow health from United States and Denmark. J. Dairy Sci. 87(10):3526-3533.
- do Amaral, B.C., E.E. Connor, S. Tao, M.J. Hayen, J.W. Bubolz and G.E. Dahl. 2001. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. J. Dairy Sci. 94(1):56-96.
- Domecq, J.J., A.L. Skidmore, J.W. Lloyd and J.B. Kaneene. 1997a. Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yield Holstein cows. J. Dairy Sci. 80(1):101-112.

- Domecq, J.J., A.L. Skidmore, J.W. Lloyd and J.B. Kaneene. 1997b. Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80(1):113-120.
- Donovan, G.A., C.A. Risco, G.M. Dechant Temple, T.Q. Tran and H.H. van Horn. 2004. Influence of transition diets on occurrence of subclinical laminitis in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(1):73-84.
- Duske, K., H.M. Hammon, A.K. Langhof, O. Bellmann, B. Losand and K. Nurnberg. 2009. Metabolism and lactation performance in dairy cows fed a diet containing rumen-protected fat during the last twelve weeks of gestation. *J. Dairy Sci.* 92(4):1670-1684.
- Folman, Y., H. Neumark, M. Kain and W. Kaufmann. 1981. Performance, rumen, and blood metabolites in high-yielding cows fed varying protein pencentis and proteted soybean. *J. Dairy Sci.* 64(5):759-769.
- Goff, J.P. and R.L. Horst. 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80(7):1260-1268.
- Green, M.J., L.E. Green, G.F. Medley. Y.H. Schukken and A.J. Bradley. 2002. Influence of dry period bacterial intramammary infection of clinical mastitis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85(10):2589-2599.
- Grummer, R.R. and R.R. Rastani. 2004. Why reevaluate dry period length? *J. Dairy Sci.* 87(E suppl.):E77-E85.
- Hassan, A. and J.D. Roussel. 1975. Effect of protein concentration in the diet on blood composition and productivity of lactating Holstein cows under thermal stress. *J. Agric Sci. Camb.* 85(3):409-415.
- Hill, T.M., H.G. Bateman, J.M. Aldrich and R.L. Schlotterbeck. 2008. Effects of the amount of chopped hay or cottonseed hulls in a textured calf starter on young calf performance. *J. Dairy Sci.* 91(7):2684-2693
- Hoffman, P.C., C.R. Simson and M. Wattiaux. 2007. Limit feeding of gravid Holstein heifers: Effect on growth, manure nutrient excretion, and subsequent early lactation performance. *J. Dairy Sci.* 90(2): 946-954.
- Horst, R.T., T.A. Reinhardt and D.R. Buxton. 1997. Strategies for preventing milk fever in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 80(7): 1269-1280.
- Kanjanapruthipong, J. and N. Buatong. 2002. Effects of formalin treated soybean as a source undegradable protein on rumen functions of non-lactation cows on concentrate based diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 15(10):1439-1444.
- Kanjanapruthipong, J., C. Vajravukka and S. Sindhuranich. 2002. Effects of rumen undegradable protein and minerals proteinate on early lactation performance and ovarian functions of dairy cows in the tropics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16(6):806-811.
- Kanjanapruthipong, J., N. Homwong and N. Buatong. 2010. Effects of prepartum roughage neutral detergent fiber levels on periparturient dry matter intake, metabolism, and lactation in heat-stressed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(10):2589-2597.
- Laarman, A.H. and M. Oba. 2011. Short communication: Effect of calf starter on rumen pH of Holstein dairy calves at weaning. *J. Dairy Sci.* 94(11):5661-5664.
- Lammers, B.P. and A.J. Heinrichs. 2000. The response of altering the ratio of dietary protein to energy on growth, feed efficiency, and mammary development in rapidly growing prepubertal heifers. *J. Dairy Sci.* 83(5):977-983.

- LeBlanc, S.J., T.F. Duffield, K.E. Leslie, K.G. Bateman, G.P. Keefe and J.S. Walton. 2002. Defining and diagnosing postpartum clinical endometritis and its impact on reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85(9):2223-2236.
- Lucy, M.C., G.A. Verkerk, B.E. Whyte, K.A. Macdonald, L. Burton and R. Cursons. 2009. Somatotrophic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances in a pasture system. *J. Dairy Sci.* 92(2):526-539.
- Montoro, C., E.K. Miller-Cushon, T.J. DeVries and A. Bach. 2013. Effect of physical form forage on performance, feeding behavior, and digestibility of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 96(2):1117-1124.
- Mourits, M.C.M., A.A. Dijkhuizen, R.B.M. Huirne and D.T. Galligan. 1997. Technical and economic models to support heifer management decisions: Basic concepts. *J. Dairy Sci.* 80(7):1406-1415.
- Moyes, K.M., T. Larsen, N.C. Friggens, J.K. Drackley and K.L. Ingvarssent. 2009. Identification of potential markers in subclinical and clinical mastitis in dairy cattle at parturition and during early lactation. *J. Dairy Sci.* 92(11):5419-5428.
- NRC. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Edition. Washington, DC: The National Academic Press.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition Washington, DC: The National Academies Press.
- Odensten, M.O., R. Holtenius and K.P. Waller. 2007. Effects of two different feeding strategies during dry-off on certain health aspects of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90(2):898-907.
- Olsson, G., M. Emanuelson and H. Wiktorsson. 1998. Effects of different nutritional levels prepartum on the subsequent performance of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 53(3):279-290.
- Otterby, D.E. and J.G. Linn. 1981. Advances in nutrition and management of calves and heifer. *J. Dairy Sci.* 64(6):1365-1377.
- Pryce, J.E., M.P. Coffey and S. Brothertone. 2000. The genetic relationship between calving interval, body condition scores, and linear type and management traits in registered Holsteins. *J. Dairy Sci.* 83(1): 2664-2671.
- Quigley, III. J.D. and J.J. Drewry. 1998. Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. *J. Dairy Sci.* 81(10):2779-2790.
- Rey, M., F. Enjalbert and V. Monteils. 2012. Establishment of ruminal enzyme activities and fermentation capacity in dairy calves from birth through weaning. *J. Dairy Sci.* 95(3):1500-1512.
- Roberts, S.J. 1986. Puerperal infections, uterine infections and diseases. In: *Veterinary Obstetrics and Genital Diseases*. 3. David and Charles inc., Woodstock, NY. Pp. 373-393.
- Royal, M.D., J.E. Pryce, J.A. Wooliams and A.P.F. Flint. 2002. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition scores, production, and linear type traits in Holstein-Frisian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85(11):3071-3080.
- Schmidt, G.H. 1971. *Biology of Lactation*. San Francisco, US: W.H. Freeman and Company.
- Suriyasathaporn, W., C. Heuer, E.N. Noordhuizen-Stassen and Y.H. Schukken. 2000. Hyperketonemia and the impairment of udder defense: A review. *Vet. Res.* 31(4):397-412.

- Tyler, J. W., D.D. Hancock, S.M. Parish, D.E. Rea, T.E. Besser and S.G. Sanders. 1996. Evaluation of 3 assays for failure of passive transfer in calves. *J. Vet. Intern. Med.* 10(5):304-307
- van Knegsel, A.T.M., H. van den Brand, J. Dijkstra, W.M. van Straalen, R. Jorritsma and S. Tamminga. 2007. Effect of glucogenic vs. lipogenic diets on energy balance, blood metabolites, and reproduction in primiparous and multiparous dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 90(7):3397-3409.
- Veenhuizen, J.J., J.K. Drackley, M.J. Richard, T.P. Sanderson, L.D. Miller and J.W. Young. 1991. Metabolic changes in blood and liver during development and early treatment of experimental fatty liver and ketosis in cows. *J. Dairy Sci.* 74(12):4238-4253.
- Weaver, D.M., W. Tyler, D.C. Vanmetre, D.E. Hostetler and G.M. Barrington. 2000. Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. *J. Vet. Intern. Med.* 14(6):569-577.
- Zitnan, R., J. Voigt, U. Schonhusen, J. Wegner, M. Kokardova, H. Hagemeister, M. Levkut et al. 1998. Influence of dietary concentrate to forage ratio on the development of rumen in calves. *Arch.Tierernahr.* 51(4):279-291.

บทที่ 14 ตารางค่าความต้องการโภชนะของโคนมไทย

การสร้างตารางแนะนำความต้องการโภชนะของโคนมไทยฉบับแรกนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความต้องการโภชนะและพลังงานของโคนม โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ห่อภิณ (meta-analysis) เพื่อพัฒนาสมการทำนายเริ่มจากการสร้างฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยด้านโภชนะในโคนมภายใต้สภาพการจัดการเลี้ยงดู สภาพแวดล้อมด้านภูมิอากาศ และแหล่งอาหารสัตว์ของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการสังเคราะห์เอกสารงานวิจัย ด้านโภชนะโคนมของประเทศไทยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารและเอกสารวิชาการ พบว่า มีจำนวนบทความวิจัยและข้อมูลน้อย ทำให้สมการที่สร้างได้ มีค่าความถูกต้อง แม่นยำและความเชื่อมั่นได้อย่างจำกัด สำหรับรายงานนี้ จึงเสนอการประเมินค่าความต้องการโภชนะเฉพาะโปรตีนและพลังงานเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตของโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยเท่านั้น สำหรับรายละเอียด ที่มา และคำอธิบาย เกี่ยวกับสมการที่นำมาใช้ประเมินความต้องการโภชนะและปริมาณการกินได้ สามารถอ่านได้ในบทที่เกี่ยวข้องในหนังสือนี้ ซึ่งสรุปตารางคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะโคนม และตัวอย่างสูตรอาหารของโคนมในตารางที่ 14.1 – 14.14 มีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 14.1 ค่าความต้องการโภชนาของโคนมไทยระยะรุ่น-สาว (Growing-Heifers)*

BW	ADG	Intake	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
100	0.0	3.4	5.03	5.7	1.4	78	43	61	104	3.0
100	0.3	3.4	5.06	5.7	1.4	271	151	211	362	10.6
100	0.6	3.4	5.09	5.7	1.4	348	194	271	465	13.6
100	0.9	3.4	5.12	5.8	1.4	425	236	332	568	16.6
150	0.0	4.6	6.82	7.6	1.9	105	59	82	141	3.0
150	0.3	4.6	6.85	7.7	1.9	340	189	265	454	9.8
150	0.6	4.6	6.88	7.7	1.9	417	232	325	557	12.0
150	0.9	4.6	6.91	7.7	1.9	494	275	385	660	14.3
200	0.0	5.7	8.47	9.4	2.3	130	73	102	174	3.0
200	0.3	5.7	8.50	9.4	2.3	403	224	314	539	9.4
200	0.6	5.7	8.53	9.5	2.3	480	267	375	642	11.2
200	0.9	5.7	8.55	9.5	2.3	557	310	435	745	13.0
250	0.0	6.8	10.01	11.1	2.7	154	86	120	206	3.0
250	0.3	6.8	10.04	11.1	2.7	463	257	361	618	9.1
250	0.6	6.8	10.07	11.2	2.7	540	300	421	721	10.6
250	0.9	6.8	10.10	11.2	2.7	617	343	481	824	12.1
300	0.0	7.8	11.48	12.7	3.1	177	98	138	236	3.0
300	0.3	7.8	11.51	12.7	3.1	519	289	405	694	8.9
300	0.6	7.8	11.54	12.7	3.1	596	332	465	797	10.2
300	0.9	7.8	11.57	12.8	3.1	673	375	525	900	11.6
350	0.0	8.7	12.89	14.2	3.5	199	110	155	265	3.0
350	0.3	8.7	12.92	14.2	3.5	573	319	447	766	8.8
350	0.6	8.7	12.95	14.3	3.5	650	362	507	869	9.9
350	0.9	8.7	12.97	14.3	3.5	727	405	567	972	11.1

*BW= น้ำหนักโคนม (กิโลกรัม); ADG = อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกกะแคลอรี/วัน); TDN = โภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหายา (กรัม/วัน หรือร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.2 ค่าความต้องการโภชนาการของโครีดนมระยะ 2 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ*

BW	Milk	Fat	Protein	BW C	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	12	3.5	3.0	-0.2	10.4	15.5	22.5	24.6	6.1	1264	1339	534	1873	18.0
450	12	3.5	3.0	0	10.4	16.5	23.8	26.1	6.5	1316	1393	556	1949	18.7
450	12	3.5	3.0	0.2	10.4	17.4	25.2	27.6	6.8	1367	1448	577	2025	19.5
450	12	3.5	3.5	-0.2	10.4	15.9	22.9	25.1	6.2	1444	1529	609	2138	20.6
450	12	3.5	3.5	0	10.4	16.8	24.3	26.6	6.6	1495	1583	631	2214	21.3
450	12	3.5	3.5	0.2	10.4	17.7	25.6	28.1	7.0	1547	1637	653	2290	22.0
450	18	3.5	3.0	-0.2	12.5	19.6	28.4	31.0	7.7	1803	1909	761	2670	21.4
450	18	3.5	3.0	0	12.5	20.6	29.7	32.5	8.1	1854	1963	783	2746	22.0
450	18	3.5	3.0	0.2	12.5	21.5	31.1	34.0	8.4	1905	2018	804	2822	22.6
450	18	3.5	3.5	-0.2	12.5	20.1	29.1	31.8	7.9	2072	2194	874	3068	24.6
450	18	3.5	3.5	0	12.5	21.1	30.4	33.3	8.3	2123	2248	896	3144	25.2
450	18	3.5	3.5	0.2	12.5	22.0	31.8	34.8	8.6	2174	2302	918	3220	25.8
450	18	4.0	3.0	-0.2	13.0	20.5	29.6	32.4	8.0	1953	2068	824	2892	22.3
450	18	4.0	3.0	0	13.0	21.4	30.9	33.8	8.4	2004	2122	846	2968	22.9
450	18	4.0	3.0	0.2	13.0	22.3	32.3	35.3	8.8	2055	2176	868	3044	23.5
450	18	4.0	3.5	-0.2	13.0	21.0	30.3	33.1	8.2	2247	2379	948	3327	25.7
450	18	4.0	3.5	0	13.0	21.9	31.6	34.6	8.6	2298	2433	970	3403	26.2
450	18	4.0	3.5	0.2	13.0	22.8	33.0	36.1	9.0	2349	2488	991	3479	26.8

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.3 ค่าความต้องการโภชนาของโคนมระยะ 2 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ*

BW	Milk	Fat	Protein	BW C	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
550	18	3.5	3.0	-0.2	13.5	21.0	30.3	33.2	8.2	1842	1950	777	2727	20.2
550	18	3.5	3.0	0	13.5	21.9	31.7	34.6	8.6	1893	2004	799	2803	20.8
550	18	3.5	3.0	0.2	13.5	22.9	33.0	36.1	9.0	1944	2059	820	2879	21.3
550	18	3.5	3.5	-0.2	13.5	21.5	31.0	33.9	8.4	2111	2235	891	3126	23.2
550	18	3.5	3.5	0	13.5	22.4	32.4	35.4	8.8	2162	2289	913	3202	23.7
550	18	3.5	3.5	0.2	13.5	23.3	33.7	36.9	9.2	2213	2344	934	3278	24.3
550	24	3.5	3.0	-0.2	15.6	25.1	36.2	39.6	9.8	2380	2520	1004	3524	22.7
550	24	3.5	3.0	0	15.6	26.0	37.6	41.1	10.2	2431	2574	1026	3600	23.1
550	24	3.5	3.0	0.2	15.6	26.9	38.9	42.5	10.6	2482	2628	1048	3676	23.6
550	24	3.5	3.5	-0.2	15.6	25.7	37.2	40.6	10.1	2739	2900	1156	4056	26.1
550	24	3.5	3.5	0	15.6	26.7	38.5	42.1	10.5	2790	2954	1178	4132	26.6
550	24	3.5	3.5	0.2	15.6	27.6	39.9	43.6	10.8	2841	3009	1199	4208	27.1
550	30	3.5	3.0	-0.2	17.6	29.2	42.1	46.0	11.5	2918	3090	1231	4321	24.5
550	30	3.5	3.0	0	17.6	30.1	43.5	47.5	11.8	2969	3144	1253	4397	25.0
550	30	3.5	3.0	0.2	17.6	31.0	44.8	48.9	12.2	3021	3198	1275	4473	25.4
550	30	4.0	3.0	-0.2	18.5	30.5	44.1	48.2	12.0	3168	3354	1337	4691	25.4
550	30	4.0	3.0	0	18.5	31.5	45.5	49.7	12.4	3219	3409	1358	4767	25.8
550	30	4.0	3.0	0.2	18.5	32.4	46.9	51.1	12.7	3271	3463	1380	4843	26.2

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.4 ค่าความต้องการโภชนาการของโครีดนมระยะ 4 สัปดาห์หลังคลอด อาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	18	3.5	3.0	-0.2	13.5	19.6	28.4	31.0	7.7	1803	1909	761	2670	19.8
450	18	3.5	3.0	0	13.5	20.6	29.7	32.5	8.1	1854	1963	783	2746	20.4
450	18	3.5	3.0	0.2	13.5	21.5	31.1	34.0	8.4	1905	2018	804	2822	20.9
450	18	3.5	3.5	-0.2	13.5	20.1	29.1	31.8	7.9	2072	2194	874	3068	22.8
450	18	3.5	3.5	0	13.5	21.1	30.4	33.3	8.3	2123	2248	896	3144	23.3
450	18	3.5	3.5	0.2	13.5	22.0	31.8	34.8	8.6	2174	2302	918	3220	23.9
550	18	3.5	3.0	-0.2	14.7	21.0	30.3	33.2	8.2	1842	1950	777	2727	18.6
550	18	3.5	3.0	0	14.7	21.9	31.7	34.6	8.6	1893	2004	799	2803	19.1
550	18	3.5	3.0	0.2	14.7	22.9	33.0	36.1	9.0	1944	2059	820	2879	19.6
550	18	3.5	3.5	-0.2	14.7	21.5	31.0	33.9	8.4	2111	2235	891	3126	21.3
550	18	3.5	3.5	0	14.7	22.4	32.4	35.4	8.8	2162	2289	913	3202	21.8
550	18	3.5	3.5	0.2	14.7	23.3	33.7	36.9	9.2	2213	2344	934	3278	22.4
550	18	4.0	3.0	-0.2	15.2	21.8	31.5	34.5	8.6	1991	2109	840	2949	19.4
550	18	4.0	3.0	0	15.2	22.8	32.9	35.9	8.9	2043	2163	862	3025	19.9
550	18	4.0	3.0	0.2	15.2	23.7	34.2	37.4	9.3	2094	2217	884	3101	20.4
550	18	4.0	3.5	-0.2	15.2	22.3	32.2	35.2	8.8	2286	2420	965	3385	22.3
550	18	4.0	3.5	0	15.2	23.2	33.6	36.7	9.1	2337	2475	986	3461	22.8
550	18	4.0	3.5	0.2	15.2	24.2	34.9	38.2	9.5	2388	2529	1008	3537	23.3
550	24	3.5	3.0	-0.2	16.7	25.1	36.2	39.6	9.8	2380	2520	1004	3524	21.1
550	24	3.5	3.0	0	16.7	26.0	37.6	41.1	10.2	2431	2574	1026	3600	21.5
550	24	3.5	3.0	0.2	16.7	26.9	38.9	42.5	10.6	2482	2628	1048	3676	22.0
550	24	3.5	3.5	-0.2	16.7	25.7	37.2	40.6	10.1	2739	2900	1156	4056	24.2
550	24	3.5	3.5	0	16.7	26.7	38.5	42.1	10.5	2790	2954	1178	4132	24.7
550	24	3.5	3.5	0.2	16.7	27.6	39.9	43.6	10.8	2841	3009	1199	4208	25.2
550	30	3.5	3.0	-0.2	18.8	29.2	42.1	46.0	11.5	2918	3090	1231	4321	23.0
550	30	3.5	3.0	0	18.8	30.1	43.5	47.5	11.8	2969	3144	1253	4397	23.4
550	30	3.5	3.0	0.2	18.8	31.0	44.8	48.9	12.2	3021	3198	1275	4473	23.8
550	30	4.0	3.0	-0.2	19.6	30.5	44.1	48.2	12.0	3168	3354	1337	4691	23.9
550	30	4.0	3.0	0	19.6	31.5	45.5	49.7	12.4	3219	3409	1358	4767	24.3
550	30	4.0	3.0	0.2	19.6	32.4	46.9	51.1	12.7	3271	3463	1380	4843	24.7

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.5 ค่าความต้องการโภชนาการของโคนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	12	3.5	3.0	-0.2	13.1	15.5	22.5	24.6	6.1	1264	1339	534	1873	14.3
450	12	3.5	3.0	0	13.1	16.5	23.8	26.1	6.5	1316	1393	556	1949	14.9
450	12	3.5	3.0	0.2	13.1	17.4	25.2	27.6	6.8	1367	1448	577	2025	15.4
450	12	3.5	3.5	-0.2	13.1	15.9	22.9	25.1	6.2	1444	1529	609	2138	16.3
450	12	3.5	3.5	0	13.1	16.8	24.3	26.6	6.6	1495	1583	631	2214	16.9
450	12	3.5	3.5	0.2	13.1	17.7	25.6	28.1	7.0	1547	1637	653	2290	17.5
450	18	3.5	3.0	-0.2	15.2	19.6	28.4	31.0	7.7	1803	1909	761	2670	17.6
450	18	3.5	3.0	0	15.2	20.6	29.7	32.5	8.1	1854	1963	783	2746	18.1
450	18	3.5	3.0	0.2	15.2	21.5	31.1	34.0	8.4	1905	2018	804	2822	18.6
450	18	3.5	3.5	-0.2	15.2	20.1	29.1	31.8	7.9	2072	2194	874	3068	20.2
450	18	3.5	3.5	0	15.2	21.1	30.4	33.3	8.3	2123	2248	896	3144	20.7
450	18	3.5	3.5	0.2	15.2	22.0	31.8	34.8	8.6	2174	2302	918	3220	21.2
550	18	3.5	3.0	-0.2	16.6	21.0	30.3	33.2	8.2	1842	1950	777	2727	16.4
550	18	3.5	3.0	0	16.6	21.9	31.7	34.6	8.6	1893	2004	799	2803	16.8
550	18	3.5	3.0	0.2	16.6	22.9	33.0	36.1	9.0	1944	2059	820	2879	17.3
550	18	3.5	3.5	-0.2	16.6	21.5	31.0	33.9	8.4	2111	2235	891	3126	18.8
550	18	3.5	3.5	0	16.6	22.4	32.4	35.4	8.8	2162	2289	913	3202	19.2
550	18	3.5	3.5	0.2	16.6	23.3	33.7	36.9	9.2	2213	2344	934	3278	19.7
550	24	3.5	3.0	-0.2	18.7	25.1	36.2	39.6	9.8	2380	2520	1004	3524	18.8
550	24	3.5	3.0	0	18.7	26.0	37.6	41.1	10.2	2431	2574	1026	3600	19.2
550	24	3.5	3.0	0.2	18.7	26.9	38.9	42.5	10.6	2482	2628	1048	3676	19.6
550	24	3.5	3.5	-0.2	18.7	25.7	37.2	40.6	10.1	2739	2900	1156	4056	21.7
550	24	3.5	3.5	0	18.7	26.7	38.5	42.1	10.5	2790	2954	1178	4132	22.1
550	24	3.5	3.5	0.2	18.7	27.6	39.9	43.6	10.8	2841	3009	1199	4208	22.5
550	30	3.5	3.0	-0.2	20.8	29.2	42.1	46.0	11.5	2918	3090	1231	4321	20.8
550	30	3.5	3.0	0	20.8	30.1	43.5	47.5	11.8	2969	3144	1253	4397	21.2
550	30	3.5	3.0	0.2	20.8	31.0	44.8	48.9	12.2	3021	3198	1275	4473	21.5
550	30	4.0	3.0	-0.2	21.6	30.5	44.1	48.2	12.0	3168	3354	1337	4691	21.7
550	30	4.0	3.0	0	21.6	31.5	45.5	49.7	12.4	3219	3409	1358	4767	22.1
550	30	4.0	3.0	0.2	21.6	32.4	46.9	51.1	12.7	3271	3463	1380	4843	22.4

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.6 ค่าความต้องการโภชนาการของโครีดนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนสูง*

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	12	3.5	3.0	-0.2	13.1	17.2	24.9	27.2	6.8	1264	1339	534	1873	14.3
450	12	3.5	3.0	0	13.1	18.1	26.2	28.7	7.1	1316	1393	556	1949	14.9
450	12	3.5	3.0	0.2	13.1	19.1	27.6	30.2	7.5	1367	1448	577	2025	15.4
450	12	4.0	3.0	-0.2	13.5	17.8	25.7	28.1	7.0	1364	1445	576	2021	15.0
450	12	4.0	3.0	0	13.5	18.7	27.0	29.6	7.3	1416	1499	598	2097	15.6
450	12	4.0	3.0	0.2	13.5	19.6	28.4	31.0	7.7	1467	1554	619	2173	16.2
450	18	3.5	3.0	-0.2	15.2	21.3	30.8	33.7	8.4	1803	1909	761	2670	17.6
450	18	3.5	3.0	0	15.2	22.2	32.1	35.1	8.7	1854	1963	783	2746	18.1
450	18	3.5	3.0	0.2	15.2	23.2	33.5	36.6	9.1	1905	2018	804	2822	18.6
450	18	4.0	3.0	-0.2	15.7	22.1	32.0	35.0	8.7	1953	2068	824	2892	18.4
450	18	4.0	3.0	0	15.7	23.1	33.3	36.4	9.1	2004	2122	846	2968	18.9
450	18	4.0	3.0	0.2	15.7	24.0	34.7	37.9	9.4	2055	2176	868	3044	19.4
550	18	3.5	3.0	-0.2	16.6	22.9	33.1	36.2	9.0	1842	1950	777	2727	16.4
550	18	3.5	3.0	0	16.6	23.8	34.5	37.7	9.4	1893	2004	799	2803	16.8
550	18	3.5	3.0	0.2	16.6	24.8	35.8	39.1	9.7	1944	2059	820	2879	17.3
550	18	4.0	3.0	-0.2	17.1	23.7	34.3	37.5	9.3	1991	2109	840	2949	17.2
550	18	4.0	3.0	0	17.1	24.7	35.7	39.0	9.7	2043	2163	862	3025	17.6
550	18	4.0	3.0	0.2	17.1	25.6	37.0	40.4	10.1	2094	2217	884	3101	18.1
550	24	3.5	3.0	-0.2	18.7	27.0	39.0	42.6	10.6	2380	2520	1004	3524	18.8
550	24	3.5	3.0	0	18.7	27.9	40.4	44.1	11.0	2431	2574	1026	3600	19.2
550	24	3.5	3.0	0.2	18.7	28.9	41.7	45.6	11.3	2482	2628	1048	3676	19.6
550	24	4.0	3.0	-0.2	19.4	28.1	40.6	44.4	11.0	2580	2731	1089	3820	19.7
550	24	4.0	3.0	0	19.4	29.0	42.0	45.8	11.4	2631	2786	1110	3896	20.1
550	24	4.0	3.0	0.2	19.4	30.0	43.3	47.3	11.8	2682	2840	1132	3972	20.5
550	30	3.5	3.0	-0.2	20.8	31.1	44.9	49.0	12.2	2918	3090	1231	4321	20.8
550	30	3.5	3.0	0	20.8	32.0	46.3	50.5	12.6	2969	3144	1253	4397	21.2
550	30	3.5	3.0	0.2	20.8	33.0	47.6	52.0	12.9	3021	3198	1275	4473	21.5

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.7 ค่าความต้องการโภชนาการของโคนมระยะ 28 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ*

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	6	3.5	3.0	-0.2	11.5	11.5	16.6	18.2	4.5	726	769	307	1076	9.4
450	6	3.5	3.0	0	11.5	12.4	17.9	19.7	4.9	778	823	329	1152	10.0
450	6	3.5	3.0	0.2	11.5	13.3	19.3	21.1	5.2	829	878	350	1228	10.7
450	6	3.5	3.5	-0.2	11.5	11.6	16.8	18.5	4.6	816	864	344	1208	10.5
450	6	3.5	3.5	0	11.5	12.6	18.1	19.9	4.9	867	918	366	1284	11.2
450	6	3.5	3.5	0.2	11.5	13.5	19.5	21.4	5.3	919	972	388	1360	11.8
450	12	3.5	3.0	-0.2	13.6	15.5	22.5	24.6	6.1	1264	1339	534	1873	13.8
450	12	3.5	3.0	0	13.6	16.5	23.8	26.1	6.5	1316	1393	556	1949	14.4
450	12	3.5	3.0	0.2	13.6	17.4	25.2	27.6	6.8	1367	1448	577	2025	14.9
450	12	3.5	3.5	-0.2	13.6	15.9	22.9	25.1	6.2	1444	1529	609	2138	15.8
450	12	3.5	3.5	0	13.6	16.8	24.3	26.6	6.6	1495	1583	631	2214	16.3
450	12	3.5	3.5	0.2	13.6	17.7	25.6	28.1	7.0	1547	1637	653	2290	16.9
450	18	3.5	3.0	-0.2	15.6	19.6	28.4	31.0	7.7	1803	1909	761	2670	17.1
450	18	3.5	3.0	0	15.6	20.6	29.7	32.5	8.1	1854	1963	783	2746	17.6
450	18	3.5	3.0	0.2	15.6	21.5	31.1	34.0	8.4	1905	2018	804	2822	18.1
450	18	3.5	3.5	-0.2	15.6	20.1	29.1	31.8	7.9	2072	2194	874	3068	19.6
450	18	3.5	3.5	0	15.6	21.1	30.4	33.3	8.3	2123	2248	896	3144	20.1
450	18	3.5	3.5	0.2	15.6	22.0	31.8	34.8	8.6	2174	2302	918	3220	20.6
450	18	4.0	3.0	-0.2	16.1	20.5	29.6	32.4	8.0	1953	2068	824	2892	17.9
450	18	4.0	3.0	0	16.1	21.4	30.9	33.8	8.4	2004	2122	846	2968	18.4
450	18	4.0	3.0	0.2	16.1	22.3	32.3	35.3	8.8	2055	2176	868	3044	18.9
450	18	4.0	3.5	-0.2	16.1	21.0	30.3	33.1	8.2	2247	2379	948	3327	20.6
450	18	4.0	3.5	0	16.1	21.9	31.6	34.6	8.6	2298	2433	970	3403	21.1
450	18	4.0	3.5	0.2	16.1	22.8	33.0	36.1	9.0	2349	2488	991	3479	21.6

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้ทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.8 ค่าความต้องการโภชนาการของโคนมระยะ 28 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
550	12	3.5	3.0	-0.2	15.1	16.9	24.4	26.7	6.6	1303	1380	550	1930	12.8
550	12	3.5	3.0	0	15.1	17.8	25.8	28.2	7.0	1355	1434	572	2006	13.3
550	12	3.5	3.0	0.2	15.1	18.8	27.1	29.7	7.4	1406	1489	593	2082	13.8
550	12	3.5	3.5	-0.2	15.1	17.2	24.9	27.3	6.8	1483	1570	626	2196	14.5
550	12	3.5	3.5	0	15.1	18.2	26.2	28.7	7.1	1534	1624	648	2272	15.0
550	12	3.5	3.5	0.2	15.1	19.1	27.6	30.2	7.5	1585	1679	669	2348	15.6
550	18	3.5	3.0	-0.2	17.2	21.0	30.3	33.2	8.2	1842	1950	777	2727	15.9
550	18	3.5	3.0	0	17.2	21.9	31.7	34.6	8.6	1893	2004	799	2803	16.3
550	18	3.5	3.0	0.2	17.2	22.9	33.0	36.1	9.0	1944	2059	820	2879	16.8
550	18	3.5	3.5	-0.2	17.2	21.5	31.0	33.9	8.4	2111	2235	891	3126	18.2
550	18	3.5	3.5	0	17.2	22.4	32.4	35.4	8.8	2162	2289	913	3202	18.7
550	18	3.5	3.5	0.2	17.2	23.3	33.7	36.9	9.2	2213	2344	934	3278	19.1
550	24	3.5	3.0	-0.2	19.2	25.1	36.2	39.6	9.8	2380	2520	1004	3524	18.3
550	24	3.5	3.0	0	19.2	26.0	37.6	41.1	10.2	2431	2574	1026	3600	18.7
550	24	3.5	3.0	0.2	19.2	26.9	38.9	42.5	10.6	2482	2628	1048	3676	19.1
550	24	3.5	3.5	-0.2	19.2	25.7	37.2	40.6	10.1	2739	2900	1156	4056	21.1
550	24	3.5	3.5	0	19.2	26.7	38.5	42.1	10.5	2790	2954	1178	4132	21.5
550	24	3.5	3.5	0.2	19.2	27.6	39.9	43.6	10.8	2841	3009	1199	4208	21.9
550	24	4.0	3.0	-0.2	19.9	26.2	37.8	41.3	10.3	2580	2731	1089	3820	19.2
550	24	4.0	3.0	0	19.9	27.1	39.2	42.8	10.7	2631	2786	1110	3896	19.6
550	24	4.0	3.0	0.2	19.9	28.1	40.5	44.3	11.0	2682	2840	1132	3972	20.0
550	24	4.0	3.5	-0.2	19.9	26.8	38.8	42.4	10.5	2972	3147	1254	4401	22.1
550	24	4.0	3.5	0	19.9	27.8	40.1	43.8	10.9	3023	3201	1276	4477	22.5
550	24	4.0	3.5	0.2	19.9	28.7	41.5	45.3	11.3	3074	3256	1297	4553	22.9

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.9 ค่าความต้องการโภชนาการของโคนมระยะ 40 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
450	6	3.5	3.0	-0.2	11.5	11.5	16.6	18.2	4.5	726	769	307	1076	9.3
450	6	3.5	3.0	0	11.5	12.4	17.9	19.7	4.9	778	823	329	1152	10.0
450	6	3.5	3.0	0.2	11.5	13.3	19.3	21.1	5.2	829	878	350	1228	10.7
450	6	3.5	3.5	-0.2	11.5	11.6	16.8	18.5	4.6	816	864	344	1208	10.5
450	6	3.5	3.5	0	11.5	12.6	18.1	19.9	4.9	867	918	366	1284	11.1
450	6	3.5	3.5	0.2	11.5	13.5	19.5	21.4	5.3	919	972	388	1360	11.8
450	6	4.0	3.0	-0.2	11.7	11.7	17.0	18.6	4.6	776	822	328	1150	9.8
450	6	4.0	3.0	0	11.7	12.7	18.3	20.1	5.0	828	876	350	1226	10.5
450	6	4.0	3.0	0.2	11.7	13.6	19.7	21.6	5.3	879	931	371	1302	11.1
450	6	4.0	3.5	-0.2	11.7	11.9	17.2	18.9	4.7	874	926	369	1295	11.1
450	6	4.0	3.5	0	11.7	12.8	18.5	20.4	5.0	926	980	391	1371	11.7
450	6	4.0	3.5	0.2	11.7	13.8	19.9	21.8	5.4	977	1035	412	1447	12.4
450	6	4.5	3.0	-0.2	11.9	12.0	17.4	19.1	4.7	826	875	349	1224	10.3
450	6	4.5	3.0	0	11.9	12.9	18.7	20.5	5.1	878	929	371	1300	11.0
450	6	4.5	3.0	0.2	11.9	13.9	20.1	22.0	5.5	929	984	392	1376	11.6
450	6	4.5	3.5	-0.2	11.9	12.2	17.6	19.3	4.8	933	987	394	1381	11.6
450	6	4.5	3.5	0	11.9	13.1	19.0	20.8	5.2	984	1042	415	1457	12.3
450	6	4.5	3.5	0.2	11.9	14.0	20.3	22.3	5.5	1035	1096	437	1533	12.9
450	12	3.5	3.0	-0.2	13.6	15.5	22.5	24.6	6.1	1264	1339	534	1873	13.8
450	12	3.5	3.0	0	13.6	16.5	23.8	26.1	6.5	1316	1393	556	1949	14.3
450	12	3.5	3.0	0.2	13.6	17.4	25.2	27.6	6.8	1367	1448	577	2025	14.9
450	12	3.5	3.5	-0.2	13.6	15.9	22.9	25.1	6.2	1444	1529	609	2138	15.7
450	12	3.5	3.5	0	13.6	16.8	24.3	26.6	6.6	1495	1583	631	2214	16.3
450	12	3.5	3.5	0.2	13.6	17.7	25.6	28.1	7.0	1547	1637	653	2290	16.9

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.10 ค่าความต้องการโภชนาการของโครีดนมระยะ 40 สัปดาห์หลังคลอด แสดงอาการเครียดจากความร้อนระดับต่ำ

BW	Milk	Fat	Protein	BWC	Intake	NEL	ME	DE	TDN	MP	RDP	RUP	CP	CP
(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(Mcal/d)	(kg/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(g/d)	(%)
550	6	3.5	3.5	-0.2	13.1	13.0	18.7	20.6	5.1	855	905	361	1266	9.7
550	6	3.5	3.5	0	13.1	13.9	20.1	22.0	5.5	906	960	382	1342	10.3
550	6	3.5	3.5	0.2	13.1	14.8	21.4	23.5	5.8	958	1014	404	1418	10.9
550	6	4.0	3.5	-0.2	13.2	13.2	19.1	21.0	5.2	913	967	385	1352	10.2
550	6	4.0	3.5	0	13.2	14.2	20.5	22.5	5.6	965	1021	407	1428	10.8
550	6	4.0	3.5	0.2	13.2	15.1	21.8	24.0	5.9	1016	1075	429	1504	11.4
550	12	3.5	3.0	-0.2	15.1	16.9	24.4	26.7	6.6	1303	1380	550	1930	12.8
550	12	3.5	3.0	0	15.1	17.8	25.8	28.2	7.0	1355	1434	572	2006	13.3
550	12	3.5	3.0	0.2	15.1	18.8	27.1	29.7	7.4	1406	1489	593	2082	13.8
550	12	3.5	3.5	-0.2	15.1	17.2	24.9	27.3	6.8	1483	1570	626	2196	14.5
550	12	3.5	3.5	0	15.1	18.2	26.2	28.7	7.1	1534	1624	648	2272	15.0
550	12	3.5	3.5	0.2	15.1	19.1	27.6	30.2	7.5	1585	1679	669	2348	15.5
550	12	4.0	3.5	-0.2	15.5	17.8	25.7	28.1	7.0	1599	1694	675	2369	15.3
550	12	4.0	3.5	0	15.5	18.7	27.0	29.6	7.4	1651	1748	697	2445	15.8
550	12	4.0	3.5	0.2	15.5	19.7	28.4	31.1	7.7	1702	1802	719	2521	16.3
550	12	4.5	3.0	-0.2	15.8	18.0	26.0	28.5	7.1	1503	1592	634	2226	14.1
550	12	4.5	3.0	0	15.8	18.9	27.4	30.0	7.4	1555	1646	656	2302	14.6
550	12	4.5	3.0	0.2	15.8	19.9	28.7	31.4	7.8	1606	1700	678	2378	15.1
550	18	3.5	3.0	-0.2	17.2	21.0	30.3	33.2	8.2	1842	1950	777	2727	15.9
550	18	3.5	3.0	0	17.2	21.9	31.7	34.6	8.6	1893	2004	799	2803	16.3
550	18	3.5	3.0	0.2	17.2	22.9	33.0	36.1	9.0	1944	2059	820	2879	16.8
550	18	3.5	3.5	-0.2	17.2	21.5	31.0	33.9	8.4	2111	2235	891	3126	18.2
550	18	3.5	3.5	0	17.2	22.4	32.4	35.4	8.8	2162	2289	913	3202	18.6
550	18	3.5	3.5	0.2	17.2	23.3	33.7	36.9	9.2	2213	2344	934	3278	19.1

*BW= น้ำหนักโค (กิโลกรัม); Milk = ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน); Fat= ไขมันนม (%); Protein = โปรตีนนม (%); BWC = การเพิ่มหรือลดน้ำหนัก (กิโลกรัม/วัน); Intake = ปริมาณการกินได้ (กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง/วัน); NEL = พลังงานสุทธิเพื่อให้ผลผลิตน้ำนม (เมกะแคลอรี/วัน); ME = พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (เมกะแคลอรี/วัน); DE = พลังงานที่สามารถย่อยได้ (เมกะแคลอรี/วัน); TDN = ค่าโภชนาที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน); MP = โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (กรัม/วัน); RDP = โปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); RUP = โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (กรัม/วัน); CP = โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน หรือ ร้อยละของสูตรอาหาร)

ตารางที่ 14.11 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโคนมทดแทนฝูง

	น้ำหนักรีดทดแทนฝูง (กก.)					
	100	100	150	150	200	200
อัตราการเจริญเติบโต, กก./วัน	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9
ปริมาณการกินได้น้ำหนักแห้ง, กก./วัน	3.4	3.4	4.6	4.6	5.7	5.7
ความต้องการโภชนะ						
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/วัน	5.09	5.12	6.88	6.91	8.53	8.55
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้, กก./วัน	0.35	0.43	0.42	0.49	0.48	0.56
โปรตีนหยาบ, กก./วัน	0.47	0.57	0.56	0.66	0.64	0.75
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง, >%	33	33	33	33	33	33
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด, >%	21	21	21	21	21	21
แคลเซียม, %	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
ฟอสฟอรัส, %	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
วิตามินเอ, หน่วยสากล/วัน	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
วิตามินดี, หน่วยสากล/วัน	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
วิตามินอี, หน่วยสากล/วัน	160	160	160	160	160	160
สูตรอาหารที่เอ็มอาร์, %โดยน้ำหนักสด						
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	72.9	72.8	82.6	81.3	84.8	82.5
ฟางข้าว	4.5	-	-	-	-	-
ใบกระถินรวมกันและกิ่ง	4.8	7.0	4.0	4.1	3.8	4.0
รำละเอียด	2.3	2.3	1.9	2.0	1.8	1.9
มันเส้น	3.7	3.7	3.1	3.2	3.0	3.1
กากเนื้อในปาล์มแบบอัดน้ำมัน	6.6	7.1	5.9	4.6	4.3	4.4
กากถั่วเหลือง	4.6	6.5	1.9	4.4	1.9	3.5
โดโลไมท์	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
เกลือ	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
แร่ธาตุผสม	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
วิตามินพรีมิกซ์	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
คุณค่าทางโภชนะและราคา (คำนวณ)						
โปรตีนหยาบ, %	13.8	16.6	12.0	14.2	11.6	13.4
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/กก.	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
ราคา, บาท/กก.	3.3	3.8	3.0	3.3	2.9	3.1

ตารางที่ 14.12 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโคนมทดแทนฝูง

	น้ำหนักโคทดแทนฝูง (กก.)					
	250	250	300	300	350	350
อัตราการใช้หญ้าเดือโต, กก./วัน	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9
ปริมาณการกินได้น้ำหนักแห้ง, กก./วัน	6.8	6.8	7.8	7.8	8.7	8.7
ความต้องการโภชนะ						
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/วัน	10.07	10.10	11.54	11.57	12.95	12.97
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้, กก./วัน	0.54	0.62	0.60	0.67	0.65	0.73
โปรตีนหายาบ, กก./วัน	0.72	0.82	0.80	0.90	0.87	0.972
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง, >%	33	33	33	33	33	33
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด, >%	21	21	21	21	21	21
แคลเซียม, %	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
ฟอสฟอรัส, %	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
วิตามินเอ, หน่วยสากล/วัน	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
วิตามินดี, หน่วยสากล/วัน	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
วิตามินอี, หน่วยสากล/วัน	160	160	160	160	160	160
สูตรอาหารที่เอ็มอาร์, %โดยน้ำหนักสด						
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	64.5	64.3	-	-	-	-
หญ้าแพงโกลาแห้ง	-	14.5	-	-	-	-
ฟางข้าว	14.2	-	12.1	-	-	11.2
ใบปาล์มน้ำมันสด*	-	-	-	81.4	82.6	-
ใบกระถินรวมกันและกิ่ง	5.4	5.4	5.0	4.3	4.3	5.0
รำละเอียด	2.6	2.6	2.4	2.1	2	2.4
มันเส้น	4.2	4.2	3.9	3.4	3.3	3.9
กากแป้งมันสำปะหลังสด	-	-	67.5	-	-	67.4
กากเนื้อในปาล์มแบบอัดน้ำมัน	5.1	5.0	4.6	4.8	4.7	4.6
กากถั่วเหลือง	3.2	3.2	3.9	3.4	2.5	4.8
โดโลไมท์	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
เกลือ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
แร่ธาตุผสม	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
วิตามินพรีมิกซ์	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
คุณค่าทางโภชนะและราคา (คำนวณ)						
โปรตีนหายาบ, %	11	12.2	10.6	11.7	10.8	11.5
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/กก.	2.2	2.3	2.3	2.0	2.0	2.3
ราคา, บาท/กก.	3.3	3.6	2.5	2.4	2.2	2.6

*ใบปาล์มน้ำมันสด วัตถุดิบ 25.5% โปรตีนหายาบ 4.7% พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 1.4 เมกกะแคลอรี/กก.

ตารางที่ 14.13 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโครีดนม

	น้ำหนักโครีดนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด ไชมัน 3.5% โปรตีน 3.0%					
	450	450	450	450	450	450
ปริมาณน้ำนม, กก./วัน	12	12	12	18	18	18
การเพิ่มหรือลดน้ำหนักโคมีชีวิต, กก./วัน	-0.2	0.0	0.2	-0.2	0.0	0.2
ปริมาณการกินได้น้ำหนักแห้ง, กก./วัน	13.1	13.1	13.1	15.2	15.2	15.2
ความต้องการโภชนะ						
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/วัน	22.5	23.8	25.2	28.4	29.7	31.1
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้, กก./วัน	1.3	1.3	1.4	1.8	1.9	1.9
โปรตีนหยาบ, กก./วัน	1.9	1.9	2.0	2.7	2.7	2.8
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง, >%	33	33	33	33	33	33
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด, >%	21	21	21	21	21	21
แคลเซียม, %	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ฟอสฟอรัส, %	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
วิตามินเอ, หน่วยสากล/วัน	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000
วิตามินดี, หน่วยสากล/วัน	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000
วิตามินอี, หน่วยสากล/วัน	545	545	545	545	545	545
สูตรอาหารที่เอมอาร์, %โดยน้ำหนักสด						
ต้นข้าวโพดรวมฝักหมัก	-	-	58.3	-	52.5	51.5
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	-	57.5	-	56.0	-	-
หญ้าแพงโกลาแห้ง	4.5	4.7	3.2	2.0	-	-
ฟางข้าว	7.0	-	-	-	-	-
รำละเอียด	4.8	4.1	4.2	4.0	4.3	4.4
ข้าวโพดบด	-	-	-	-	2.2	2.2
มันเส้น	5.8	5.0	5.2	4.9	5.3	5.4
กากแป้งมันสำปะหลังสด	43.6	-	-	-	-	-
กากเบียร์สด	24.1	20.7	21.3	23.5	25.4	25.7
กากเนื้อในปาล์มแบบอัดน้ำมัน	4.6	4.0	4.1	3.9	4.2	4.2
กากถั่วเหลือง	4.8	3.3	3.0	5.1	5.5	6.0
โดโลไมท์	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
เกลือ	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
แร่ธาตุผสม	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
วิตามินพรีมิกซ์	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
คุณค่าทางโภชนะและราคา (คำนวณ)						
โปรตีนหยาบ, %	14.3	14.8	15.3	17.2	18.1	18.5
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกกะแคลอรี/กก.	2.5	2.5	2.7	2.6	2.8	2.8
ราคา, บาท/กก.	3.3	3.4	4.0	3.6	4.4	4.5

ตารางที่ 14.14 ตัวอย่างคำแนะนำค่าความต้องการโภชนะและสูตรอาหารของโครีดนม

	น้ำหนักโครีดนมระยะ 12 สัปดาห์หลังคลอด ไขมัน 3.5% โปรตีน 3.0%					
	550	550	550	550	550	550
ปริมาณน้ำนม, กก./วัน	18	18	24	24	30	30
การเพิ่มหรือลดน้ำหนักโคมีชีวิต, กก./วัน	-0.2	0.0	-0.2	0.0	-0.2	0.0
ปริมาณการกินได้น้ำหนักแห้ง, กก./วัน	16.6	16.6	18.7	18.7	20.8	20.8
ความต้องการโภชนะ						
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกะแคลอรี/วัน	30.3	31.7	36.2	37.6	42.1	43.5
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้, กก./วัน	1.8	1.9	2.4	2.4	2.9	3.0
โปรตีนหยาบ, กก./วัน	2.7	2.8	3.5	3.6	4.3	4.4
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง, >%	33	33	33	33	33	33
เยื่อใยที่ไม่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด, >%	21	21	21	21	21	21
แคลเซียม, %	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ฟอสฟอรัส, %	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
วิตามินเอ, หน่วยสากล/วัน	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000
วิตามินดี, หน่วยสากล/วัน	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000
วิตามินอี, หน่วยสากล/วัน	545	545	545	545	545	545
สูตรอาหารที่เอมอาร์, %โดยน้ำหนักสด						
ต้นข้าวโพดรวมฝักหมัก	37.0	28.0	54.0	54.0	54.0	54.0
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	-	32.3	-	-	-	-
ใบกระถินรวมก้านและกิ่ง	-	-	4.4	4.4	5.3	4.0
ฟางข้าว	10.4	-	-	-	-	-
รำละเอียด	4.3	3.2	3.6	2.7	2.2	2.2
มันเส้น	8.2	6.2	4.5	4.5	3.2	3.6
กากเบียร์สด	26.9	20.3	22.4	22.4	22.4	22.4
กากเนื้อในปาล์มแบบอัดน้ำมัน	6.0	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0
กากถั่วเหลือง	6.5	4.9	5.4	6.3	7.2	8.1
โดโลไมท์	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
เกลือ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
แร่ธาตุผสม	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
วิตามินพรีมิกซ์	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
คุณค่าทางโภชนะและราคา (คำนวณ)						
โปรตีนหยาบ, %	16.1	16.7	18.7	19.4	20.6	21.0
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้, เมกะแคลอรี/กก.	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7
ราคา, บาท/กก.	3.3	3.8	4.2	4.3	4.3	4.4

บทที่ 15 ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม

15.1 ชนิดของวัตถุดิบและการจำแนกกลุ่ม

วัตถุดิบอาหารโคนมที่แสดงในตารางนี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 27 ชนิด เป็นวัตถุดิบที่มีการใช้อยู่ในฟาร์มโคนมในพื้นที่ปศุสัตว์เขต 1-9 โดยได้ข้อมูลจากหน่วยจัดการอาหารสัตว์เคลื่อนที่ (feed management mobile unit, FMMU) ของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ที่เข้าไปดำเนินการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำนมดิบในฟาร์มเกษตรกรโคนมในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย วัตถุดิบ 27 ชนิดนี้ นำมาจัดจำแนกเป็นกลุ่มตามเกณฑ์ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พืชอาหารสัตว์สด หมัก แห้งและอาหารหยาบแห้ง เป็นกลุ่มของพืชอาหารสัตว์และอาหารหยาบที่ตัดมาแล้วนำมาทำให้แห้ง รวมถึงวัตถุดิบอื่นและวัสดุพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม ที่มีค่าเยื่อใยหยาบมากกว่าร้อยละ 18 หรือมีค่าเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) มากกว่าร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง เช่น หญ้าแห้ง ถั่วพืชอาหารสัตว์แห้ง ฟาง ฝักถั่ว ฯลฯ ส่วนสด หมายถึง พืชที่ตัดและนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ในสภาพพืชสด และพืชที่ปล่อยให้สัตว์แทะเล็ม และหมัก หมายถึง เฉพาะต้นพืชหมัก ได้แก่ พืชอาหารสัตว์ ข้าวโพด

กลุ่มที่ 2 วัตถุดิบแหล่งโปรตีน วัตถุดิบกลุ่มนี้มีโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้ง ขึ้นไป

กลุ่มที่ 3 วัตถุดิบแหล่งพลังงาน เป็นกลุ่มของวัตถุดิบที่มีโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 20 และเยื่อใยหยาบต่ำกว่าร้อยละ 18 หรือค่าเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลางน้อยกว่าร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง เช่น เมล็ดพืช ราก หัวพืช ฯลฯ และในกรณีที่วัตถุดิบเหล่านี้ถูกนำไปหมัก ก็จัดวัตถุดิบที่ได้จากการหมักนี้ไว้ในกลุ่มวัตถุดิบแหล่งพลังงานเช่นกัน

15.2 การระบุชื่อของวัตถุดิบและกระบวนการที่ทำให้ได้วัตถุดิบ

ใช้หลักเกณฑ์ ดังนี้

1. กรณีที่เป็นพืชหรือผลพลอยได้จากพืช จะตรวจสอบชื่อสามัญ (common name) และชื่อวิทยาศาสตร์ (scientific name) ของพืชนั้น ในกรณีที่พืชพื้นเมืองของประเทศไทย ซึ่งจะมีชื่อสามัญที่ใช้เรียกในแต่ละภาคไม่เหมือนกัน จะใช้ชื่อเรียกของภาคกลางเป็นหลัก แต่ถ้าไม่มีชื่อของภาคกลาง จึงจะใช้ชื่อสามัญตามแหล่งกำเนิดของพืชนั้น เมื่อได้ชื่อที่ถูกต้องแล้วจะตรวจสอบต่อไปว่าระยะการเจริญเติบโตหรืออายุการตัดที่ระบุไว้ในข้อมูลที่สืบค้นได้ มีความถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาจากข้อมูลของคุณค่าทางโภชนาของพืชนั้น

2. กรณีที่เป็นวัตถุดิบอาหารชั้น จะตรวจสอบว่าชื่อของวัตถุดิบถูกต้องหรือไม่ ผ่านกระบวนการอะไร เช่น สกัดน้ำมันหรืออัดน้ำมัน ส่วนประกอบของวัตถุดิบนั้นมีอะไรบ้าง ซึ่งในการพิจารณานี้จะใช้ข้อมูลของคุณค่าทางโภชนาเป็นหลักเช่นเดียวกับในกรณีของพืช

3. กรณีของวัสดุพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม จะตรวจสอบว่าชื่อถูกต้องหรือไม่ วัสดุพลอยได้นั้นประกอบด้วยอะไรบ้าง และได้มาอย่างไร หรือจากขั้นตอนใดของกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากข้อมูลของคุณค่าทางโภชนาเช่นกัน เช่น ยอดและต้นมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังจากการผลิตแอลกอฮอล์ ฯลฯ

15.3 ที่มาของข้อมูล

ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม ได้ทำการสืบค้นข้อมูลจากรายงานผลงานวิจัยของหน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานผลการวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 – 2563 จากสถาบันการศึกษา 2 แห่ง คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และมหาวิทยาลัยขอนแก่น และบริษัทผลิตอาหารสัตว์

1 แห่ง คือ บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด รวมทั้งได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบอาหารโคนมที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมใช้ประกอบสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมในเขตพื้นที่ปศุสัตว์เขต 1-9 (จันทกานต์ และคณะ, 2563)

15.4 การคัดกรองข้อมูล

ทำการตรวจสอบข้อมูลค่าการวิเคราะห์ของโภชนาแต่ละรายการ และตัดค่าที่ต่างจากกลุ่มข้อมูล (outlier) ออก ส่วนค่า DE และ ME จะมีค่าที่ได้จากงานวิจัยของ วรณา และคณะ (2562) ส่วนค่า TDN จะใช้สมการทำนายที่ได้จากงานวิจัยของ วรณา และคณะ (2563) ดังนี้

1. ค่า TDN ของวัตถุดิบอาหารหยาบ ใช้สมการ

$$\text{TDN (\% of DM)} = 1.726\text{OM} + 0.505\text{CP} + 1.020\text{EE} + 0.129\text{ADF} - 0.194\text{NDF} - 0.769\text{ADL} - 96.008$$

2. ค่า TDN ของวัตถุดิบอาหารแหล่งโปรตีนและพลังงาน ใช้สมการ

$$\text{TDN (\% of DM)} = 1.841\text{OM} + 0.339\text{EE} - 0.176\text{CP} - 0.481\text{NFC} - 0.648\text{NDF} - 0.862\text{ADL} - 56.240$$

15.5 การจัดเรียงข้อมูล

1. ข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ตาราง คือ ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม ตารางแสดงปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนมและตารางแสดงปริมาณกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหารโคนม

2. ในแต่ละตาราง จะจัดเรียงลำดับที่มาของวัตถุดิบอาหารโคนมแต่ละชนิดตามพญูชนะไทย ชื่อของวัตถุดิบพร้อมรายละเอียดของวัตถุดิบ ประกอบด้วย

- 2.1 ชื่อของวัตถุดิบหรือชื่อของที่มาของวัตถุดิบนั้น การเรียงลำดับชื่อจะเรียงลำดับชื่อสามัญตามพญูชนะไทย โดยระบุชื่อสามัญภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และชื่อวิทยาศาสตร์ เช่น กระถิน ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น

- 2.2 ในแต่ละที่มาของวัตถุดิบจะประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารโคนมแต่ละชนิด เช่น กระถินปน จะอยู่ภายใต้กระถิน เมล็ดข้าวโพดบด จะอยู่ภายใต้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

- 2.3 ในตารางใช้คำว่า “class” แทนคำว่า “กลุ่ม” ตามข้อ 15.1

3. รายการและข้อมูลของคุณค่าทางโภชนาที่แสดงในตาราง

แต่ละรายการจะแสดงข้อมูลของคุณค่าทางโภชนาในรูปของค่าเฉลี่ยที่อยู่บนฐานวัตถุแห้ง (on dry matter basis) ยกเว้นค่าวัตถุแห้ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) และจำนวนตัวอย่าง (n)

ค่าโภชนารายการใดที่ไม่ได้แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หมายความว่ารายการนั้นมีข้อมูลต่ำกว่า 3 ข้อมูล ส่วนรายการของโภชนารายการใดที่ใส่ ND (No data) หมายถึง ไม่มีข้อมูลของรายการนั้น หรือ Nd (non detect) หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

15.6 ตารางคุณค่าทางโภชนา

มีค่าโภชนาต่างๆ ดังนี้

1. ค่าค่าวัตถุแห้ง (DM), โปรตีนหยาบ (CP), ไขมัน (EE), เยื่อใยหยาบ (CF), เถ้า (Ash), แป้งและน้ำตาล (NFE), เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF), เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF), ลิกนิน (ADL), โปรตีนในเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent insoluble protein; NDICP), โปรตีนในเยื่อใยที่ไม่สามารถละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent insoluble protein; ADICP) ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility; DMD) และค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility; OMD) มีหน่วยเป็นร้อยละ

2. ค่าการย่อยได้ของผนังเซลล์ (neutral detergent fiber digestibility; NDFD) มีหน่วยเป็นร้อยละของผนังเซลล์ และค่าโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein; RUP) มีหน่วยเป็นร้อยละของโปรตีน

3. โภชนะที่สามารถย่อยได้รวมทั้งหมด (TDN) มีหน่วยเป็นร้อยละ

4. ค่าพลังงาน ประกอบด้วย พลังงานที่ย่อยได้ (DE), พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (ME) มีหน่วยพลังงานเป็น เมกะแคลอรี ต่อ กิโลกรัม (Mcal/kg) สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการทราบว่าค่าพลังงาน ถ้าคิดเป็น จูล (joule) สามารถคำนวณได้จากสูตร 1 แคลอรี = 4.184 จูล

สำหรับตารางปริมาณแร่ธาตุ มีค่าแร่ธาตุ ดังนี้

1. แคลเซียม (calcium, Ca) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) โพแทสเซียม (potassium, K) โซเดียม (sodium, Na) คลอรีน (chlorine, Cl) และ กำมะถัน (sulfur, S) แสดงค่าเป็นร้อยละ

2. แมงกานีส (manganese, Mn) ทองแดง (copper, Cu) เหล็ก (iron, Fe) สังกะสี (zinc, Zn) โคบอลต์ (cobalt, Co) ไอโอดีน (iodine, I) และซีลีเนียม (selenium, Se) แสดงค่าเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

ส่วนตารางแสดงปริมาณกรดอะมิโน มีกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ดังนี้

Alanine (Ala), Arginine (Arg), Aspartic acid (Asp), Cystine (Cys), Glutamic acid (Glu), Glycine (Gly), Histidine (His), Hydroxylysine (Hyl), Hydroxyproline (Hyp), Isoleucine (Ile), Leucine (Leu), Lysine (Lys), Methionine (Met), Phenylalanine (Phe), Proline (Pro), Serine (Ser), Threonine (Thr), Tryptophan (Trp), Tyrosine (Tyr), Valine (Val)

15.7 ความหมายของคำและคำย่อที่แสดงในตาราง

fresh	=	พืชที่อยู่ในสภาพสด เมื่อตัดมาแล้วไม่มีการนำไปผ่านกระบวนการใดๆ
dried	=	วัตถุดิบที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีอบแห้ง (oven dried) หรือวัตถุดิบที่ห้องปฏิบัติการได้รับมาในสภาพที่แห้ง แต่ไม่มีข้อมูลว่าเป็น hay หรือผ่านการอบแห้ง หรือ วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการ และมีความชื้นสูง เช่น กากมันหลังการหมักแอลกอฮอล์ ที่อยู่ในสภาพที่เปียก
hay	=	พืชอาหารสัตว์ที่ผ่านการผึ่งแดดให้แห้ง (sun cured) สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลานาน เพื่อเป็นเสบียงสัตว์
straw	=	ต้นพืชหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

15.8 เอกสารอ้างอิง

- “จันทกานต์ ธรรมนันท์ วรธรรมา อ่างทอง ปฎิมา บุตรชา สดุดี พงษ์เพียรจันทร์ แพรวรพรรณ ชูช่วย เยาวลักษณ์ แหม่งปิง รัตติกาล ปวงแก้ว ศศิพร ช่อลำไย เฉลา พิทักษ์สินสุข สุวรรณิ เกศกมลลาสน์ จริยา บุญจรรัชชะ และศิริรัตน์ บัวผัน. 2563. การจัดทำฐานข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนมในประเทศไทย (ปีที่ 2). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ. “
- วรธรรมา อ่างทอง, วิทยา สุมาลย์, ราไฟ นามสีลี, แพรวรพรรณ ชูช่วย และพิเชษฐ จันทรเป็ง. 2562. การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ
- วรธรรมา อ่างทอง, ราไฟ นามสีลี, สุกัญญา คำพะแย, ปฎิมา บุตรชา, ศุภกิจ สุนาโท และ กฤตพล สมมตย์. 2563. การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม ปี 2. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ
- Harris, L.E., T.F. Leche, L.C. Kearl, P.V. Fonnesbeck and H. Lloyd. 1982. Central and Southeast Asia Tables of Feed Composition. International Feedstuffs Institute, Utah Agricultural Experiment Station. Logan, Utah: Utah State University.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press.

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}	
				% on DM										% of protein								
1	กระถิน: <i>Leuceana leucocephala</i>																					
	ใบกระถินแห้ง (leaf, dried)	1	Avg.	91.93	26.27	4.27	13.86	8.83	46.59	20.82	15.97	8.58	ND	ND	ND	ND	ND	67.25	ND	ND	ND	
			SD	2.10	4.03	1.39	3.57	1.56	3.29	3.61	2.71	3.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.11	ND	ND	ND
			N	65	64	60	58	64	57	43	43	54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42	ND	ND	ND
	ใบรวมกัน (leaf+lachis, dried)	1	Avg.	91.99	24.24	3.69	18.09	9.00	44.92	28.48	22.27	9.23	ND	ND	ND	ND	ND	61.36	ND	ND	ND	
			SD	1.50	3.93	0.91	3.11	0.78	3.52	5.47	4.56	2.18	ND	ND	ND	ND	ND	6.20	ND	ND	ND	
			N	44	44	44	43	44	42	44	43	43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43	ND	ND	ND
	ใบรวมกันและกิ่งขนาด 0.5 ซม. (leaf+lachis-0.5 cm-stem, dried)	1	Avg.	92.55	20.54	2.68	25.80	8.53	42.44	38.76	31.75	11.56	ND	ND	ND	ND	ND	53.16	ND	ND	ND	
			SD	1.07	2.05	0.52	4.05	0.60	4.74	7.15	5.36	1.87	ND	ND	ND	ND	ND	5.96	ND	ND	ND	
			N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42	ND	ND	ND
	ใบรวมกันและกิ่งขนาด 1.0 ซม. (leaf+lachis-1.0 cm-stem, dried)	1	Avg.	92.22	21.24	2.58	26.74	8.07	41.37	39.74	33.50	11.88	ND	ND	ND	ND	ND	52.17	ND	ND	ND	
			SD	1.28	2.07	0.55	3.81	0.58	4.28	7.48	6.02	1.81	ND	ND	ND	ND	ND	5.93	ND	ND	ND	
			N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42	ND	ND	ND
	กระถิน อายุ 60 วัน (aral part 60 days)	1	Avg.	91.72	21.77	2.58	14.19	12.18	46.36	34.67	22.09	6.99	ND	ND	ND	ND	ND	64.12	ND	ND	ND	
			SD	0.98	1.46	-	-	-	-	4.47	3.27	0.65	ND	ND	ND	ND	ND	2.75	ND	ND	ND	
			N	176	176	1	1	1	1	1	176	176	175	ND	ND	ND	ND	ND	175	ND	ND	ND

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	% on DM										ADICP	NDFD % of protein	RUP % of protein	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/} Mcal/kgDM	NEL ^{2/}	
				CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP											
1	กระพิน: <i>Leuceana leucocephala</i>																						
	กระพิน อายุ 90 วัน (arial part 90 days)	1	Avg.	93.18	25.17	1.89	28.11	12.58	40.42	43.83	28.69	9.25	ND	ND	ND	ND	56.45	ND	ND	ND	ND		
			SD	1.04	1.29	0.18	3.63	6.05	-	2.42	1.90	0.98	ND	ND	ND	ND	ND	2.80	ND	ND	ND	ND	
			N	97	97	2	2	2	1	96	96	95	ND	ND	ND	ND	ND	94	ND	ND	ND	ND	
	กระพิน อายุ 120 วัน (arial part 120 days)	1	Avg.	93.84	28.56	ND	ND	ND	ND	50.82	33.96	13.13	ND	ND	ND	ND	46.35	ND	ND	ND	ND		
			SD	0.05	0.96	ND	ND	ND	ND	1.33	0.99	1.33	ND	ND	ND	ND	ND	2.84	ND	ND	ND	ND	
			N	10	10	ND	ND	ND	ND	10	10	10	ND	ND	ND	ND	ND	9	ND	ND	ND	ND	
	กระพินสับแห้ง (arial part: chopped)	1	Avg.	92.22	16.50	1.87	34.88	7.50	39.08	48.30	40.23	11.97	ND	ND	ND	ND	38.03*	1.57*	*1.35	ND	ND		
			SD	1.30	3.39	0.67	7.96	1.87	3.73	9.75	8.12	2.50	ND	ND	ND	ND	ND	7.28	0.32	0.28	ND	ND	
			N	51	51	49	49	49	49	49	49	49	ND	ND	ND	ND	ND	4	4	4	4	ND	ND
	กระพินป่น (arial part, meal)	1	Avg.	92.01	13.93	1.82	34.88	8.92	39.67	49.72	41.08	14.20	3.50	2.39	19.93	46.03	36.93	42.37	43.97	ND	1.69	0.85	
			SD	1.83	2.71	0.67	6.66	3.02	5.12	6.35	5.95	4.49	1.05	1.06	12.00	2.72	9.44	4.43	9.98	ND	0.33	0.14	
			N	191	188	174	168	181	162	166	165	92	10	10	10	10	3	10	10	92	ND	10	10
	กระพินอัดเม็ด (arial part, pellete)	1	Avg.	93.13	16.28	2.11	34.73	6.49	40.39	48.60	40.77	12.39	ND	ND	ND	ND	48.27	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.47	1.53	0.49	2.77	0.33	1.16	4.03	2.73	0.61	ND	ND	ND	ND	ND	2.30	ND	ND	ND	ND	ND
			N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	ND	ND	ND	ND	5	ND	ND	ND	ND

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	% on DM										ADICP	NDFD % of NDF	RUP % of protein	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/} Mcal/kgDM	NEL ^{2/}
				CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP										
2	ข้าว : <i>Oryza sativa</i> รำละเอียด (rice bran)	3																				
			Avg.	89.71	13.63	15.89	8.48	8.71	53.23	20.28	10.32	4.47	1.41	0.54	45.96	25.8	58.68	50.12	82.00*	3.29*	3.00*	1.05
			SD	1.65	1.30	2.63	4.14	1.93	5.78	7.64	4.93	2.21	0.23	0.11	14.19	7.64	11.25	15.83	14.08	0.59	0.62	0.43
			N	298	280	250	190	207	175	109	110	36	6	7	10	3	11	11	4	4	4	11
	รำสกัดน้ำมัน (defatted rice bran)	3																				
			Avg.	88.66	17.47	1.25	9.34	10.84	61.36	27.14	11.85	4.23	2.62	0.78	40.94	26.2	74.48	59.24	63.17	ND	2.14	1.29
			SD	0.89	1.46	0.87	2.21	1.33	4.96	6.61	3.25	2.06	0.81	0.14	15.60	2.98	3.97	2.71	6.72	ND	0.10	0.07
			N	107	106	105	58	61	55	51	52	18	12	11	10	3	10	10	11	ND	10	10
	รำกลาง	3																				
			Avg.	91.39	11.68	9.31	8.88	18.88	46.70	42.96	40.08	10.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	34.78*	1.65*	1.30*	ND
			SD	1.93	2.39	3.05	6.96	2.63		25.41	9.97	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11.77	0.73	0.58	ND
			N	13	8	13	6	2	1	4	4	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4	4	4	ND
	รำหยาบ (rough rice bran)	3																				
			Avg.	90.19	6.37	3.36	34.51	15.01	41.10	56.79	42.54	12.42	2.48	1.78	9.80	44.1	33.82	25.83	39.92	ND	0.88	0.37
			SD	1.44	1.83	2.48	6.33	2.45	5.65	10.76	9.18	3.98	0.91	0.63	6.19	14.29	9.85	7.21	8.48	ND	0.27	0.20
			N	63	58	55	51	45	31	33	34	19	10	10	10	3	10	10	9	ND	10	10
	ฟางข้าว (rice straw)	1																				
			Avg.	91.88	4.14	0.94	35.38	14.20	43.55	68.49	43.34	3.92	1.55	0.46	39.04	35.57	41.98	38.90	46.64*	1.95*	1.62*	0.75
			SD	2.49	1.24	0.41	4.16	3.49	5.59	7.96	4.39	1.06	0.79	0.20	3.80	2.76	2.38	4.07	5.49	0.30	0.44	0.10
			N	110	101	97	57	105	49	95	101	86	7	9	10	3	10	7	4	4	4	7

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
% on DM										Mcal/kgDM											
2	ข้าว : <i>Oryza sativa</i>																				
	ปลายข้าว (broken rice)	3	Avg. 87.60	8.03	1.43	1.23	0.98	86.98	4.06	2.49	0.46	0.00	0.00	74.69	24.1	88.03	79.80	83.50*	3.22*	2.88*	1.86
			SD 1.05	1.08	1.32	1.88	0.90	4.16	3.49	4.58	0.56	0.00	0.00	14.07	4.93	2.54	1.60	5.70	0.53	0.53	0.04
			N 146	129	63	60	121	54	24	24	22	10	10	10	3	10	10	4	4	4	10
3	ข้าวโพดฝักอ่อน: Baby corn, <i>Zea mays</i>																				
	ต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ฝักอ่อนสด (baby corn stover, fresh)	1	Avg. 25.73	8.40	1.20	30.78	5.93	49.12	62.25	36.77	4.74	2.51	0.79	40.17	43.03	54.59	4.67	60.07	ND	2.01	1.12
			SD 6.54	1.75	0.54	6.59	1.83	2.38	4.35	4.50	1.84	0.59	0.37	15.80	11.27	8.99	1.23	4.52	ND	0.52	0.29
			N 63	78	71	50	72	40	71	71	67	19	19	10	3	10	10	67	ND	10	10
	ต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ฝักอ่อนหมัก (baby corn stover, silage)	1	Avg. 20.54	9.10	1.54	29.75	8.38	50.93	61.86	37.67	4.68	2.61	1.00	49.10	38.07	59.66	55.45	52.04*	2.39*	2.03*	1.21
			SD 2.98	2.04	0.79	7.56	6.44	7.70	6.23	5.37	1.37	1.12	0.45	6.96	2.9	7.46	13.91	1.89	0.11	0.10	0.38
			N 9	30	29	21	27	19	29	29	20	11	11	10	3	5	7	20		7	7
	เปลือกข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn husk)	1	Avg. 15.17	10.61	1.47	25.93	4.76	55.31	63.41	30.77	3.04	4.56	1.32	73.76	40.35	77.53	6.66	63.68	ND	2.79	1.59
			SD 4.23	1.68	0.88	4.05	1.19	4.23	5.87	5.05	2.16	2.07	1.59	9.93	21.49	8.40	0.45	5.61	ND	0.13	0.11
			N 39	41	40	32	39	22	37	37	28	15	15	10	5			28	ND		

[illegible]

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	% on DM										Mca/kgDM						
				CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}
11	ถั่วพารัสโซไลด์ : <i>Stylosanthes guianensis</i> CIAT 184																			
	สด (arial part, fresh)																			
	70-80 วัน (70-80 days)	2	Avg.	15.23	1.14	33.54	8.85	41.24	57.00	37.76	8.28	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			SD	3.17	0.21	7.21	2.57	1.49	8.49	6.37	3.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			N	37	37	14	14	14	4	30	18	15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	90-110 วัน (90-110 days)	2	Avg.	14.48	2.02	34.06	8.55	40.89	54.72	41.04	7.73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			SD	2.76	0.88	5.67	3.21	4.34	7.60	6.03	1.61	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			N	67	99	19	19	19	19	36	31	20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	120 วัน (120 days)	2	Avg.	13.99	1.97	35.56	5.57	42.91	50.84	37.85	7.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			SD	2.94	0.19	-	0.26	-	4.10	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			N	8	13	5	1	5	1	7	1	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	แห้ง (arial part, hay)																			
	100 วัน (100 days)	2	Avg.	89.86	11.49	0.75	6.74	ND	62.18	54.25	11.73	ND	ND	ND	45.35*	46.7*	44.3*	1.84*	1.39*	ND
			SD	-	-	-	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	3.28	3.69	3.55	0.18	0.16	ND
			N	1	1	1	ND	1	ND	1	1	1	ND	ND	4	4	4	4	4	ND
	พริก (arial part, silage)																			
		65 วัน (65 days)	2	Avg.	22.49	18.05	1.71	ND	ND	50.62	41.26	9.15	ND	ND	55.93*	57.98*	44.3*	1.84*	1.39*	ND
			SD	-	-	-	ND	-	ND	-	-	-	ND	ND	3.62	1.52	0.88	3.55	0.18	0.16
			N	1	1	1	ND	1	ND	1	1	ND	ND	4	4	4	4	4	4	ND

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	% on DM										ADCP	NDICP	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
				CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	% of protein							
12	ถั่วกระญี่ปุ่น: <i>Cajanus cajan</i>																					
	ถั่วถั่วกระญี่ปุ่น (green japanese edamame, residue, boiled and freezeed)	1	Avg.	16.85	21.10	6.36	28.02	8.17	35.59	47.44	33.78	5.09	1.82	0.92	53.29	18.83	45.20	53.92	64.26	ND	2.16	1.16
			SD	2.51	6.42	2.94	5.37	1.40	5.19	9.83	7.47	1.63	0.61	0.27	6.09	5.61	3.57	3.02	6.12	ND	0.19	0.08
			N	16	18	20	19	20	17	19	19	18	10	10	10	3	10	10	18	ND	10	10
13	ถั่วลิสงเกาหลีกรร: <i>Arachis glabrata</i> cv. Florigraze																					
	ถั่วลิสงเกาหลีกรรแห้งทั้ง (perennial peanut hay)	1	Avg.	92.32	16.94	1.80	25.92	9.71	45.54	42.30	34.87	6.96	2.29	2.07	51.17	14.43	64.36	50.76	60.09*	2.70*	2.23*	1.06
			SD	1.83	2.33	0.47	4.17	1.22	2.84	7.07	5.90	2.57	0.85	1.18	6.34	1.53	2.35	4.01	5.75	0.30	0.45	0.11
			N	26	29	24	16	23	12	25	25	25	10	12	10	4	10	10	4	4	4	10
14	ถั่วเหลือง : <i>Glycine max</i>																					
	กากถั่วเหลือง (soy sauce, dried)	2	Avg.	83.54	31.01	23.89	11.30	14.07	21.26	18.10	13.90	1.57	1.31	2.67	82.23	14.43	67.56	38.40	69.79*	3.31*	2.45*	0.72
			SD	15.55	3.21	7.00	3.05	3.48	6.20	3.63	2.84	1.61	0.77	1.48	9.25	4.27	8.99	2.11	10.73	0.60	0.76	0.06
			N	11	25	27	27	26	25	24	25	23	12	14	10	3	10	10	4	4	4	10
	กากถั่วเหลือง (soya milk residue, fresh)	2	Avg.	15.35	33.28	10.20	12.58	5.23	38.86	24.43	16.79	4.01	1.17	1.26	80.12	54.45	81.53	53.44	86.05	ND	1.92	1.14
			SD	4.96	5.71	2.58	1.81	3.60	7.16	9.79	4.81	4.51	0.52	0.88	12.15	15.08	6.84	8.13	4.78	ND	0.31	0.22
			N	20	48	48	45	48	39	36	37	29	12	13	10	3	10	10	12	ND	10	10
	กากถั่วเหลือง (soybean meal)	2	Avg.	88.47	47.23	1.19	5.49	6.57	39.60	14.32	10.56	1.05	2.17	0.98	90.10	18.88	89.11	61.80	87.63*	4.74*	3.68*	1.36
			SD	0.80	2.12	0.62	1.21	0.89	2.49	4.89	3.80	1.78	1.86	0.64	13.92	21.34	7.43	8.47	7.26	0.37	0.38	0.23
			N	1305	1302	1146	1062	1180	1008	89	86	54	12	12	10	4	10	10	4	4	4	10

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}	
ถั่วเหลือง : <i>Glycine max</i>																						
14	ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soybean)	2	Avg.	90.89	37.64	19.24	7.29	5.88	29.62	16.48	11.91	1.78	1.11	0.62	91.86	53.97	83.52	51.30	102.40*	4.58*	3.80*	1.08
			SD	1.28	2.91	2.81	1.70	2.52	3.82	6.43	5.29	1.52	0.36	0.43	5.99	6.26	11.68	4.43	11.14	0.52	0.45	0.13
			N	71	67	66	58	69	54	26	26	20	10	10	10	3	20	10	4	4	4	10
	เมล็ดถั่วเหลือง (soybean hulls)	3	Avg.	88.88	12.28	1.98	34.13	6.09	37.07	51.77	40.59	1.36	2.42	1.49	11.29	39.88	85.11	74.77	77.07*	3.20*	2.71*	1.72
			SD	1.30	2.56	1.07	15.31	1.69	4.99	23.43	18.97	1.47	1.83	1.64	0.62	8.42	11.88	3.49	6.58	0.40	0.48	0.10
			N	96	95	96	29	38	28	25	25	19	14	11	10	4	12	10	4	4	4	10
เบียร์ : brewer																						
	กากเบียร์สด (brewer's grain, fresh)	2	Avg.	21.88	33.31	6.25	14.62	3.90	42.08	55.28	25.31	6.41	12.17	8.77	38.24	60.93	38.19	33.80	76.74*	3.76*	3.24*	0.62
			SD	3.41	4.21	2.29	2.89	1.27	4.06	9.18	6.66	2.80	4.14	2.41	6.69	26.73	6.97	4.97	18.26	0.96	0.88	0.14
			N	47	54	54	49	54	49	43	43	34	26	26	10	4	12	10	4	4	4	10
	กากเบียร์แห้ง (brewer's grain, dried)	2	Avg.	91.76	26.29	5.82	16.23	6.76	44.76	52.76	23.17	5.14	2.63	1.69	35.7	56.53	49.00	40.61	78.86*	3.09*	2.69*	0.80
			SD	1.92	4.66	1.92	3.26	3.22	5.12	8.45	4.75	2.27	0.96	0.82	22.21	12.34	9.69	6.92	10.45	0.61	0.52	0.19
			N	194	196	167	161	179	152	149	148	29	11	11	10.00	4	10	10	4	4	4	10
ปาล์มน้ำมัน : <i>Elaeis guineensis</i>																						
	กากเนื้อปาล์มสกัดน้ำมัน (palm kernel meal, solvent extraction)	2	Avg.	91.65	18.06	0.94	19.93	5.51	50.55	75.29	45.48	8.53	12.01	1.95	63.61	63.73	64.62	50.95	83.75*	3.55*	3.11*	1.07
			SD	1.88	2.16	0.57	9.62	0.74	13.64	6.58	7.30	4.37	1.58	0.16	25.77	33.96	16.46	10.97	12.85	0.60	0.67	0.30
			N	21	17	20	18	17	12	12	13	11	10	10	10	3	10	10	4	4	4	10

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
Mcal/kgDM																						
% on DM																						
% of protein																						
% of NDF																						
% of protein																						
16	ปาล์มน้ำมัน : <i>Elaeis guineensis</i>																					
	กากเนื้อปาล์มแบบอัดน้ำมัน (palm kernel meal, mechanical extraction)	3	Avg.	93.18	15.85	9.76	20.05	4.81	49.65	66.09	43.45	10.52	7.24	10.00	69.83	44.3	67.33	60.89	53.41	ND	2.20	1.34
			SD	1.98	1.23	4.86	2.87	0.97	4.69	5.03	6.96	6.82	2.04	5.83	4.66	14.05	4.19	1.55	0.47	ND	0.06	0.04
			N	162	158	149	137	155	132	123	122	21	12	12	10	3	11	10	5	ND	10	10
	กากปาล์มรวมกะลา (palm kernel with nut shell)	3	Avg.	91.86	10.48	15.29	32.44	8.31	34.60	53.84	44.23	17.19	4.54	4.81	28.7	37.27	36.25	31.14	52.10*	2.15*	1.86*	0.52
			SD	3.35	3.25	5.35	7.77	4.66	7.41	13.11	13.14	6.55	3.29	4.25	26.83	26.03	4.83	3.57	1.56	0.16	0.10	0.10
			N	55	49	54	49	44	41	35	36	29	13	16	10	3	10	10	4	4	4	10
	กากสัปปะรดปาล์ม (sludge palm oil)	3	Avg.	21.90	14.21	14.53	18.46	16.42	36.42	37.81	32.01	13.00	8.59	4.76	68.26	ND	67.08	35.80	46.47	ND	1.26	0.65
			SD	3.56	3.90	8.89	6.85	5.74	11.70	15.32	14.39	7.96	2.18	3.34	17.32	ND	25.83	7.13	9.04	ND	0.27	0.20
			N	14	21	20	19	21	19	12	12	10	6	9	10	ND	10	10	6	ND	10	10
17	มันฝรั่ง : potato, <i>Solanum tuberosum</i>																					
	หัวมันฝรั่ง (potato tuber)	3	Avg.	15.99	11.87	0.26	3.24	6.72	78.80	11.93	4.31	0.66	0.24	0.17	69.97	4.73	85.60	51.05	72.22	ND	1.84	1.07
			SD	2.97	1.42	0.20	0.50	1.13	3.53	2.42	0.50	0.28	0.07	0.06	18.63	2.11	5.63	4.80	0.56	ND	0.18	0.13
			N	13	13	13	9	12	9	12	12	12	10	10	10	10	3	10	10	10	ND	10
18	มันสำปะหลัง : casava, <i>Manihot esculenta</i>																					
	มันสำปะหลัง (casava chopped)	3	Avg.	88.90	2.54	0.81	2.71	3.34	89.71	13.85	5.29	1.03	0.00	0.00	49.82	16.27	91.10	75.73	78.50*	3.35*	2.91*	1.75
			SD	3.21	0.97	0.80	1.81	1.56	4.10	18.37	3.57	0.54	0.00	0.00	20.31	2.59	3.26	5.48	2.67	0.09	0.18	0.15
			N	354	347	259	161	163	115	89	91	42	10	10	10	10	3	10	10	4	4	4

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	% on DM										RUP					DE	ME ^{2/} Mcal/KgDM	NEL ^{2/}		
				CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	%of NDF	% of protein	OMD	TDN ^{1/}						
18	มันสำปะหลัง : casava, Manihot esculenta																						
	กากอาหารแอลแห้ง (casava-ethanol by product, dried)	2	Avg.	90.19	21.84	4.25	20.31	12.49	41.52	48.25	37.00	18.03	7.11	6.41	27.41	51.2	ND	ND	31.11	ND	ND	ND	
			SD	3.00	8.61	3.93	12.04	9.39	13.60	12.12	17.43	13.55	4.11	4.40	-	12.02	ND	ND	23.66	ND	ND	ND	
			N	25	26	27	26	26	26	25	14	14	14	12	10	10	1	3	ND	ND	11	ND	ND
	กากอาหารแอลสด (casava-ethanol by product, wet)	3	Avg.	21.49	13.44	0.95	24.65	13.41	45.04	51.24	44.06	13.10	3.90	2.98	50.09	53.47	61.70	49.72	36.71	ND	1.78	1.03	
			SD	5.54	6.50	0.50	8.38	5.89	16.99	4.55	8.35	3.77	0.68	0.73	21.75	11.91	9.43	3.50	6.78	ND	0.13	0.10	
			N	13	14	14	14	14	14	14	11	11	10	10	10	10	3	10	10	5	ND	10	10
	กากซีเรียล (มันสำปะหลัง)	3	Avg.	92.93	11.00	2.48	24.32	17.85	47.94	46.85	34.94	9.95	5.78	3.20	45.01	42.6	55.56	44.09	40.78	ND	1.57	0.88	
			SD	3.60	0.77	0.89	1.60	3.15	3.38	10.23	5.63	4.03	1.36	0.33	9.71	10.95	3.21	3.17	3.34	ND	0.12	0.09	
			N	21	21	21	20	20	20	20	21	21	20	7	7	7	3	10	10	13	ND	10	10
	กากซีเรียล (มันสำปะหลังผสมข้าวโพด)	3	Avg.	98.43	10.64	1.32	26.30	16.71	46.64	54.38	34.94	7.05	5.24	4.48	-11.60	74.47	36.46	33.50	43.69	ND	1.17	0.58	
			SD	0.10	0.14	0.04	0.44	0.52	0.32	0.54	0.93	0.40	0.11	0.21	6.29	7.74	2.49	1.75	0.41	ND	0.07	0.05	
			N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	10	10	6	ND	10	10
	กากแป้งมันสด (starch process residue, fresh)	3	Avg.	19.48	2.66	0.39	19.18	3.17	74.55	38.92	25.17	4.35	1.03	0.79	54.40	82.21	79.04	67.56	77.33*	3.14*	2.91*	1.52	
			SD	4.11	1.38	0.29	3.48	1.52	3.65	9.52	4.72	1.45	0.51	0.40	17.24	8	3.36	5.08	11.00	0.50	0.26	0.14	
			N	37	46	46	31	45	30	27	27	14	10	10	10	7	10	15	4	4	4	15	15
	กากแป้งมันแห้ง (starch process residue, dried)	3	Avg.	89.08	2.89	0.39	15.53	6.55	74.09	35.70	22.59	4.01	0.76	0.72	25.79	45.8	52.25	62.31	61.30	ND	2.25	1.38	
			SD	2.34	1.30	0.34	5.68	3.72	7.63	11.71	6.16	1.35	0.18	0.29	9.27	14.35	12.77	11.03	4.44	ND	0.41	0.30	
			N	51	51	50	38	51	39	36	35	21	10	10	10	5	11	10	10	10	ND	10	10

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
% on DM																						
Mca/VkgDM																						
18	มันสำปะหลัง : <i>casava, Manihot esculenta</i>																					
	เปลือกมันสำปะ (casava peel)	3	Avg.	27.65	3.49	0.85	12.41	6.68	75.96	28.54	21.75	11.84	1.83	1.60	17.93	55.88	61.35	67.32	47.43	ND	2.44	1.51
			SD	5.92	0.58	0.36	4.58	4.54	6.80	11.87	8.23	6.10	0.93	1.08	10.28	7.68	9.59	9.47	ND	0.36	0.26	
			N	26	34	32	24	32	24	21	21	16	10	10	10	4	10	10	ND	10	10	
19	มะเขือเทศ: <i>Lycopersicon esculentum</i>																					
	กากมะเขือเทศ (tomato pomace, fresh)	1	Avg.	23.05	19.36	14.39	39.92	4.44	27.56	56.33	41.86	28.83	5.87	3.70	77.18	52.47	49.62	42.25	29.10	ND	1.81	0.86
			SD	5.08	2.37	21.89	7.33	2.19	5.70	4.21	23.85	2.80	0.32	0.20	3.13	8.12	2.24	2.06	8.14	ND	0.08	0.06
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3	10	10	10	ND	10	10	
20	มะพร้าว : <i>coconut, Cocos nucifera</i>																					
	กากมะพร้าว (coconut meal, solvent extracted)	3	Avg.	92.79	13.50	13.89	21.77	4.71	46.33	59.18	37.97	3.79	2.24	0.61	73.06	56.5	62.39	67.09	89.94*	3.73*	3.36*	1.51
			SD	1.82	3.41	2.86	10.51	2.53	7.77	9.62	8.37	2.08	1.75	0.40	6.11	14.81	13.69	8.88	11.28	0.61	0.64	0.24
			N	95	94	91	31	34	19	20	21	10	10	10	4	4	10	4	4	10		
21	เบป็ด : <i>canila, Brassica napus</i>																					
	กากเมล็ดอาร์ด (Mastard oil mael)	2	Avg.	23.77	32.87	18.26	11.61	6.68	30.58	30.49	20.48	4.88	2.87	1.30	87.18	38.60	72.18	68.53	88.47	ND	2.69	1.56
			SD	11.28	3.24	5.77	3.33	2.23	5.34	15.34	7.86	2.82	1.30	0.55	2.83	19.87	5.14	4.24	9.92	ND	0.27	0.12
			N	10	16	16	16	16	16	12	12	11	10	10	10	3	10	10	10	ND	10	10
22	สับปะรด : <i>Ananos comosus</i>																					
	เปลือกสับปะรดในรูปแบบ (pineapple peels, canning by product, meal, fresh)	1	Avg.	14.12	6.66	0.96	27.08	6.03	59.19	63.34	32.35	3.49	1.82	1.48	69.15	34.98	77.03	59.50	62.33	ND	2.46	1.32
			SD	1.13	0.43	0.43	2.99	0.63	2.96	5.06	3.36	0.71	0.45	0.70	2.80	16.71	2.29	0.92	2.62	ND	0.04	0.02
			N	17	19	19	18	19	18	16	15	16	16	16	3	10	10	15	ND	10	10	

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
Mcal/KgDM																					
% of protein																					
% of NDF																					
% on DM																					
23	หญ่กัณิม่วง : <i>Megathyrsus maximus</i> TD58																				
	หญ่กัณิม่วง (arial part, silage)																				
	60 วัน (60 days)		Avg.	20.97	7.10	2.13	ND	8.32	ND	74.43	50.29	6.63	ND	69.43	ND	58.88*	60.28*	56.98*	2.52*	1.81*	ND
			SD	-	-	-	ND	-	ND	-	-	-	ND	5.15	ND	2.10	2.26	2.21	0.15	0.28	ND
			N	1	1	1	ND	1	ND	1	1	1	ND	4	ND	4	4	4	4	4	ND
24	หญ่กัณิม่วง : <i>Penrisetum purpureum</i>																				
	สด (arial part, fresh)																				
	45-50 วัน (45-50 days)		Avg.	15.00	9.87	1.61	37.27	11.45	40.42	66.80	40.18	4.85	3.02	ND	59.77	52.39	39.33	58.41	ND	1.41	0.76
			SD	2.86	2.48	0.38	4.43	2.66	4.94	5.20	5.99	1.95	0.39	ND	16.55	4.53	6.39	5.06	ND	0.26	0.19
			N	26	56	29	28	29	28	50	49	38	10	ND	3	7	12	38	ND	12	12
	60-70 วัน (60-70 days)		Avg.	18.42	9.27	1.68	37.15	11.39	41.07	66.07	41.65	5.86	2.76	ND	ND	ND	ND	56.53	ND	ND	ND
			SD	6.46	3.22	0.41	4.74	2.19	5.81	5.91	5.18	1.81	0.86	ND	ND	ND	ND	5.01	ND	ND	ND
			N	142	144	116	95	115	95	133	133	47	18	ND	ND	ND	ND	5	ND	ND	ND
	หญ่กัณิม่วง (arial part, silage)		Avg.	21.31	7.08	1.85	39.25	10.07	41.97	70.21	46.64	7.02	1.80	43.91	38.87	48.37	38.14	50.41*	2.55*	2.12*	0.73
			SD	5.90	2.73	0.75	5.61	2.74	5.52	5.60	6.55	2.28	0.80	13.25	6.23	6.13	3.94	3.58	0.17	0.18	0.11
			N	83	82	78	57	79	56	73	74	46	16	10	3	10	10	4	4	4	10
25	หญ่กัณิม่วง : <i>Digitaria eriantha</i>																				
	สด (arial part, fresh)																				
	45-50 วัน (45-50 days)		Avg.	23.76	9.75	1.83	34.05	8.90	46.03	65.73	37.82	4.12	ND	49.93	56.73	52.37	59.73	60.89	ND	2.31	1.32
			SD	6.98	3.76	0.46	2.56	1.42	5.58	3.38	2.69	1.36	ND	2.81	4	3.19	8.68	3.37	ND	0.40	0.24
			N	84	94	19	19	18	13	87	87	15	ND	10	3	10	10	15	ND	10	10

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}
Mcal/kgDM																						
% of protein																						
% of NDF																						
% on DM																						
25	หญ้าแพงโกลา : <i>Digitaria eriantha</i>																					
	แห้ง (arial part, hay)																					
	โปรตีน >13% (CP>13%)	1	Avg.	92.42	14.44	2.58	ND	9.43	ND	66.56	36.24	4.79	ND	ND	ND	ND	ND	ND	61.00	ND	ND	ND
			SD	2.15	1.54	0.37	ND	1.60	ND	3.39	4.56	1.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.64	ND	ND	ND
			N	53	79	2	ND	2	ND	73	20	2	2	ND	ND	ND	ND	ND	2	ND	ND	ND
	โปรตีน 10-13 % (CP 10-13%)	1	Avg.	89.93	11.38	1.79	35.27	8.32	44.41	64.20	40.12	4.63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	58.80	ND	ND	ND
			SD	3.01	0.81	0.34	2.87	1.78	4.76	5.84	6.31	0.77	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.44	ND	ND	ND
			N	89	157	10	5	11	5	150	71	9	9	ND	ND	ND	ND	ND	9	ND	ND	ND
	โปรตีน 7-9.9 % (CP 7-9.9 %)	1	Avg.	90.80	8.30	1.79	34.86	7.77	47.24	67.43	40.22	4.41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	58.63	ND	ND	ND
			SD	3.53	0.86	0.31	2.86	1.92	3.66	5.39	5.55	1.30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.21	ND	ND	ND
			N	204	242	38	15	38	14	209	148	41	41	ND	ND	ND	ND	ND	40	ND	ND	ND
	โปรตีน < 7 % (CP < 7 %)	1	Avg.	90.91	5.05	1.44	32.64	7.21	53.72	67.34	39.18	5.08	1.48	1.11	ND	62.87	40.91	50.09	55.59*	2.31*	1.90*	1.06
			SD	2.97	1.23	0.39	4.01	1.58	4.85	4.62	4.01	1.49	0.40	0.82	ND	15.04	9.71	11.24	5.15	0.24	0.24	0.32
			N	491	466	106	65	112	60	456	427	96	10	10	10	ND	3	10	10	4	4	4
26	หญ้าอูฐ : <i>Brachiaria ruziziensis</i>																					
	แห้ง (arial part, hay)																					
	30-35 วัน (30-35 days)	2	Avg.	92.38	11.91	1.63	26.96	8.75	50.75	60.08	30.35	4.27	ND	ND	ND	ND	ND	ND	59	ND	ND	ND
			SD	2.28	3.26	0.17	5.19	2.10	0.18	4.75	1.16	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.7	ND	ND	ND
			N	43	37	4	4	2	2	33	5	2	2	ND	ND	ND	ND	ND	2	ND	ND	ND

ตารางที่ 15.1 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP	NDFD	RUP	DMD	OMD	TDN ^{1/}	DE	ME ^{2/}	NEL ^{2/}	
26	หญ้าธัญ : <i>Brachiaria ruziziensis</i>																						
	แห้ง (arial part, hay)																						
	40-50 วัน (40-50 days)	2	Avg.	92.63	8.75	1.62	32.02	9.88	47.72	65.39	37.69	4.48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	58.81	ND	ND	ND	
			SD	2.23	3.78	0.30	7.10	1.62	2.64	5.31	4.90	0.71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.68	ND	ND	ND	
			N	121	139	8	7	31	3	92	65	21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8	ND	ND	ND	
	60 วัน (60 days)	2	Avg.	92.37	6.23	1.07	27.82	6.22	58.66	66.42	40.36	4.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	1.82	1.22	0.40	4.53	1.49	3.90	5.51	4.92	1.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	26	11	3	2	3	2	15	5	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	หมัก (arial part, silage)																						
	55 วัน (55 days)	2	Avg.	20.89	12.00	2.09	ND	11.76	ND	63.04	35.78	6.03	ND	ND	65.52	ND	62.59*	64.7*	58.2*	2.6*	2.05*	ND	
			SD	-	-	-	ND	-	ND	-	-	-	-	ND	ND	3.90	ND	2.63	2.44	2.41	0.12	0.15	ND
			N	1	1	1	1	ND	1	ND	1	1	1	1	ND	ND	4	ND	4	4	4	4	ND
27	โอวัลติน : Ovaltin																						
	กากมอลท์โอวัลติน (malt grain, ovaltin's by product, dried)	2	Avg.	92.81	27.94	8.58	16.87	3.53	43.03	56.12	25.22	6.60	3.31	3.01	33.96	20.4	51.22	36.66	75.95	ND	1.46	0.69	
			SD	1.74	2.30	1.66	1.78	0.82	3.03	6.04	2.17	1.14	0.66	0.66	0.58	3.77	2.42	2.80	1.87	2.04	ND	0.18	0.05
			N	13	17	17	17	16	17	16	13	13	13	10	10	10	3	10	10	10	ND	10	10

หมายเหตุ 1/ ทำนายโดยใช้สมการจาก โครงการศึกษาการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบโคนมปีที่ 2

2/ ประเมินโดยวิธีการวัดปริมาณก๊าซ (Menke and Steingass, 1988)

* วัดโดยตรงจากตัวสัตว์ โครงการศึกษาการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบโคนมปีที่ 1 และปีที่ 2

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%							mg/kg			
			Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
1	กระถิน: <i>Leuceana leucocephala</i>												
	กระถิน อายุ 60 วัน (arial part 60 days)	1	avg.	0.81	0.81	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.19	0.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	175	175	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	กระถิน อายุ 90 วัน (arial part 90 days)	1	avg.	1.41	0.22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.19	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	96	96	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	กระถิน อายุ 120 วัน (arial part 120 days)	1	avg.	2.16	0.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.24	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	10	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	กระถินป่น (arial part, meal)	1	avg.	1.03	0.13	0.26	1.36	0.40	0.02	7.45	509.43	34.79	20.58
			SD	0.32	0.04	0.06	0.24	0.26	0.01	3.44	512.57	20.90	6.49
			N	107	107	13	13	10	10	13	13	13	13

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
			%						mg/kg				
2	ข้าว : <i>Oryza sativa</i>												
	รำละเอียด (rice bran)	3	avg.	0.07	1.77	0.73	1.35	0.12	0.01	6.19	179.63	155.19	83.69
			SD	0.03	0.25	0.21	0.40	0.02	0.01	2.30	93.60	36.27	24.47
			N	100	100	17	17	5	13	17	17	17	17
	รำสกัดน้ำมัน (defatted rice bran)	3	avg.	0.12	2.49	1.39	1.65	0.21	0.06	9.39	195.79	216.00	99.85
			SD	0.09	0.62	0.41	0.36	0.13	0.09	1.50	75.94	50.10	26.47
			N	49	48	14	15	13	14	15	15	15	15
	รำหยาบ (rough rice bran)	3	avg.	0.11	0.30	0.16	0.46	0.07	0.02	2.71	186.23	118.17	27.15
			SD	0.03	0.38	0.12	0.13	0.03	0.03	1.48	155.14	79.49	12.64
			N	28	28	11	11	11	11	11	11	11	11
	ฟางข้าว (rice straw)	1	avg.	0.38	0.09	0.16	1.73	0.10	0.03	1.99	142.53	816.70	31.02
			SD	0.08	0.02	0.06	0.36	0.04	0.03	0.76	40.83	289.29	10.03
			N	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	ปลายข้าว (broken rice)	3	avg.	0.06	0.13	0.14	0.06	0.06	0.13	15.25	36.60	69.78	27.75
			SD	0.07	0.07	0.11	0.11	0.06	0.10	21.23	97.68	105.29	13.45
			N	92	90	15	15	12	12	15	14	14	15

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
			%					mg/kg					
3	ข้าวโพดฝักอ่อน: Baby corn, Zea mays												
	ต้นข้าวโพดหลังเก็บฝักอ่อนสด (baby corn stover, fresh)	1	avg.	0.36	0.22	0.29	1.12	0.24	0.01	4.81	154.04	45.14	22.65
			SD	0.19	0.10	0.18	0.39	0.24	0.01	5.36	172.45	63.31	19.31
			N	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12
	ต้นข้าวโพดหลังเก็บฝักอ่อนหมัก (baby corn stover, silage)	1	avg.	0.37	0.24	0.35	1.37	0.17	0.04	5.39	323.59	59.66	23.95
			SD	0.16	0.10	0.14	0.76	0.07	0.09	2.01	179.69	36.12	7.68
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	เปลือกข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn husk)	1	avg.	0.17	0.62	0.26	1.58	0.46	0.02	8.77	97.28	42.30	77.87
			SD	0.11	0.45	0.14	0.62	0.29	0.03	7.13	32.55	32.83	45.41
			N	13	13	11	11	10	10	11	11	11	11
4	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์: Corn/Maize, Zea mays												
	เมล็ดข้าวโพดบด (corn meal)	3	avg.	0.03	0.25	0.08	0.38	0.08	0.00	2.01	141.61	5.83	22.49
			SD	0.02	0.05	0.01	0.11	0.03	0.00	0.97	157.36	2.95	7.53
			N	43.00	45.00	19.00	19.00	14.00	8.00	19.00	19.00	19.00	19.00

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%						mg/kg					
			Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn		
10	ถั่วคาวาลแคด: <i>Centrosema pascuorum</i> cv. Cavalcade													
	ถั่วคาวาลแคดแห้ง อายุ 45 วัน (cavalcade hay, 45 days)	1	avg.	1.32	0.33	0.37	2.04	0.20	0.03	7.49	248.45	71.15	24.75	
			SD	0.16	0.14	0.03	0.83	0.09	0.02	2.35	197.92	34.31	9.10	
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	ถั่วคาวาลแคดแห้ง อายุ 60 วัน (cavalcade hay, 60 days)	1	avg.	1.00	0.26	0.35	1.95	0.32	0.02	10.35	288.10	101.49	38.64	
			SD	0.34	0.09	0.06	0.56	0.32	0.01	8.90	274.83	53.86	27.76	
			N	75	75	73	11	10	5	10	10	10	10	
	ถั่วคาวาลแคดแห้ง อายุ 70-90 วัน (cavalcade hay, 70-90 days)	1	avg.	0.77	0.27	0.26	2.37	0.21	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.43	0.07	0.02	0.46	-	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	15	11	4	10	10	ND	ND	ND	ND	ND	
	ถั่วคาวาลแคดแห้ง อายุมากกว่า 90 วัน (cavalcade hay, > 90 days)	1	avg.	0.74	0.23	0.26	1.80	0.20	ND	ND	ND	ND	ND	
			SD	0.32	0.03	0.05	0.06	-	ND	ND	ND	ND	ND	
			N	4	4	4	4	4	ND	ND	ND	ND	ND	

[illegible]

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%						mg/kg					
				Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
14	ถั่วเหลือง : <i>Glycine max</i>													
	กากซีอิ้ว (soy sauce, dried)	2	avg.	0.21	0.19	0.08	0.52	0.31	3.03	21.77	97.69	14.22	34.73	
			SD	0.08	0.04	0.03	0.14	0.07	2.06	8.65	101.04	11.41	14.85	
			N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	กากเต้าหู้ (soya milk residue, fresh)	2												
			avg.	0.47	0.43	0.20	1.13	0.31	0.06	9.67	55.68	21.01	28.23	
			SD	0.20	0.18	0.05	0.14	0.06	0.06	5.63	32.25	11.13	12.38	
			N	16	16	13	13	12	12	13	13	13	13	
	กากถั่วเหลือง (soybean meal)	2												
			avg.	0.35	0.68	1.06	1.84	0.38	0.01	10.02	286.59	29.82	62.14	
			SD	0.08	0.05	0.95	0.55	0.17	0.01	3.91	173.09	9.72	20.99	
			N	1082	1081	26	26	23	19	23	23	23	23	
	ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soybean)	2												
			avg.	0.26	0.53	0.23	1.74	0.31	0.01	10.21	170.64	26.44	47.81	
			SD	0.06	0.09	0.07	0.11	0.11	0.02	3.04	119.98	9.77	17.39	
			N	43	43	15	15	12	12	15	15	15	15	
	เปลือกถั่วเหลือง (soybean hulls)	3												
			avg.	1.00	0.42	0.32	1.87	0.37	0.01	7.38	442.78	24.87	78.69	
			SD	1.37	0.29	0.07	0.54	0.21	0.03	2.59	354.29	10.85	24.13	
			N	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%						mg/kg					
			Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn		
15	เบียร์ : brewer													
	กากเบียร์สด (brewer's grain, fresh)	2	avg.	0.19	0.43	0.14	0.13	0.51	0.65	14.99	174.57	54.36	125.07	
			SD	0.04	0.06	0.03	0.16	0.16	1.10	3.22	80.28	17.20	44.12	
			N	19	19	19	19	18	18	19	19	19	19	
	กากเบียร์แห้ง (brewer's grain, dried)	2	avg.	0.35	0.47	0.16	0.07	0.41	0.04	13.23	150.78	47.13	93.54	
			SD	0.08	0.07	0.03	0.15	0.09	0.07	1.72	60.43	12.96	19.59	
			N	126	125	14	14	14	14	14	14	14	14	
16	ปาล์มน้ำมัน : <i>Elaeis guineensis</i>													
	กากเนื้อปาล์มสกัดน้ำมัน (palm kernel meal, solvent extraction)	2	avg.	0.48	0.78	0.43	0.80	0.35	0.01	60.10	923.97	396.66	63.05	
			SD	0.33	0.53	0.24	0.11	0.24	0.01	55.62	1297.84	290.94	41.72	
			N	8	8	8	9	7	6	7	7	7	7	
	กากเนื้อปาล์มแบบอัดน้ำมัน (palm kernel meal, mechanical extraction)	3	avg.	0.37	0.57	15.94	0.73	1.43	0.06	28.13	468.91	317.06	60.48	
			SD	0.18	0.09	69.90	0.18	5.62	0.10	6.66	205.87	89.08	105.16	
			N	135	135	20	19	20	19	19	20	19	19	

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
			%						mg/kg					
16	ปาล์มน้ำมัน : <i>Elaeis guinensis</i>													
	กากปาล์มรวมกะลา (palm kernel with nut shell)	3	avg.	0.46	0.33	0.28	0.90	0.21	0.03	22.94	684.65	145.88	22.59	
			SD	0.16	0.25	0.11	0.09	0.08	0.06	10.53	557.87	138.68	13.80	
			N	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	
	กากสลัดปาล์ม (sludge palm oil)	3	avg.	1.01	0.30	0.47	1.57	0.33	0.06	44.68	1634.45	99.81	39.98	
			SD	0.35	0.16	0.28	0.77	0.09	0.14	28.55	1510.83	69.27	20.12	
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
17	มันฝรั่ง : potato, <i>Solanum tuberosum</i>													
	หัวมันฝรั่ง (potato tuber)	3	avg.	0.08	0.45	0.14	6.30	0.63	0.03	34.12	524.82	80.98	65.13	
			SD	0.07	0.38	0.05	5.12	0.60	0.04	14.37	355.19	40.10	37.56	
			N	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	
18	มันสำปะหลัง : casava, <i>Manihot esculenta</i>													
	กากซีดรีด (มันสำปะหลัง)	3	avg.	1.21	0.17	0.16	0.34	0.10	0.03	11.66	4220.80	185.89	41.30	
			SD	0.39	0.04	0.06	0.11	0.01	0.02	4.33	1208.13	86.76	19.67	
			N	8	8	8	8	6	7	8	8	8	7	

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
			%					mg/kg					
18	มันสำปะหลัง : casava, Manihot esculenta												
	กากเอทานอลแห้ง (casava-ethanol by product, dried)	2	avg.	0.81	0.79	0.52	1.38	0.57	0.18	19.55	9210.35	325.29	98.14
			SD	0.83	0.43	0.26	0.55	0.42	0.11	12.03	8006.22	185.93	58.80
			N	10	16	10	10	10	10	10	10	10	10
	เปลือกมันสำปะ (casava peel)	3	avg.	3.39	0.08	0.12	0.60	0.08	0.03	6.41	1809.44	85.28	17.22
			SD	3.29	0.03	0.04	0.21	0.10	0.03	3.51	1159.68	19.83	9.02
			N	13	13	13	13	12	12	13	13	13	13
	มันเส้น (casava chopped)	3	avg.	0.16	0.08	0.53	0.51	0.07	0.01	1.84	471.73	21.86	8.57
			SD	0.07	0.02	0.48	0.12	0.04	0.01	1.16	298.83	9.11	3.96
			N	69	69	27	28	12	10	15	16	16	16
19	มะเขือเทศ: Lycopersicon esculentum												
	กากมะเขือเทศ (tomato pomace, fresh)	1	avg.	0.17	0.34	0.22	1.05	7.70	0.28	49.81	216.21	44.73	27.43
			SD	0.02	0.15	0.04	0.34	23.32	0.37	136.77	285.41	17.60	6.41
			N	10	10	10	10	10	4	10	10	10	10

[illegible]

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class		Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
			%						mg/kg					
24	หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 : <i>Pennisetum purpureum</i>													
	สด (arial part, fresh)													
	45-50 วัน (45-50 days)	1	avg.	0.31	0.22	0.19	3.44	0.15	0.02	4.70	217.35	38.66	26.68	
			SD	0.07	0.04	0.01	0.87	0.03	0.01	0.56	109.36	17.03	9.02	
			N	21	29	19	27	10	9	10	10	10	10	
	60-70 วัน (60-70 days)	1	avg.	0.25	0.21	0.20	2.65	0.17	0.01	4.79	1003.57	45.90	28.96	
			SD	0.07	0.06	0.09	0.94	0.03	0.00	1.71	1776.81	10.72	5.02	
			N	15	16	15	16	16	15	16	16	16	16	
	หมัก (arial part, silage)	1	avg.	0.40	0.19	0.20	2.23	0.17	0.03	5.81	489.80	73.58	29.33	
			SD	0.13	0.10	0.05	0.85	0.07	0.05	2.69	521.58	58.58	8.56	
			N	12	12	12	12	11	10	13	13	13	12	
25	หญ้าแพงโกลา : <i>Digitaria eriantha</i>													
	สด (arial part, fresh)													
	45-50 วัน (45-50 days)	1	avg.	0.37	0.21	0.12	1.06	0.15	0.80	6.79	118.47	201.79	22.42	
			SD	0.09	0.09	0.06	0.53	0.05	0.39	6.21	62.22	152.95	15.58	
			N	15	15	15	15	14	14	15	15	15	15	

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	Ca	P	Mg	K	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn		
			%						mg/kg					
25	หญ้าแพงโกลา : <i>Digitaria eriantha</i>													
	แห้ง (arial part, hay)													
	โปรตีน 10-13 % (CP 10-13%)	1	avg.	0.31	0.29	0.18	0.9	0.1	0.34	4.22	174.43	43.08	21.23	
			SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	โปรตีน 7-9.9 % (CP 7-9.9 %)	1	avg.	0.37	0.12	0.15	1.19	0.10	0.41	3.52	116.65	95.70	17.67	
			SD	0.11	0.03	0.01	0.43	0.00	0.18	1.20	65.09	84.45	2.96	
			N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	โปรตีน <7 % (CP <7 %)	1	avg.	0.57	0.18	0.38	0.85	0.10	0.36	3.91	346.35	279.73	18.20	
			SD	0.37	0.11	0.50	0.71	0.04	0.28	1.73	231.60	210.04	7.12	
			N	20	20	15	15	13	15	13	12	13	12	
26	หญ้ารูซี่ : <i>Brachiararia ruziziensis</i>													
	แห้ง (arial part, hay)													
	30-35 วัน (30-35 days)	2	Avg.	0.48	0.33	ND	2.79	0.22	0.04	ND	ND	ND	ND	
			SD	-	-	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND	
			N	1	1	ND	1	1	1	ND	ND	ND	ND	

ตารางที่ 15.2 ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบอาหารโคนม (ต่อ)

[illegible]

ตารางที่ 15.3 ค่าแร่ธาตุชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบแหล่งแร่ธาตุสำหรับโคนม

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%										mg/kg						
			DM	Ca	P	Mg	K	S	Na	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	I	Se		
1	กำมะถัน (Sulfur)																		
	แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate)	6	97.0 ^{1/}	22.58 ^{1/}	0.01 ^{1/}	2.22 ^{1/}	0	18.06 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			100	23.28 ^{1/}	0.01 ^{1/}	2.61 ^{1/}	0	18.62 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate decahydrate)	6	97.0 ^{1/}	0	0	0	0	9.65 ^{1/}	13.84 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0		
			100	0	0	0	0	9.95 ^{1/}	14.27 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0		
	แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate)	6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			100	0	0	0	0	24.10 ^{1/}	0	0	0	10.00 ^{1/}	1.00 ^{1/}	0	0	0	0		
2	แคลเซียม (Calcium)																		
	แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)	6	99 ^{1/}	39.00 ^{1/}	0.04 ^{1/}	0.05 ^{1/}	0.06 ^{1/}	0	0.06 ^{1/}	0	0	300.00 ^{1/}	297.00 ^{1/}	0	0	0	0		
			100	39.39 ^{1/}	0.04 ^{1/}	0.05 ^{1/}	0.06 ^{1/}	0	0.06 ^{1/}	0	0	300.00 ^{1/}	300.00 ^{1/}	0	0	0	0		
	ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate)	6	97.0	21.30 ^{1/}	18.70 ^{1/}	0.57 ^{1/}	0.07 ^{1/}	1.11 ^{1/}	0.05 ^{1/}	0	10.00 ^{1/}	13968.00 ^{1/}	291.00 ^{1/}	97.00 ^{1/}	9.70 ^{1/}	0	0		
			100	22.00 ^{1/}	19.30 ^{1/}	0.59 ^{1/}	0.07 ^{1/}	1.14 ^{1/}	0.05 ^{1/}	0	10.00 ^{1/}	14400.00 ^{1/}	300.00 ^{1/}	100.00 ^{1/}	10.00 ^{1/}	0	0		
	โมนโอแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate)	6	97.0 ^{1/}	15.90 ^{1/}	20.95 ^{1/}	0.59 ^{1/}	0.08 ^{1/}	1.18 ^{1/}	0.06 ^{1/}	0	10.00 ^{1/}	15326.00 ^{1/}	388.00 ^{1/}	97.00 ^{1/}	9.70 ^{1/}	0	0		
			100	16.40 ^{1/}	21.60 ^{1/}	0.61 ^{1/}	0.08 ^{1/}	1.22 ^{1/}	0.06 ^{1/}	0	10.00 ^{1/}	15800.00 ^{1/}	400.00 ^{1/}	100.00 ^{1/}	10.00 ^{1/}	0	0		
	หินปูนบด (ground limestone)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			100	34.00 ^{1/}	0.02 ^{1/}	2.06 ^{1/}	0.12 ^{1/}	0.04 ^{1/}	0.06 ^{1/}	0.03 ^{1/}	0	3500.00 ^{1/}	0	0	0	0	0		
	charcoal (bone black/bone char)	6	90.0 ^{2/}	27.10 ^{2/}	12.70 ^{2/}	0.53 ^{2/}	0.14 ^{2/}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			100	30.11 ^{2/}	14.14 ^{2/}	0.59 ^{2/}	0.16 ^{2/}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	dolomite	6	99.0 ^{2/}	22.10 ^{2/}	0.04 ^{2/}	9.89 ^{2/}	0.36 ^{2/}	0	0.36 ^{2/}	0	0	792.00 ^{2/}	0	0	0	0	0		
			100	22.30 ^{2/}	0.04 ^{2/}	9.99 ^{2/}	0.36 ^{2/}	0	0.36 ^{2/}	0	0	800.00 ^{2/}	0	0	0	0	0		

ตารางที่ 15.3 ค่าแร่ธาตุชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบแหล่งแร่ธาตุสำหรับโคนม (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%										mg/kg					Se
			DM	Ca	P	Mg	K	S	Na	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	I		
2 แคลเซียม (Calcium)																		
	oystershell, ground	6	99.0 ^{1/}	37.62 ^{1/}	0.07 ^{1/}	0.10 ^{1/}	0.30 ^{1/}	0	0.21 ^{1/}	0.01 ^{1/}	0	2841.30 ^{1/}	0	0	0	0	0	
			100	38.00 ^{1/}	0.07 ^{1/}	0.10 ^{1/}	0.30 ^{1/}	0	0.21 ^{1/}	0.01 ^{1/}	0	2870.00 ^{1/}	0	0	0	0	0	
3 โคบอลต์ (Cobalt)																		
	โคบอลต์คาร์บอเนต (cobalt carbonate)	6	99.0 ^{1/}	0	0	0	0	0.20 ^{1/}	0	0	0	495.00 ^{1/}	0	0	455400.00 ^{1/}	0	0	
			100	0	0	0	0	0.20 ^{1/}	0	0	0	500.00 ^{1/}	0	0	460000.00 ^{1/}	0	0	
4 ซีลีเนียม (Selenium)																		
	โซเดียมซีลีไนท์ (sodium selenite)	6	98.0 ^{1/}	0	0	0	0	0	26.10 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	446880.00 ^{1/}	
			100	0	0	0	0	0	26.60 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	456000.00 ^{1/}	
5 โซเดียม (Sodium)																		
	โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)	6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100	0	0	0	0	0	39.34 ^{1/}	60.66 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	
	โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate)	6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100	0	0	0	0	0	39.05 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ไตรโซเดียมฟอสเฟต (trisodium phosphate)	6	96.0 ^{1/}	0	24.00 ^{1/}	0	0	0	29.80 ^{1/}	0	0	38.40 ^{1/}	0	0	0	0	0	
			100	0	25.00 ^{1/}	0	0	0	31.00 ^{1/}	0	0	40.00 ^{1/}	0	0	0	0	0	
	โมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate)	6	97.0 ^{1/}	0	21.80 ^{1/}	0	0	0	16.18 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100	0	22.50 ^{1/}	0	0	0	16.68 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	

ตารางที่ 15.3 ค่าแร่ธาตุชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบแหล่งแร่ธาตุสำหรับโคนม

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	%										mg/kg					
			DM	Ca	P	Mg	K	S	Na	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	I	Se	
8	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)																	
	rock phosphate, low fluoride	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100	36.00 ^{1/}	14.00 ^{1/}													
	rock phosphate , soft	6	99.0 ^{1/}	16.83 ^{1/}	8.91 ^{1/}	0.38 ^{1/}	0	0	0.10 ^{1/}	0	0	18810.00 ^{1/}	990.00 ^{1/}	0	0	0	0	
			100	17.00 ^{1/}	9.00 ^{1/}	0.38 ^{1/}	0	0	0.10 ^{1/}	0	0	19000.00 ^{1/}	1000.00 ^{1/}	0	0	0	0	
9	แมกนีเซียม (Magnesium)																	
	แมกนีเซียคาร์บอเนต (magnesium carbonate)	6	98.0 ^{1/}	0.02 ^{1/}	0	30.19 ^{1/}	0	0	0	0	0	215.60 ^{1/}	0	0	0	0	0	
			100	0.02 ^{1/}	0	30.81 ^{1/}	0	0	0	0	0	220.00 ^{1/}	0	0	0	0	0	
	แมกนีเซียออกไซด์ (magnesium oxide)	6	98.0 ^{1/}	3.01 ^{1/}	0	55.08 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	98.00 ^{1/}	0	0	0	0	
			100	3.07 ^{1/}	0	56.20 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	100.00 ^{1/}	0	0	0	0	
10	แมงกานีส (Manganese)																	
	แมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide)	6	99.0 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	766755.00 ^{1/}	0	0	0	0	
			100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	774500.00 ^{1/}	0	0	0	0	
11	สังกะสี (Zinc)																	
	ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate)	6	99 ^{1/}	0.02 ^{1/}	0	0	0	17.50 ^{1/}	0	0.02 ^{1/}	0	9.90 ^{1/}	9.90 ^{1/}	359964.00 ^{1/}	0	0	0	
			100	0.02 ^{1/}	0	0	0	17.68 ^{1/}	0	0.02 ^{1/}	0	10.00 ^{1/}	10.00 ^{1/}	363600.00 ^{1/}	0	0	0	
	ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	780000.00 ^{1/}	0	0	0	
12	เหล็ก (Iron : ferrous)																	
	เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate heptahydrate)	6	98.0 ^{1/}	0	0	0	0	12.10 ^{1/}	0	0	0	214032.00 ^{1/}	0	0	0	0	0	
			100	0	0	0	0	12.35 ^{1/}	0	0	0	218400.00 ^{1/}	0	0	0	0	0	

หมายเหตุ ^{1/} NRC, 2000 ^{2/} NRC, 1984

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	mg/100g																					
			Ala	Arg	Asp	Cys	Glu	Gly	His	Hyl	Hyp	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Trp	Tyr	Val		
3	ข้าวโพดฝักอ่อน: Baby corn, Zea mays																							
	ต้นข้าวโพดหลังเก็บฝักอ่อนสด (baby corn stover, fresh)	1	avg.	394.22	195.89	625.27	73.31	737.52	313.26	133.67	11.04	5.89	212.49	401.84	209.58	59.10	261.40	288.37	259.72	262.91	67.06	259.13	295.44	
			SD	136.47	107.04	232.65	46.24	264.82	111.92	59.93	-	-	106.98	161.26	144.74	25.62	116.92	123.42	106.43	126.78	34.00	217.93	147.54	
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	ต้นข้าวโพดหลังเก็บฝักอ่อนหมัก (baby corn stover, silage)	1	avg.	507.87	222.33	551.52	45.14	687.09	320.61	142.25	3.75	12.96	227.33	454.71	346.84	72.55	271.98	290.69	290.20	271.90	79.55	162.81	330.13	
			SD	353.50	136.14	363.34	34.20	448.42	198.74	100.42	-	-	175.11	320.05	265.12	53.94	193.12	199.08	187.97	187.83	65.19	107.81	265.42	
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	เปลือกข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn husk)	1	avg.	526.77	233.74	626.61	43.23	136.90	310.61	673.77	14.58	449.26	194.90	387.46	220.60	62.99	229.33	144.65	299.88	289.48	50.46	189.09	314.86	
			SD	361.26	154.59	415.90	38.10	148.39	197.37	1044.87	1.14	504.84	174.87	294.79	166.95	58.02	173.48	68.25	207.31	231.09	51.41	126.00	283.51	
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์: Corn/Maize, Zea mays																							
	เมล็ดข้าวโพดบด (corn meal)	3	avg.	626.77	382.84	560.04	150.51	1544.70	349.10	277.67	Nd	Nd	313.51	976.72	250.37	100.36	467.51	742.76	430.19	314.78	82.27	308.66	420.30	
			SD	54.57	65.90	54.11	11.55	155.70	26.25	21.95	21.95	-	-	83.95	86.58	46.64	54.57	156.12	78.03	35.37	23.97	8.97	54.67	49.98
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	จมูกข้าวโพด (corn germ)	3	avg.	409.18	492.65	441.30	42.32	932.13	419.60	236.15	5.99	6.90	113.03	449.82	280.95	86.85	246.08	343.68	351.02	237.07	17.93	204.95	185.03	
			SD	278.51	391.43	324.13	30.46	728.82	241.88	205.80	1.35	1.65	1.65	118.05	359.07	230.14	31.21	200.05	278.49	250.49	220.83	1.10	164.90	198.72
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	เปลือกข้าวโพดแห้ง (husk,dried)	1	avg.	306.16	241.05	439.81	70.61	679.87	254.88	127.12	Nd	Nd	171.13	311.92	208.93									

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ลำดับที่	ชื่อ	Feed class	mg/100g																						
			Ala	Arg	Asp	Cys	Glu	Gly	His	Hyl	Hyp	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Trp	Tyr	Val			
22	พืชนมเปีร์พันธุ์ปากช่อง 1 : Pennisetum purpureum																								
	สด (arial part, fresh)																								
	45-50 วัน (45-50 days)	1	avg.	312.08	139.64	367.86	56.90	433.17	205.47	102.82	Nd	Nd	172.39	320.10	196.68	76.37	196.27	240.13	176.06	177.29	81.63	99.97	239.26		
			SD	78.62	78.16	156.73	7.81	204.82	68.21	31.28	-	-	8	8	55.52	113.85	54.64	1.57	72.79	70.39	67.02	58.91	5.82	34.36	75.73
			N	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	2	8	8	8	8	8	8	8
	60-70 วัน (60-70 days)	1	avg.	417.87	262.81	620.44	63.69	782.83	316.20	148.52	Nd	Nd	252.24	479.38	278.15	75.79	301.90	339.54	288.64	287.59	70.63	149.90	349.92		
			SD	6.65	14.00	98.25	3.79	1.13	1.21	6.53	-	-	19.46	51.23	15.44	2.40	32.83	30.83	12.97	12.13	12.66	11.21	32.01		
			N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	หมัก (arial part, silage)	1	avg.	501.91	128.27	297.90	136.35	397.81	225.63	82.84	Nd	3.76	178.04	335.39	165.96	76.93	187.93	236.01	150.31	156.33	62.21	88.70	230.20		
			SD	303.89	72.70	150.30	0.00	211.48	127.23	47.30	-	-	112.84	212.13	86.81	0.00	119.95	145.60	72.81	74.78	-	42.69	163.78		
			N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
23	พญาแดงไกล : Digitaria eriantha																								
	สด (arial part, fresh)																								
	45-50 วัน (45-50 days)	1	avg.	404.20	282.17	590.69	63.01	493.48	307.66	150.83	Nd	Nd	262.47	513.08	287.44	87.89	305.00	384.68	276.95	272.56	113.71	196.13	353.81		
			SD	144.59	141.12	223.79	4.21	292.30	134.30	48.80	-	-	89.92	187.17	117.93	39.56	126.99	133.17	105.91	113.70	52.19	53.18	138.15		
			N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	แห้ง, โปรีตีน <7 % (arial part, hay, CP <7 %)	1	avg.	42.04	22.88	51.68	Nd	56.93	37.35	7.41	Nd	Nd	8.91	32.93	18.53	Nd	16.97	28.88	31.98	22.43	Nd	11.88	11.11		
			SD	2.66	2.24	4.82	-	5.75	3.29	0.81	-	-	1.27	3.18	1.65	-	2.45	3.10	3.23	2.59	-	2.26	1.99		
			N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
24	โอวัลติน : Ovaltin																								
	กามดอท์โอวัลติน (malt grain, ovaltin's by	2	avg.	1000.11	1226.37	1401.65	177.42	5661.93	836.03	549.62	27.08	Nd	703.35	1641.70	794.68	386.08	1255.44	2333.88	1019.55	775.27	Nd	821.86	942.86		
			SD	57.43	76.57	69.55	8.24	191.21	34.51	33.44	3.04	-</													

ภาคผนวก

คำสั่งกรมปศุสัตว์ ที่ 1054/2561
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนะของโคนม
ในประเทศไทย



คำสั่งกรมปศุสัตว์
ที่ ๑๐๕๔/๒๕๖๑

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย

ด้วยกรมปศุสัตว์เห็นควรให้มีการปรับปรุงคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย เพื่อพิจารณาดำเนินโครงการดังกล่าว ให้เป็นไปตามแผนงาน บรรลุตามวัตถุประสงค์ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๒ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. ๒๕๓๔ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๔๕ อธิบดีกรมปศุสัตว์จึงออกคำสั่งไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกคำสั่งกรมปศุสัตว์ ที่ ๖๙๒/๒๕๖๑ เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย ลงวันที่ ๒๓ สิงหาคม ๒๕๖๑

ข้อ ๒ แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย ไว้ ๔ คณะ ดังนี้

ก. คณะกรรมการนโยบาย

๑. แต่งตั้งคณะกรรมการนโยบาย ประกอบด้วย

- | | |
|---|------------------|
| (๑) อธิบดีกรมปศุสัตว์ | ประธานกรรมการ |
| (๒) รองอธิบดีกรมปศุสัตว์ ที่รับผิดชอบงานของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ | รองประธานกรรมการ |
| (๓) ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร | รองประธานกรรมการ |
| (๔) ผู้อำนวยการกองส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ | กรรมการ |
| (๕) ผู้อำนวยการสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ | กรรมการ |
| (๖) ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์ | กรรมการ |
| (๗) ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ | กรรมการ |
| (๘) ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ | กรรมการ |
| (๙) ผู้อำนวยการกองควบคุมอาหารและยาสัตว์ | กรรมการ |
| (๑๐) ผู้อำนวยการองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย | กรรมการ |
| (๑๑) นายกสมาคมนักอาหารสัตว์ไทย | กรรมการ |
| (๑๒) นายกสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย | กรรมการ |
| (๑๓) นายกสมาคมอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมไทย | กรรมการ |
| (๑๔) นายกสมาคมสัตว์บาลแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ ฯ | กรรมการ |
| (๑๕) นายกสมาคมผู้เลี้ยงโคนมไทยโฮลสโตน์ฟรีเชียน | กรรมการ |
| (๑๖) ประธานชุมนุมสหกรณ์โคนมแห่งประเทศไทย | กรรมการ |
| (๑๗) ศาสตราจารย์กิตติคุณ พีระศักดิ์ จันทร์ประทีป | กรรมการ |

/(๑๘) ศาสตราจารย์...

(๑๘) ศาสตราจารย์ สายัณห์ ทัดศรี	กรรมการ
(๑๙) ศาสตราจารย์ วินัย ประลัมภ์กาญจน์	กรรมการ
(๒๐) รองศาสตราจารย์ ประวีร์ วิชุลตา	กรรมการ
(๒๑) นายสัตวแพทย์ ยุคล ลิ้มแหลมทอง	กรรมการ
(๒๒) นายสารกิจ ถวิลประวัติ	กรรมการ
(๒๓) นายจิระวัชร เข้มสวัสดิ์	กรรมการ
(๒๔) ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์	กรรมการและ เลขานุการ
(๒๕) รองศาสตราจารย์ กฤตพล สมมาตย์	กรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ
(๒๖) นางสาวจันทกานต์ อรณนันท	กรรมการและ ผู้ช่วยเลขานุการ

๒. ให้คณะทำงาน ตาม ๑. มีอำนาจหน้าที่ กำหนดนโยบาย สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยและ
นวัตกรรม และการจัดทำหนังสือความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย

ข. คณะกรรมการคุณค่าทางโภชนาโคณม

๑. แต่งตั้งคณะกรรมการคุณค่าทางโภชนาโคณม ประกอบด้วย

(๑) นางสาวจันทกานต์ อรณนันท	กรมปศุสัตว์	ประธานกรรมการ
(๒) สัตวแพทย์หญิง ปราณี รอดเทียน	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๓) นายวิทยา สุมาลย์	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๔) นางวลัยกานต์ เจียมเจตจรูญ	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๕) นางเฉลา พัทธ์สินสุข	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๖) นางรำไพร นามสีลี	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๗) นางสุกัญญา คำพะแย	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๘) นายจิระศักดิ์ ขอบแต่ง	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๙) นางสาวปัทมา บุตรชา	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๑๐) นายศุภกิจ สุนาโท	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๑๑) รองศาสตราจารย์ ทรงศักดิ์ จำปาหวดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	กรรมการ
(๑๒) อาจารย์ อารีรัตน์ ลุนพา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
(๑๓) อาจารย์ สุบรรณ ฝอยกลาง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	กรรมการ
(๑๔) อาจารย์ ศิริรัตน์ บัวผัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๑๕) นางสาววรรณมา อ่างทอง	กรมปศุสัตว์	กรรมการและ เลขานุการ

๒. ให้คณะกรรมการ ตาม ๑. มีอำนาจหน้าที่ จัดทำแผนงานวิจัยและพัฒนานวัตกรรม
วิเคราะห์ สังเคราะห์ รวบรวมข้อมูล สรุปตารางคุณค่าทางโภชนาโคณม และการจัดทำหนังสือ
ความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย

ค. คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณม

๑. แต่งตั้งคณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณม ประกอบด้วย

(๑) นายอิทธิพล เผ่าไพศาล	กรมปศุสัตว์	ประธานกรรมการ
(๒) นายสมศักดิ์ เกาทอง	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๓) นายวิทยา สุมาลย์	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๔) นางกรรณแก้ว บริสุทธิสวัสดิ์	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๕) นางสาวกัลยา บุญญานวัตร	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๖) นายธวัชชัย โพธิ์คำ	กรมปศุสัตว์	กรรมการ
(๗) นายอรรถศักดิ์ พลบำรุง	สมาคมภัตตาคารสัตว์ไทย	กรรมการ
(๘) นายศิวัช สังข์ศรีทอง	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	กรรมการ
(๙) รองศาสตราจารย์ ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	กรรมการ
(๑๐) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วาสนา ศิริแสน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	กรรมการ
(๑๑) รองศาสตราจารย์ โอภาส พิมพา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
(๑๒) รองศาสตราจารย์ วันวิสาข์ งามผ่องใส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
(๑๓) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนันต์ เข้าวเครือ	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
(๑๔) รองศาสตราจารย์ เฉลิมพล เยื้องกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
(๑๕) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสมอใจ บุรินอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
(๑๖) อาจารย์ จิระวัลย์ โคตรศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
(๑๗) อาจารย์ จันทิรา วงศ์เนตร	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	กรรมการ
(๑๘) รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ ประสานพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๑๙) รองศาสตราจารย์ จิระชัย กาญจนพถุมพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๒๐) รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ธีระ รักความสุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๒๑) อาจารย์ ศิริรัตน์ บัวผัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๒๒) อาจารย์ ระพีพงษ์ พานีวิวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๒๓) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เลอชาติ บุญเอก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
(๒๔) รองศาสตราจารย์ วิโรจน์ ภัทรจินดา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
(๒๕) รองศาสตราจารย์ ฉลอง วชิราภกร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
(๒๖) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุสรณ์ เชิดทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
(๒๗) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
(๒๘) รองศาสตราจารย์ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	กรรมการ
(๒๙) อาจารย์ อานนท์ ปะเสระกัง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	กรรมการ
(๓๐) รองศาสตราจารย์ สุนทร วิทยาคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	กรรมการ
(๓๑) รองศาสตราจารย์ วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	กรรมการ
(๓๒) รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ จิตกรมล ธนศักดิ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
(๓๓) อาจารย์ สุรศักดิ์ จิตตะโคตร	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ

/(๓๔) ศาสตราจารย์...

(๓๔) ศาสตราจารย์คลินิก นายสัตวแพทย์ สุวิชัย โรจนเสถียร กรรมการ

ผู้ทรงคุณวุฒิในคณะกรรมการโคนมและผลิตภัณฑ์นม

(๓๕) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ใจเด็ด กรรมการ

สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ ฯ

(๓๖) รองศาสตราจารย์ กฤตพล สมมาตย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรรมการและ

เลขานุการ

๒. ให้คณะกรรมการ ตาม ๑. จัดทำแผนงานวิจัยและพัฒนานวัตกรรม วิเคราะห์ สังเคราะห์ รวบรวมข้อมูล สรุปตารางค่าความต้องการโฆษณาโคนม และการจัดทำหนังสือความต้องการโฆษณาโคนม ในประเทศไทย

ง. คณะกรรมการกองบรรณาธิการหนังสือความต้องการโฆษณาโคนมในประเทศไทย

๑. แต่งตั้งคณะกรรมการกองบรรณาธิการหนังสือความต้องการโฆษณาโคนมในประเทศไทย ประกอบด้วย

(๑) นายสารกิจ ถวิลประวัติ ประธานกรรมการ

สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ ฯ

(๒) ศาสตราจารย์ วินัย ประลัมภ์กาญจน์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ กรรมการ

(๓) รองศาสตราจารย์ วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กรรมการ

(๔) รองศาสตราจารย์ เฉลิมพล เยื้องกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน กรรมการ

(๕) รองศาสตราจารย์ โอภาส พิมพา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรรมการ

(๖) นายอิทธิพล เผ่าไพศาล กรมปศุสัตว์ กรรมการ

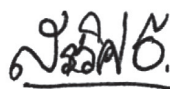
(๗) รองศาสตราจารย์ กฤตพล สมมาตย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรรมการและ

เลขานุการ

๒. ให้คณะกรรมการ ตาม ๑. ทำหน้าที่ พิจารณาตรวจอ่านหนังสือความต้องการโฆษณาโคนม ในประเทศไทย

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๔ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๑



(นายสรวิศ ธาณิโต)

อธิบดีกรมปศุสัตว์

ดัชนี

กรดแพนโทเธนิก	95	โมลิบดีนัม	73
กรดโฟลิก	95	เยื่อใยที่ไม่สามารถละลายในสารพอกที่เป็นกลาง	17
กรดลิโนเลนิก	49	เยื่อใยหยาบ	63
กรดแลกติก	8	ระยะก่อนวัยเจริญพันธุ์	152
กลไกสมดุลแคลเซียม	117	ไรโบอิกเสบ	115
การกินได้อาหาร	7	ไรโบฟลาวิน	94
การสังเคราะห์กลูโคส	152	วิตามินเค	93
การให้ผลผลิต	15	วิตามินซี	99
กำมะถัน	73	วิตามินดี	89
ไขนํ้านม	156	วิตามินอี	90
คลอรีน	73	วิตามินเอ	88
ความเครียดเนื่องจากความร้อน	100	สังกะสี	73
ค่าพลังงานรวม	15	สารพอกษาเคมี	122
คีโตซิส	156	สารเสริมในพืชหมัก	127
แคลเซียม	73	เหล็ก	78
โคบอลต์	73	อินซูลิน	97
โครเมียม	73	ไอโอดีน	80
โคลีน	97		
ช่วงการให้นํ้านม	152		
ช่วงพักรีดนม	156		
ซีลีเนียม	73		
โซเดียม	73		
ไซยาโนโคบาลามิน	96		
ทองแดง	73		
ไรอะมิน	93		
ไนโตรเจนที่สูญเสียในรูปของปัสสาวะ	35		
ไนอะซิน	94		
ไบโอติน	95		
โปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้	32		
โปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายในกระเพาะหมัก	41		
โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก	41		
พลังงานสุทธิ	15		
โพแทสเซียม	73		
ไพริดอกซิน	95		
ฟอสฟอรัส	73		
ภาวะการขาดสมดุลพลังงาน	111		
ภาวะทุพโภชนาการ	111		
แมกนีเซียม	73		
แมงกานีส	73		

Index

Ascorbic acid	99	Potassium	73
Biotin	95	Prepubertal periods	152
Calcium	73	Production	15
Calcium homeostatic mechanism	117	Pyridoxine	95
Chlorine	73	Riboflavin	94
Choline	97	Rumen degradable protein	41
Chromium	73	Rumen undegradable protein	41
Cobalt	73	Selenium	73
Copper	73	Silage additives	127
Crude fiber	63	Sodium	73
Cyanocobalamin	96	Sulphur	73
Dry period	156	Thiamine	93
Endogenous urinary nitrogen	35	Vitamin A	88
Feed intake	7	Vitamin D	89
Gluconeogenesis	152	Vitamin E	90
Gross energy	15	Vitamin K	93
Heat stress	100	Zinc	73
Inositol	97		
Iodine	80		
Iron	78		
Ketosis	156		
Lactation period	152		
Lactic acid	8		
Laminitis	115		
Linolenic acid	49		
Magnesium	73		
Manganese	73		
Metabolizable protein	32		
Milk fever	156		
Molybdenum	73		
Negative energy balance	111		
Net energy	15		
Neutral detergent fiber	17		
Niacin	94		
Nutritional metabolic disorders	111		
Pantothenic acid	95		
Pholic acid	95		
Phosphorus	73		
Phytonutrients	122		

