บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเกษตรกรตื่นตัวมีการเลี้ยงโคเนื้อกันมากทั้งเป็นอาชีพเสริมและอาชีพหลัก กองแผนงาน กรมปศุสัตว์ (2544) รายงานว่าในประเทศไทยมีจำนวนโคนมทั้งหมด 343,679 ตัว และ โคเนื้อทั้งหมดประมาณ 5,227,604 ตัว แต่ทุ่งหญ้าธรรมชาติและพื้นที่จัดสร้างทุ่งหญ้ามีจำกัด ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์มากขึ้นส่งผลให้สัตว์ซูบผอม ผลผลิตต่ำและโตช้า ในขณะที่บ้านเราจะมีผลพลอยได้และเศษเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรมหลายชนิดและมีจำนวนมาก แม้ว่าเกษตรกรจะได้นำมาใช้เลี้ยงสัตว์บ้างก็ยังเกิดประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ อาจเนื่องจากการขาดความรู้ ความชำนาญและวิธีการนำมาใช้อาจยุ่งยาก ได้มีนักวิชาการหลายท่านได้ทำการศึกษาวิจัยการนำผลพลอยได้และเศษเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรมมาเป็นอาหารสัตว์ โดยเฉพาะเป็นอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงแล้ง ซึ่งเป็นเวลานาน 4–6 เดือน ผลพลอยได้และ เศษเหลือจากการเกษตรที่มีศักยภาพสูง และมีแพร่หลายทั่วไป เช่น ฟางข้าว ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด เปลือกและต้นถั่วเหลือง ผลพลอยได้และเศษเหลือจากสับปะรดเป็นต้น อาหารหยาบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำ บางอย่างมีคุณค่าทางโภชนะอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดี สามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ และบางอย่างต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพก่อนการนำไป เลี้ยงสัตว์ผลพลอยได้และเศษเหลือสับปะรดก็เป็นชนิดหนึ่งที่สามารถใช้เป็นอาหารแทนหญ้าหรือเสริมหญ้าได้ (ศรเทพ, 2539)

สภาพการเลี้ยงโคพื้นเมืองไทย

ประเทศไทยอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (Tropical Zone) มีอิทธิพลต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์มาก โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อน สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง ทำให้โคขุนที่เลี้ยงส่วนใหญ่มีสายพันธุ์มาจากต่างประเทศ ซึ่งอยู่บริเวณเขตอบอุ่น (Temperate) ต้องพยายามระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิสมของร่างกายออกมาสู่ภายนอกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ขบวนการนำ การพา และการแผ่รังสี เพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ (heat balance) หากกลไกการระบายอากาศนี้ ไม่สามารถดำเนินการได้ผล จะทำให้โคขุนต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา (general physiology) เพื่อปรับสภาพร่างกายให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจึงมีผลกระทบต่อการผลิต โดยเฉพาะปริมาณและคุณภาพเนื้อโคขุน (Wanapat, 1999)

ดังนั้นหากได้มีการจัดการปรับปรุงสภาพโรงเรือน เพื่อให้เอื้ออำนวยต่อความเป็นอยู่ที่สุขสบาย ประกอบกับการปรับวัตถุดิบในสูตรอาหารให้เกิดความสมดุลทางด้านโภชนะของโคพื้นเมืองไทยแล้ว จะมีผลทำให้โคขุนสามารถแสดงผลผลิตเต็มศักยภาพทางพันธุกรรม นั่นคือ ปริมาณและคุณภาพของเนื้อโคมีค่าสูงขึ้น (ชาญวิทย์, 2539)

สมรรถภาพการผลิตของโคพื้นเมืองไทย

โคพื้นเมืองไทย มีขนาดเล็ก โตช้า ตัวผู้หนักประมาณ 350 กิโลกรัม ตัวเมียหนักประมาณ 220 กิโลกรัม เนื้อมีคุณภาพไม่ดี เพราะมีไขมันแทรกน้อย และเปอร์เซ็นต์ซากต่ำ (50 เปอร์เซ็นต์) แต่มีความสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และมีลูกดก มีการผสมติดดี (ศรเทพ. 2539) พันธุกรรมของโคพื้นเมืองที่อยู่ในประเทศไทยค่อนข้างคงที่ เนื่องจากได้ผ่านวิวัฒนาการมาเป็นเวลาหลายพันปี มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติเป็นอย่างดี สามารถอยู่ได้ในสภาพอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์สูง โดยสังเกตจาก มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาน้อย การเจริญเติบโตช้า ขนาดรูปร่างค่อนข้างสันทัด แต่สามารถทนทานต่อโรคพยาธิได้ดี (ชาญวิทย์, 2539)

โคพื้นเมืองอีสานมีลักษณะเขาสีดำ น้ำตาลดำ หรือน้ำตาลทราย ปลายแหลมตั้งตรงแบะออกด้านข้าง เท้า ข้อเท้าสั้นแข็งแรง กีบเท้าโค้ง มน ได้รูปสีดำน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้มจนถึงดำ จมูกและปากศีรษะ ขอบตานัยน์ ตา ขนตา หู รูจมูกแคบ ปลายจมูกชุ่มอยู่ตลอดเวลา บริเวณจมูก และปากโดยรอบจะมีสีดำ น้ำตาลดำหรือน้ำตาล หน้าผากแคบหน้ายาวบอบบาง สีน้ำตาลเข้มจนออกดำ สีน้ำตาลจนถึงดำดูแจ่มใสเป็นประกาย ดวงตา ทั้งสองข้างวางห่างกันพองาม สีดำหรือน้ำตาล ใบหูเล็ก กาง ปลายแหลม ลำตัวส่วนหน้าบอบบาง มีกล้ามเนื้อน้อย ซอกขาอยู่สูงเป็นมุมลึก เมื่อมองจากด้านหน้าหรือด้านหลัง ลำตัวป่องตรงกลาง เมื่อมองจากด้านบนพื้นที่สันหลังแคบ เป็นมุมแหลมออกจากด้านท้ายสู่ส่วนด้านหน้า (กรมปศุสัตว์, 2536)

ลักษณะการผลิตของโคพื้นเมืองในภาคอีสาน พบว่า กล้ามเนื้อขาหลังน้อย กล้ามเนื้อส่วนขาอ่อนค่อนข้างโก่งเป็นรูปเคียวเมื่อมองจากด้าน ข้างลำคอบอบบางค่อนข้างยาว ส่วนต่อระหว่างคอกับไหล่ค่อนข้างเห็นได้ชัด ขนสั้นเกรียนสีดำ น้ำตาล น้ำตาลดำ น้ำตาลแดงหรือสีลายด่าง ขนใต้ท้องและซอกขามีสีจางกว่าส่วนอื่น ๆ ผิวหนังบางไม่หลวมมากสามารถกระตุกได้ดีมีสีดำ ตะโหนกมีขนาดเล็กจนถึงโตปานกลางตั้งอยู่ตรงกลางระหว่างไหล่ ในตัวผู้จะเห็นชัดเจนกว่า ส่วนตัวเมียจะมีขนาดเล็กมากหรือไม่มีเลย เหนียงคอมีเหนียงใต้คอเล็กน้อยเป็นแบบแคบเล็ก หนังสะดือหนังหุ้มลึงค์แนบติดพื้นท้อง หางโคนหางยกสูง หางเล็กแต่ยาว พู่หางจะมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงดำ (กรมปศุสัตว์, 2544 ข)

องค์ประกอบสำคัญในการเลี้ยงโคพื้นเมืองไทย

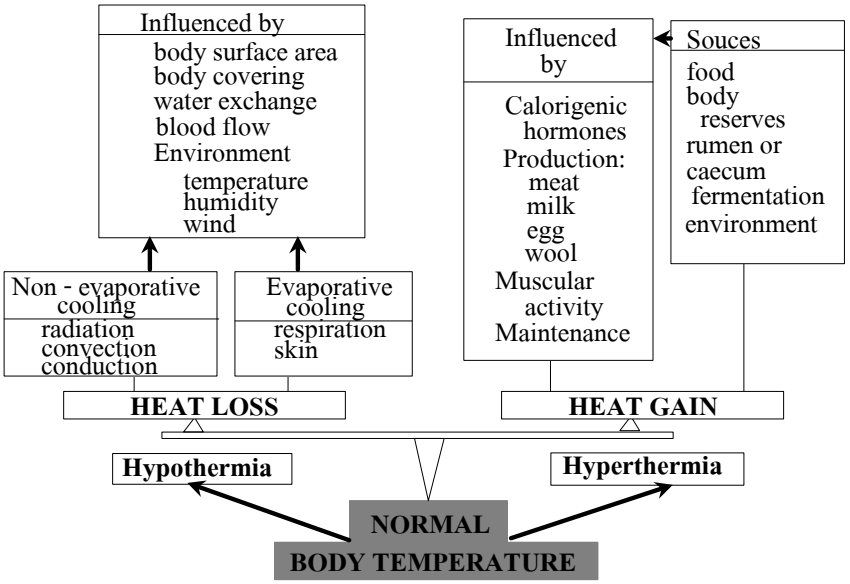
การผลิตโคพื้นเมืองไทยที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ พันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ (Breed and Breeding) อาหารและการให้อาหาร (Feed and Feeding) และการจัดการฟาร์ม (Farm Management) การจัดการสุขาภิบาลและการสุขาภิบาลป้องกันโรค (Sanitation) ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้หากบกพร่องจะมีผลต่อการให้ผลผลิตของโค (Battaglia, 2001; Church, 1977)

ลักษณะการให้ผลผลิตโคซึ่งเป็นลักษณะเชิงปริมาณ (Qualitative characteristics) จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ อิทธิพลทางทางด้านพันธุกรรม (Genotype) สิ่งแวดล้อม (Environment) และอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม (interaction between genetic and environment) ซึ่งผลผลิตโคขุนที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องจัดให้ปัจจัยเหล่านี้อยู่ในลักษณะที่มีความเหมาะสม ที่เอื้ออำนวยต่อการผลิต

อย่างเต็มความสามารทางพันธุกรรม (ศรเทพ, 2539) ขบวนการเจริญเติบโตของโคถูกควบคุมโดย 2 ปัจจัยใหญ่ ๆ คือ ฮอร์โมน ซึ่งอยู่ภายใต้การบังคับของพันธุกรรม (genetic) และสภาพแวดล้อม (environment) โดยเฉพาะด้านโภชนศาสตร์ (nutrition) และปฏิกิริยาร่วมกับพันธุกรรม (interaction) โดยวัฏจักรการเจริญเติบโตแบ่งเป็น ระยะก่อนคลอด (prenatal stage) และระยะหลังคลอด (postnatal stage) ซึ่งประกอบด้วย ระยะก่อนหย่านม (per weaning period) และระยะหลังหย่านม (post weaning period) (เมธา, 2549) สำหรับการจัดการฟาร์มที่มีความสำคัญต่อการผลิต ได้แก่ การจัดการผสมพันธุ์โดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยีการผสมเทียม และการจัดการปรับปรุงพันธุ์โดยเฉพาะการใช้สายที่ให้ปริมาณและคุณภาพเนื้อโคที่ดี การผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพ (Quality) จะต้องอาศัยหลักการสุขาภิบาลที่ถูกต้องและเหมาะสม โดยเฉพาะการนำระบบการจัดมาตรฐานฟาร์มเข้ามาใช้ จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลการผลิตเนื้อโคขุน (Battaglia, 2001)

สรีรวิทยาสภาพแวดล้อมของสัตว์ (Environment Physiology of Animal)

สภาพภายในร่างกายสัตว์อยู่ในสภาพที่มีความร้อนสมดุล หรือค่อนข้างจะมีอุณหภูมิร่างกายที่คงที่ ถึงแม้ว่าจะมีความเครียดจากสิ่งแวดล้อมทั้งหลายประดังเข้ามา สภาพความร้อนคงที่นั้นมีผลมาจากปริมาณความร้อนภายในร่างกายสัตว์เปลี่ยนแปลงขึ้นหรือลงเพียงเล็กน้อยสามารถจะอธิบายโดยสมการ ความร้อนที่สร้างขึ้นมา = ความร้อนที่สูญเสีย + ความร้อนที่เก็บไว้ การวัดอุณหภูมิร่างกายเฉลี่ยย่อมแสดงให้เห็นถึงความสมดุลของความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวสัตว์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนในตัวสัตว์ย่อมทำให้กระบวนการสรีรวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิแสดงความสมดุลระหว่างความร้อนที่เพิ่มขึ้นและสูญเสียไป
ที่มา : Yousef (1985)

1. บทบาทของศูนย์ควบคุมการปรับความร้อน

ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบตัวสัตว์มักจะต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายสัตว์ เมื่อสัตว์ต้องการรักษาความร้อนให้อยู่ในลักษณะสมดุลตลอดเวลา สัตว์จึงต้องขับความร้อนออกไปจากร่างกาย และเพื่อรักษาระดับความสมดุลนี้ตลอดไปจึงต้องมีกลไกของร่างกายที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพสมดุลของร่างกาย อาทิ เมื่อความร้อนร่างกายเพิ่มขึ้น กลไกนี้ก็จะขับความร้อนให้ออกไปเร็วขึ้น การทำงานของไฮโปทาลามัส หรือส่วนฐานของสมองด้านใน ซึ่งมีศูนย์ต่าง ๆ สำหรับสั่งงานเพื่อรักษาความสมดุลของความร้อนภายในร่างกาย โดยการฝังขั้วไฟฟ้าในไฮโปทาลามัสของโคและของแพะแล้วเพิ่มความร้อนเข้าไป แสดงให้เห็นได้ว่าไฮโปทาลามัสสามารถสั่งงานโดยตรงต่อการทำงานบางส่วน และในเวลาเดียวกัน ไฮโปทาลามัสก็อาจเป็นตัวรับทอดการสั่งงานจากที่อื่น และบางคำสั่งไปอีกที่หนึ่ง จากการทดลองโดยการใช้ขั้วไฟฟ้าที่ร้อนแสดงว่าศูนย์ต่าง ๆ ในไฮโปทาลามัสสามารถตอบรับคลื่นจากส่วนโค้งของสมอง และจากตัวรับความรู้สึกต่างๆ ที่อยู่ด้านนอกที่บริเวณผิวหนังและบริเวณอื่น ถึงแม้ว่าไฮโปทาลามัสจะมีบทบาทเป็นศูนย์บังคับการอยู่เสมอก็ตาม แต่ไฮโปทาลามัสก็ยังต้องขึ้นอยู่กับสัญญาณจากบริเวณรอบนอกและภายในส่วนลึกของร่างกาย ทั้งนี้รวมไปถึงปฏิกิริยาตอบสนองของประสาทต่างๆ และประสาทที่ควบคุมกล้ามเนื้อผนังหลอดโลหิต การปรับความร้อนของร่างกายโดยการปรับอัตราการสูญเสียความร้อนโดยไฮโปทาลามัสนั้นรวมไปถึงขนาดของเส้นเลือดที่บริเวณใกล้และที่ภายในผิวหนัง การทำงานของต่อมเหงื่อ และการวางท่าทางของร่างกาย รวมถึงการปรับกระบวนการอื่นเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงในขั้นแรกของการเสียสมดุลความร้อนของร่างกาย (Battaglia, 2001)

2. การปฏิบัติการเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายนั้น สัตว์สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ควบคุมอุณหภูมิภายร่างกายโดยใช้กระบวนการทางพฤติกรรมและกระบวนการทางระบบประสาทอัตโนมัติ (Willmer, *et. al*., 2005)

2.1 กระบวนการทางพฤติกรรม

กระบวนการทางพฤติกรรมทางปรับความร้อนของร่างกายในสัตว์ คือ กระบวนการทั้งหลายที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายทั้งหมดของสัตว์ในสภาพแวดล้อมที่มันอยู่ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวสัตว์ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยอาจใช้วิธีเข้าไปอยู่ในที่อุณหภูมิที่สัตว์ชอบ พฤติกรรมในการรักษาหรือปรับอุณหภูมิ อาจรวมไปถึงการกระทำต่างๆ เช่น การสร้างที่อยู่อาศัยที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนและการเปลี่ยนแปลงท่าทางของร่างกายซึ่งยังผลทำให้พื้นที่ของร่างกายด้านนอกที่ความร้อนสามารถจะถ่ายเทกับสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปได้ ปฏิกิริยาตอบสนองทางพฤติกรรมทั้งหลายที่มีต่อความเครียดที่เกิดจากความร้อนหรือความหนาวเย็นจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวอย่างซับซ้อนของกล้ามเนื้อที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย กล่าวคือการประสานงานนั้นกระทำโดยสมองชั้นนอกหรือบางส่วนของสมองชั้นนอก อย่างน้อยที่สุดก็ในกรณีการเริ่มต้นของปฏิกิริยาตอบสนองทางพฤติกรรมเนื่องจากการปรับอุณหภูมิในสถานการณ์ที่มีความเครียดที่เกิดขึ้นจากความร้อนหรือความหนาวเย็นจะเกี่ยวกับความรู้สึกที่มี

ต่ออุณหภูมิที่อยู่แล้วสบายหรือไม่ (ชอบหรือไม่ชอบอุณหภูมิสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ปฏิกิริยาตอบสนองทางพฤติกรรมดังกล่าวแล้วนั้นเป็นไปทางสรีรวิทยาทั้งสิ้น นั่นคือเป็นการทำงานตามปกติของร่างกาย) ดังนั้นความแตกต่างระหว่างการเคลื่อนไหวทางพฤติกรรมและสรีรวิทยาในการปรับอุณหภูมิจึงแยกออกจากกันได้ยาก ในปัจจุบัน มักจะคำนึงถึงการเคลื่อนไหวทางพฤติกรรมโดยอัตโนมัติในการปรับอุณหภูมิมากกว่าทำไปเพื่อเปลี่ยนอัตราการสร้างความร้อนหรืออัตราการไหลของความร้อนจากร่างกายโดยวิธีต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของร่างกายทั้งหมด (Boonprong, 2010)

การควบคุมอุณหภูมิร่างกายอย่างอัตโนมัติ (Autonomic thermoregulation) ประกอบด้วยปฏิกิริยาตอบสนองเฉพาะอย่างที่มีต่อความเครียดร้อน ซึ่งเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติคล้ายกับกิริยาสนองฉับพลันซึ่งเกิดขึ้นส่วนมากโดยคำสั่งจากไฮโปทาลามัส แต่อย่างไรก็ตาม การควบคุมอุณหภูมิร่างกายอย่างอัตโนมัติยังคงเกิดขึ้นภายหลังการผ่าตัดสมองชั้นนอกหรือส่วนของสมองในระดับที่อยู่เหนือกว่า พรีออพติกในไฮโปทาลามัส ออกไปแล้ว (Johnson, 1985)

2.2 กระบวนการอัตโนมัติ

Johnson (1985) สรุปว่ากระบวนการควบคุมอุณหภูมิร่างกายด้วยระบบประสาทอัตโนมัตินั้นประกอบด้วย การควบคุมการสร้างความร้อนภายในร่างกายและการสูญเสียความร้อนไปจากร่างกาย

2.1 การสร้างความร้อนแบบอัตโนมัตินั้นมีอยู่ 2 ชนิดกล่าวคือ

2.1.1 การสร้างความร้อนเมื่อกล้ามเนื้อสั่นตัว (shivering thermoregulatory thermogenesis) ซึ่งประกอบไปด้วยการสั่นตัวอย่างไม่เข้ากัน และการหดตัวของเส้นกล้ามเนื้อทั้งที่เหยียดแขนและขา (extensor) และกล้ามเนื้อที่งอข้อต่อ (flexor) ในเวลาเดียวกันซึ่งทำให้เกิดการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นแต่ไม่ทำให้ร่างกายเคลื่อนตัวไปจากสภาพแวดล้อมนั้นๆ เป็นการสั่นตัวอยู่กับที่เท่านั้น

2.1.2 การสร้างความร้อนโดยกล้ามเนื้อไม่สั่นตัว (non shivering thermoregulatory thermogenesis) เกิดจากการเพิ่มอัตราการสร้างความร้อน ซึ่งสนองต่อความเครียดเย็นโดยกล้ามเนื้อมิได้สั่นตัวแต่ประการใด ถึงแม้ว่าไม่มีหลักฐานยืนยันว่าการสร้างโดยกล้ามเนื้อไม่สั่นตัวมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวทางเมแทบอลิซึมของเนื้อเยื่อไขมันที่มีสีน้ำตาลในพื้นที่บางแห่งซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า เนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล (brown adipose tissues) ถ้ากล่าวโดยทั่วไปแล้ว การสร้างความร้อนโดยกล้ามเนื้อไม่สั่นตัวมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล

2.2 การสูญเสียความร้อน

กระบวนการปรับความร้อนในร่างกายโดยอัตโนมัติเป็นการสูญเสียความร้อนจากร่างกายซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปได้อาจแบ่งออกได้เป็น การสูญเสียความร้อนแบบมิใช่ทางระเหยหรือการสูญเสียที่อาจวัดได้เพราะว่าความร้อนที่ไหลออกไปสู่สภาพแวดล้อมสามารถสัมผัสได้ในรูปของความร้อนและการสูญเสียความร้อนแบบที่มีการระเหยหรือไม่สามารถจะสัมผัสได้เพราะทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนไปและสามารถวัดได้โดยการวัดความชื้น มิใช่ความร้อน

2.2.1 การสูญเสียความร้อนแบบไม่มีการระเหย

กระบวนการสูญเสียความร้อนโดยไม่มีการระเหยนั้นเป็นไปได้ยากกว่าการสูญเสียความร้อนโดยมีการระเหย ส่วนมากความร้อนไหลจะออกจากตัวสัตว์ไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอก เพราะในสภาพธรรมชาติอุณหภูมิร่างกายสัตว์จะสูงกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ยกเว้นในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงมาก เช่น เวลากลางวันในทะเลทรายความร้อนจะไหลจากสภาพแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายสัตว์ ปัจจัยหลักที่ทำให้ฉนวนความร้อนของเนื้อเยื่อบริเวณส่วนริมของร่างกายเปลี่ยนแปลงไปคือการทำงานของประสาทที่ควบคุมกล้ามเนื้อของผนังหลอดโลหิตที่อยู่บริเวณริมของร่างกาย (peripheral vasomotor tone) ทำการเปลี่ยนแปลงระดับการทำงานของเส้นโลหิตต่าง ๆ ที่แทรกอยู่ในเนื้อเยื่อบริเวณใต้ผิวหนัง และชั้นที่ถัดเข้ามา โดยปกติแล้วใต้ผิวหนังจะมีชั้นไขมันอยู่แต่ความหนานั้นแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของสัตว์ ฤดูกาล และ สัตว์แต่ละตัวก็ไม่เหมือนกัน เมื่อหลอดโลหิตไร้ชั้นเยื่อที่สมบูรณ์ของกลุ่มเส้นโลหิตใต้ผิวหนังขยายตัวเต็มที่ กระแสโลหิตแดงจะผ่านชั้นไขมันโดยไม่มีอะไรมากีดขวางและจะสูญเสียความร้อนให้แก่ชั้นไขมันเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิผิวหนังก็จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิในส่วนลึกของร่างกาย และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหนังกับสภาพแวดล้อมจะมีค่าสูงสุด แม้กระนั้นก็ตาม อัตราการไหลของความร้อนก็ยังขึ้นกับการเป็นฉนวนความร้อนของขน (hair) ขนสัตว์ (wool) เสื้อผ้า หรือวัสดุรองพื้นซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงสุดในฤดูหนาว และมีค่าต่ำสุดในฤดูร้อน

เมื่อหลอดโลหิตไร้ชั้นเนื้อเยื่อที่สมบูรณ์ที่บริเวณผิวหนังหดตัวอย่างเต็มที่เมื่อได้รับอิทธิพลของระบบประสาทซิมพาเทติก จะทำให้กระแสโลหิตที่ถูกส่งมายังเส้นโลหิตฝอยที่บริเวณผิวหนังหยุดไหล กระแสโลหิตจึงผ่านเส้นโลหิตแดงที่เล็กมาก (arterioles) ไปยังเส้นโลหิตดำที่เล็กมาก (venules) ใต้ชั้นไขมันใต้ผิวหนังซึ่งกลายเป็นชั้นที่มีเนื้อเยื่อที่มีความเป็นฉนวน นั่นคือมีความต้านทานต่อความร้อนค่อนข้างสูง ในสถานการณ์เช่นนี้ อุณหภูมิของบริเวณรอบริมเนื้อเยื่อผิวหนังของร่างกายจะเย็นลงทำให้อุณหภูมิผิวหนังมีค่าใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมมากกว่าอุณหภูมิในส่วนลึกของร่างกาย ทำให้ความร้อนที่ไหลจากส่วนลึกมาบริเวณผิวหนังและจากบริเวณผิวหนังไปสู่สภาพแวดล้อมจะถูกลดเป็นอย่างมาก ในสภาพเช่นนี้ปกติจะเกิดขึ้นเป็นการตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดจากความหนาวเย็น นอกจากนี้อาจมีการทำขนพองหรือขนลุก ซึ่งเกิดขึ้นโดยกล้ามเนื้อ ไพโลอีเร็คเตอร์ (pilo-erector) ที่อยู่ระหว่างผิวหนังและฐานของขุมขนหดตัวทำให้ขนตั้งชัน ดังนั้นอากาศนิ่งที่อยู่ในชั้นขนจะทวีความหนาขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มชั้นฉนวนให้หนาขึ้น

2.2.2 การสูญเสียความร้อนโดยการระเหย

การสูญเสียความร้อนโดยการหอบ หรือ การขับเหงื่อนั้นจะสูญเสียความร้อนโดยการระเหยที่เป็นกระบวนการอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่มีขนาดเล็กจะดูเหมือนเป็นไปทางพฤติกรรมโดยมีการการเลียตามตัว ในสัตว์ที่มีขนน้อย เช่น สุกร ซึ่งไม่มีต่อมเหงื่อที่ใช้การได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสูญเสียความร้อนของสุกรโดยการระเหยก็ทำได้ทางพฤติกรรมการลงแช่ปลัก

การหอบ ประกอบด้วยการหายใจทางปากอย่างรวดเร็ว และตื้น ความชื้นที่ถูกขับออกมาที่บริเวณปากและลำคอจะถูกระเหยไปโดยการเคลื่อนไหวของลมหายใจที่ผ่านเข้าออกในบริเวณ

ลำคอและปาก ความร้อนแฝงของการระเหยนั้น ส่วนมากมาจากพื้นที่ผิวบริเวณลำคอและปาก ซึ่งบริเวณเหล่านี้มีเส้นโลหิตอยู่อย่างหนาแน่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ลิ้น ดังนั้นความร้อนจากกระแสโลหิตแดงที่เข้ามาถึงเส้นโลหิตฝอยจึงถูกขับออกไปในรูปความร้อนแฝงทำให้อุณหภูมิลดลงในขณะที่กระแสโลหิตถูกดันไปตามทางของเส้นโลหิตฝอย กระแสโลหิตดำที่เย็นลงแล้วก็จะเดินทางกลับไปสู่หัวใจทำให้โลหิตเย็นลง

การหายใจถี่และตื้นในระหว่างการหอบทำให้ปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าออกที่บริเวณปากและลำคอมีค่าสูงสุดโดยไม่ต้องมีการระบายอากาศจากปอดเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้สูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปจนทำให้ความสมดุลระหว่างกรดและด่างในกระแสโลหิตสูญเสียไป และการสูญเสียของเหลวที่อยู่รอบๆ เซลล์ก็สูญเสียไปด้วย เป็นที่ทราบกันดีว่าการหอบบางชนิดหรือพฤติกรรมบางอย่างที่คล้ายคลึงกับการหอบซึ่งเกิดขึ้นในสัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก และ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมทั่วไปนั้น การหอบเป็นกระบวนการสูญเสียความร้อนโดยการระเหย และมีมาแล้วเป็นเวลาช้านานตั้งแต่สมัยโบราณ

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมบางชนิดมีต่อมเหงื่อซึ่งขับน้ำเหงื่อออกมาปริมาณมากจนกระทั่งไหลกระจายทำให้ผิวหนังเปียกชื้น ซึ่งก็ทำให้สูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากผิวหนังของร่างกายอย่างต่อเนื่อง ตัวต่อมเหงื่อเองนั้นก็มีมาตั้งแต่ดึกดำบรรพ์แล้ว และได้พัฒนามาจากต่อมในผิวหนังของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและสัตว์เลื้อยคลาน ซึ่งเช่นเดียวกับต่อมเหงื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ตัวต่อมเหงื่อจะถูกเครือข่ายของไมโอเอ็พพิธีเลียม (myoepitheliam) ล้อมรอบอยู่ ต่อมเหล่านี้มีการทำงานหลายๆ อย่างคือ หนังบริเวณฝ่าเท้า เช่น สุนัข เพื่อให้ไม่ลื่นเมื่อเดิน ขับสิ่งเหม็นๆ ออกมา ขับกลิ่นเพื่อขับไล่ศัตรู ขับน้ำนมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม และขับกลิ่นเพื่อเรียกคู่ผสมพันธุ์ เป็นต้น ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมส่วนมากมีต่อมเหงื่อชนิดที่เรียกว่า อะโปครีน (apocrine sweat gland) ซึ่งจะอยู่รวมกับขุมขนขั้นแรก (primary follicle) ต่อมเหงื่อชนิดนี้มีกระบวนการขับเหงื่อแบบ อะโปครีน ผนังของเซลล์สำหรับขับเหงื่อจะแตกออกและปล่อยน้ำเหงื่อภายในเซลล์ออกมา แต่ต่อมบางต่อมก็ไม่ได้มีการขับน้ำเหงื่อโดยกระบวนการอะโปครีนดังกล่าวแล้วจึงไม่สามารถทำให้เหงื่อไหลออกมาอย่างชุ่มชื้น ดังนั้นคำว่า เอ็พพิทริเคียล (epitrichial คือเมื่ออยู่กับขุมขนแล้ว) น่าจะเป็นคำอธิบายได้ดีกว่า

ต่อมเหงื่ออาจมีบทบาทสำคัญต่อการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมแต่เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น ส่วนมากแล้วสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมก็ยังคงใช้วิธีหอบซึ่งเป็นการสูญเสียความร้อนโดยการระเหย อย่างไรก็ตามหลักฐานทางด้านกายภาพของต่อมเหงื่อมิได้ยืนยันถึงการมีส่วนในการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยดังตัวอย่าง เช่น ในสุกรซึ่งมีต่อมเหงื่อแต่ไม่มีน้ำเหงื่อไหลออกมาเมื่ออยู่ในสภาพร้อนเครียด ในแกะมีต่อมเหงื่อเอ็พพิทริเคียล ซึ่งจะขับน้ำเหงื่อออกมาระยะสั้น เป็นครั้งคราวพร้อมกันทั่วผิวหนัง และไม่สามารถขับเหงื่อออกมาติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อความร้อนเครียด ส่วนในโคนั้นจะขับเหงื่อออกมาเป็นระยะๆ เป็นช่วงๆ พร้อมๆ กันทั่วร่างกายซึ่งแสดงให้เห็นถึงการหดตัวเป็นช่วงๆ เนื่องมาจากการหดตัวเป็นระลอกของกล้ามเนื้อไมโอเอ็พพิธีเลียมที่ล้อมรอบต่อมเหงื่อ แต่เมื่อตอบสนองต่อความร้อนเครียดก็จะขับเหงื่อออกมาที่ผิวหนังอย่างต่อเนื่องซึ่งคาดว่าเป็นกระบวนการขับแบบเอ็คครีน ในมนุษย์ก็มีการขับเหงื่ออย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อความร้อนเครียดหรือ

การออกกำลัง และการขับเหงื่อดังกล่าวในมนุษย์ยังแสดงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ เหล่านี้ไม่มีผลแต่อย่างใด

โดยสรุปแล้ว มีสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่กี่ชนิดที่มีการพัฒนาต่อมเหงื่อจนกระทั่งสามารถขับเหงื่อได้อย่างต่อเนื่องและเป็นปริมาณมากพอเพียงแก่การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยอย่างมีประสิทธิภาพ ในสัตว์บางชนิดเช่น โค จะเกิดการหอบ และขับเหงื่อ ทั้งสองอย่าง ในขณะที่สัตว์ไม่กี่ชนิดซึ่งรวมทั้ง ม้าและมนุษย์ การขับเหงื่อมีความสำคัญมากกว่าการหอบ การคัดพันธุ์เพื่อให้ได้สัตว์ที่มีความสามารถ ขับเหงื่อได้ดีนั้นยังไม่มีผู้ใดสนใจ

2.3 รูปแบบระบบหมุนเวียนโลหิต

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจะมีระบบหมุนเวียนโลหิตเพื่อช่วยขนส่งสารต่างๆ โดยอาศัยโลหิตเป็นตัวกลาง ระบบหมุนเวียนโลหิตของของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมนี้ เป็นแบบปิด (closed circulatory system) ระบบนี้ โลหิตจะมีทิศทางการไหลออกจากหัวใจไปตามท่อต่างๆ และไหลกลับเข้าสู่หัวใจโดยมีเส้นโลหิตขนาดต่างๆ เชื่อมต่อกันอยู่เสมอ การไหลเวียนของโลหิตในร่างกายเกิดขึ้นเพื่อนำ ก๊าซออกซิเจน อาหาร และ สารต่างๆ ไปยังเซลล์ทั่วร่างกาย และพาของเสียจากเซลล์เหล่านั้นไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดออกจากร่างกาย การไหลเวียนโลหิตเกิดจากหัวใจบีบตัวซึ่งก่อให้เกิดแรงดันขับเคลื่อนโลหิตให้ไหลไปตามหลอดโลหิตต่างๆ ซึ่งไหลเวียนเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ซีสเตมิก เซอร์คุเลชัน (systemic circulation) คือระบบหลอดโลหิตตามอวัยวะต่างๆ และ พุลโมนารี เซอร์คุเลชัน (pulmonary circulation) คือระบบหลอดโลหิตระหว่างปอดกับหัวใจ การหมุนเวียนโลหิตไปสู่อวัยวะต่าง ๆ โลหิตจะถูกส่งไปยังอวัยวะทุกส่วนภายในร่างกาย แต่มีบางอวัยวะจะได้รับโลหิตมากกว่าอวัยวะอื่น ถ้าพิจารณาถึงความสำคัญและปริมาณจะเห็นได้ว่าการกระจายโลหิตไปยัง 4 อวัยวะหลักที่ทำงานค่อนข้างหนักได้แก่ ไต ตับ หัวใจ และสมอง ซึ่งคิดเป็นเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกายเท่านั้น แต่อวัยวะเหล่านี้กลับได้รับโลหิตมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลหิตที่มาจากหัวใจ การควบคุมและรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่เกิดได้ 2 กระบวนการ

2.3.1 กระบวนการทางพฤติกรรมของสัตว์ เป็นการตอบสนองต่อความร้อนหรือความเย็นจากสภาพแวดล้อมโดยอาศัยพฤติกรรมการแสดงออก ซึ่งการแสดงพฤติกรรมนี้อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจและสัตว์จะต้องอยู่ในสภาวะรู้ตัว (conscious) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมโดยทั่วไปการตอบสนองทางพฤติกรรมต่อความร้อนและความเย็น จะมีความซับซ้อนในการทำงานของกล้ามเนื้อที่เป็นโครงสร้างของร่างกายและส่วนนอกของสมอง สำหรับในมนุษย์การตอบสนองทางพฤติกรรมจะมีการพัฒนาไปมาก เช่น เรื่องที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และแม้แต่การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวก

2.3.2 กระบวนการควบคุมทางสรีรวิทยา การตอบสนองต่อความร้อนหรือความเย็นจากสภาพแวดล้อม ซึ่งกระบวนการทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติที่สัตว์ไม่สามารถควบคุมได้และอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ ซึ่งจะมีไฮโปทาลามัสเป็นศูนย์กลางควบคุมและรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ การควบคุมอุณหภูมิร่างกายโดยกระบวนการทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติที่ไฮโปทาลามัสจะมีศูนย์ควบคุมอุณหภูมิร่างกาย โดยควบคุมอุณหภูมิร่างกายในรูปแบบของกลไกการตอบกลับ (Feedback

mechanism) ของระบบประสาทโดยอาศัยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความร้อนและความเย็น ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณใต้ผิวหนังและที่ผิวหนังของร่างกายรวมทั้งส่วนหลังของไฮโปทาลามัส หน่วยรับความรู้สึกเกี่ยวกับอุณหภูมิในไฮโปทาลามัสนี้จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของโลหิตจึงทำหน้าที่ควบคุมและรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อยู่ในระดับคงที่ ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับ เทอร์โมสแต็ท (thermostat) ที่พบในเครื่องปรับอากาศ

ส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสโดยเฉพาะบริเวณที่เรียกว่า บริเวณพรีออพติก (preoptic area) เป็นส่วนหนึ่งที่ไวต่อความร้อน เมื่ออุณหภูมิของร่างกายสูงจะทำให้อุณหภูมิของโลหิตแดงสูงตามไปด้วย โลหิตแดงที่มีอุณหภูมิสูงไหลเวียนไปยังไฮโปทาลามัสแล้วไปกระตุ้นบริเวณพรีออพติก ทำให้เซลล์ประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic) ถูกกระตุ้นให้ตื่นตัว ส่วนระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic) จะถูกยับยั้ง กระแสประสาทจากบริเวณพรีออพติกจะเพิ่มขึ้นและไปกระตุ้นระบบประสาทอัตโนมัติ ช่วยให้เกิดการทำงานของกระบวนการระบายความร้อนออกจากร่างกาย การที่ระบบประสาทซิมพาเทติกถูกยับยั้งจะทำให้เส้นโลหิตขยายตัว ทั้งนี้เพราะการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกทำให้เส้นโลหิตหดตัว ดังนั้นโลหิตจะไหลเวียนเพิ่มขึ้น ความร้อนจึงสูญเสียออกจากร่างกายทั้งโดยวิธี การนำ การพา และการแผ่รังสี ออกจากเส้นโลหิตที่ผิวหนัง นอกจากนั้นการกระตุ้นระบบประสาทอัตโนมัติจะทำให้สูญเสียความร้อนโดยวิธีการระเหยโดยร่างกายจะขับเหงื่อออกสำหรับเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความเย็นมีตำแหน่งอยู่ในส่วนหลังของไฮโปทาลามัสซึ่งในส่วนนี้จะไวต่อความเย็น เมื่อตัวรับความรู้สึกทางด้านความเย็นที่บริเวณผิวหนัง (peripheral cold receptor) ส่งกระแสประสาทผ่านเส้นไขสันหลังไปยังส่วนหลังไฮโปทาลามัส มีผลให้เกิดการกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกทำให้เส้นโลหิตหดตัว โดยเฉพาะบริเวณผิวรอบนอกของร่างกาย ดังนั้นความร้อนที่สูญเสียโดย การนำ การพา และการแผ่รังสี จากเส้นโลหิตแดง จะไม่เกิดขึ้น การกระตุ้นประสาทซิมพาเทติกจะทำให้ เกิดการหลั่งสารพวก แคเทโคลเอมีน ได้แก่ อิพิเนฟริน (epinephrine) นอร์อิพิเนฟริน ทำให้เร่งอัตราเมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นและความร้อนจะถูกสร้างเพิ่มขึ้นด้วย เซลล์ประสาทรับความรู้สึกบริเวณผิวรอบนอกร่างกายที่มีตำแหน่งอยู่ที่ผิวหนัง และ เนื้อเยื่อใต้ผิวหนังมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ผิวหนัง ที่บริเวณดังกล่าวมีทั้งเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความร้อนและเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความเย็น ที่จะรับความเย็นและความร้อนจากภายนอก พบว่าเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความเย็นมีมากกว่าเซลล์ประสาทรับความรู้สึกด้านความร้อนประมาณ 4 ถึง 10 เท่า จากนั้นจะส่งกระแสประสาทผ่านไปตามไขสันหลังไปยังส่วนหลังของไฮโปทาลามัส แต่ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงหรือร้อนจะมีผลให้ตัวรับความรู้สึกด้านความร้อนทำงานและส่งสัญญาณไปยังส่วนหน้าของไฮโปทาลามัสโดยมีการตอบสนองดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (Alvare, *et. al*. 1967)

กลไกการปรับปริมาณโลหิตเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อสัตว์ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อน จะมีปริมาณโลหิตจำนวนมากไหลไปที่บริเวณผิวหนังของร่างกาย ซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องมีการปรับตัวเพื่อหลีกเลี่ยงมิให้เกิดการลดความดันโลหิตแดงซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ต้องอยู่ใน

สภาพร้อนเครียดเป็นเวลานาน จนทำให้สูญเสียความสมดุลในระบบกระแสโลหิต (Cardiovascular homeostasis) ที่ไหลอยู่ การปรับตัวเนื่องจากการเพิ่มปริมาณโลหิตไปที่บริเวณผิวหนังดังกล่าวเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี (Brown and Barbara, 1993) คือ

1) เพิ่มปริมาณโลหิตที่ส่งออกไปจากหัวใจให้มากขึ้น ปรับการจ่ายปริมาณโลหิตระหว่างส่วนต่างๆ ของร่างกายตามความต้องการในการปรับความร้อนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมทั้งหลายซึ่งรวมทั้งมนุษย์ด้วย ต่างใช้กลไกทั้งสองทาง ความร้อนเครียดในระดับต่างๆ ทำให้การจ่ายโลหิตจากหัวใจเปลี่ยนแปลง โดยให้ความสำคัญสูงสุดแก่อวัยวะที่จำเป็นในการระบายความร้อนให้ออกไปจากร่างกาย (A; Hale, 1973a) ตัวอย่างเช่น ในระดับร้อนเครียดปานกลาง อุณหภูมิร่างกายในส่วนลึกของแกะจะเพิ่มขึ้นไม่ถึง 0.5 องศาเซลเซียส ปริมาณโลหิตที่ไหลไปที่ ผิวหนัง โพรงจมูก และกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโลหิตที่ไหลไปที่กล้ามเนื้อที่ไม่ได้ใช้ในการหายใจและอวัยวะในช่องท้องส่วนมากจะลดลง อย่างไรก็ตาม ในสภาวะร้อนเครียดที่ระดับสูงจะทำให้อุณหภูมิร่างกายในส่วนลึกของแกะเพิ่มขึ้นถึง 2.4 องศาเซลเซียส ปริมาณโลหิตที่ส่งไปยังลำไส้ใหญ่ก็จะถูกลดลงในคราวนี้ นอกจากนี้ ปริมาณโลหิตที่ไหลไปที่ลิ้นและต่อมหมวกไตยังเพิ่มขึ้น ซึ่งในประการหลังแสดงให้เห็นว่าอาจเกิดการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของเมแทบอลิซึมของต่อมหมวกไตเพื่อเพิ่มการหลั่ง แคเทโคลเอมีน (catecholamines) และ/หรือ คอร์ติโคสเตอรอยด์ (corticosteroids) ในสภาวะดังกล่าว

การปรับปริมาณโลหิตที่ไหลผ่านในส่วนหนึ่งๆ ของร่างกายในแกะจำเป็นมาก คือ การเพิ่มปริมาณการไหลของโลหิตผ่าน อาร์เทริโอเวนัส อะนาซโตโมเซส (arteriovenous anastomoses {AVAs}) เมื่ออยู่ในสภาวะร้อนเครียด ซึ่งประกอบไปด้วย 2 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโลหิตที่ไหลออกจากหัวใจเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิที่เป็นกลาง (thermoneural) ไปจนถึง 9 เปอร์เซ็นต์เมื่ออยู่ในสภาพร้อนเครียดระดับปานกลาง และ 11 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้องตกอยู่ในสภาพร้อนเครียดระดับสูง (Hales, 1973a) และปริมาณที่ไหลผ่าน ฟีโมรัล (femoral) ซึ่งอาจผ่านโดยทาง อาร์เทริโอเวนัส อะนาซโตโมเซส (AVAs) นั้นอาจขึ้นสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแกะอยู่ในสภาวะร้อนเครียด (Hales *et al*., 1978; RÜbsamen and Hales, 1983)

อย่างไรก็ตามข้อมูลจากการศึกษาดังกล่าวเป็นข้อมูลจากการทดลองที่ให้เวลาสัตว์อยู่ในสภาวะร้อนเครียดระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นร่างกายอาจตอบสนองแตกต่างออกไปจากเมื่อสัตว์ต้องอยู่ในสภาวะร้อนเครียดระยะเวลานานๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพธรรมชาติ

2) กลไกการควบคุม

การเปลี่ยนแปลงของเส้นโลหิตตามส่วนต่างๆ ของร่างกายซึ่งตอบสนองต่อการกระตุ้นจากระบบประสาทส่วนกลางนั้นมีความสัมพันธ์กับระดับการทำงานของ ซิมพาเทติก วาโซคอนสตริกเตอร์ (sympathetic vasoconstrictor tone) (Iriki, *et al*., 1971; Walther, *et al*., 1973; Ninomiya and Fujita, 1976) ความแตกต่างของการส่งสัญญาณในระบบซิมพาเทติกออกจากส่วนต่างๆ ของร่างกายจึงถูกเหนี่ยวนำโดยความไม่สมดุลในความร้อน ซึ่งโดยปกติแล้ว จะถูกผสมผสานเข้าไปใน ไฮโปทาลามัส แต่สามารถจะถูกควบคุมได้ที่ระดับเส้นไขสันหลัง และโดยขั้นพื้นฐานแล้วจะแตกต่างจากการจำแนกของวาโซ

มอเตอร์ (vasomotor {vasomotor differentiation}) ซึ่งเกิดขึ้นได้ในกรณี อาร์ทีเรียล ไฮพอเซีย (arterial hypoxia) (Iriki, *et al*., 1972) นอกจากนี้ในการศึกษาการทำงานของระบบประสาทที่ไตและผิวหนัง นิโนมิยา และ ฟูจิตะ (Ninomiya and Fujita, 1976) พบว่าถ้าเปิด บาโรรีเซพเตอร์ลูพ (baroreceptor loop) ซึ่งอุณหภูมิที่ผิวหนังเพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบประสาทที่ไตทำงานเพิ่มขึ้นในขณะที่ระบบประสาทที่ผิวหนังทำงานลดลง ความสัมพันธ์ในทางกลับกันในการทำงานระหว่างระบบประสาทที่ไตและผิวหนังนี้ มีไฮโปทาลามัสควบคุมโดยใช้อุณหภูมิที่ไฮโปทาลามัสเป็นแนวทาง ซึ่งแสดงให้เห็นบทบาทด้านความไวต่ออุณหภูมิของไฮโปทาลามัสในการควบคุมการส่งสัญญาณออกของระบบซิมพาเทติก การไหลของโลหิตเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามนี้และการทำงานของระบบซิมพาเทติกจะพบได้ใน ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และลำไส้เล็ก ทั้งนี้ไม่ต้องทำให้ไฮโปทาลามัส หรือเส้นไขสันหลัง ร้อนขึ้น หรือใช้การกระตุ้นจากภายนอกร่างกาย (Walther, *et. al*., 1970; Kullmann, *et al*., 1970)

นอกจากนี้ยังพบว่าทางเดินของซิมพาเทติกคอนสตริกเตอร์ (sympathetic constrictor pathway) ก็เข้ามาสัมพันธ์กับการปรับความร้อนโดยการบังคับกระแสโลหิตให้ไปยังบริเวณจมูกและลิ้น (Thompson and Pleschka, 1980) และการขยายตัวของเส้นโลหิตที่ลิ้นนั้นสัมพันธ์กับกลไกนี้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ในกรณีที่มีความร้อนเพิ่มเข้ามาเพียงเล็กน้อย และอัตราการหายใจก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นในสภาวะร้อนเครียดระดับสูง ซึ่งทำให้มีอาการหอบ จึงจะเริ่มมองเห็นการทำงานในขั้นที่สอง ซึ่งจะได้รับความช่วยเหลือจากที่อื่นมิใช่จากทั้งทาง อะดรีเนอร์จิก มัสคารินิก รีเซพเตอร์ (adrenergic muscarinic receptors) หรือทาง โคลิเนอร์จิก มัสคารินิก รีเซพเตอร์ (cholinergic muscarinic receptors) ปรากฏการณ์ของ แอ็คทีฟ วาโซไดเลชัน (active vasodilation) เพิ่มการทำงานของประสาทมากกว่าจะลด ทำให้เกิดการขยายตัวของเส้นโลหิตซึ่งยังคงเป็นที่ถกเถียงกัน อยู่ ดังตัวอย่างเช่น การลดหรือการไม่มีการขยายตัวของหลอดโลหิตภายหลังที่ห้ามกระแสประสาทของผิวหนังในต้นแขนของมนุษย์ ผิวหนังที่ขาหลังของลิงบาบูน (Hales, Rowell and Strandness, 1977) และที่หางของตัวมัสแร็ท (muskrat) เป็นต้น นอกจากนี้ Schönung, *et. al.,* (1970) ยังอธิบายถึงปฏิกิริยาตอบสนองของการขยายตัวของหลอดโลหิต เพื่อจะเพิ่มอุณหภูมิที่ไฮโปทาลามัส เขาเสนอแนะว่า การขยายตัวของหลอดโลหิตเนื่องจากการกระตุ้นทางประสาทที่ผิวหนังของสุนัขอาจถูกเหนี่ยวนำโดยเส้นประสาทต่างๆ ซึ่งมาพร้อมๆ กับ อะดรีเนอร์จิก ซิมพาเทติก เอฟเฟเรนท์ (adrenergic sympathetic efferents) จากการบันทึกการทำงานของ ซิมพาเทติก (Riedel and Peter, 1977) ได้หลักฐานที่ชัดเจนที่ยืนยันได้ว่ามีเส้นประสาท อยู่ 2 กลุ่มที่ทำให้ค่าของสัญญาณที่ส่งออกจากวาโซมอเตอร์ (vasomotor outflow) ไม่คงที่ (ununiformity) ในเครือข่ายของหลอดโลหิตในส่วนต่างๆ ของร่างกาย อย่างไรก็ตามข้อเท็จจริงอีกประการหนึ่งคือ ในสัตว์ที่ถูกตัดเส้นประสาทซิมพาเทติก การไหลของโลหิตก็ยังคงเปลี่ยนแปลง (Hales, 1974)

2.4 ผลของการไหลเวียนโลหิตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้นระบบการไหลเวียนโลหิตซึ่งรวมทั้งส่วนต่าง ๆ ของร่างกายย่อมเปลี่ยนไป

2.4.1 ผลต่อการเต้นของหัวใจ ถ้าอุณหภูมิของหัวใจ หรือ โลหิตในร่างกายสูงขึ้น จะทำให้ความชันของ พรีโพเทนเชียล (prepotential) ของเอสเอโนด (s-a node) สูงขึ้น หัวใจจึงเต้นเร็วขึ้น และระยะเวลาของแอ็กชัน โพเทนเชียล (action potential) ของเซลล์กล้าม เนื้อหัวใจทั้งใน อะตริอุม (atrium) และเวนตริเคิล (ventricle) ลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิต่ำลง จะทำให้หัวใจเต้นช้าเพราะความชันของ พรีโพเทนเชียล ลดลง และถ้าอากาศเย็นมาก ก็อาจทำให้หัวใจหยุดเต้นได้

2.4.2 ผลต่อปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจ สภาพร่างกายที่อยู่ในสภาวะต่าง ๆ จะส่งผลถึงปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจ เช่น ขณะออกกำลัง ตั้งครรภ์ และอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นเป็นต้น กรณีของอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ร่างกายมีเมแทบอลิซึมสูงขึ้น จึงทำให้ปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจสูงขึ้น ส่วนในอุณหภูมิแวดล้อมเย็นลงจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม ในสัตว์ปีกเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูง ปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจจะเพิ่มขึ้น 20 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ (Hillman, *et. al*., 1985)

2.4.3 ผลต่อการไหลเวียนโลหิตไปสู่บริเวณผิวหนัง ในสภาพอากาศหนาวเย็น จะทำให้ผิวหนังหดตัว และทำให้โลหิตไหลเวียนไปยัง บริเวณผิวหนังน้อยลงเพื่อรักษาความร้อนมิให้สูญเสียไป ในสภาพอากาศร้อนจะสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นจึงทำให้โลหิตไหลเวียนมาสู่บริเวณผิวหนังมากขึ้น (Folkow และ Neil, 1971)

2.4.4 ผลต่ออัตราการเต้นของชีพจร ปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของชีพจรก็คือ อุณหภูมิแวดล้อม และความร้อนที่ ผลิตขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ในร่างกายด้วย ได้มีการทดลองสรุปไว้ว่า การเลี้ยงโคในที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ พบว่าอัตราการเต้นของชีพจรสูงขึ้น แต่เมื่อนำโคไปเลี้ยงที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น ให้ระยะเวลานานขึ้น อัตราการเต้นชีพจรของโคกลับลดลง ทั้งนี้เพราะอัตราการเต้นชีพจรของโคเกี่ยวข้องกับการลดปริมาณอาหารและความร้อนที่เกิดจากกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย (Umpapol, 2002)

2.4.5 ผลต่อความเหนียวตัวของโลหิต นอกจากอุณหภูมิที่ทำให้โลหิตมีความเหนียวแล้วยังขึ้นอยู่กับค่าฮีมาโตคริต (heamatocrit) และอัตราความเร็วของการไหล ในกรณีของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำ จะทำให้ของเหลวมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เช่น ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ทั้งโลหิตและน้ำจะมีความเหนียวตัวเพิ่มเป็น 2.5 เท่า ของค่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

2.4.6 ผลต่อค่าทางโลหิตวิทยา การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโลหิตจะสะท้อนให้เห็นสภาพการทำงานของร่างกายและบางครั้งยังเป็นดรรชนีการพิจารณาความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ นอกจากนี้ พันธุ์โค และ ฤดูกาลจะทำให้องค์ประกอบของโลหิตต่างกัน ค่าโลหิตวิทยาที่ใช้เป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นถึงการทนความร้อนของโคคือ ค่า ฮีโมโกลบิน (heamoglobin) และ ฮีมาโตคริต มีรายละเอียดดังนี้

1) ฮีโมโกลบิน ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าฮีโมโกลบินของโค เช่น ความแตกต่างระหว่างพันธุ์โค ฤดูกาล ระยะการอุ้มท้อง ระยะการให้นม ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิสภาพแวดล้อม เป็นต้น อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฮีโมโกลบินของโคพันธุ์ต่างๆ จากการศึกษาค่าฮีโมโกลบินของโคพันธุ์ โฮลสไตน์, เกอร์นซี, เจอร์ซี, แอร์เชียร์ และพันธุ์ บราวน์สวิส ที่เลี้ยงไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 26.7 องศาเซลเซียส พบว่าค่า ฮีโมโกลบิน โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาในโคสาวพบว่าค่า ฮีโมโกลบิน มีความสัมพันธ์ทางลบกับอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า ฮีโมโกลบินของแม่โคนาน 2 ปี รายงานว่า ค่าฮีโมโกลบินของโคต่างฝูงกันก็มีค่าต่างกัน นอกจากนั้นภายในโคตัวเดียวกัน ฮีโมโกลบินยังแตกต่างกันในแต่ละเดือน ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของฮีโมโกลบินของโคที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 11.19 ± 0.27 ถึง 13.39 ± 0.22 กรัมต่อโลหิต 100 มิลลิลิตร

2) ฮีมาโตคริต ค่าฮีมาโตคริตของโคจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมว่า สูงหรือต่ำเพียงใด จากการทดลองหลายการทดลองยืนยันว่า เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่เลี้ยงโคเพิ่มขึ้น ค่าฮีมาโตคริตของโคจะลดลง แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่นำโคไปเลี้ยงในสถานที่มีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้นด้วย เพราะโคที่นำไปเลี้ยงไว้ในสถานที่มีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้นในระยะเวลาไม่นานนัก ค่าฮีมาโตคริตอาจไม่เปลี่ยนแปลง (Abilay, Mitra and Johnson, 1975) ทดลองเพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของค่าฮีมาโตคริตของพ่อโคพันธุ์โฮลสไตน์ โดยนำพ่อโคไปเลี้ยงไว้ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงถึง 42 องศาเซลเซียสนาน 4 ชั่วโมง พบว่าค่าฮีมาโตคริตเปลี่ยนแปลง อย่างไม่มีนัยสำคัญ (28.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ 28.1 เปอร์เซ็นต์) (Roussel *et al*., 1969) ได้ทำการทดลองในแม่โคพันธุ์โฮลสไตน์ เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของค่าฮีมาโตคริต โดยนำแม่โคไปเลี้ยง ในที่มีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมดัง ต่อไปนี้ 15.5, 18.5, 21.2, 26.8 และ 29.5 องศาเซลเซียสนาน 1 สัปดาห์ รายงานว่าผลของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมดังกล่าวนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ฮีมาโตคริต

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลโดยตรงต่อระบบหมุนเวียนโลหิตและรวมถึงคุณสมบัติของโลหิตด้วย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเร่งอัตราการเต้นหัวใจทำให้ปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจเพิ่มขึ้น มีผลให้เพิ่มอัตราการไหลเวียนของโลหิตไปยังที่ผิวหนังเพิ่มขึ้นเพื่อจะระบายความร้อน แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลง จะทำให้กล้ามเนื้อบริเวณผิวหนังหดตัวทำให้ลดอัตราการไหลเวียนของโลหิตผ่านผิวหนังมีผลทำให้ลดการสูญเสียความร้อนภายในร่างกายส่วนค่าของ ฮีโมโกลบินและฮีมาโตคริตสัมพันธ์ กับอุณหภูมิ ซึ่ง 2 ค่านี้อาจใช้เป็นดรรชนีบอกความทนต่อความร้อนของสัตว์ได้

2.5 กลไกการสร้างความร้อน

อัตราการสร้างความร้อนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมนั้นถูกควบคุมด้วยระบบประสาท และระบบต่อมไร้ท่อ ระบบทั้งสองระบบดังกล่าวแล้วนี้ปรับระดับการสร้างความร้อนโดยตรง โดยปรับความอยากกินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์ และ/หรือ โดยทางอ้อมโดยเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวระบบเอนไซม์ของการหายใจและการสร้างโปรตีน

2.5.1 การควบคุมทางระบบประสาท ระบบการควบคุมการสร้างความร้อน บทบาทของระบบประสาทที่มีต่อการควบคุมอัตราเมแทบอลิซึม ทสเกอร์เนียก (Tscherniak) ได้สังเกตว่า การทำให้สมองบางส่วนของกระต่ายเป็นแผล ได้ทำให้อุณหภูมิร่างกายของกระต่ายตัวนั้นเพิ่มขึ้น ระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนนอก ต่างก็เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบปรับความร้อน นั่นคือ ความร้อนที่สร้างขึ้นมาและความร้อนที่สูญเสียออกจากร่างกาย รายละเอียดเรื่องการประสานงานระหว่างระบบประสาทส่วนนอกและระบบประสาทส่วนกลาง ได้กล่าวไว้ในการปรับอุณหภูมิร่างกาย บทบาทของไฮโปทาลามัสในการปรับอุณหภูมิร่างกายนั้นในสัตว์ (Carlisle and Ingram, 1973) โดยทั่ว ๆ ไป การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า อัตราการสร้างความร้อนนั้นถูกกำหนดด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมซึ่งไปกระตุ้นตัวรับความรู้สึกที่อยู่บริเวณรอบนอกของร่างกาย และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในร่างกาย สัญญาณที่มาจากระบบประสาทส่วนกลาง ที่ไปเปลี่ยนการสร้างความร้อนนั้น ได้ใช้ไปในการสร้างความร้อน เช่น การสร้างความร้อน โดยกรณีกล้ามเนื้อสั่นตัวและกรณีกล้ามเนื้อไม่สั่นตัว การทำให้ไฮโปทาลามัส หรือเส้นไขสันหลังเย็นลงเพียงอย่างเดียวทำให้สุกรสร้างความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เย็นหรืออยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำลังสบาย (Jessen, 1977) อย่างไรก็ตาม การสร้างความร้อนจะไม่เพิ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ร้อนพอประมาณ ส่วนการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นจะมีมากที่สุดในสภาพแวดล้อมที่หนาวเย็น การทำให้ไฮโปทาลามัส หรือเส้นไขสันหลังร้อนแต่เพียงอย่างเดียวจะทำให้การสร้างความร้อนลดลง ตัวอย่างเช่น การทดลองที่ทำในแพะได้แสดงให้เห็นว่า การสร้างความร้อนนั้น อาจกล่าวได้ว่า ผลลัพธ์ของการทำงานร่วมกันระหว่างอุณหภูมิของไฮโปทาลามัสและอุณหภูมิของไขสันหลังหรืออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมมีสัดส่วนใกล้เคียงกันโดยประมาณ จากการทดลองได้พบว่า ถ้าทำให้ไฮโปทาลามัสเย็นลงแต่เพียงอย่างเดียวจะทำให้แพะรู้สึกหนาวจนตัวสั่น กล้ามเนื้อสั่นตัวเพื่อสร้างความร้อนอย่างรวดเร็ว และในทางกลับกันทำให้ไฮโปทาลามัสร้อนแต่เพียงอย่างเดียว จะทำให้แพะมีอาการหนาวสั่นลดน้อยลง ถึงแม้ว่าแพะตัวนั้นจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่หนาวเย็น

บทบาทของ แคเทโคลเอมีน (catecholamine) และ โพรสตาแกลนดิน (prostaglandins) ในระบบประสาทส่วนกลางในส่วนการปรับระดับความร้อนเป็นที่ทราบกันดีแล้ว จึงไม่น่าสงสัยเลยว่า สารที่อยู่ในสมอง เช่น นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine), 5-ไฮดร๊อกซีทริพเอมีน (5-hydroxythrypamines {5-HT}), อะซิทิลโคลีน (acetylcholine {ACTH}) และ โพรสตาแกลนดิน จะมีบทบาทตามจุดเชื่อมโยงของเส้นประสาทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาตอบสนองในการปรับความร้อน คือมีการผลิตสารเหล่านี้เข้าไปใน อินทรา เวนตริเคิล (intra ventricle) ในสัตว์ ซึ่งแสดงผลให้เห็นว่าปฏิกิริยาตอบสนองในการปรับความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบตัวสัตว์ ส่วนการฉีดนอร์เอพิเนฟรินนั้นไม่มีผลต่อการสร้างความร้อนในสภาพแวดล้อมที่ร้อน แต่จะไปหยุดการสร้างความร้อนและหยุดการสั่นตัวของกล้ามเนื้อในสภาพแวดล้อมที่หนาวเย็น นอกจากนี้ ถึงแม้ว่า 5-ไฮดร๊อกซีทริพเอมีน ทำให้การสร้างความร้อนและอุณหภูมิร่างกายของ แพะ แกะ และ โค ลดลง (Bligh, *et. al.*, 1971) แต่ในลูกโคปัจจัยเหล่านี้ทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการสร้างความร้อน (Yousef, Hedlund

and Johnson, 1979) ส่วนโพรสตาแกลนดิน-อี (prostaglandin-E) ทำให้ การสร้างความร้อนและอุณหภูมิร่างกายของลูกโคเพิ่มขึ้น แต่ โพรสตาแกลนดิน-เอ (prostaglandin-A) และ โพรสตาแกลนดิน-เอฟ (prostaglandin-F) ไม่มีผลใดๆ ต่อการปรับความร้อนของร่างกาย

2.5.2 กลไกการควบคุมทางฮอร์โมน

ความสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการสร้างพลังงานความร้อน (calorigenic hormones) อันได้แก่ ไทรอกซิน (thyroxine {T4}) ไตรไอโอโดไทโรนีน (triiodothyronine {T3}) โกรทฮอร์โมน (growth hormone {GH}) และกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) และอัตราเมแทบอลิซึมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมนั้น ได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งภายในตัวสัตว์ (in vivo) และภายนอกตัวสัตว์ (in vitro)

1) กลุ่มฮอร์โมนไทรอยด์ (Thyroid hormones)

การตัดต่อมไทรอยด์ออกไป จะทำให้การสร้างความร้อนลดลงและถ้าให้ไอโอดีเนเตด เคซีน (Iodinated casein) ก็จะทำให้มีสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นในโค และ แกะ ถ้าฉีดไทรอกซินเข้าไปในโคพันธุ์โฮลสไตน์ จะทำให้การสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นในโคที่มีการปรับตัวให้อยู่ในอุณหภูมิที่อยู่อย่างสบายๆ คือ 18 องศาเซลเซียส และในโคที่ปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อน คือ 32 องศาเซลเซียส (Yousef and Johnson, 1966 a) หลังจากฉีด เคซีน ที่มีธาตุไอโอดีนอยู่ด้วย พบว่าการสร้างความร้อนจะเกิดขึ้นหลังจากนั้น 2-3 วัน โคที่อยู่ในอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส จะสร้างความร้อนขึ้นก่อนโคที่อยู่ใน 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2–3 วัน (ภาพที่ 68) ถ้าฉีดไทรอกซินเพียงเข็มเดียว จะมีผลในการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นเวลายาวนาน (Biological Effective Time) 3-4 วัน ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 5–6 วัน ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาตอบสนองทางเมแทบอลิซึมจะมีสูงสุดในวันที่ 4 และ วันที่ 5 ภายหลังการฉีดยาให้โคที่อยู่ในอุณหภูมิ 18 และ 32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2) กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต (Adrenal hormones)

มีการศึกษาต่อมหมวกไตชั้นนอก (Adrenal cortex) ในการรักษาอัตราเมแทบอลิซึมให้อยู่ในระดับปกติในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมขนาดเล็กที่ใช้ในห้องทดลอง ส่วนการทดลองในสัตว์ใหญ่ยังมีไม่มากพอ การฉีดไฮโดรคอร์ติโซน (hydrocortisone) ให้แก่โคจะทำให้สร้างความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อมันปรับตัวให้อยู่ในอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ 18 และ 35 องศาเซลเซียส (Yousef and Johnson, 1967) การสร้างความร้อนเพิ่มจะเกิดขึ้นหลังจาก ฉีดไฮโดรคอร์ติโซนนาน 3–4 ชั่วโมง และ 2 – 3 ชั่วโมง ในโคที่อยู่ในสภาพแวดล้อม ที่อุณหภูมิ 18 และ 35 องศาเซลเซียสตามลำดับ ช่วงเวลาการแสดงผลทางชีววิทยา (Biological Effective Time) ในการฉีดไฮโดรคอร์ติโซนเพียงเข็มเดียวนั้น มีช่วงยาว 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง ในโคที่อยู่ในสภาพแวดล้อม ที่อุณหภูมิ 18 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนการฉีดนอร์เอพิเนฟรินเข้าเส้นเลือดให้แก่โคไม่มีผลต่อการสร้างความร้อน แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นเอพิเนฟรินแล้วจะทำให้สร้างความร้อนเพิ่มขึ้น (Alvare, *et. al*., 1967)

3) โกรทฮอร์โมน (Growth hormone)

บทบาทของโกรทฮอร์โมนในการสร้างความร้อนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่ใช้ในห้องทดลองนั้นเป็นที่ทราบกันดี แต่งานค้นคว้าในสัตว์ใหญ่ยังมีน้อยมาก ดังนั้นจึง มีการศึกษาในโค (Yousef and Johnson, 1966 b) ที่ปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อม ที่อุณหภูมิ 18 และ 38 องศาเซลเซียส โดยฉีดโกรทฮอร์โมน และวัดการสร้างความร้อน จึงพบว่ามีการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้น 30-40 เปอร์เซ็นต์ในโคที่อยู่ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 50-60 เปอร์เซ็นต์ในโคที่อยู่ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และโคที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส จะมีช่วงเวลาก่อนการ แสดงผล (latent period) คือ 10-24 ชั่วโมง ซึ่งยาวกว่าโคที่อยู่ในอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส (4-10 ชั่วโมง) และช่วงเวลาการแสดงผลทางชีววิทยานั้นนาน 40 และ 50 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 18 และ 38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นั่นคือในโคที่ปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ได้ปรับตัวให้ อยู่ในสภาพแวดล้อมที่สบาย ฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการสร้างความร้อนมีช่วงเวลาก่อนการแสดงผลนั้นสั้นกว่าช่วงการเวลาแสดงผลทางชีววิทยา

2.6 การปรับระดับการสร้างความร้อน

การวัดค่าอัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐาน (basal metabolic rate) ในสัตว์ใหญ่นั้นทำได้ยากและไม่เหมาะสมในเชิงปฏิบัติ เนื่องจากว่าหาในระยะที่ไม่มีการดูดซึมอาหาร และพักตัวของสัตว์อย่างแท้จริงนั้นได้ยากมาก อัตราการใช้ออกซิเจนในสภาพแวดล้อม ที่อยู่อย่างสบายนั่นคืออยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เป็นกลาง (TNZ) เรียกว่า “พักผ่อน” หรือ “ยืนนิ่ง” นั้นเป็นพื้นฐานสำหรับการวัดพลังงานต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นมา อาทิ ความร้อนที่ เกิดนั้นมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อ การกินอาหาร การสืบพันธุ์ การผลิต และการปรับความร้อน อัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐานนี้จะอยู่ที่ระดับใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัยซึ่งจะกล่าวถึงในที่นี้เพียงบางส่วนได้แก่

2.6.1 ขนาดของร่างกาย ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมนั้น ค่าอัตราเมแทบอลิซึมใช้วัดเป็นพลังงานความร้อน ต่อ น้ำหนักตัวเมตะโบลิก (metabolic weight, W^{χ}) นั้นมีค่าค่อนข้างคงตัวในสัตว์หลายชนิด นั่นคือ ค่าความร้อนที่สร้างขึ้นต่อน้ำหนัก (กิโลกรัม) เมื่อ χ มีค่าตั้งแต่ 0.73-0.75 ซึ่งเป็นที่มาของหลักการที่มีประโยชน์ของ “น้ำหนักทางสรีระ (physiological weight)” หรือ “ขนาดหรือน้ำหนักเมแทบอลิซึม (metabolic body size)” คือ น้ำหนักตัว 0.75 หมายความว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัว 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราเมแทบอลิซึมจะเพิ่มขึ้นเพียง 75 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ถึงแม้ว่าค่านี้จะเป็น ที่ยอมรับสำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่โตเต็มที่แล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับ สำหรับสัตว์อายุน้อยหรืออยู่ในวัยกำลังเจริญเติบโต ตัวอย่างเช่น การศึกษาในแกะ ที่อยู่ในระยะเจริญเติบโต พบว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการอดอาหารและการสร้าง ความร้อนในขณะที่สัตว์พักผ่อนและอดอาหารกับน้ำหนักตัวแต่เพียงอย่างเดียวนั้น มีค่าเพียง 0.6 มากกว่าที่จะเป็น 0.75 ซึ่งเป็นค่ายกกำลังที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขนาดเมแทบอลิซึม

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ รวมเข้าไปอีก เช่น อายุ อัตราการเจริญเติบโตที่ผ่านมา และโภชนาหารที่เคยได้รับมาก่อนจะนำมาใช้หาค่า สหสัมพันธ์กับการสร้างความร้อน และน้ำหนักตัวของน้ำหนักเมแทบอลิซึม จะไม่แตกต่างไปจาก 0.75 พลังงานความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นมาต่อหน่วยของน้ำหนักตัว ของโค ม้า และ แพะ จะลดลงแบบ เอ็กโพเนนเชียล (exponential) กับอายุที่เพิ่มขึ้นมา

อย่างไรก็ตาม อายุจะไม่มีผลต่อการสร้างความร้อนของสุกร ส่วนการเปลี่ยน ระดับการสร้างพลังงานความร้อนในช่วงเจริญเติบโตนั้นอาจเกี่ยวเนื่องมาจากปัจจัยอื่น หลายปัจจัย เช่น ความสมบูรณ์พันธุ์ การหย่านม การเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโต และการปรับระบบประสาท-ต่อมไร้ท่อ-ระดับความร้อนที่คงตัวให้อยู่ในระดับที่แน่นอน (Mount, 1968)

2.6.2 ชนิดและสายพันธุ์สัตว์ ในระหว่างสัตว์หลายๆ ชนิด ปริมาณความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นมาในขณะที่สัตว์ พักผ่อนนั้นแตกต่างกันพอสมควร (Yousef, 1979) ดังตัวอย่างเช่น อูฐที่อยู่ในทะเลทราย และ ตัวลามะ (Llama) ที่อาศัยอยู่บนภูเขาสูง มีความร้อนที่สร้างขึ้นต่อหน่วยน้ำหนัก เมแทบอลิซึม ($E/W^{0.75}$) แตกต่างไปจากค่าที่คำนวณเอาไว้จากสมการที่พัฒนาขึ้น ในทำนองเดียวกับแพะที่อยู่ในทะเลทรายก็มีการสร้างความร้อนต่ำกว่าค่าที่คาดหมายเอา ไว้สำหรับสัตว์อื่นๆ ที่มีน้ำหนัก ตัวเท่ากัน (Salem, et. al., 1982; Shkolnik, *et. al*., 1972) ในทางตรงกันข้าม แพะที่อาศัยอยู่ในลุ่มแม่น้ำไนล์ (Nile) ประเทศอียิปต์ หรือแพะที่อาศัยอยู่ตามภูเขาต่างก็มีการสร้างความร้อนมากกว่าค่าที่คำนวณเอาไว้สำหรับน้ำหนักเมแทบอลิซึมของมันเพียงเล็กน้อย กลไกที่ทำให้เกิดความแตกต่างเหล่านี้ยังไม่มีผู้ค้นพบและยังไม่มีใครทราบได้ว่า อัตราเมแทบอลิซึมในขณะ ที่สัตว์พักผ่อนอยู่นั้นเป็นค่าที่มีการปรับตัวของสัตว์เข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่ พลังงานความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นมาในขณะ ที่สัตว์พักผ่อนต่อหน่วยน้ำหนักเมแทบอลิซึมในโคมีค่าสูงกว่าในแกะ (Graham, 1972) ส่วนในกลุ่มโคนั้น โคสายพันธุ์ซีบู (Zebu) มีค่าพลังงานความร้อนที่สร้างในขณะที่พักผ่อนต่ำกว่าโคพันธุ์อัฟริคานเดอร์ (Africander) หรือโคสายพันธุ์ยุโรป (Vercoe, 1970)

2.6.3 ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสร้างความร้อนในขณะที่สัตว์กำลังพักผ่อนเพื่อตอบสนองต่อ ปัจจัยต่างๆ ทางด้านสภาพอากาศนั้นได้กล่าวถึงอย่างกว้างขวางในสัตว์หลายชนิด (Yousef, 1979; Salem, *et. al*., 1982; Yousef, 1976) ถ้านำสัตว์ไปอยู่ในสภาพอากาศร้อนอย่างทันทีทันใด จะทำให้มีการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสัตว์ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนเครียดนานจะทำให้การสร้างความร้อนลดลง

อย่างไรก็ตาม กรณีที่ ไม่มีการลดปริมาณอาหาร การเพิ่มความร้อนที่กระเพาะรูเมน (rumen) โดยใช้ความร้อน จากภายนอกร่างกายที่ระดับ 523 และ 1255 จูลต่อชั่วโมง ทำให้ร่างกายสร้างความร้อน ลดลง (Yousef *et al*., 1968) นั่นก็คือการสร้าง ความร้อนของสัตว์ในขณะที่พักผ่อนนั้น จะถูกลดลง ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากความร้อนมากกว่าการลดปริมาณอาหาร (Webster, *et. al*., 1969; Young, 1975; Christopherson, *et. al*., 1979)

2.6.4 อาหารและน้ำ สำหรับสัตว์ในขณะที่พักผ่อนในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเป็นกลาง อัตราการ สร้างความร้อนส่วนมากขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของอาหารที่กิน การอดอาหารทำ ให้การสร้างความร้อนลดลง แต่ระดับโภชนาหารก่อนการอดอาหารมีอิทธิพลต่อการสร้าง ความร้อนในขณะอดอาหาร (Graham, 1967) ตัวอย่างเช่น อัตราการสร้างความร้อนของ แกะที่อยู่ในอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่เป็นกลางนั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อระดับ โภชนาหารที่กินเข้าไป อย่างไรก็ตาม ระดับโภชนาหารที่กินเข้าไปไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเพิ่มของการสร้างความร้อนในสภาพแวดล้อมที่หนาวเย็น ไม่เพียงแต่การกิน

อาหารตามความต้องการของร่างกาย เท่านั้น การกินอาหารนอกเหนือความต้องการของร่างกายก็เพิ่มการสร้างความร้อน ในสุกร (Stombaugh, and Grifo, 1977) ส่วนการเพิ่มระดับโภชนาหารในสัตว์กีบทำให้อุณหภูมิวิกฤติสูงและอุณหภูมิวิกฤติต่ำลดลงในขณะที่อยู่ในสถานที่มีอุณหภูมิสูงและต่ำ ตามลำดับ (Blaxter,1967; Ingram, 1979; Mount, 1979; Whittow, 1971) ในสัตว์มีกีบหลายๆ ชนิดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนและเย็น (EI-Nouty, *et. al*., 1978; Yousef, 1976) การให้กินน้ำในปริมาณที่จำกัด หรือการขาดน้ำ ทำให้สัตว์ที่กำลัง พักผ่อนสร้างความร้อนลดลง

เมื่อต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อน สัตว์จะมีปฏิกิริยาตอบสนองในขั้นต้นด้วยการเริ่มเร่งการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มอัตราการสูญเสียความร้อน ถ้าหลังจากนี้แล้วยังไม่สามารถทำให้ความร้อนของร่างกายมีความสมดุลกลับคืนมาได้ สัตว์ก็จะมีแนวโน้มที่จะลดระดับการสร้างความร้อนในร่างกายโดยวิธีต่าง ๆ เช่น ลดปริมาณอาหาร ลดการเคลื่อนไหวร่างกาย เนื่องจากปริมาณความร้อนที่สร้างขึ้นมาในร่างกายนั้นมีความสัมพันธ์กับระดับสมรรถนะ ฉะนั้นการปรับระดับการสร้างความร้อนในร่างกายส่วนมากจึงขัดแย้งกับจุดประสงค์ในการผลิตสัตว์ อีกทั้งเพื่อชี้แจงให้เห็นความสำคัญของการสร้างความร้อนในสภาพแวดล้อมที่ร้อน และเข้าใจขั้นตอนการแก้ไข ดังนั้นจึงควรแยกอัตราเมแทโบลิซึม และการสร้างความร้อนตามกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายออก โดยไม่คำนึงถึงเนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่ให้ความร้อน แต่คำนึงถึงสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดการสร้างความร้อน (McDowell, 1972 a,b) สถานการณ์ต่าง ๆ รวมทั้งองค์ประกอบของการสร้างความร้อนในร่างกาย

สภาพแวดล้อมส่วนมากในโลกนี้ ความร้อนจะต้องสูญเสียจากร่างกาย และเมื่อถึงเวลาอันเหมาะสมอัตราการสูญเสียความร้อนจะถูกปรับโดยตัวกระทำการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหน่วยงานต่าง ๆ ภายในร่างกายเริ่มทำงาน นั่นคือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผิวด้านนอกเพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อน เปลี่ยนระดับการทำงานของประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่อยู่บริเวณใกล้ผิวหนัง และทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนโดย การระเหย การหอบ และ หรือขับเหงื่อ ในที่สุดโลหิตดำที่ไหลกลับมาจากเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านริมของร่างกายซึ่งความร้อนได้กระจายออกไปสู่สภาพแวดล้อมแล้วนั้นก็จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าโลหิตแดงที่เดินทางออกมาจากส่วนลึกของร่างกายซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่เนื้อเยื่อเหล่านั้น ในทางกลับกันเมื่อความร้อนที่สัตว์สร้างในตัวเองเมื่อสัตว์อยู่ในระยะพักผ่อน (basal metabolic heat production) นั้นได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจากกล้ามเนื้อหดตัวเช่นเดียวกันกับในกรณีที่มีการทำงานหรือออกกำลังกาย หรือกล้ามเนื้อสั่นตัว โลหิตดำที่ไหลออกมาจากกล้ามเนื้อที่สร้างความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าโลหิตแดงที่ไหลไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อเหล่านั้น ดังนั้นอุณหภูมิของโลหิตดำที่ไหลกลับมาสู่หัวใจจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปแล้วแต่เนื้อเยื่อที่โลหิตดำได้ไหลผ่านกลับมาสู่หัวใจ อุณหภูมิของโลหิตที่มาจากหลายๆ ส่วนของร่างกายจะผสมผสานกันอย่างดีในระหว่างที่วนเวียนอยู่ภายในหัวใจและปอด ดังนั้นอุณหภูมิของโลหิตแดงที่ออกจากห้องหัวใจด้านซ้ายจึงมีค่าเท่ากับค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลหิตดำที่ไหลกลับสู่หัวใจ อุณหภูมิของโลหิตที่ขั้วหัวใจจะถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อใดก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการสร้างความร้อน หรือมีการเปลี่ยนอัตราการสูญเสียความร้อน ไม่ว่าการเปลี่ยนแปลงนี้จะสืบเนื่องมาจากการรบกวนจากภายนอกหรือ

ภายในตัวสัตว์ หรือเนื่องมาจากการปรับอุณหภูมิให้เข้ากับอัตราการสร้างความร้อนหรือการสูญเสียความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากโลหิตแดงที่เดินทางไปถึงเนื้อเยื่อต่างๆ นั้น จะมีข้อมูลเกี่ยวกับผลการสร้างความร้อนและการสูญเสียความร้อนของตัวหน่วยปฏิบัติงาน ข้อมูลดังกล่าวถูกส่งกลับไปยังตัวรับความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิ ดังนั้นจึงสามารถที่จะรู้ได้ว่า องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับระบบการควบคุมในครั้งนี้มีอะไรบ้าง ดังนั้นการอธิบายถึงโครงสร้างของระบบดังกล่าวจึงอธิบายถึงความจำเป็นขั้นพื้นฐานของระบบการควบคุมหรือปรับอุณหภูมิของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้อมูลก็ใกล้เคียงกับระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ตามห้องทดลองทางสภาพแวดล้อม สิ่งเดียวที่แตกต่างกันก็คือระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ตามห้องทดลองทางสภาพแวดล้อมนั้นวิศวกรเป็นผู้ออกแบบและสร้างมันขึ้นมา ซึ่งหลักการทำงานของ ตัวควบคุมการทำงานซึ่งแปลสัญญาณที่เกิดจากการรบกวนให้ไปเป็นสัญญาณตอบสนองที่เหมาะสม ในทางกลับกันสัญญาณที่ถูกนำเข้าไปสู่ตัวรับความรู้สึกทางด้านความร้อนก็จะถูกแปลให้เป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกมาได้เรียกว่า สัญญาณส่งออก

การทำงานในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมนั้นยังไม่เข้าใจกันอย่างลึกซึ้งนัก แน่นอนที่สุดว่าการแปลสัญญาณที่ระบบประสาทส่วนกลางจากสัญญาณการรบกวน เช่น คำสั่งเพื่อกระทำการใดๆ ซึ่งเป็นจุดเด่นของโครงสร้าง และ การทำงานของระบบประสาทส่วนกลางโดยทั่วไปก็ไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก ในจุดต่างๆ ของร่างกาย การไหลของโลหิตแดงดังกล่าวนั้นประกอบด้วยการส่งข่าวตอบกลับหรือรายงานกลับของการสร้างความร้อนและการสูญเสียความร้อนที่ตัวหน่วยปฏิบัติงานมีต่อตัวรับความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิ

ดังนั้นจุดสำคัญของบทนี้ก็คือพิจารณาว่าสัญญาณต่างๆ จากตัวรับความรู้สึกทางด้านความร้อนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวที่ทำให้เกิดการปรับอุณหภูมิ (Thermoregulatory effectors) และความสำคัญในการพิจารณาครั้งนี้อาจมุ่งประเด็นไปที่ตัวชี้บทบาทของระบบประสาทส่วนกลางในการปรับหรือรักษาสภาพสมดุลทางความร้อนภายในร่างกายโดยทั่วไป มากกว่าที่จะมุ่งเน้นการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับอุณหภูมิของร่างกายในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

สภาวะโลกร้อนต่อการผลิตสัตว์

สภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นปรากฏการณ์อันเนื่องจากการที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้ จึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ปัจจุบันโลกของเรากำลัง ถูกปกคลุมด้วยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ที่มากเกินสมดุลของธรรมชาติ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะทำการเก็บกักความร้อนไม่ให้สะท้อนออกนอกผิวโลก ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น องค์การสหประชาชาติ ได้ประมาณการว่า อุณหภูมิของโลก จะสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 2-4 ^{o}C ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 20–50 ซม.ในเวลาอีก 10–50 ปีนับจากปัจจุบัน โดยสาเหตุหลักที่ทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) คลอโรฟลูโอโร คาร์บอน (CFC_3) และ โอโซน (O_3) ซึ่งมาจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์

เพื่อให้เหมาะกับการมีชีวิตอยู่ ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น (http://203.155.220.217/dopc/hotworld/hotworld.htm)

สภาพภูมิอากาศร้อนมีอิทธิพลจากสภาวะโลกร้อน มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในร่างกายซึ่ง Smith (1984) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของความร้อนกับผลผลิตของโค โดยได้แบ่งแหล่งความร้อนจากสภาพแวดล้อมทางสรีรวิทยาเป็น 2 ทาง คือ ผลทางตรงและผลทางอ้อม ผลทางตรง ได้แก่ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (ambient air temperature) รังสีจากแสงอาทิตย์ (radiation) ความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) และความเร็วลม (wind velocity) ซึ่งมีผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ส่วนผลทางอ้อม ได้แก่ ผลตอบสนองการกินอาหาร (feed intake) อัตราเมตาบอลิสม (metabolism rate) และการเปลี่ยนแปลงของต่อมไร้ท่อต่าง ๆ (endocrine functions) ซึ่งปัจจัยดังที่กล่าวมานี้ ล้วนเป็นผลสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อสมรรถภาพการให้ผลผลิตของโคนมในสภาพร้อนเครียด (Umpapol, 2002)

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของโค โดยทั่วไปสัตว์เลือดอุ่นมีช่วงอุณหภูมิแวดล้อม ที่ทำให้สัตว์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสบาย (thermo neutral zone) มีอัตราเมตาบอลิสมต่ำสุดโดยปราศจากการใช้กลไก การควบคุมอุณหภูมิโดยวิธีเพิ่มการระบายความร้อนเพื่อควบคุมร่างกายให้มีอุณหภูมิคงที่ ซึ่งช่วงอุณหภูมิกลางนี้ มีความแตกต่างกันไปในสัตว์แต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ แต่ละตัว เช่น ในโคพันธุ์ยุโรป ที่มีอุณหภูมิกลางอยู่ในช่วง 2–21 ^{O}C และโคพันธุ์อินเดียที่อุณหภูมิช่วง 10–27 ^{O}C หากอุณหภูมิแวดล้อมสัตว์ต่ำหรือสูงเกินกว่าช่วงนี้โคจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีรวิทยาและพฤติกรรมเพื่อควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ (Bond และ McDowell, 1972) Bligh (1985) ได้แบ่งกลไกในการควบคุมความร้อนออกเป็น 2 แบบ คือ การปรับตัวที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิร่างกายเพิ่มสูงขึ้น เช่น ควบคุมโดยขบวนการอัตโนมัติเป็นปฏิกิริยาการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่มีต่อความร้อนเกิดขึ้น โดยการทำงานร่วมกันของระบบประสาทกับฮอร์โมนและลดการเดินเข้าพักในร่มเงา การแช่ปลัก ลดการกินอาหาร ลดการเคี้ยวเอื้องและการเปลี่ยนแปลงเวลาแทะเล็มหญ้า เป็นต้น

สัตว์มีการระบายความร้อน (heat loss) อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากร่างกายมีขบวนการผลิตความร้อน (heat production) ตลอดเวลาเช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมเหมาะสม (neutral temperature) สัดส่วนของการระบายความร้อนกับการผลิตความร้อนจะสมดุลกัน ทำให้อุณหภูมิของร่างกายสัตว์คงที่ ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมไม่เหมาะสม จะทำให้สัดส่วนของกลไกทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Gebremedhin, 1985; Ferguson, 1971) ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมโคสูงขึ้นใกล้กับอุณหภูมิของร่างกายโคจะเริ่มระบายความร้อนโดยการระเหยน้ำผ่านทางการหายใจมีการหายใจถี่ขึ้น เพื่อระบายความร้อนและความชื้นทางปอด เกิดการหอบมีผลทำให้จำนวนกรดในเลือดลดต่ำลง เป็นสาเหตุของสภาวะการเป็นด่างของเลือด (alkalosis) เพราะมีการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นโดยตรงนอกจากนี้การกินอาหารของโคจะลดต่ำลงโดยอัตโนมัติ เพื่อลดการผลิตความร้อนจากการกินอาหารและโคจะมีอุณหภูมิร่างกายที่สูงขึ้นถ้าโคไม่สามารถระบายความร้อนออกได้ทัน (McDowell, 1972)

Legates และคณะ (1991) พบว่าอุณหภูมิแวดล้อมตัวสัตว์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิของร่างกายและอัตราการหายใจของโค กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้นอุณหภูมิ ร่างกายและอัตราการหายใจก็สูงขึ้นตาม สำหรับการแผ่รังสี ความดันไอน้ำในบรรยากาศ และการเคลื่อนที่ของอากาศมีความสัมพันธ์รองลงมาตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายดังกล่าวของสัตว์มีความสำคัญอย่างมากต่อการให้ผลผลิตทั้งการสร้างเนื้อและนม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตน้ำนมจากโคนมที่พันธุกรรมมีสมรรถนะในการให้น้ำนมสูง เนื่องจากพันธุ์โคที่มีผลผลิตน้ำนมสูงมักเป็นพันธุ์ที่มีการปรับปรุงพันธุ์มาจากเขตอบอุ่น หรือเขตหนาว ไม่เคยชินกับสภาพอากาศที่ร้อนมีอุณหภูมิสูง เมื่อมีการนำโคพันธุ์ดังกล่าวมาเลี้ยงในสภาพอากาศที่ร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ความชื้นทำให้การระบายความร้อนเป็นไปได้ยากขึ้น โคจำเป็นต้องมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดส่งผลให้โคกินอาหารน้อยลง แม่โคได้รับโภชนะต่าง ๆ ไม่พอเพียงต่อการผลิตน้ำนม ทั้งยังต้องสูญเสียพลังงานที่ได้จากอาหารไปในการปรับตัวเป็นจำนวนมาก เป็นผลทำให้ผลผลิตที่ได้ลดต่ำลงกว่าระดับผลผลิตที่ควรจะได้ เมื่อเลี้ยงในเขตอากาศที่หนาวเย็นกว่า (สมชาติ, 2531)

อุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงโคที่อยู่สุขสบายที่สุด คือ 5–15 ^{O}C แต่โคอาจทนความร้อนได้ไม่เกิน 27 ^{O}C ในโคพันธุ์ยุโรป และ ไม่เกิน 35 ^{O}C ในโคพันธุ์อินเดีย (Younas และคณะ, 1979; Moody และคณะ, 1967) นอกจากนี้อากาศร้อนชื้นยังเหมาะกับการเจริญเติบโตของพยาธิและแมลงดูดเลือดต่าง ๆ ในสัตว์ที่ไม่คุ้นเคยหรือไม่มีภูมิต้านทานจะถูกรบกวนมาก ทำให้สัตว์ลดการให้ผลผลิตลงได้อีกทางหนึ่ง (อัมพวัน และคณะ, 2534) และยังทำให้โคมีประสิทธิภาพด้านการสืบพันธุ์ของโคลดต่ำลงด้วย (Stott และ Williams, 1962; Ingraham และคณะ, 1974) ด้วยเหตุนี้การเลี้ยงโคในสภาพอากาศร้อนชื้นจึงมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและสมรรถภาพการให้ผลผลิต

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่ออุณหภูมิร่างกายของโค เมื่ออากาศที่แวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น และโคไม่สามารถระบายความร้อนออกได้ทันทำให้โคเกิดความเครียดจากความร้อน (heat stress) ยังผลให้อุณหภูมิทวารหนักของโคเพิ่มสูงขึ้น (Wise และคณะ, 1988) ดังนั้นจึงนิยมใช้อุณหภูมิทวารหนักเป็นตัวแทนของอุณหภูมิของร่างกายของโค (Rosenberger, 1979) Yousef (1985) ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไปจากเกณฑ์ปกติ สามารถเป็นดัชนีบ่งว่าสัตว์มีความรู้สึกอยู่อย่างสุขสบายหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิทวารหนักของโคนมสูงขึ้นเพียง 0.50 ^{O}C แสดงว่าโคเริ่มมีปัญหาในการระบายความร้อนออกจากร่างกาย โดยปกติสัตว์เลือดอุ่นสามารถรักษาอุณหภูมิร่างกาย ให้คงที่ภายในช่วงอุณหภูมิแคบ ๆ โดยในสัตว์เลี้ยงไม่ควรแปรปรวนมากกว่า 2.5 ^{O}C

McDowell (1972a) พบว่าถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า 21 ^{O}C โคพันธุ์ยุโรปจะมีอุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น Rhynes และ Ewing (1973) พบว่าโคพันธุ์ฮีรีฟอร์ด (Hereford) ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแวดล้อมระดับ 21 ^{O}C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ มีอุณหภูมิทวารหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม คือ เพิ่มขึ้น จากกลุ่มควบคุม 1.6 ^{O}C Younas และคณะ (1979) ได้ทำการทดลองกับลูกควาย พบว่าเมื่ออุณหภูมิ แวดล้อมสูงขึ้น ลูกโคจะมีอุณหภูมิทวารหนักเพิ่มขึ้น Hafez (1968)

สรุปจากการทดลองกับลูกโคว่า หลังจากการเลี้ยงลูกโคให้เกิดความเครียดจากความร้อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในห้องที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ ทำให้อุณหภูมิทวารหนักของลูกโคสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Rhynes และ Ewing (1973) โดยให้พ่อโคพันธุ์ฮีรีฟอร์ดอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิแวดล้อมระดับ 35.5 ^{O}C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระดับ 21 ^{O}C พบว่า โคที่อุณหภูมิแวดล้อมระดับ 35.5 ^{O}C มีอุณหภูมิทวารหนักสูงกว่าโคที่อุณหภูมิแวดล้อมระดับ 21 ^{O}C และการทดลองของ Bond และ McDowell (1972) ศึกษาในโคพันธุ์แองกัส พันธุ์ชอร์ตฮอร์น และพันธุ์ฮีรีฟอร์ด โดยกระตุ้นให้เกิดความเครียดในห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ พบว่าโคทุกพันธุ์และในทุกการทดลองมีอุณหภูมิทวารหนักที่สูงขึ้นเมื่ออยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิ 32 ^{O}C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับการอยู่ภายใต้อุณหภูมิสบาย (อุณหภูมิ 18 ^{O}C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์) Elvinger และคณะ (1992) ได้รายผลจากการเกิดความเครียดของโคที่กำลังให้นมว่า อุณหภูมิของทวารหนักสูงขึ้น ($P>0.01$) เมื่อเทียบกับโคที่ได้เกิดความเครียด Legates และคณะ (1991) พบว่า การให้โคอยู่ภายให้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ 40 ^{O}C โคจะมีอุณหภูมิทวารหนักเพิ่มขึ้น เพื่อปรับสมดุลความร้อนของร่างกาย

สำหรับความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่ออุณหภูมิร่างกาย ดังรายงานของ Quazi และ Shrode (1954) พบว่าภายใต้สภาพแวดล้อมของฟาร์ม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่ออุณหภูมิร่างกายโคเพียงเล็กน้อย แต่ในสภาพของห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ ความชื้นของอากาศมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่างกายโคมากกว่าสภาพในฟาร์ม Allen และ Donegan (1974) พบว่าสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงสามารถทำให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้นได้มากกว่าสภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่า ณ ที่มีอุณหภูมิเดียวกัน โดยสอดคล้องกับ Robinson และ Klem (1953); McLean และ Calvert (1972) รายงานว่า ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 35 ^{O}C การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทำให้การผลิตความร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากร่างกายไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ความชื้นสูงจะมีผลขัดขวางต่อระบบการระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิร่างกายและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่ออัตราการหายใจของโค สิ่งแรกที่โคมีปฏิกิริยาตอบสนองต่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงก็คืออัตราการหายใจ Younas และคณะ (1979) รายงานว่า อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการทนต่อความร้อนของโคได้ และพบว่าเป็นกลไกการควบคุมอุณหภูมิร่างกายอันดับแรกที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดความเครียดจากความร้อน (Kabuga, 1992) เช่น ในโคนมที่เลี้ยงที่อุณหภูมิสูง 26 ^{O}C มักพบว่ามีการหอบเกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทวารหนัก (Thompson, 1985)

Rhynes และ Ewing (1973) พบว่าโคฮีรีฟอร์ดเลี้ยงที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ระดับ 21 ^{O}C ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ จากนั้นนำมาเลี้ยงที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 35.5 ^{O}C ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่า มีอัตราการหายใจสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยเพิ่มขึ้นจาก 33.0 ± 1.0 ครั้งต่อนาที เป็น 69.0 ± 2.0 ครั้งต่อนาที

โดยปกติโคมีอัตราการหายใจอยู่ที่ประมาณ 10 – 30 ครั้งต่อนาที (Hafez, 1968) และจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นในเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น (McDowell, 1958; Bond และ McDowell, 1972; Singh และ Bhattacharyya, 1991) โดยกำหนดว่า ค่าวิกฤติของอัตราการหาย คือ 80 ครั้งต่อนาที (Kabuga, 1992) เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมยิ่งสูงขึ้น อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และโคจะแสดงอาการหายใจแบบ “ หอบ ” (“ panting ”) นั่นคือ อ้าปากหายใจและมีน้ำลายไหลยืด อัตราการหายใจในระดับนี้จะอยู่ที่ประมาณ 200– 00 ครั้งต่อนาที (Kabuga, 1992) เช่นเดียวกับ รายงานของ Bond และ McDowell (1972) ซึ่งพบว่าโคสายพันธุ์อินเดียที่เลี้ยงในอุณหภูมิสภาพแวดล้อม 32 ^{O}C มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว Singh และ Bhattacharyya (1991) ได้ทดลองให้โคอยู่ในอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูง โดยทำการศึกษาเป็นระยะเวลานาน 18 วัน โคจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการระบายความร้อนผ่านทางการระเหย และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของขบวนการเมตาบอลิสม ในอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมสูงขึ้น การตอบสนองของโคสาวและแม่โคจะเหมือนกัน (Allen และ Donegan, 1974) โดยมีอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในชั่วโมงแรกที่โคสัมผัสกับอากาศร้อนและจะรักษาระดับนี้ไปเรื่อยๆ ในชั่วโมงต่อ ๆ มาซึ่งแตกต่างจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทวารหนักที่มีการเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างช้า ๆ

เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น โคจะระบายความร้อนแบบมีการระเหยของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องโดยการปรับอัตราการหายใจให้ถี่ขึ้น จนกระทั่งเป็นลักษณะการหอบ ซึ่งการหอบมี 2 ระยะ ระยะแรกโคจะหายใจยาว และลึกตามด้วยการหายใจถี่ ระยะที่สองการหายใจจะถี่สั้นและมีความถี่มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบอาการลิ้นห้อย และน้ำลายไหลยืด เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องลมหายใจมักจะไม่ถึงปอด อาจสามารถกล่าวได้ว่า การแสดงการหอบระยะแรกของโคนมเป็นการแสดงให้รู้ว่าโคนมมีความเครียดเกิดขึ้นแล้ว ซึ่งอาการหอบหายใจเป็นกลไกภายในร่างกายที่ถูกสั่งการ โดยระบบงานในสมอง สิ่งที่ตามมากับการหอบ ก็คือ การไม่กินอาหาร การไม่เคี้ยวเอื้อง ซึ่งเป็นกลไกการลดปริมาณความร้อนที่จะถูกสร้างขึ้นในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงระยะที่หนึ่งเป็นระยะที่สอง ในโคที่โตเต็มวัยจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิทวารหนักประมาณ 40.5 ^{O}C และในระยะที่สองนี้อัตราการบีบตัวของหัวใจเพิ่มขึ้นตามมาด้วย (Yeates และคณะ, 1975) นอกจากนี้ Bianca (1965) ได้ชี้ให้เห็นว่าอัตราการหายใจที่สูงมีประสิทธิภาพในการกำจัดความร้อนออกจากร่างกายภายในระยะเวลาสั้น ๆ หากสัตว์นั้นยังคงมีอัตราการหายใจที่สูงติดต่อกันหลายชั่วโมง จะรบกวนการกินอาหาร การเคี้ยวเอื้องเพิ่มการผลิตความร้อนจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการสร้างผลผลิตน้ำนม

ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม มีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจน้อยกว่าอุณหภูมิ Kabuga (1992) พบว่าถ้าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น 1 ^{O}C มีผลต่ออัตราการหายใจของสัตว์มากกว่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ ถึง 41-43 เท่า Hafez (1968) พบว่าที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสัตว์จะอยู่อย่างสุขสบาย ถึงแม้จะมีความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง 20-90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ แต่ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิสุขสบาย และความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่ามีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่ออัตราการเต้นของชีพ

จรของโค อัตราการเต้นของชีพจรมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เป็นอันดับสาม รองจากอุณหภูมิทวารหนัก และอัตราการหายใจ และ ในสัตว์แต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ แต่ละตัว จะมีอัตรา การเต้นชีพจรแตกต่างกันไป (Dukes, 1955; Kabuga, 1992) ค่าปกติของอัตราการเต้นของชีพจรของโค คือ 60-80 ครั้งต่อนาที (Hafez, 1968) นอกจากนี้ยังความแตกต่างเมื่ออยู่ในฤดูกาลที่ต่างกัน Bhattacharyya และคณะ (1965) พบว่าอัตราการเต้นของชีพจรในฤดูหนาวมีค่าต่ำสุดและในฤดูร้อนมีค่าสูงสุด (Brody และคณะ, 1949; Mullick และ Kehar, 1959) เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น จะทำให้อัตราการ เต้นของชีพจรสูงขึ้นด้วย อัตราการเต้นของชีพจรสูงขึ้นในระยะแรก และหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดต่ำลง สอดคล้องกับการทดลองของ Harold และคณะ (1957) พบว่า โคที่เลี้ยงที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมระดับ 10 ^{O}C มีอัตราการเต้นของชีพจรต่ำกว่าโคที่เลี้ยงที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 26.7 ^{O}C อย่างไรก็ตาม Kabuga (1992) รายงานว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของชีพจร เมื่อโคเกิดความเครียดจาก สภาพแวดล้อมที่ร้อน

อิทธิพลของสภาพอากาศแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโลหิตวิทยาของโคเมื่อโคเกิดความเครียด จากความร้อนเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้ค่าฮีมาโตคริต และจำนวนเม็ดเลือดลดต่ำลง เนื่องจากกลไกการ ควบคุมความร้อนในร่างกาย โดยผ่านทางการขับเหงื่อ และความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดโลหิตจาง มี ปริมาณพลาสมาสูง เม็ดเลือดแดงแตกเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าฮีมาโตคริตลดต่ำลง (Hafez, 1968) Raghavan และ Mullick (1962) พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ให้ค่าสหพันธ์ทางลบกับ ค่าฮีมาโตคริตและฮีโมโกลบิน นอกจากนี้อาจมีผลต่อจำนวนเม็ดเลือดขาว และจำนวนเม็ดเลือดแดง อย่างไร ก็ตาม Rusoff และคณะ (1954) พบว่าในฤดูร้อนถึงแม้ว่ามีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสัตว์สูงในระดับ 27 ^{O}C ก็ไม่มีผลต่อค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน จำนวนเม็ดเลือดขาว และเม็ดเลือดแดง Manresa (1934) รายงานว่า ในประเทศฟิลลิปินส์ เดือนที่มีอากาศร้อนที่สุด โคจะมีค่าฮีโมโกลบินที่ต่ำสุด และสูงสุดในเดือนที่มีอากาศ เย็น นอกจากนี้ภายในวันเดียวกันก็ยังมี ความแตกต่างของค่าฮีมาโตคริต คือในช่วงบ่ายหรือช่วงที่มีอากาศ ร้อน ค่าฮีโมโกลบินลดลงต่ำกว่าค่าฮีมาโตคริตในช่วงเช้า เย็น และกลางคืนซึ่งมีอากาศที่เย็นกว่า อย่างไรก็ ตาม Patterson และคณะ (1960) ไม่พบความแตกต่างของค่าฮีโมโกลบินในแต่ละวัน ดังนั้น Johnson (1985) เสนอให้ใช้ค่าฮีโมโกลบินเป็นดัชนีในการประเมินค่าความสามารถในการทนต่ออากาศร้อนของโค โดยโคที่ มีค่าฮีโมโกลบินสูงจะสามารถทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าโคที่มีค่าฮีโมโกลบินที่ต่ำกว่า ได้มีรายงานค่าโลหิต วิทยาของโคพันธุ์พื้นเมือง และพันธุ์โฮลสไตน์ในสภาวะต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าโลหิตวิทยาของโคพันธุ์พื้นเมืองไทย และพันธุ์โฮลสไตน์ในสภาวะต่างๆ

พันธุ์โค	ค่า ฮีมาโตคริต (%)	ค่า ฮีโมโกลบิล (g %)	จำนวน เม็ดเลือดขาว ($*10^3$ cell/mm^3)	จำนวน เม็ดเลือดแดง ($*10^6$cell/mm^3)	ที่มา
พื้นเมืองไทย	35.83±6.69	7.20±0.84	7.80	7.68	ชัยฤกษ์ (2522)
พื้นเมืองไทย	31.19±0.61	11.69±0.17	7.12±0.18	14.63±0.81	
โคขุน (ไม่ระบุพันธุ์)	24 - 46	8 - 15	4 - 12	5 - 10	Bannett และคณะ (1989)

อิทธิพลสภาพแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฮอร์โมนคอร์ติโซล ความเครียดเนื่องจากความร้อนที่รุนแรง อาจมีผลให้การไหลเวียนเลือดไปยังลำไส้ใหญ่ลดต่ำลง เพื่อลดการผลิตความร้อนจากการเผาผลาญอาหาร แต่เพิ่มการไหลเวียนเลือดไปที่ลิ้นและต่อมหมวกไต ส่งผลให้เมตาบอลิสมของต่อมหมวกไตเพิ่มขึ้น จึงเพิ่มการขับออกของ Cathecholamine และ Corticosteroids (Hafez, 1968) Abilay และคณะ (1975) รายงานว่าในวันที่โคเกิดความเครียดจากความร้อน ระดับฮอร์โมนคอร์ติโซลมีค่าสูงขึ้น ชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองของ adrenalcortical อย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นผลจากการกระตุ้นตัวรับความรู้สึกที่บริเวณผิวหนังเกิดกระแสประสาทไปยังไฮโปธารามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้า ทำให้เกิดการทำงานของกลไก การหลั่งฮอร์โมนคอร์ติโซลจากต่อมหมวกไต แต่เมื่อพบกับความเครียดจากความร้อนอย่างคงที่ เป็นระยะเวลานาน ฮอร์โมนคอร์ติโซลมีปริมาณลดลง อาจเป็นเพราะกลไกการปรับตัวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการผลิตความร้อนจากขบวนการเผาผลาญสารอาหาร เนื่องจากการทำงานของฮอร์โมนคอร์ติโซลที่มากเกินไป (Bergman และ Johnson, 1963) หรืออาจเป็นเพราะการปรับตัวของเมตาบอลิสมของฮอร์โมนคอร์ติโซลโดยการทำให้เอ็นไซม์ 17-hydroxylase ซึ่งเอ็นไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนคอร์ติโซลจากฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ในส่วนเปลือกของต่อมหมวกไต ไม่สามารถทำงานได้ หรืออาจเป็นเพราะการยกระดับ threshold หรือ set point sensitivity ของเปลือกต่อมหมวกไตในหนูทดลองที่สูงขึ้น (Yates และคณะ, 1961)

โดยสรุปในสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จะมีผลกระทบต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต สุขภาพ และการปรับตัวให้เข้าสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะร่างกายจะต้องปรับปรุงเพื่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาทั่วไป เพื่อให้สามารถรักษาสมดุลความร้อนในร่างกายให้คงที่ จึงกระทบต่อขบวนการเมตาบอลิสมของสัตว์ แต่ในโคพื้นเมืองที่มีพันธุกรรมที่อาศัยอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical zone) ซึ่งมีวิวัฒนาการทางพันธุกรรมมากเป็นเวลานาน จึงเป็นไปได้ที่มีขบวนการทางสรีรวิทยาที่สามารถปรับตัวให้กับสภาพแวดล้อมนี้ หากมีสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง เช่นในสภาพโลกร้อน ก็จะสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ จึงมีผลกระทบน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงทาสรีรวิทยา

ผลอิทธิพลของสภาพอากาศร้อนต่อสมรรถภาพการผลิต

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมที่มีต่อปริมาณอาหารที่โคกินสภาพอากาศร้อนมีผลต่อความผันแปรของปริมาณอาหารที่แม่โคกิน ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Maust และคณะ, 1972) เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่โคกินจะลดลง และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสภาพแวดล้อม และปริมาณอาหารที่โคกินจะเป็นสัดส่วนกันโดยตรง โดยทั่วๆ ไปแล้ว อาหารที่โคกินจะเพิ่มขึ้นตามอายุ แต่เมื่อคิดเทียบปริมาณอาหารที่ โคกินต่อน้ำหนักตัวของโคแล้วกลับลดลงเมื่อโคมีอายุมากขึ้น อุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นก็มีผลต่อปริมาณอาหารที่โคกิน เช่น ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26.7 ^{O}C ปริมาณอาหารที่โคกินจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำกว่า (Smith, 1984) และความชื้นในอากาศมีผลต่อปริมาณอาหารที่โคกิน ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า 23.9 ^{O}C และหากอุณหภูมิแวดล้อมต่ำกว่า 23.9 ^{O}C แล้ว ความชื้นในอากาศแทบไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่โคกินเลย (Winchester, 1964)

Stermer และคณะ (1986) พบว่าการกินได้ของโคจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสภาพการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 29.3 ^{O}C เมื่อเทียบกับ 20.3 ^{O}C และโคจะสามารถกินได้มากที่อุณหภูมิ 20.3 ^{O}C ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานทดลองของ Maust และคณะ (1972) สำหรับการแสดงพฤติกรรมการกินได้ของโคที่เลี้ยงในสภาพแตกต่างกันนี้ Shultz (1984) พบว่าภายใต้สภาพอากาศที่มีร่มเงา เมื่อเทียบกับสภาพอากาศร้อนไม่มีร่มเงาการกินได้ของโคจะลดลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพอากาศซึ่งไม่มีร่มเงา ในทำนองเดียวกัน Smith (1986) กล่าวว่าการลดการกินอาหารของโคเป็นผลตอบสนองทางกายภาพต่อสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อลดการผลิตความร้อนจากขบวนการเมตาบอลิสม และเพิ่มอัตราการหายใจ การกินน้ำ และลดการเคลื่อนไหว การแสดงออกนี้เกี่ยวข้องกับ thermo-regulatory system โดยมี hypothalamus เป็นตัวควบคุม โดยสอดคล้องกับ NRC (1988) พบว่าโคที่เลี้ยงในที่มีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงนาน ๆ ได้รับอาหารหยาบ 60-65 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้น 35-40 เปอร์เซ็นต์ โคจะกินอาหารน้อยลง แต่แสดงผลไม่เด่นชัด ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25-27 ^{O}C แต่จะลดการกินอาหารลงมากเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมมากกว่า 30 ^{O}C ทั้งนี้อาจเนื่องจากต้องการลดการผลิตความร้อนของขบวนการเมตาบอลิสมต่าง ๆ ภายในร่างกาย

โดยสรุปในสภาวะโลกร้อน จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนทางสรีรวิทยาของสัตว์ เช่น โค มีผลกรทบต่อขบวนการเมตาบอลิสม ซึ่งกระทบต่อศักยภาพการให้ผลผลิต แต่จากหลักฐานที่นำเสนอมาตั้งแต่ต้นจะเห็นได้ว่า การปรับตัวทางด้านพันธุกรรมของโคพื้นเมืองที่ผ่านวิวัฒนาการของการเปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติ โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ทำให้โคพื้นเมืองมีผลกระทบน้อยต่อการเปลี่ยนของสภาวะโลกร้อน

วัตถุดิบอาหารสัตว์

1. เมล็ดยางพารา (rubber seed)

1.1 ลักษณะทั่วไป

กากเมล็ดยางพารา เป็นผลพลอยได้จากการทำสวนยาง เมล็ดยางพารามีปริมาณน้ำมันสูงพอสมควร และน้ำมันนี้สามารถนำมาสกัดออกมาใช้ทางอุตสาหกรรมได้ กากเมล็ดยางพารา ที่เหลือจะมีโปรตีนประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่มีเยื่อใยสูงประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ กากเมล็ดยางพาราสามารถใช้เป็นแหล่งของโปรตีนสำหรับสุกรรุ่นและขุนได้เต็มที่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ในอุตสาหกรรมเกษตรได้จากการนำเอาเมล็ดยางพารามาบีบหรือสกัดน้ำมันออก มีทั้งชนิดกะเทาะและไม่กะเทาะเปลือกชนิดกะเทาะเปลือกมีโปรตีนระหว่าง 28-30 % เยื่อใย 28-29 % ชนิดไม่กะเทาะเปลือกจะมีโปรตีนต่ำกว่า คือประมาณ 16 % และมีกากสูงประมาณ 40-42 % อย่างไรก็ตามในกากเมล็ดยางพารามีกรดอะมิโนไลซีนและฮีสทีดีนสูง จึงใช้ผสมอาหารที่มีกรดอะมิโนทั้งสองนี้ต่ำได้ดี นอกจากนี้กากเมล็ดยางพาราจะมีกรดไฮโดรไซยานิก แต่ปริมาณของกรดนี้จะต่ำลงถ้าผ่านความร้อนหรือเก็บไว้เป็นเวลานาน ดังนั้นเมล็ดยางพาราเป็นผลพลอยได้ของกิจการสวนยางพาราที่ยังมีค่อยมีการนำมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควร Nwokolo (1990) ประมาว่าต่อเนื้อที่สวนยาพารา 1 ไร่ ใน 1 ปีสามารถก็บเมล็ดยาพาราได้ประมาณ 150-160 กิโลกรัม คิดเป็นเมล็ดกะเทาะเปลือก (60 %) ได้ประมาณ 100 กิโลกรัม หรือ 55 กิโลกรัม ของเมล็ดกะเทาะเปลือกแห้ง ในจำนวนนี้จะได้โปรตีนประมาณ 12 กิโลกรัม (22.5 %) และไขมัน 25-26 กิโลกรัม (49 %)

ภาพที่ 2.2 แสดงสวนยางพารา

ภาพที่ 2.3 แสดงเมล็ดยางพารา

ภาพที่ 2.4 แสดงกากเมล็ดยางพารา

1.2 องค์ประกอบทางเคมี

1.2.1 ส่วนประกอบทางโภชนาการกากเมล็ดยางพาราอัดน้ำมัน โดยเฉลี่ยกากเมล็ดยาพารากะเทาะเปลือกมีโปรตีน 26 % ไขมัน 10 % เยื่อใย 9 % และพลังงาน 2.1 Mcal ME/kg สำหรับสัตว์ปีก และ 2.4 Mcal ME/kg สำหรับสุกรหากไม่กะเทาะเปลือกเยื่อใยเพิ่มขึ้นเป็นกว่า 40 % และโปรตีนลดลงเหลือ 16 % โปรตีนในกากเมล็ดยางพารามีไลซีน เมทไธโอนีน และ ซีสทีนต์ ต่ำมาก และมีทรีโอนีน ไทโรซีน เฟนนิลอาลานีน และไอโซลูซีนค่อนข้างต่ำ กรดอมิโนของกากเมล็ดยางพาราที่มีระดับการใช้ประโยชน์ได้เฉลี่ย 80.3 % สำหรับไก่เล็ก โดยฮิสทิดีนมีระดับการใช้ประโยชน์ได้ต่ำสุด แต่ไลซีน ทรีโอนีนและซิสทีนใช้ประโยชน์ได้ดีปานกลาง (Nwokolo, 1990) ไขมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (79 %) โดยมีกรดลิโนลีอิค (C 18 : 2) ประมาณ 35 % และมีลิโนลินิค (C 18 : 3) สูง (17.3 %) เป็นประมาณ 3 เท่า ของน้ำมันถั่วเหลือง ระดับของแคลเซียมและฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่จะผันแปรไปกับปริมาณเถ้า และเป็นแหล่งที่ดีของเหล็ก สังกะสี และทองแดง

1.2.2 กากเมล็ดยางพาราสดมีสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค (100 มก. HCN/100 กรัม) อยู่ในรูปของกลัยโคไซด์ลินามาริน ระดับของ HCN สามารลดลงได้โดยวิธีการแปรรูป เช่น ในการเก็บกากเมล็ดยางพาราแห้งไว้ 1 เดือน สามารถลด HCN ลงได้ถึง 90 % และสามารถใช้ในอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องได้อย่างปลอดภัย หากใช้ในระดับที่สูงมากนัก และเสริมกรดอมิโน เมทไธโอนีน เพื่อช่วยกำจัดสารพิษเพิ่มเติม นอกจากนี้กากเมล็ดยางพารายังมีกอสซิพอล ทั้งในรูปที่ยึดเกาะกับโภชนะอื่น (bound gossypol 260-290 มก./กก.) กากเมล็ดยางพาราชนิดไม่สกัดน้ำมันมีกอสซิพอลชนิดอัดน้ำมัน (Abdullah and Hutagalung, 1981 อ้างตาม Hwokolo, 1990)

1.2.3 การใช้ประโยชน์

1) แหล่งพลังงาน

กากน้ำเมล็ดยาพาราที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะไม่กะเทาะเปลือกหรือกะเทาะเพียงบางส่วน จึงมีเยื่อใยสูง และเหมาะที่จะใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมากกว่า แต่งานวิจัยที่พบเห็นจะเป็นงานวิจัยในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องเป็นส่วนมาก ดังเช่น สุรัตน์ (2528) สรุปผลการวิจัยว่า การใช้กากเมล็ดยางพาราไม่กะเทาะเปลือกสามารถทดแทนอาหารพลังงานในอาหารนกกระทาได้ไม่เกิน 40 % สำหรับอาหารไก่เนื้อ (0-4 สัปดาห์) ไม่เกิน 35 % (สุรัตน์, 2528) สอดคล้องกับ ศิริชัย และคณะ (2526) พบไก่เนื้อสามารถใช้กากเมล็ดยางพาราได้ไม่เกิน 40 % (4-8 สัปดาห์) ในสุกรมีกลุ่มนักวิจัย (เทิดชัย และคณะ, 2520; ยุทธนา และคณะ, 2525 ก และ ข; นาม, 2527) สรุปได้สามารถใช้ในสุกรระยะรุ่น-ขุน ได้ไม่เกิน 20-30 % สำหรับสุกรอุ้มท้องและเลี้ยงลูก ใช้ได้มีเกิน 30 % (นาม, 2527)

2) แหล่งโปรตีนเสริม

กากเมล็ดยางพากะเทาะเปลือกทดแทนอาหารโปรตีน ในวิจัยเกี่ยวกับเนื้อ (Ragjaguru and Wettimuny, 1973) พบว่า ไก่เนื้ออายุ 2-3 สัปดาห์ สามารถใช้กากเมล็ดยาพาราทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 20 % และเมื่ออายุ 5-10 สัปดาห์ ทดแทนได้ไม่เกิน 25 % (Ong and Yeong, 1977) ในไก่ไข่

ระยะไก่รุ่น-สาว ทดแทนได้ไม่เกิน 25 % (Buvanendran and Siriwardene, 1970) และในระยะไก่ไข่สามารถทดแทนได้ไม่เกิน 20 % (Rajaguru, 1973) ส่วนในสุกรมีงานวิจัย (เทิดชัย และคณะ, 2520 และ Ong and Yeong, 1977) พบว่า สุกรในระยะรุ่น-ขุน กากเมล็ดยาพาราสามารถทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 15-20 %)

อย่างไรก็ตาม การเสริมกากเมล็ดยาพาราในสูตรอาหารต้องพิจารณาระดับการเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็นให้ครบถ้วนเพียงพอกับความต้องการทั้งสัดส่วนและปริมาณโดยเฉพาะในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง แต่ในการพิจารณาที่นำมาเป็นวัตถุดิบในอาหารโคพื้นเมืองไทย ซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอ้องนั้น มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้น้อยกว่า โดยเฉพาะคุณภาพโปรตีนจะลดความสำคัญลง เนื่องจากโปรตีนจะถูกหมัก (fermentation) ในกระเพาะรูเมน (rumen) เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการของจิลินทรีในการสังเคราะห์โปรตีน (microbial protein) ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือ กากเมล็ดยางพารามีไขมันระดับสูง ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับโคพื้นเมืองที่จะนำมาใช้ในขบวนการรักษาสมดุลความร้อนของร่างกาย ในสภาพอากาศร้อน ช่วงฤดูร้อน ซึ่งจะมีผลต่อการทนทานต่อความเครียดจากความร้อน (heat stress) และสามารถการปรับตัวทางสรีรวิทยาได้

2. เมล็ดฝ้าย (Cotton seed)

2.1 ลักษณะทั่วไป

ฝ้ายเป็นพืชค้างปีประเภทเส้นใย จัดอยู่ในตระกูล Malvaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium sp.* ชอบขึ้นในเขตร้อน ในประเทศไทยมีการปลูกฝ้ายกันมากทางภาคเหนือ บางจังหวัดในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น สุโขทัย เพชรบูรณ์ กาญจนบุรี เลย ปราจีนบุรี เป็นต้น ตามรายงานผลผลิตของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2540/2541 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวฝ้าย 350,000 ไร่ และได้ผลผลิตฝ้าย 78,000 ตัน เฉลี่ย 223 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดฝ้ายจะประกอบด้วยปุย (Linter) 4–6 เปอร์เซ็นต์ เปลือก (Seed-coat) 25–30 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อ (Kernel) 64–71 เปอร์เซ็นต์ ของเมล็ด หลังจากแยกปุยฝ้ายออกแล้วจะมีเส้นใยของฝ้ายเหลืออยู่บ้างเรียกว่าเมล็ดฝ้ายดิบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้มีปริมาณประมาณ 44,667 ตัน/ปี หรือเฉลี่ยประมาณ 144 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดฝ้ายดิบที่เข้าโรงงาน เพื่อหีบน้ำมัน อาจกะเทาะเปลือก หรือไม่กะเทาะเปลือกก่อนการหีบน้ำมันก็ได้ ส่วนที่เหลือหลังการหีบน้ำมันออกแล้วเรียกว่ากากเมล็ดฝ้าย (ชนิดกะเทาะเปลือก) หรือกากเมล็ดฝ้าย (ชนิดไม่กะเทาะเปลือก) เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี เนื่องจากจะมีคุณค่าทางอาหารเช่น โปรตีน เยื่อใย และพลังงานสูง

ภาพที่ 2.5 ลักษณะการปลูกฝ้ายแบบแถว

ภาพที่ 2.6 แสดงผลผลิตฝ้าย

ภาพที่ 2.7 แสดงเมล็ดฝ้ายที่ใช้สำหรับการทำกากเมล็ดฝ้ายในอาหารโคพื้นเมืองไทย

อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายเป็นอาหารสัตว์ จะมีขีดจำกัดในการใช้เนื่องจากปริมาณของสารกอสซิปอล (Gossypol) ในเมล็ดฝ้ายซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์ ถ้าสัตว์ได้รับสารนี้ในปริมาณมากเกินกว่าที่ร่างกายจะรับได้สัตว์จะถึงตาย สัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ไก่ สุกร จะสามารถต้านทานต่อสารพิษได้น้อยมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้กากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารในปริมาณมาก สำหรับโคกระบือสามารถใช้เมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารได้ในอัตราที่สูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว

2.2 ส่วนประกอบทางเคมี

เมล็ดฝ้ายดิบทั่วไปจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันประมาณ 15-24 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากะเทาะเปลือก (Seed coat) แล้ว จะมีปริมาณน้ำมันประมาณ 30-38 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดฝ้ายดิบเมื่อนำไปสกัดน้ำมันส่วนที่เป็นกากเมล็ดฝ้ายจะมีโปรตีนและเยื่อใยแตกต่างกัน แล้วแต่ว่าจะกะเทาะเปลือกหรือไม่ และรวมถึงขบวนการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาส่วนประกอบทางโภชนะที่มีในเมล็ดฝ้ายดิบและกากเมล็ดฝ้ายสกัดน้ำมันทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่ามีคุณค่าทางโภชนะเป็นอาหารสัตว์ได้

เมล็ดฝ้ายดิบจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำมีเยื่อใยและมีไขมันสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายทั้งสองชนิด กากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกมาก การกะเทาะเปลือกเมล็ดฝ้ายก่อนผ่านขบวนการสกัดน้ำมันทำให้กากเมล็ดฝ้ายมีปริมาณเยื่อใยต่ำกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกและเมล็ดฝ้ายดิบมาก ทั่วไปกากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกจะมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 32-50 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยประมาณ 10 – 21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะผันแปรไปตามคุณภาพของวัตถุดิบและวิธีการแยกเอาน้ำมันออก ในสภาวะที่กากเมล็ดฝ้ายมีราคาแพง เมล็ดฝ้ายดิบสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้

โดยตรง มีราคาถูกกว่ากากเมล็ดฝ้าย สามารถเก็บรักษาไว้ได้ง่าย เป็นเวลานาน และสะดวกกว่ากากเมล็ดฝ้าย จึงเหมาะจะนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อทดแทนโปรตีนจากแหล่งอื่นได้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางอาหารของเมล็ดฝ้ายดิบ กากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือกและกากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือก

ส่วนประกอบ (%)	เมล็ดฝ้ายดิบ [2/]	ชนิดของกากเมล็ดฝ้าย [1/]	
		ไม่กะเทาะเปลือก	กะเทาะเปลือก
วัตถุแห้ง	92.68	92.4	92.6
โปรตีนหยาบ	20.07	28.0	42.1
ไขมัน	23.06	5.2	6.1
เยื่อใย	26.74	21.4	10.5
แป้งและน้ำตาล	18.80	33.2	28.3
เถ้า	4.44	4.6	5.6
แคลเซียม	0.12	0.17	0.19
ฟอสฟอรัส	0.16	0.64	1.97
พลังงานรวม กิโลแคลอรี (Gross Energy)	5,178.0	-	-

แหล่งที่มา : [1/] ชวนิศนดากร (2530)

[2/] ฉัตรมงคล (2528)

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของกากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกที่ผ่านขบวนการสกัดน้ำมัน 3 วิธี เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ (%)	กากถั่วเหลือง อัดน้ำมัน[2/]	ขบวนการผลิต สกัดน้ำมัน (Prepress solvent) [1/]	อัดน้ำมัน [1/] (Screw press)	สกัดด้วย สารเคมี (Direct solvent)[1/]
วัตถุแห้ง	90.0	89.9	91.4	90.4
เถ้า	5.6	6.4	6.2	6.4
เยื่อใย	6.7	13.6	13.9	12.4
ไขมัน	4.7	0.58	3.72	1.51
โปรตีน	42.0	41.4	41.0	41.4
กอสซิปอลอิสระ (Free gossypol)	-	0.05	0.04	0.30
กอสซิปอลรวม (Total gossypol)	-	1.13	1.02	1.40
ไลซีน	2.7	1.71	1.59	1.76
ฮีสติดิน	1.10	1.10	1.07	1.10
อาร์ลานิน	2.6	4.59	4.33	4.66
ทรีโอนิน	1.7	1.32	1.30	1.34
เวลีน	2.20	1.88	1.84	1.82
เมทไธโอนิน	0.60	0.52	0.55	0.52
ไอโซลูซิน	2.80	1.33	1.31	1.33
ลูซิน	3.60	2.43	2.23	2.41
ฟีนิลอะลานิน	3.50	2.22	2.22	2.23
ทริปโตเฟน	0.60	0.47	0.50	0.52

ที่มา : [1/] Jones (1981)

[2/] อุทัย (2529)

จะเห็นว่ากากเมล็ดฝ้ายที่ผ่านขบวนการผลิตทั้ง 3 วิธี มีส่วนประกอบของโภชนะโดยเฉพาะโปรตีนและกรดอมิโนต่าง ๆ ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้ายที่ผ่านขบวนการผลิตด้วยวิธีอัดน้ำมัน (Screw press) จะมีปริมาณไขมันเหลืออยู่มาก มีคุณภาพของโปรตีนโดยเฉพาะกรดอมิโนไลซีนและกอสซิปอลอิสระรวมต่ำ อาจเนื่องจากความร้อนและความดันที่สูงในกรรมวิธีผลิต ทำให้การใช้ประโยชน์ของไลซีนลดลง กากเมล็ดฝ้ายที่ได้จากขบวนการสกัดน้ำมัน (Prepress solvent) จะมีไขมันและกอสซิปอลอิสระระดับต่ำ มีคุณภาพของโปรตีนอยู่ระดับปานกลางถึงระดับสูง ส่วนกากเมล็ดฝ้ายที่ได้จากขบวนการสกัดด้วยสารเคมี (Direct solvent) จะมีไขมันเหลืออยู่ปานกลาง มีกอสซิปอลอยู่ระดับสูง แต่จะมีโปรตีนและคุณภาพโปรตีนสูง นอกจากนี้กากเมล็ดฝ้าย สามารถย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง ซึ่งมีการย่อยสลายได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และกากเมล็ดฝ้ายมีราคาต่ำกว่ากาก

ถั่วเหลือง จึงมีการนำกากเมล็ดฝ้ายไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะโปรตีนของกากเมล็ดฝ้าย สามารถหลบเหลี่ยงการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้สูง นอกจากนี้กากเมล็ดฝ้ายยังมีกรดอมิโนไลซินและเมทไธโอนิน ค่อนข้างสูง

2.3 สารพิษในเมล็ดฝ้าย

ในเมล็ดฝ้ายจะพบสารที่เรียกว่า กอสซิปอล (Gossypol) เป็นสารประกอบประเภท Polyphenol และกรดไขมันกลุ่ม cyclopropenoid กอสซิปอลมี 2 รูป คือ รูปที่ยึดเกาะอยู่กับโปรตีน กอสซิปอลชนิดนี้จะไม่ทำให้เกิดพิษต่อสัตว์ แต่ถ้าเป็นกอสซิปอลที่อยู่ในรูปอิสระจะทำอันตรายต่อสัตว์อย่างมาก โดยเฉพาะสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ แพะ และแกะ เป็นต้น จะสามารถกำจัดพิษได้ โดยสารกอสซิปอลในรูปอิสระเมื่อเข้าไปในกระเพาะหมัก จะเข้ายึดกับโปรตีนที่ละลายได้

ในกระเพาะและโปรตีนที่ถูกกอสซิปอลเกาะยึดนี้ จะไม่ถูกย่อย หรือไม่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์อีกต่อไป ดังนั้นปริมาณของโปรตีนในกระเพาะหมัก จึงเป็นสิ่งสำคัญในการยึดเกาะของสารชนิดนี้ ในเมล็ดฝ้ายดิบจะมีสารกอสซิปอลอิสระ จำนวนมากประมาณ 0.4–1.4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเนื้อเมล็ด กากเมล็ดฝ้ายที่อัดน้ำมันโดยวิธี hydraulic press และ screw press จะพบกอสซิปอลในรูปอิสระประมาณ 0.05–2.0 เปอร์เซ็นต์ และ 0.02–0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในกากเมล็ดฝ้ายที่อัดน้ำมันโดยวิธีสกัดน้ำมัน (prepress solvent) จะมีกอสซิปอลอิสระ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในขณะใช้วิธีสกัดด้วยสารเคมี (Direct solvent) จะมีปริมาณของสารกอสซิปอลอิสระ 0.1–0.4 เปอร์เซ็นต์

อาการเกิดพิษที่พบในสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่ป่วยเนื่องจากสารกอสซิปอลในไก่กระทงที่ได้รับอาหารมีระดับของกอสซิปอลเกินกว่า 150 ppm จะทำให้ไก่ป่วยพบอาการแบบเรื้อรังมีอาการน้ำหนักลด กินอาหารน้อยลง เมื่อสัตว์ตายแล้วจะตรวจพบระบบหมุนเวียนของเลือดล้มเหลว เกิดการบวมน้ำที่ปอด เยื่อหุ้มหัวใจพอง ส่วนในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะทนทานต่อสารกอสซิปอลสูงสุด ถ้าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับสารนี้มากเกินไปและเป็นเวลานาน จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจตายและล้มเหลว หัวใจโต มีอาการหายใจหอบร่วมด้วย มีน้ำขังที่ปอด ในพ่อพันธุ์อาจมีผลต่อความสมบูรณ์พันธุ์ลดลง ถ้าสัตว์ได้รับสารกอสซิปอลในรูปอิสระระดับสูงกว่า 22 กรัม/ตัว/วัน โดยกอสซิปอลจะมีผลต่อเนื้อเยื่อที่สร้างตัวอสุจิ คุณภาพน้ำเชื้อลดลงอัตราการเจริญเติบโตต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการใช้เมล็ดฝ้ายดิบและกากเมล็ดฝ้ายจึงมีข้อจำกัดในการใช้เป็นอาหารสัตว์

2.4 การใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

เมล็ดฝ้ายดิบเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดหนึ่งที่มีโปรตีน เยื่อใยและพลังงานสูงนิยมใช้เป็นอาหารของโคนมมากในประเทศสหรัฐอเมริกาทางตอนใต้และตะวันตก เมล็ดฝ้ายมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สามารถป้องกันการหมักบูด หรือถูกย่อยสลายที่เร็วเกินไปได้ และสามารถกระตุ้นการขยายขนาดและพัฒนาของกระเพาะรูเมนได้ด้วย ในต่างประเทศมีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารโคนมกันมาก โคนมที่กินอาหารซึ่งเสริมเมล็ดฝ้ายโดยให้กินอาหารหยาบจำนวนจำกัด จะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ การเสริมเมล็ดฝ้าย 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้นให้แก่โครีดนมไม่ทำให้ปริมาณการกินหญ้า

แห้ง หญ้าหมัก อาหารข้นหรือปริมาณการกินของวัตถุแห้งเปลี่ยนแปลงจากเดิม แต่ปริมาณน้ำนมจะเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมจะต่ำลง มีการทดลองใช้เมล็ดฝ้าย 0.91 กิโลกรัมแทนที่อาหารผสมในปริมาณที่เท่ากัน เลี้ยงแม่โคกำลังรีดนมปรากฏว่าปริมาณน้ำนมคงที่แต่น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น สำหรับในประเทศไทยมีการใช้เมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารข้น 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนอาหารข้นที่แม่โคได้รับในแต่ละวัน จะได้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น คุณภาพน้ำนมและปริมาณอาหารที่กิน ไม่แตกต่างจากเดิม แต่จะทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำนม 1 กก.ต่ำกว่าการใช้อาหารข้นล้วน ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้เมล็ดฝ้ายทดแทนอาหารข้น อาจต้องจำกัดอยู่เฉพาะแม่โคที่ให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูงนัก (12 กก./ตัว/วัน) ถ้าแม่โคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง ๆ การใช้เมล็ดฝ้ายในปริมาณสูง สัตว์จะได้รับสารกอสซิปอลเพิ่มขึ้นและประกอบกับความเครียดในสัตว์ จึงแนะนำโดยทั่ว ๆ ไป ไม่ควรเสริมเมล็ดฝ้ายเกิน 3.17 กก./ตัว/วัน แม้ว่าเมล็ดฝ้ายจะให้พลังงานสูง แต่ถ้าแม่โคได้รับมากเกินไปอาจทำให้ท้องร่วงได้ การใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารเลี้ยงโคนมจะมีผลทำให้อัตราส่วนของกรดอะซิติคและกรดโปรพิโอนิคในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น

กากเมล็ดฝ้าย (Cotton seed meal) มีโปรตีนตั้งแต่ 36 ถึง 41 เปอร์เซ็นต์ ผันแปรกับกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน และปริมาณเปลือกเมล็ดที่ปะปน มีเยื่อใย 10–15 เปอร์เซ็นต์ และ ไขมัน 0.5–5.0 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.86–2.40 Mcal ME/Kg สำหรับไก่ และ 2.56–2.70 Mcal ME/Kg สำหรับสุกร (NRC., 1998) กากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษอยู่ 2 ชนิด คือ กอสซิพอล (gossypol) เป็นสารประกอบ polyphenols สีเหลือง ละลายได้ในไขมัน อยู่ในต่อมของเสมอฝ้าย ชนิดที่สอง คือ กรดไขมันกลุ่ม cyclopropenoid เช่น sterculic มีบทบาทเข้าขัดขวางการสร้างพันธะคู่ของกรดไขมัน (desaturation) ทำให้คุณสมบัติในการปล่อยการซึมผ่าน (permeability) ของผนังเซลล์เปลี่ยนไป การพัฒนาพันธุ์ฝ้ายที่ไม่ให้มีต่อมน้ำมันบนเสมอ (glandless cotton) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะลดพิษ และเปิดโอกาสให้สามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์ได้สูงขึ้น (สาโรช, 2547)

มีรายงาน (จินดา และคณะ, 2537) ยืนยันว่าสามารถใช้เมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารโคเนื้อแทนกากเมล็ดฝ้ายหรือส่วนผสมของกากเมล็ดฝ้ายกับกากถั่วเหลืองได้ดี มีผู้ใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารเสริมโปรตีนโดยไม่ใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นเลย เทียบกับการใช้กากเมล็ดฝ้ายเลี้ยงโคเนื้อ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพซากไม่ต่างกัน สำหรับในประเทศไทย มีผู้ได้ทดลองใช้เมล็ดฝ้ายผสมมันเส้นในอัตรา 1 ต่อ 1 เป็นอาหารเลี้ยงโคที่กำลังเจริญเติบโต ปรากฏว่าอาหารผสมนี้สามารถใช้เลี้ยงโคได้ดีและยังแนะนำอีกว่าควรมีอาหารเสริมโปรตีน เช่น ยูเรียร่วมด้วย จะทำให้สัตว์ได้รับโปรตีนที่ย่อยได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีรายงานผลการเปรียบเทียบการใช้กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย และเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมพันธุ์ผสมเพศผู้ขาว-ดำ หลังหย่านม ปรากฏว่า โคทุกตัวจะมีน้ำหนักเพิ่มตลอดการทดลองไม่แตกต่างกัน คือจะมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 532, 572 และ 505 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ การใช้กากเมล็ดฝ้ายมีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่าเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง ซึ่งการใช้เมล็ดฝ้ายจะให้ผลตอบแทนสูงที่สุดผลการใช้กากเมล็ดฝ้ายและเมล็ด

ฝ้าย ในสูตรอาหารเสริมขุนโคเทียบกับกากถั่วเหลืองโดยใช้หญ้าเต็มที่และใช้อาหารข้นเสริม 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการใช้กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย และเมล็ดฝ้าย

สิ่งที่ศึกษา	กากถั่วเหลือง	กากเมล็ดฝ้าย	เมล็ดฝ้าย
น้ำหนักเริ่ม (กก.)	140.6	143.2	140.8
น้ำหนักสิ้นสุด (กก.)	334.8	351.4	324.8
น้ำหนักเพิ่มทั้งหมด (กก.)	194.2	208.2	184
อัตราการเจริญเติบโต (กก./วัน)	0.532	0.572	0.505
ปริมาณอาหารที่กินวัตถุแห้ง (กก./วัน)	6.59	6.45	6.55
คิดเป็น % นน. ตัว	2.93	2.99	2.88
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร	12.39	11.28	12.98

แหล่งที่มา : จินดา และคณะ (2537)

สำหรับโคพื้นเมืองและกระบือที่เลี้ยงปล่อยแทะเล็มในช่วงฤดูฝน ถ้าใช้กากเมล็ดฝ้าย (30 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน) เสริมในอัตรา 0.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว กระบือจะโตดีกว่าโคพื้นเมืองและการเสริมด้วยกากเมล็ดฝ้าย สัตว์จะมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักต่อหน่วยต่ำและสะดวกดีกว่าการเสริมด้วยอาหารข้นโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะจะเลือกใช้เสริมกากเมล็ดฝ้ายเฉพาะระยะที่พืชอาหารสัตว์มีคุณภาพต่ำ อย่างไรก็ตาม การใช้เมล็ดฝ้ายดิบและกากเมล็ดฝ้ายก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับสารกอสซิปอล ดังนั้นการใช้เป็นอาหารเสริมไม่ควรเกิน 1-2 กก./ตัว/วัน หรือไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้งของอาหารที่สัตว์กิน/ตัว/วัน สำหรับโคกระบือพ่อพันธุ์ควรใช้ระดับต่ำมาก ๆ เช่น 0.5 กก./ตัว/วัน หรือไม่ใช้เลย

เมล็ดฝ้ายเป็นผลพลอยได้จากการปลูกฝ้าย มีปลูกกันมากในบางจังหวัดทางภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปีหนึ่ง ๆ จะมีเมล็ดฝ้ายดิบประมาณ 44,667 ตัน เมล็ดฝ้ายดิบเมื่อนำไปแยกเปลือกออกก่อนผ่านขบวนการอัดน้ำมันกากที่ได้เรียกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือก ซึ่งจะมีโปรตีนสูง มีไขมันและเยื่อใยต่ำกว่ากากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือก ผลพลอยได้จากฝ้ายทั้ง 3 ชนิด คือ เมล็ดฝ้ายดิบ กากเมล็ดฝ้ายชนิดกะเทาะเปลือกและกากเมล็ดฝ้ายชนิดไม่กะเทาะเปลือก สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร โคเนื้อ โคนม กระบือ หรือใช้เสริมโปรตีนสำหรับอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำแทนการเสริมด้วยอาหารข้นได้ดี ส่วนผลตอบแทนจะขึ้นกับราคาของแหล่งโปรตีนที่ทดแทน และราคาของอาหารข้น

อาหารผสมด้วยกากเมล็ดฝ้ายจะมีความน่ากินกว่าเมล็ดฝ้าย โดยระยะแรกแม่โคจะชอบกินอาหารมีเมล็ดฝ้ายน้อยกว่ากากเมล็ดฝ้าย แต่เมื่อแม่โคคุ้นเคยแล้ว จะชอบกินอาหารข้นเหมือนกัน สำหรับด้านสุขภาพสัตว์ไม่พบแม่โคแสดงอาการผิดปกติ ถึงแม้จะไม่ได้ตรวจสารพิษในอาหารผสม เนื่องจาก

สารพิษกอสซิโปลจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ รูปอิสระ จะเป็นพิษต่อสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่ในสัตว์เคี่ยวเอื้องเชื่อว่าไม่เกิดพิษ เพราะกอสซิโปลเมื่อเข้าไปในกระเพาะหมัก จะยึดติดกับโปรตีนในกระเพาะหมักและถูกทำลายพิษ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง โปรตีนที่ยึดเกาะสารกอสซิโปลแล้ว จะไม่สามารถถูกย่อยได้และมีอีกรูปแบบหนึ่งคือ กอสซิโปลที่ยึดเกาะกับโปรตีนในรูปนี้จะไม่เป็นอันตรายแก่สัตว์ (ปรารถนา, 2533)

กากเมล็ดฝ้าย (Cotton seed meal) มีโปรตีนตั้งแต่ 36 ถึง 41 เปอร์เซ็นต์ ผันแปรกับกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน และปริมาณเปลือกเมล็ดที่ปะปน มีเยื่อใย 10–15 เปอร์เซ็นต์ และ ไขมัน 0.5–5.0 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.86–2.40 Mcal ME/Kg สำหรับไก่ และ 2.56–2.70 Mcal ME/Kg สำหรับสุกร (NRC., 1998) กากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษอยู่ 2 ชนิด คือ กอสซิพอล (gossypol) เป็นสารประกอบ polyphenols สีเหลือง ละลายได้ในไขมัน อยู่ในต่อมของเสมอฝ้าย ชนิดที่สอง คือ กรดไขมันกลุ่ม cyclopropenoid เช่น sterculic มีบทบาทเข้าขัดขวางการสร้างพันธะคู่ของกรดไขมัน (desaturation) ทำให้คุณสมบัติในการปล่อยการซึมผ่าน (permeability) ของผนังเซลล์เปลี่ยนไป การพัฒนาพันธุ์ฝ้ายที่ไม่ให้มีต่อมน้ำมันบนเสมอ (glandless cotton) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะลดพิษ และเปิดโอกาสให้สามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์ได้สูงขึ้น (สาโรช, 2547)

ผลการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารโคนมที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำนมซึ่ง จินดา สนิทวงศ์ และคณะ (2542) ศึกษาการใช้กากเมล็ดฝ้ายและเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารข้นเลี้ยงโคกำลังรีดนม โดยใช้แม่โคนมพันธุ์ผสมโฮลส์ไตน์ ฟรีเซี่ยน ระดับสายเลือด 75 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 21 ตัว สุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่มใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block แม่โคทุกตัวจะเลี้ยงปล่อยให้แทะเล็มในแปลงหญ้า และให้อาหารข้นต่างกัน 3 สูตร (1) อาหารข้นซื้อจากบริษัท (ใช้เปรียบเทียบ) (2) อาหารข้นมีกากเมล็ดฝ้ายผสมระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร (3) อาหารข้นมีเมล็ดฝ้ายผสมระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ให้อาหารข้น 1 กิโลกรัม ต่อน้ำนมที่รีดได้ 2 กิโลกรัม ระยะเวลาทดลอง 108 วัน ผลการทดลองปรากฏว่า แม่โคกินอาหารสูตรมีกากเมล็ดฝ้ายผสม จะให้ผลผลิตน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่าแต่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าอาหารผสมเมล็ดฝ้าย ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณอาหารข้นที่โคกินเพื่อใช้ผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างกัน อาหารสูตรผสมกากเมล็ดฝ้ายมีราคาแพงกว่าอาหารมีเมล็ดฝ้าย การใช้เมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมจะให้ผลตอบแทนสูงกว่ากากเมล็ดฝ้าย

ดังนั้นกากเมล็ดฝ้าย (Cotton seed meal) เป็นแหล่งโปรตีนที่มีความสำคัญ ในการเลี้ยงสัตว์ในแถบที่ปลูกถั่วเหลืองน้อย กากเมล็ดฝ้ายเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพผันแปรมากตั้งแต่เลวไปจนถึงดีมาก ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของการผลิตกากเมล็ดฝ้ายมีส่วนประกอบของโปรตีนประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 8-15 เปอร์เซ็นต์ พลังงานย่อยได้ 2,500-3,000 kcal/กิโลกรัม คุณภาพโปรตีนค่อนข้างต่ำเพราะขาดไลซีน เมทไธโอนีนและซีสทีนมีสารพิษที่สำคัญ คือ gossypol และ sterculic acid จึงมีความเหมาะสมสำหรับเสริมในสูตรอาหารโคพื้นไทย ซึ่งจะสามารนำโภชนะที่มีอยู่มาใช้เพื่อการดำรงชีพและการสร้างผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในภาวะโลกร้อนการเสริมกากเมล็ดฝ้าย

ในสูตรอาหารโคพื้นเมือง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในกระบวนการรักษาสมดุลความร้อนในร่างกาย ควบคุมอุณหภูมิ โดยทำให้ร่างกายสามารถทนทานต่อความเครียดจากความร้อนได้เป็นอย่างดี

3. กากปาล์ม (palm oil meal, palm kernel meal/cake, PKM หรือ PKC))

3.1 ลักษณะทั่วไป

ปาล์มน้ำมัน (Elieis guineensis) เป็นพืชเศรษฐกิจที่กำลังเพิ่มความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทยในระยะ 10 กว่าปีที่ผ่านมา ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกว่า 1 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปาล์มกว่า 1.7 ล้านตันต่อปี พื้นปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญคือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง และสตูล และยังพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็มีพื้นที่ในการปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก เช่น ในจังหวัดสกลนคร นครพนม มุกดาหารและหนองคาย เป็นต้นกาก ปาล์มน้ำมันเป็นผลิตผลพลอยได้จากการน้ำมันจากเมล็ดปาล์มน้ำมัน กากปาล์มที่ใช้ควรจะเป็นชนิดกะเทาะเปลือก ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 14-16 % และยังมีไขมันเหลืออยู่ประมาณ 10-15 % และมีกากหรือเยื่อใย 14-15 % (Babjee, 1988) ผลพลอยได้นำไปเป็นอาหารสัตว์มีกากปาล์ม (palm press fiber) สิ่งปะปนในการทำน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์ (palm oil sludge) และกากเมล็ดปาล์มส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรทและโปรตีน ปริมาณไขมันที่เปลือกเมล็ดที่ประปนอยู่ กากเมล็ดปาล์มที่แยกกะลาออกหมดเป็นแล่งพลังงานและโปรตีนที่ดีของสัตว์ สามารถใช้ในอาหารสุกรและไก่ได้ถึง 30% ของสูตรอาหาร แต่ที่เหมาะสมในการใช้ คือระดับ 5% เพราะใช้มากจะทำให้เนื้ออาหารมีลักษณะฟ่าม สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง ส่วนวัวนมสามารถใช้ได้ถึง 8% โดยทำให้เพิ่มทั้งปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนม การกเมล็ดปาล์มที่ผลิตได้ในประเทศปีละประมาณ 40,000-50,000 ตัน และเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากปาล์มปลูกใหม่ทยอยออกผลเพิ่มขึ้น ดังนั้นคาดว่ากากเมล็ดปาล์มจึงเป็นทางเลือกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่นโอกาสต่อไป

ภาพที่ 2.8 แสดงการปลูกปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ 2.9 การออกทลายของปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ 2.10 แสดงทลายปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ 2.11 แสดงเมล็ดปาล์มน้ำมันที่แกะออกจากทลาย

ภาพที่ 2.12 แสดงกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

3.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบทางโภชการโดยเฉลี่ยของกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม พบว่า มีโปรตีนเฉลี่ย เท่ากับ 20 % ไขมัน 8 % เยื่อใย 15 % และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.90 Mcal ME/kg สำหรับสัตว์ปี และ 2.89 Mcal ME/kg สำหรับสุกร โปรตีนของกาลเนื้อในเมล็ดปาล์มมีความสมดุลของกรดอะมิโนระดับปานกลาง คือ มีอาร์จินีน เมทไธโอนีน และซิสทีน สูง แต่จะขาดไลซีนและทรีโอนีน ระดับของกรดอมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (Nwokolo, *et al.,* 1976) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 83.3 % (Onwudike, 1986a) ทั้งนี้ที่กากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีเมทไธโอนีนอยู่ระดับสูงกว่ากากถั่วเหลือง แต่ไก่เนื้อตอบสนองต่อการเสริม

เมทไธโอนีนในอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นแหล่งโปรตีนมีระดับการใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่า (Babatunde *et al*., 1975) ไขมันของปาล์มน้ำมันอุดมสมบูรณ์ไปด้วยกรดปาล์มมิติค (43.5 %) และโอลีอิค (36.6 %) และมีลิโนลีอิคเพียง 9.1 % (NRC., 1988) กว่าครึ่งของเยื่อใยในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็น NDF และมี galactomannans เช่น β-(1,4)-D-mannan อยู่สูง ซึ่งเยื่อใยเหล่านี้อาจถูกย่อยได้ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มดีขึ้น หากเติมเอนไซม์ที่เหมาะสมลงไป (Daund and Javis, 1992) กากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีแคลเซียมเฉลี่ย 0.3 % ฟอสฟอรัส 0.5-0.7 % และมีทองแดง 42 มก./กก. เหล็ก 356 มก./กก. แมงกานีส 135 มก.กก. ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และเป็นแหล่งที่มีไวตามินต่ำ ยกเว้น ไนอาซีน จะอยู่ในระดับ 44 มก./กก.

ดังนั้น กากเนื้อในเมล็ดปาล์มจัดว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ใกล้เคียงกับกากมะพร้าว แต่มีข้อสังเกตที่สำคัญคือ กากเนื้อในเมล็ดปาล์มส่วนใหญ่จะผลิตโดยโรงงานขนาดเล็ก ซึ่งซื้อเมล็ดปาล์มจากโรงงานน้ำมันปาล์มมาสกัดเอาน้ำมันในเมล็ด (2 % ของปาล์มสด) และจะได้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นผลพลอยได้ (2.0-2.1 % ของปาล์มสด) ดังนั้นคุณค่าทางโภชนาการจึงมีความผันแปรมากขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกะลาที่ปะปนมาก และกรรมวิธีการแยกน้ำมันของแต่ละโรงงาน

3.3 การใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์

ในสัตว์ปีก พบว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์มใช้ทดแทนกากมะพร้าว หรือกากถั่วลิสงได้ในระดับ 30 % ของสูตรอาหารไก่ แต่จะต้องเสริมกรดอะมิโน เช่น ไลซีนและเมทไธโอนีนเพื่อปรับสมดุลของอาหาร (Hutagalung, 1981 และ Onwukide, 1986 a, b) จากการรายงานของ วินัย และคณะ (2526) ทดสอบการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ซึ่งมีส่วนประกอบของโปรตีน 10.8 % ไขมัน 10.3 % และเยื่อใย 27.25 % พบว่า ในไก่เนื้อ (0-8 สัปดาห์) และไก่เล็ก (0-4 สัปดาห์) สามารถใช้อาหารที่มีส่วนผสมของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มได้ในระดับ 20 % และในไก่ใหญ่ (4-8 สัปดาห์) ใช้ได้สูงถึง 40 % ซึ่งก็มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนเนื้อที่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามมีงานวิจัย (สุธา และคณะ, 2535; สุธา และวินัย, 2539) ที่แสดงให้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มคุณภาพดี สามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อระยะแรก (0-3 สัปดาห์) ได้ไม่เกิน 20 % และในไก่เนื้อระยะหลัง (3 สัปดาห์ขึ้นไป) ใช้ได้ไม่เกิน 30 % ของอาหาร ทั้งนี้จะต้องพิจารณาการเติมกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมทไธโอนีนให้สูงกว่าปกติ (110-120 %) ร่วมกับการเสริมไขมันเพื่อยกระดับพลังงานในอาหารจาก 3.0 เป็น 3.4 Mcal ME/kg. จะกระตุ้นการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้อาหาร สอดคล้องกับ Panigrahi และ Powell (1991) ที่ใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ระดับ 30, 40 และ 50 % ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ซึ่งเสริมกรดอะมิโนและปลาป่น (11 %) กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก และการเสริมน้ำมันข้าวโพด เพื่อปรับค่าพลังงานและเพิ่มความน่ากินของอาหาร มีผลทำไก่เนื้อสามารถใช้กากเมล็ดเนื้อในปาล์มได้สูงถึง 50 % และมีงานวิจัย (เสาวนิต และคณะ, 2540; Onwedilke, 1988) ที่ทดลองการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มอย่างได้ผลดีในไก่พันธุ์สามารถให้ผลผลิตได้ดีเช่นเดียวกัน

ในสุกร พบว่า อาหารสุกรเล็ก (13.9) การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนเสริม 50 % ของโปรตีนของอาหารทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าสูงที่

ใช้กากถั่วเหลือง เลือดป่น ปลาป่น หรือหางนมผง (Babatunde *et al*., 1975) สมรรถภาพการผลิตดีขึ้นหากมีการเสริมเมทไธนีน ในทำนองเดียวกัน ยุทธนา และสมเกียรติ (2532) ใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่มีโปรตีน 15 % ไขมัน 13.1 % และเยื่อใย 13.5 % ในอาหารสุกรขนาดน้ำหนัก 22-60 กิโลกรัม ซึ่งต้องเติมกรดอะมิโนไลซีน 0.55 % การเสริมทรีโอนีนและ/เมทไธโอนีนร่วมกับไลซีนไม่ได้ทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรดีขึ้น จึงสรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์จากการเนื้อในเมล็ดปาล์มสามารถทดแทนรำละเอียดได้ในระดับ 20 % ของอาหารสุกรเล็ก โปรตีนหลักในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มควรเป็นโปรตีนคุณภาพดี เช่น ปลาป่น และ/หรือถั่วเหลือง และ Fetuga et al., (1977 a, b) สรุปผลการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มในอาหารสุกรรุ่น-ขุนว่าสามารถทดแทนเลือดป่น หรือกากถั่วสิสงได้ในระดับ 33 % ของอาหาร สุกรมีแนวโน้มที่จะกินอาหารที่กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ระดับสูงในปริมาณสูงขึ้นและสมรรถภาพการเจริญเติบโตกลับลดลง แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเติมกากน้ำตาลลงไปในระดับ 10 % ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ยุทธนา (2530) ทดลองในสุกรรุ่น-ขุนขนาดน้ำหนัก 37-95 กิโลกรัม พบว่า การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่มีโปรตีน 12.45 % ไขมัน 14.55 % และเยื่อใย 14.97 % ได้ในระดับ 30 % ในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.6 % และมีปลาป่นและกากถั่วเหลืองประกอบอยู่ 7.5 และ 8 %

ดังนั้นกากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีข้อจำกัดหากนำมาเลี้ยงในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ซึ่งต้อพิจารณาในเรื่องการย่อยได้ และการเติมกรดอะมิโนที่จำเป็น แต่หากนำใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยในโคพื้นเมืองไทยที่มีคุณลักษณะเลี้ยงง่าย กินเก่งและสามารถย่อยอาหารหยาบได้ดี แล้วจึงน่าจะมีความเหมาะสม เพราะกากเนื้อในเมล็ดปาล์มอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเป็นโภชนะที่ดี เช่น มีเยื่อใยและไขมันระดับสูง ซึ่งโคพื้นเมืองไทยสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี โดยเฉพาะใช้ในช่วงที่มีอากาศร้อน หรือในสภาพร้อนเครียด สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเพื่อปรับสมดุลความร้อนในร่างกาย ซึ่งจะมีผลต่อระบบสรีรวิทยาทั่วไป ค่าโลหิตวิทยา พฤติกรรมสวัสดิภาพสัตว์ และการเจริญเติบโตที่เหมาะสม

แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยี

1. ความหมายและแนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยี

แนวคิดเกี่ยวกับความหมายของเทคโนโลยีกันอย่างกว้างขวาง เช่น สัวสดิ์ (2517) ให้นิยามคำว่าเทคโนโลยี หมายถึง การนำเอาวิทยาศาสตร์ประยุกต์มาใช้ในสาขาต่าง ๆ ทำให้ให้มีการเปลี่ยนแปลงในระบบงานในทางที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลงทุนน้อย แต่ได้รับผลตอบแทนคุ้มค่า และมีประสิทธิภาพสูง สอดคล้องกับ วิจิตร (2520) สรุปความหมายของเทคโนโลยี คือการนำเอาเทคนิค วิธีการ ความคิด อุปกรณ์และเครื่องมือใหม่ ๆ มาใช้เพื่อแก้ปัญหา ทั้งในด้านการขยายปริมาณ และด้านคุณภาพ เช่นเดียวกันกับ อาณัติ (2523) ได้ให้ความหมายเทคโนโลยีคือการนำเอาวิทยาศาสตร์มาใช้เพื่อการพัฒนา ดิเรก (2535) ได้ให้ความหมายคำว่า เทคโนโลยี หมายถึง สิ่งที่ถูกปรับมาจากวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ ซึ่งครอบคลุม

ถึงทุกสิ่งที่จะอำนวยความสะดวกให้เกิดการพัฒนา รวมทั้งความรู้ ประสบการณ์ เทคนิค วิธีการที่ประสบผล เครื่องจักร เครื่องทุนแรง

ดังนั้นจึงสรุปความหมายของเทคโนโลยีว่า คือ ขบวนการนำเอาวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการพัฒนา ทั้งด้านความรู้ ประสบการณ์ เทคนิค วิธีการ เครื่องมือ รวมทั้งการเพิ่มปริมาณ และปรับปรุงคุณภาพ

2. การยอมรับเทคโนโลยี

การยอมรับนั้นเป็นกระบวนการทางจิตใจของบุคคล จะยอมรับหรือไม่เป็นการตัดสินใจด้วยตัวเอง ปัญหาอยู่ที่ว่า ทำอย่างไรที่จะจูงใจให้ยอมรับและนำไปปฏิบัติตาม มิได้ขึ้นอยู่กับเทคนิคและศิลปะในการจูงใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับแนวคิดหรือวิธีการใหม่ ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ ด้วย (บุญธรรม จิตอนันต์, 2536 : 257)

ดิเรก (2538) ได้อธิบายการยอมรับนวัตกรรมของแต่ละบุคคลหรือกลุ่มบุคคล จะมีมากน้อยหรือเร็วแค่ไหนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ ดังนี้

2.1 ผู้นำการเปลี่ยนแปลง ควรมีความสามารถและมีกลยุทธ์ที่เหมาะสม

2.1.1 มีความสามารถทำแผนปฏิบัติการ มีข้อมูลความต้องซื้อ (Demand) กับสัดส่วนความต้องการขาย (supply) ของผลผลิต มีความรู้ในเทคโนโลยีนั้นอย่างแท้จริง มีความสามารถในการเลือกสื่อและช่องทางเพื่อถ่ายทอดสาร มีการสนับสนุนด้านสินเชื่อและการฝึกอบรม

2.1.2 มีความสามารถในการถ่ายทอดเทคโนโลยี ปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริง

2.2 บุคคลหรือกลุ่มบุคคลเป้าหมาย มีองค์ประกอบสำคัญ ที่ทำให้เกิดการยอมรับนวัตกรรมมากกว่า รวดเร็วกว่า ได้แก่

2.2.1 ปัจจัยพื้นฐานของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลเป้าหมาย ได้แก่ ปัจจัยพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจ เช่น การศึกษา อายุ ขนาดที่ดินทำกิน รายได้ แหล่งน้ำที่ใช้ ความต้องการและความสนใจของบุคคล

2.2.2 การปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนในกลุ่ม ถ้าคนในสังคมมีการติดต่อกับภายนอกชุมชน ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อมโดยผ่านทางสื่อ จะทำให้รับรู้ความก้าวหน้า และการเปลี่ยนแปลงของชุมชน เกิดการแพร่กระจายของนวัตกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น

2.3 นวัตกรรมหรือเทคโนโลยี ประกอบด้วยคุณลักษณะดังนี้

2.3.1 องค์ประกอบภายในของเทคโนโลยี คือใช้แล้วลดต้นทุน สอดคล้องและเหมาะสมกับสิ่งที่อยู่ในชุมชน เข้าใจและปฏิบัติได้ง่าย ปัจจัยการผลิตหาง่ายในท้องถิ่น ประหยัดเวลาบำรุงรักษาง่าย

2.3.2 องค์ประกอบภายนอกที่สนับสนุนเทคโนโลยี ได้แก่ การยอมรับของตลาด การสร้างให้กลุ่มเป้าหมายเกิดพันธะสัญญา การผสมผสานนวัตกรรมนั้นกับงานเดิมในองค์กร หรืองานที่บุคคลทำอยู่แล้ว การลดความเสี่ยงในเรื่อง ทุน แรงงาน เวลา และผลตอบแทน

2.4 สภาพโครงสร้างขั้นพื้นฐานของสังคมและแรงผลักดันภายนอก ประกอบด้วย

2.4.1 ระบบและโครงสร้างพื้นฐานทางสังคม อาจเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา เช่น สังคมที่แบ่งชั้นวรรณะของอินเดีย สังคมที่มีขนบธรรมเนียมประเพณี ความเชื่อ ค่านิยมไม่สอดคล้องกับระบบใหม่ของเทคโนโลยี

2.4.2 ระบบและโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ที่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงของเกษตรกร ได้แก่นโยบายที่เหมาะสมของรัฐ เช่น การปฏิรูปที่ดิน การกำหนดระบบภาษีเพื่อปกป้องสินค้าในประเทศ ระบบข้อมูลด้านตลาดที่ทันสมัย ระบบสาธารณูปโภค

2.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมเชิงบูรณาการต่อสรีรวิทยาการปรับตัวการทนทานต่อความร้อนและ สมรรถภาพ การผลิตโคพื้นเมืองไทยภายใต้สภาวะโลกร้อนในระดับชุมชนการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยความหมายแล้ว เป็นการบูรณาการระหว่างการนำเอาแนวคิด ทฤษฎีงานที่ด้านวิทยาศาสตร์ การวิจัย นวัตกรรม เพื่อให้เกิดประโยชน์ซึ่งครอบคลุมถึงทุกสิ่งที่จะอำนวยความสะดวกให้เกิดการพัฒนา รวมทั้งความรู้ ประสบการณ์ เทคนิค วิธีการที่ประสบผล เครื่องจักร เครื่องทุนแรง มาใช้เพื่อการเลี้ยงโคพื้นเมืองไทยอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ซึ่งอธิบายในลักษณะ การนำเอาพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ อาหารและการให้อาหาร และการจัดการรวมถึงการสุขาภิบาลและการป้องโรค มาใช้เป็นปัจจัยในการผลิต ที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด

การจัดการเทคโนโลยีที่เหมาะสมในสภาพอากาศร้อน

1. อาหารและการให้อาหาร

การเพิ่มประสิทธิภาพการให้อาหารเป็นวิธีการที่จะทำให้โคให้ผลผลิตได้สูงสุดตามความสามารถทางพันธุกรรม ซึ่งโคจะต้องได้รับอาหารและโภชนะต่าง ๆ เพียงพอกับความต้องการในการดำรงชีพและให้ผลผลิต โดยเฉพาะในสภาพที่โคเกิดความเครียด (Stress) ดังเช่น ฤดูร้อน หรือ ฤดูฝน เป็นต้น การให้อาหารที่เหมาะสมและมีความน่ากินจะทำให้โคกินอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในกรณีของโคที่ให้ผลผลิตสูง และอยู่ในระยะต้นของการให้นม (peak of lactation) ซึ่งนับว่าเป็นระยะวิกฤตที่สุด เพราะโคต้องดึงโภชนะที่สะสมไว้ในร่างกายมาใช้เป็นจำนวนมาก ถ้าการจัดการด้านอาหารไม่ดีอาจทำให้เกิดผลเสียต่อผลผลิต สุขภาพและการสืบพันธุ์ของโคได้ ดังนั้นกลยุทธ์ในการทำให้โคกินอาหารได้สูงสุดจึงจัดเป็นหัวใจของการเพิ่มผลผลิตของโค (Wanapat, 1999)

อาหารที่โคกินเข้าไปจะถูกหมักย่อยในกระเพาะส่วนหน้าโดยจุลินทรีได้ผลิตผลส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันระเหยได้และโปรตีนของจุลินทรี กรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในตัวโค ส่วนโปรตีนของจุลินทรีที่สังเคราะห์ได้จะถูกย่อยและดูดซึมที่ลำไส้เล็กอาหารบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะส่วนหน้าก็จะเคลื่อนตัวต่อไปและอาจถูกย่อยในกระเพาะแท้และสำไส้เล็กดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในตัวโคเช่นกัน ดังนั้นโปรตีนที่ตัวโคได้รับจึงมาจาก 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ตัวจุลินทรีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นใน

กระเพาะส่วนหน้า และอาหารที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะส่วนหน้า แต่ไหลผ่านมายังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก แล้วถูกย่อยที่นั่น (Moran, 2002)

โคนมมีจุลินทรีช่วยในการย่อยอาหาร ซึ่งทำให้สามารถเปลี่ยนเยื่อใยหรืออาหารหยาบคุณภาพเลวให้เป็นพลังงานที่โคสามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ดังได้กล่าวมาแล้ว และสามารถเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน หรืออาหารโปรตีนคุณภาพต่ำให้กลายเป็นโปรตีนของตัวจุลินทรีซึ่งมีคุณภาพค่อนข้างดี นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์ไวตามินบีและไวตามินเคได้ จึงนับว่าจุลินทรีมีความสำคัญยิ่ง ดังนั้นจึงต้องพยายามจัดการให้สภาพในกระเพาะรูเมนเหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีให้มากที่สุด กล่าวคือต้องรักษาระดับ pH ให้เหมาะสมประมาณ 6.5–6.8 เพราะถ้าเป็นกรดมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรี และจะต้องให้ จุลินทรีได้รับโภชนะต่าง ๆ เช่น พลังงาน สารประกอบไนโตรเจน และ แร่ธาตุอย่างครบถ้วนเพียงพอ เพื่อให้สามารถเจริญเติบโตและทำการย่อยอาหารได้ดี ยิ่งจุลินทรีมีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นเพียงใดก็จะยิ่งมีประโยชน์ต่อตัวโคมากขึ้นเท่านั้น (Church, 1979)

การเลี้ยงโคในเมืองไทยได้ก้าวเข้ามาสู่ยุคของการใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มผลผลิตแล้ว และจะต้องมีการนำวิทยาการต่าง ๆ ทางด้านโภชนศาสตร์โคนมเข้ามาเกี่ยวข้องและประยุกต์ใช้การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพของเกษตรกรไทยจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องมีการพัฒนาและวิจัยอย่างจริงจัง ในขั้นแรกอาจต้องมีการนำแบบอย่างของต่างประเทศที่ใช้กันอย่างได้ผลมาปรับใช้ก่อนและค่อย ๆ ปรับปรุงเพื่อให้ตรงกับสภาพของเมืองไทยในภายหลัง การให้อาหารโคอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบความต้องการของโภชนะที่สำคัญของโครยะต่าง ๆ ทราบส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่จะใช้เลี้ยงและพยายามจัดสัดส่วนอาหารเพื่อให้ได้รับโภชนะเพียงพอและสามารถอำนวยสภาวะในกระเพาะหมักที่ เหมาะสมที่สุด ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือใช้อาหารหยาบคุณภาพดีอันจะทำให้สามารถใช้อาหารข้นลดลง หรือมีการใช้สารเพิ่มคุณค่าทางโภชนะหรือสารเสริมประสิทธิภาพการใช้อาหารร่วมในการประกอบอาหารโค นอกจากนี้ การจัดการฝูงโค โดยมีการแบ่งกลุ่มตามระดับการให้ผลผลิตจะทำให้ง่ายต่อการให้อาหารเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ และจะต้องมีการพิจารณาถึงวิธีการให้อาหารที่เหมาะสมและสะดวกในทางปฏิบัติ ซึ่งจะทำให้โคสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมขึ้นกว่าการจัดการแบบปรกติ (Wanapat, 1996)

การให้อาหารโคให้เพียงพอกับความต้องการและประหยัด จำเป็นต้องทราบความต้องการโภชนะที่สำคัญเป็นเบื้องต้น เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการโภชนะของโคนมที่เลี้ยงในสภาพร้อนชื้นและภายใต้การใช้อาหารหยาบที่มีอยู่ จึงจำเป็นต้องนำมาตรฐานของต่างประเทศมาปรับใช้ไปก่อน เช่น มาตรฐานของ NRC สหรัฐอเมริกา จากการศึกษาของ Promma *et al.* (1993) โดยใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรเป็นอาหารหยาบบางส่วนในการเลี้ยงโคนม พบว่า มาตรฐานดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ (NRC, 2001)

นอกเหนือจากความต้องการโภชนะต่าง ๆ ของโคนมแล้ว ฉลอง (2546) ได้แนะนำปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (Dry matter intake, DMI) ร่วมด้วย ซึ่งปกติจะมีค่าตั้งแต่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว (Body weight) ในโคที่ให้นมระดับต่ำกว่า 9–10 กิโลกรัม/วัน) หรือโคนมแห้ง ส่วนโคที่ให้นมระดับปานกลาง ผลผลิตนมระหว่าง 12–15 กิโลกรัม/วัน จะมีค่าประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และโคที่ให้นมสูงจะมีค่า 3.0–3.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว

การให้อาหารโคที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้ส่วนประกอบของโภชนะมาพิจารณาร่วมด้วย วิธีการที่ถูกต้องและแม่นยำ คือ ควรวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของอาหารเสียก่อนแล้วจึงประกอบสูตรอาหาร ดังเช่นที่ปฏิบัติกันในสัตว์กระเพาะเดี่ยวทั้งหลาย แต่เนื่องจากโคกินอาหารหยาบเป็นหลักจึงมีความแปรปรวนในแง่ของคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างมาก เพราะขึ้นอยู่กับระยะการตัด สภาพการใส่ปุ๋ย และอื่น ๆ อย่างไรก็ดี เนื่องจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของโภชนะโดยตรงมักไม่สะดวกในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงมักประมาณเอาจากข้อมูลที่มีอยู่ในเอกสารหรือรายงานผลการวิจัย จะเห็นได้ว่าข้อมูลคุณค่าโภชนะเป็นสิ่งจำเป็นและมีความต้องการสูงมาก ถ้ามีการซ้ำหลาย ๆ ครั้ง และมีฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพียงพอ จะสามารถทำให้การประมาณค่าแม่นยำขึ้น ข้อมูลดังกล่าวส่วนใหญ่อาศัยการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Proximate analysis) เป็นเบื้องต้น ดังนั้นถ้าสามารถปรับวิธีการวิเคราะห์ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศ และมีการตรวจสอบความแม่นยำอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์มาก (เมธา และ ฉลอง, 2544)

คุณค่าทางโภชนะที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงโคในเมืองไทย ได้แก่ พลังงานและโปรตีนในอาหารชนิดต่าง ๆ ปัจจุบันประเทศไทยมีข้อมูลด้านพลังงานในอาหารโคพื้นเมืองน้อยมาก ทั้ง ๆ ที่พลังงานเป็นปัจจัยทางโภชนะที่สำคัญในการให้ผลผลิตน้ำนมและอื่น ๆ การวิเคราะห์ค่าของพลังงาน ในเบื้องต้นไม่จำเป็นต้องลงในรายละเอียดถึงขั้นพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) แต่อาจใช้ค่าง่าย ๆ เช่น ยอดโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) หรือพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ในสภาพปัจจุบันกำลังพัฒนาวิธีการประเมินค่าพลังงานในอาหารโคโดยใช้การศึกษาการย่อยได้ในโคนม (*In vivo* digestibility) และจะสร้างสมการทำนายค่าพลังงานจากค่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งจะช่วยให้การประมาณค่าพลังงานแม่นยำขึ้นมาได้ระดับหนึ่ง ซึ่งอาจพัฒนาต่อไปจนได้ค่าเมตะโบไลซ์ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE_L) ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาการผลิตอาหารโคต่อไป (Wanapat, 1999)

2. การปรับปรุงด้านโภชนาการเพื่อลด Specific Dynamic Action (SDA)

1) การใช้บายพาสไขมัน

การเสริมบายพาสไขมันในอาหารโคนม พบว่าทำให้แม่โคนมได้รับพลังงานเพียงพอ ต่อการให้ผลผลิต Wrenn *et al*. (1978) รายงานว่าการเสริมบายพาสไขมันจากสัตว์ในระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร ในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ ระยะหลังคลอด 1–3 เดือน ที่ให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่า 20 กิโลกรัมต่อวัน ทำให้พลังงานย่อยได้เพิ่มขึ้นจากวันละ 220.08 เป็น 249.37 เมกะจูล ต่อตัว สอดคล้องกับ Andrew *et al*.

(1991) รายงานการเสริมบายพาสไขมันในรูปเกลือ Ca-LCFA มีชื่อทางการค้าว่า Megalac® ในสูตรอาหารระดับ 2.95 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารผสมสำเร็จรูป (TMR) ซึ่ง TMR ประกอบด้วย อาหารหยาบ ได้แก่ ข้าวโพดหมัก และอัลฟัลฟาหมักในสัดส่วน 50 เปอร์เซ็นต์ และอาหารข้นในสัดส่วนเท่ากัน เป็นอาหารให้แก่แม่โคนมพันธุ์โฮลสไตน์หลังคลอด พบว่า โคจะได้รับพลังงานรวมในอาหารน้อยกว่า แต่ค่าพลังงานย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์และพลังงานสุทธิสูงกว่า เช่นเดียวกัน Harrison *et al.* (1995) สรุปผลการเสริมบายพาสไขมันรูปเกลือ Ca-LCFA ในสูตรอาหารระดับ 2.7 และ 4 เปอร์เซ็นต์ของ TMR พบว่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) คือ 683 และ 682 กิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าเป็น 552 กับ 549 กิโลกรัม ในกลุ่มที่ได้รับการเสริม และไม่ได้รับการเสริมบายพาสไขมันตามลำดับ (P>0.05) นอกจากนี้ยัง พบว่า สภาพแม่โคนมมีคะแนนความสมบูรณ์ของร่างกาย มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05)

2) การใช้เมล็ดฝ้ายเสริมในสูตรอาหาร

กากเมล็ดฝ้าย (Cotton seed meal) มีโปรตีนตั้งแต่ 36 ถึง 41 เปอร์เซ็นต์ ผันแปรกับกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน และปริมาณเปลือกเมล็ดที่ปะปน มีเยื่อใย 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ และ ไขมัน 0.5 – 5.0 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.86–2.40 Mcal ME/Kg สำหรับไก่ และ 2.56–2.70 Mcal ME/Kg สำหรับสุกร (NRC., 1998) กากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษอยู่ 2 ชนิด คือ กอสซิพอล (gossypol) เป็นสารประกอบ polyphenols สีเหลือง ละลายได้ในไขมัน อยู่ในต่อมของเสมอฝ้าย ชนิดที่สอง คือ กรดไขมันกลุ่ม cyclopropenoid เช่น sterculic มีบทบาทเข้าขัดขวางการสร้างพันธะคู่ของกรดไขมัน (desaturation) ทำให้คุณสมบัติในการปล่อยการซึมผ่าน (permeability) ของผนังเซลล์เปลี่ยนไป การพัฒนาพันธุ์ฝ้ายที่ไม่ให้มีต่อมน้ำมันบนเสมอ (glandless cotton) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะลดพิษ และเปิดโอกาสให้สามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารสัตว์ได้สูงขึ้น (สาโรช, 2547)

การใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับโคพื้นเมืองไทยจำเป็นต้องคำนึงถึงประมาณโปรตีนที่ไหลผ่านกระเพาะหมัก ทั้งนี้เพราะโปรตีนไหลผ่านกระเพาะหมักจะช่วยกระตุ้นปริมาณการกินได้ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตมน้ำนม และการให้โคนมได้รับอาหารมีไขมันและโปรตีนสูง อาจจะช่วยลดการเคลื่อนย้ายไขมันสะสมจากร่างกายได้ (Preston & Leng, 1987) วัตถุดิบพวกสกัดน้ำมันและ มีไขมันสูงย่อมมีข้อจำกัดในการใช้และการเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ๆ เช่น กากถั่วเหลือง นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากคุณภาพของโปรตีนจะดีกว่าวัตถุดิบ โปรตีนจากพืชชนิดอื่น แต่มักจะมีราคาแพงและอาจขาดแคลนในบางฤดู จากการทดลองย่อยสลายกากถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับกากเมล็ดฝ้าย พบว่ากากถั่วเหลืองจะมีการย่อยสลายของโปรตีน ในกระเพาะหมักสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากากเมล็ดฝ้าย (Wanapat *et al*., 1985) นอกจากนี้ กากเมล็ดฝ้ายยังมีความผันแปรของโปรตีนและเยื่อใยในขบวนการแยกเอาไขมันออก มีสารกอสซิปอล และมีกลุ่มไขมัน cyclopropencid ซึ่งไม่เหมาะจะใช้เป็นอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Devendra, 1988) เมล็ดฝ้ายมีโปรตีนร้อยละ 20.6 เยื่อใย 21.5 เปอร์เซ็นต์ (Gohl, 1981) ซึ่งใกล้เคียงกับกากเมล็ดฝ้าย เนื่องจากมีโปรตีน 28 เปอร์เซ็นต์ สารเยื่อใยร้อยละ 21 แต่เมล็ดฝ้ายจะมีราคาถูก

สามารถเก็บรักษาไว้ได้ง่าย นาน และสะดวกกว่ากากเมล็ดฝ้ายมาก จึงเหมาะจะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนม เพื่อทดแทนโปรตีนจากแหล่งอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) การใช้กากเมล็ดปาล์มเสริมในอาหาร

กากเนื้อในปาล์ม (palm kernel meal : PKM) เป็นส่วนที่เหลือหลังจากสกัดน้ำมันเนื้อปาล์มมีลักษณะแห้งแข็ง นิยมใช้เป็นอาหารข้นของโค (Yeong, 1982) กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันยังมีอีกชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการสกัดน้ำมัน โดยสารละลายทางเคมีจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เรียกกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันชนิดนี้ว่า solvent extract palm kernel meal (SEM) จะมีโปรตีนสูงกว่ากากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ได้จากการหีบโดยวิธีทางกลหรือกายภาพ แต่มีไขมันต่ำกว่า ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์กระเพาะเดี่ยวได้ (อุทัย, 2526) ซึ่งมีส่วนประกอบทางโภชนะที่สำคัญ เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก เถ้า เท่ากับ 12.50, 16.70, 4.90, 16.50, 55.10, 8.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พลังงานทั้งหมด 4,548 kcal/kg และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 74.70 เปอร์เซ็นต์ (Kaun และคณะ, 1982)

Dalzell (1977) ทดลองเลี้ยงโค-กระเบือในส่วนปาล์มเพื่อให้ช่วยควบคุมวัชพืช โดยให้กากปาล์มน้ำมัน 3 ชนิด เป็นอาหารเสริมคือ กากเปลือกปาล์มน้ำมัน (PPF) กากเนื้อปาล์มน้ำมัน (PKM) และตะกอนจากโรงงานปาล์มน้ำมัน (OPS) จากการทดลองพบว่า OPS ใช้เป็นอาหารได้ดีเมื่อลดความชื้นลงเหลือ 75 เปอร์เซ็นต์ PPF ใช้เป็นอาหารโค-กระบือได้ในระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารโดยโค-กระบือออกไปแทะเล็มหญ้าในสวนปาล์ม

Webb และคณะ (1977) ทดลองใช้ส่วนผสมของมันเส้น กากเนื้อปาล์ม (PKM) และตะกอนจากโรงงานปาล์มน้ำมัน ซึ่งเรียกอาหารนี้ว่า censor เลี้ยงโค ปรากฏว่าได้ผลดีให้ผลตอบแทนต่อเงินทุนถึง 50 เปอร์เซ็นต์

4) การใช้กากเมล็ดยางพาราเสริมในอาหาร

กากเมล็ดยางพารา (Para rubber seed meal) เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดยางพาราของโรงงานผลิตน้ำมันพืช คุณสมบัติ กากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกมีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์กากเมล็ดยางพาราชนิดกะเทาะเปลือก มีโปรตีน 26-29 เปอร์เซ็นต์โปรตีนในกากเมล็ดยางพารามีคุณภาพใกล้เคียงกับกากถั่วลิสง เนื่องจากมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่ำ แต่มีไลซีนสูงข้อจำกัดในการใช้กากเมล็ดยางพารามีสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค เช่นเดียวกับในมันสำปะหลังสดถ้าใช้มากในสูตรอาหารจะทำให้สัตว์โตช้ากากเมล็ดยางพาราที่มีเปลือกมีเยื่อใยสูงข้อแนะนำในการใช้ควรใช้กากเมล็ดยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการลดสารพิษดังกล่าวโดยวิธีการ เช่นใช้กากเมล็ดยางพาราที่ได้จากการเก็บเมล็ดสดไว้เป็นเวลานานก่อนนำมาบีบน้ำมันหรือ การให้ความร้อนแก่เมล็ดยางพาราก่อนบีบน้ำมันควรใช้กากเมล็ดยางพาราระดับต่ำในสูตรอาหาร คือ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสัตว์เล็ก และ 20–30 เปอร์เซ็นต์ ในสัตว์ระยะรุ่น-ขุน และต้องเสริมไขมันหรือปรับระดับพลังงานให้พอเพียงด้วย

กากเมล็ดยางพาราได้จากการนำเอาเมล็ดยางพารามาบีบหรือสกัดน้ำมันออก มีทั้งชนิดกะเทาะและไม่กะเทาะเปลือก ชนิดกะเทาะเปลือกมีโปรตีนระหว่าง 28 – 30 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 28–29

เปอร์เซ็นต์ ชนิดไม่กะเทาะเปลือกจะมีโปรตีนต่ำกว่า คือ ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ และมีกากสูงประมาณ 40–42 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ในกากเมล็ดยางพารามีกรดอะมิโนไลซีนและฮีสทีดีนสูง จึงใช้ผสมอาหารที่มีกรดอะมิโนทั้งสองนี้ต่ำได้ดี นอกจากนี้กากเมล็ดยางพาราจะมีกรดไฮโดรไซยานิก แต่ปริมาณของกรดนี้จะต่ำลงถ้าผ่านความร้อนหรือเก็บไว้เป็นเวลานาน (ธาตรี, 2549)

จากการวิเคราะห์โภชนะของกากเมล็ดยาพารา จะเห็นได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาประสูติอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคพื้นเมืองไทย เนื่องมีโภชนะที่ให้ประโยชน์สำหรับการเจริญเติบโตอย่างพอเพียง และในปัจจุบันภาคตะวันออกเฉียงพื้นที่เป็นจำนวนมากที่ทำการปลูกยางพารา ซึ่งเกษตรกรจะนำมาประกอบสูตรอาหารได้ง่าย และราคาถูก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาสภาพและปัญหาการเลี้ยงโค

จากการศึกษางานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ ประเด็นสำคัญที่เป็นแนวทางด้านการศึกษาสภาพและปัญหาการเลี้ยงโคพื้นเมืองไทย โคเนื้อ หรือโคขุน มีดังนี้

ญาณิน และคณะ (2547) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพซากของโคลูกผสมเพศผู้ตอน จำนวน 506 ตัว ที่เลี้ยงโดยเกษตรรายย่อยที่เป็นสมาชิกโดยสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำ จำกัด จังหวัดสกลนคร โดยศึกษาปัจจัยทางด้านพันธุ์ น้ำหนักมีชีวิตสุดท้าย อายุเมื่อส่งฆ่าและระยะเวลาขุน พร้อมทั้งเก็บข้อมูลคุณภาพซากได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์ซากเสี้ยวหน้า เปอร์เซ็นต์ซากเสี้ยวหลัง ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก ปริมาณไขมันแทรกและความหนาไขมันสันหลังและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1985) ซากผลการศึกษาพบว่าโคลูกผสมเลือดชาร์โรเลส์มีเปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์ซากเสี้ยวหลังและขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมากกว่า อีกทั้งมีเปอร์เซ็นต์ซากเสี้ยวหน้าน้อยกว่ากลุ่มโคลูกผสมเลือดซิมเมนทอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้โคลูกผสมเลือดชาร์โรเลส์ยังมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมากโคลูกผสมเลือดบราห์มันและโคลูกผสมเลือดซิมเมนทอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ส่วนโคลูกผสมเลือดบราห์มันมีระดับคะแนนไขมันแทรกน้อยกว่าโคลูกผสมเลือดชาร์โรเลส์และโคลูกผสมเลือดซิมเมนทอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.016) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลของน้ำหนักมีชีวิตสุดท้ายภายใต้อิทธิพลของพันธุ์ต่อเปอร์เซ็นต์ซากและขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก รวมทั้งอิทธิพลของระยะเวลาขุนภายใต้อิทธิพลของพันธุ์และอายุเมื่อส่งฆ่าต่อปริมาณไขมันแทรก

สุทธิพงศ์ และคณะ (2547) ศึกษาโคลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมืองไทย เพศผู้ น้ำหนักประมาณ 150 – 160 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ตัว เลี้ยงด้วยอาหารข้นที่เสริมวิตามินอีในระดับ 0, 100, 200 และ 400 ppm ก่อนหรือหลังปล่อยลงแปลงหญ้าเป็นระยะเวลา 120 วัน ผลการทดสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ ของเนื้อสันนอก (loin, longissimus dorsi) ของโคแต่ละตัวพบว่า ค่าแรงตัดเฉือน (shear force) ของเนื้อในกลุ่มที่เสริมในระดับ 400 ppm ลดต่ำลงกว่ากลุ่มอื่น ๆ การเสริมทุกระดับไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของเนื้อที่เก็บทันที

ภายหลังสัตว์ตายและเนื้อแช่เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากกลุ่มที่ได้รับการเสริมที่ระดับ 100 ppm มีความแตกต่างจากกลุ่มอื่น ความสว่างเป็นมันวาว (lightness) มีค่าสูงที่สุดในกลุ่มที่มีการเสริมที่ระดับ 200 ppm ความแดง (redness) ของเนื้อที่ได้รับการเสริมในระดับ 400 ppm มีค่าต่ำกว่าทุกกลุ่ม ค่าความเหลือง (yellowness) ของเนื้อในกลุ่มที่เสริม 400 ppm ต่ำกว่ากลุ่มที่เสริม 200 ppm แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่เสริมและเสริมเพียง 100 ppm การเสริมทุกระดับไม่มีผลต่อความหืนซึ่งวัดจากปริมาณของ triobarbituric acid (TBA) ของเนื้อและคุณภาพในการบริโภคซึ่งดูจากความนุ่ม (tenderness) ความฉ่ำ (juiciness) รสชาติ (flavor) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptability)

กิตติ และคณะ (2547) ศึกษาค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตในโคพื้นเมืองไทย โดยใช้ข้อมูลโคพื้นเมืองไทยของกรมปศุสัตว์ ตั้งแต่ปี 2535– 544 จำนวน 2,108 บันทึก ประมาณค่าความแปรปรวนของลักษณะต่าง ๆ โดยวิธี Restriction Maximum Likelihood (REML) ผลจากการศึกษา พบว่า โคพื้นเมืองไทยมีค่าอัตราพันธุกรรมที่เป็นผลมาจากยีนโดยตรง (h^2) ของลักษณะการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 0.19–0.38 มีค่าอัตราส่วนอิทธิพลของยีนที่ผ่านทางแม่ (M_2) อยู่ในช่วง 0.14–0.21 มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของยีนโดยตรงกับอิทธิพลของยีนที่ผ่านทางแม่ (r_{am}) อยู่ในช่วง -0.50 ถึง 0.94 มีอัตราส่วนของสภาพแวดล้อมถาวรที่ผ่านทางแม่ (C^2) อยู่ในช่วง 0.01–0.14 และมีค่าอัตราซ้ำ (t) อยู่ในช่วง 0.20–0.50 สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ลักษณะปรากฏส่วนใหญ่ลักษณะสองลักษณะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกมีค่าอยู่ในช่วง 0.29–0.92 และ 0.22–0.87 ตามลำดับ จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าโคพื้นเมืองไทยมีค่าอัตราพันธุกรรมที่เป็นผลจากยีนโดยตรงของลักษณะการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นการที่ปรับปรุงพัฒนาพันธุกรรมลักษณะดังกล่าวให้มีค่าสูงขึ้นนั้น ควรจะปรับปรุงพันธุกรรมไปพร้อมกับการจัดการเลี้ยงดูโคในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุกรรมมีความก้าวหน้าเร็วขึ้นต่อไป

เกชา และคณะ (2541) วิเคราะห์สมรรถภาพของโคจากข้อมูลการผลิตโคขุนของฟาร์มลุงเชาว์ จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2540 ถึง มกราคม 2541 จำนวน 1,204 บันทึกด้วยโมเดลทางสถิติ พบว่า เดือนที่เริ่มขุนมีอิทธิพลต่อลักษณะที่ศึกษาทุกระยะการขุน ($P<0.01$) พันธุ์มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตระยะสร้างโครงและตลอดการขุน ($P<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตระยะขุนจริง อายุเมื่อเริ่มขุนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตระยะสร้างโครง ($P<0.01$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตระยะขุนจริง ส่วนแหล่งที่มาของโคมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและสร้างโครงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และต่อระยะที่ขุนจริงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตตลอดการขุน ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถภาพการผลิตของโคขุนในระยะสร้างโครง ระยะขุนจริง และตลอดระยะขุนมีค่าเฉลี่ยลิสสแคว์ของจำนวนวันขุน เท่ากับ 97.74 ± 8.08, 94.47 ± 9.06 และ 193.35 ± 8.15 วัน มีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย เท่ากับ 100.58 ± 10.11, 99.68 ± 11.89 และ 207.66 ± 13.42 กิโลกรัม และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 1077.09 ± 108.44, 1187.73 ± 113.54 และ 1123.83 ± 75.96 กรัม ตามลำดับ

พิเชฏฐ์ และคณะ (2540) ได้ทำการศึกษาปัญหาพื้นฐานการเลี้ยงโคเนื้อในหมู่บ้านนาดอกไม้ ตำบลหนองหญ้าปล้อง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อทั้งหมด 49 ครอบครัว จำนวนโคเนื้อ 399 ตัว ทำการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อตรวจหาโรคแท้งติดต่อ และเก็บอุจจาระเพื่อตรวจพยาธิ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ พบว่า อายุเฉลี่ยของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อประมาณ 45 ปี จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5 คน จำนวนแรงงานที่ใช้เลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 1 คนต่อครอบครัว จำนวนสัตว์เฉลี่ย 8 ตัวต่อครัวเรือน อายุสัตว์เฉลี่ย 2 ปีต่อตัว พันธุ์ที่เลี้ยงร้อยละ 90.1 เป็นลูกผสมพื้นเมืองกับพันธุ์อเมริกันบราห์มัน การผสมพันธุ์ใช้พ่อพันธุ์คุมฝูง ร้อยละ 90.2 การเลี้ยงโดยวิธีปล่อยให้หากินเองตามทุ่งหญ้าธรรมชาติ ร้อยละ 74.5 เกษตรกรประมาณร้อยละ 23 ปลูกหญ้าเสริมให้กินหลังจากแทะเล็มในทุ่งหญ้าธรรมชาติ เกษตรกรประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เสริมแร่ธาตุชนิดก้อนโดยแขวนให้กินภายในคอก โรงเรือน 78.6 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงไว้ใต้ถุนบ้าน จากการตรวจเลือด เพื่อหาโรคแท้ติดต่อในโคโดยวิธีแอกกลูติเนชันของเลือด (Rapid whole blood test) ให้ผลลบทุกตัว ส่วนการตรวจหาพยาธิโดยวิธี Simple Floatation ร้อยละ 72 พบไข่ของพยาธิ Haemonchus contortus ส่วนการตรวจโดยวิธี Sediment Floatation ไม่พบไข่ของพยาธิ เกษตรกรร้อยละ 95 มีความรู้ในด้านการเลี้ยง การจัดการ และการควบคุมโรคดี เนื่องจากประสบการณ์และได้รับความรู้จากเจ้าหน้าที่ปศุสัตว์ แต่จากการสอบถามเกษตรกรมีแนวโน้มจะเลิกเลี้ยงหรือลดจำนวนโคลงร้อยละ 65 เนื่องจากทำเลเลี้ยงสัตว์ลดน้อยลง เกิดการอพยพเคลื่อนย้ายแรงงานหางานทำในเมืองและราคาโคเนื้อตกต่ำ

พงษ์ชาญ และคณะ (2528) ได้ศึกษาระบบการเลี้ยงโค-กระบือของบ้านบอน จังหวัดศรีสะเกษ พบว่า ปัญหาของการเลี้ยงโค-กระบือในหมู่บ้านนี้คือ พื้นที่เลี้ยงสัตว์ และฟางข้าวขาดแคลน อัตราการให้ลูกต่ำ และมีการแย่งแรงงานกันระหว่างกิจกรรมการปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์ ปัญหาเหล่านี้เป็นต้นเหตุทำให้จำนวนโคกระบือในหมู่บ้านลดลงผลที่ตามมา คือชาวบ้านมีปุ๋ยคอกไม่พอเพียงต่อการใช้ในการปลูกพืช ซึ่งชาวบ้านต้องใช้วิธีการเติมแกลบลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยคอกให้มากพอแก่การใช้ นอกจากนี้ชาวบ้านบางรายยังต้องซื้อปุ๋ยคอกจากนอกหมู่บ้านมาใช้เพิ่มเติมอีกด้วย

ชชัยลัส (2530) ได้ศึกษาปัญหาบางประการของเกษตรกรในโครงการพัฒนา การเกษตรอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบปัญหาสำคัญดังนี้ เกษตรกรขาดเงินทุน ฝนแล้ง ขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์ ขาดแหล่งน้ำทำการเกษตร ราคาผลผลิตตกต่ำ และดินขาดความอุดมสมบูรณ์

พรรณทิพา และคณะ (2533) ได้ศึกษาอาหารโค-กระบือในระบบทำฟาร์มของเกษตรกร ตำบลบ้านค้อ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พบว่า การเลี้ยงโค-กระบือเป็นส่วนหนึ่งของระบบการเกษตรของเกษตรกร และการเลี้ยงโคกระบือมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการใช้แรงงานสัตว์ในระดับการปลูกพืช การขนย้ายผลผลิต และอื่นๆ ทางการเกษตร นอกจากนั้น มูลสัตว์ยังกลับมาเป็นผลประโยชน์ต่อพืชด้วย ส่วนหนึ่งของอาหารโปรตีนในระดับหมู่บ้านก็มาจาก โค-กระบือ แต่การเลี้ยงก็ไม่ได้ขยายตัวหรือก้าวหน้าไปไกล ส่วนใหญ่ยังมีระบบการเลี้ยงแบบเดิม ๆ ทั้งๆ ที่ได้มีแผนการขยายและปรับปรุงการเลี้ยงประกอบการส่งเสริมซึ่งอาจเป็นเครื่องบ่งให้ทราบว่า ปัจจัยหลายอย่างในระบบของเกษตรกรถูกมองข้าม

หรือไม่ได้รับการพิจารณา ในการวางแผนในการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ทั้ง ๆ ที่มีปัจจัยอีกหลายอย่างเอื้ออำนวย เช่น สภาพพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำเหมาะสำหรับเป็นแปลงหญ้ามากกว่าการเพาะปลูก

ชาตรี (2535) ได้ศึกษาการประเมินโครงการกลุ่มพัฒนาอาชีพการเลี้ยงโคกระบือ ของกรมปศุสัตว์ : ศึกษาเฉพาะกรณีจังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า ปัญหาความล่าช้าในการจัดหาอุปกรณ์สำหรับการปฏิบัติงานจากส่วนราชการหน่วยเหนือ และความจำจัดของจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในระดับพื้นที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การดำเนินกิจกรรมของโครงการส่วนใหญ่ล่าช้า กว่ากำหนดการดำเนินการจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคมีจำนวนสมาชิกน้อยกว่าเกณฑ์ที่โครงการกำหนดการสนับสนุนแก่กลุ่มที่จัดตั้งขึ้นสามารถดำเนินการได้อย่างทั่วถึงและเป็นไปตามเป้าหมายคือการสนับสนุนด้านการพัฒนาพืชอาหารสัตว์และด้านสุขภาพสัตว์ ส่วนการสนับสนุน ด้านการปรับปรุงพันธุ์ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ผลกระทบที่สำคัญของการดำเนินโครงการกลุ่มพัฒนาอาชีพการเลี้ยงโค-กระบือ คือ ทำให้เกษตรกรเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ความรู้ และทัศนคติด้านอาหารสัตว์และการป้องกันโรค มากกว่าเกษตรกรนอกโครงการอย่างเห็นได้ชัด

วราวุธ (2536) ศึกษาระบบการเลี้ยงโคลูกผสมอินดูบราซิลของผู้เลี้ยงรายย่อยในจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ และมหาสารคาม ผลเสียในด้านเศรษฐกิจและสังคมของการเลี้ยงโคลูกผสมอินดูบราซิล พบว่า การซื้อขายเป็นการซื้อขายในเรื่องของการนำไปเป็นพ่อแม่พันธุ์เมื่อพิจารณาดูจะเห็นว่าเป็นราคาที่สูงเกินไป เกษตรกรที่อยู่ในระบบนี้จึงเป็นเกษตรกรที่ค่อนข้างจะมีฐานะปานกลางถึงดี นอกจากนี้มีผลกระทบในระดับประเทศคือต้องเสียดุลการค้าในการสั่งโคเข้า และ การเลี้ยงโคในระบบนี้มิได้ทำให้ราคาเนื้อโคลดลง เนื่องจากไม่มีการนำมาฆ่าเพื่อบริโภคและเมื่อมีการเลี้ยงกันมากขึ้นส่งผลให้เกิดการหวงพื้นที่ไร่นาของตนเอง โดยกันไม่ให้โคของผู้อื่นมากินหญ้าในบริเวณไร่นาของตนเอง ทำให้การพึ่งพาอาศัยกันลดลง

ปรีดา (2538) ได้ศึกษาความคิดเห็นของปศุสัตว์อำเภอ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่องานเสริมปศุสัตว์ พบว่า ปศุสัตว์อำเภอประสบปัญหาอุปสรรค ในการปฏิบัติงานส่งเสริมปศุสัตว์ในระดับมาก ได้แก่ การพัฒนาสุขภาพสัตว์ การถ่ายทอดเทคโนโลยี พบปัญหาอุปสรรคในการปฏิบัติงานส่งเสริมปศุสัตว์ในระดับปานกลาง ได้แก่ การสำรวจข้อมูล การเลี้ยงสัตว์ การปรับปรุงพันธุ์สัตว์ การปรับปรุงอาหารและพืชอาหารสัตว์ การจัดตั้งกลุ่มและการประชุมประสานงานกับหน่วยงานอื่น ๆ

2. งานวิจัยด้านอาหารและการให้อาหาร

มีงานวิจัยจำนวนมากหลายงานดังต่อไปนี้ สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญต่อการผลิตโคที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

ไพโรจน์ และ ศรีจิตต์ (2541) ศึกษาการจัดการให้อาหารโคขุน 3 แบบ โดยใช้โคพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ส์ –บราห์มัน 50 เปอร์เซ็นต์ เพศผู้ ไม่ตอน เริ่มขุนที่น้ำหนักประมาณ 250 กิโลกรัม อายุประมาณ 1 ปี 2 เดือน ถึง 1 ปี 5 เดือน ให้อาหารข้นโปรตีนประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ การขุนแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกช่วงน้ำหนัก 250-350 กิโลกรัม และระยะสองช่วงน้ำหนัก 350-450 กิโลกรัม โคถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 5 ตัวตามพลังงานของอาหารที่ให้ ได้แก่กลุ่มที่ 1 ให้อาหารข้น : หญ้าแห้ง ที่อัตราส่วน 50 : 50 ในช่วง

แรก กลุ่มที่ 2 ให้ที่อัตราส่วน 60 : 40 ในช่วงแรก กลุ่มที่ 3 ให้อัตราส่วน 80 : 20 ในช่วงแรก สำหรับในช่วงที่สองโคทั้ง 3 กลุ่ม ให้อัตราส่วน 80 : 20 และให้กินอาหารเต็มที่ตามอัตราส่วนตลอดการทดลอง พบว่า กลุ่มที่ 3, 2 และ 1 มีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 1016, 1052 และ 1049 กรัม/ตัว/วัน แตกกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (น้ำหนักแห้ง) ของกลุ่มที่ 3 ดีกว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 1 ($P<0.05$) ซึ่งเท่ากับ 7.43, 8.13 และ 8.63 ตามลำดับ ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจกลุ่มที่ 2, 3 และ 1 มีกำไรเท่ากับ 2277.73, 2185.38 และ 2108.49 บาทตามลำดับ จากนั้นโคจำนวน 3 ตัวในแต่ละกลุ่มถูกคัดเลือกโดยสุ่มเพื่อนำไปศึกษาคุณภาพซากที่น้ำหนัก 450 กิโลกรัม ซึ่งมีอายุประมาณ 2 ปี ค่าที่ได้จากศึกษาซากแต่ละตัววิเคราะห์เป็นเป็นเฉลี่ย พบว่า การตัดแต่งซากได้ซากอุ่นเท่ากับ 63.40 เปอร์เซ็นต์ และซากเย็นเท่ากับ 61.50 เปอร์เซ็นต์ จากการตัดแต่ซากแบบไทยได้เนื้อแดงรวมสันนอก สันใน เท่ากับ 56.10 เปอร์เซ็นต์ และจากการตัดแต่งซากแบบสากล พบว่า เกรดคุณภาพซากอยู่ในช่วงดีมากถึงดีเยี่ยม มีไขมันหุ้มสันนอก 0.20-0.40 นิ้ว เกรดผลผลิตอยู่ในช่วง 1 – 2 มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน 14.8 ตารางนิ้ว การตัดแบบชิ้นส่วนใหญ่ คือ ไหล่ สันส่วนหน้า ขาหน้า พื้นท้องส่วนหน้า สะโพก สันส่วนกลาง สั้นส่วนหลัง พื้นท้องส่วนล่าง เท่ากับ 27.40, 7.00, 10.80, 9.60, 23.00, 7.10, 9.90 และ 5.10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักซากเย็น ตามลำดับ

เมธา และคณะ (2535) ศึกษาระบบการให้อาหารโคเนื้อสำหรับเกษตรรายย่อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีเกษตร จำนวน 15 ราย จากบ้านนาคำน้อย และบ้านรักชาติ อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น เลี้ยงโคลูกผสมพื้นเมือง x บราห์มัน น้ำหนักเฉลี่ย 175 กิโลกรัม จำนวน 30 ตัว โดยขังคอกเดี่ยวมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา การให้อาหารแบ่งเป็นฤดูฝน (สิงหาคม-พฤศจิกายน) โดยให้หญ้ารูซี่ให้กินเต็มที่และเสริมอาหารข้น (12 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ) ในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และฤดูแล้วง (ธันวาคม-พฤษภาคม) โดยให้ฟางหมักยูเรีย (5 เปอร์เซ็นต์) ให้กินแบบเต็มที่และเสริมอาหารข้นในอัตรา 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว จากผลการทดลอง พบว่า โคลูกผสมพื้นเมือง x บราห์มัน มีอัตราการเจริญเติบโตในช่วงฤดูฝน โดยเฉลี่ย 496 กรัม/วัน และ ในช่วงฤดูแล้งโคลูกผสมพื้นเมือง x บราห์มันมีอัตราการเจริญเติบโต 605, 618 และ 633 กรัม/วัน ในกลุ่มที่ได้รับการเสริมอาหารข้น 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การเสริมอาหารระดับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว จะให้ผลตอบแทนดีกว่าในกลุ่มที่เสริมอาหารข้น 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว

สัญชัย (2535) ศึกษาคุณภาพซากและมูลค่าตอบแทนการขุนโคขาวลำพูน โดยใช้โคขาวลำพูนเพศผู้ตอน จำนวน 12 ตัว อายุประมาณ 1-2 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 163.33 กิโลกรัม มาขุนโดยให้อาหารข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และให้อาหารหยาบต่างกัน 3 ชนิด คือ ฟางข้าว ฟางข้าวหมักยูเรีย และฟางข้าราดกากน้ำตาล จัดกลุ่มการทดลองสุ่มตลอดเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ปรากฏผลว่า ปริมาณการกินวัตถุแห้งเท่ากับ 1870.60, 1525.73 และ 1141.81 กิโลกรัม ตามลำดับ ความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 5.84, 5.70 และ 4.56 กิโลกรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 0.292, 0.368 และ 0.340 กิโลกรัม ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้อาหารในรูปวัตถุแห้งเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 20.0, 15.48 และ 13.38 กิโลกรัม ตามลำดับ ระยะเวลาขุนจนได้น้ำหนักเฉลี่ย 250

กิโลกรัม เท่ากับ 321.25, 277.75 และ 251.50 วัน ตามลำดับ ทั้งอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และระยะเวลาที่ขุนของโคขาวลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าหมักยูเรีย และฟางข้าวราดกากน้ำตาล-ยูเรีย ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันกับโคขุนขาวลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางข้างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โคที่เลี้ยงด้วยฟางข้าว ฟางข้าวหมักยูเรีย และฟางข้าข้าราดกากน้ำตาล-ยูเรีย มีเปอร์เซ็นต์ซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันใกล้เคียงกัน คือ 53.25, 52.18 และ 50.76 เปอร์เซ็นต์ และ 51.60, 51.91 และ 51.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอวัยวะภายนอก และอวัยวะภายในที่ค่าใกล้เคียงกัน เช่น เดียวกันกับส่วนตัดตามมาตรฐานสากล การตรวจชิม (ความนุ่ม รสชาติ ความฉ่ำ และความพอใจโดยสรุป) โคขุนขาดลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย และฟางข้าวราดกากน้ำตาล-ยูเรีย มีแนวโน้มดีกล่าโคขุนลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าว ต้นทุนการขุนเฉลี่ยมีค่าเป็น 6859.04, 6699.25 และ 6372.42 บาทต่อตัว ตามลำดับ รายได้สุทธิจากการจำหน่ายเฉลี่ยเท่ากับ 335.31, 1051.10 และ 1187.83 บาทต่อตัว ตามลำดับ ทั้งต้นทุนการขุน รายได้สุทธิจากการจำหน่าย และกำไรเฉลี่ยจากการขุนโคขาวลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางหมักยูเรีย และฟางข้าวราดกากน้ำตาล-ยูเรีย มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ให้ผลตอบแทนสูงกว่าโคขุนลำพูนที่เลี้ยงด้วยฟางข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

3. งานวิจัยด้านศักยภาพของพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์

ในประเทศไทยมีงานการพัฒนาโคพื้นเมืองยังน้อย เนื่องจากการวิจัยพัฒนาการปรับปรุงพันธุ์จะเน้นหนักในด้านการใช้พันธุกรรมของโคที่มาจากต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการเทียบเคียง จึงจะขอตรวจเอกสารที่เป็นหลักเพื่อประกอบการพัฒนาโคพื้นเมืองเชิงบูรณาการดังนี้

ไพโรจน์ และ ยอดชาย (2541) ศึกษาการขุนโคลูกผสมชาร์เลส์-บาร์ห์มันเพศผู้ไม่ตอน ที่มีระดับสายเลือดโคพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 30.50 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ละ 5 ตัว ขุนที่น้ำหนัก 450 กิโลกรัม โดยได้รับเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ทั้งหมดประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 1.50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ร่วมกับการให้ฟางข้าวเต็มที่ พบว่า สมรรถภาพในการขุนของโคทั้ง 2 พันธุ์มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยโคที่มีสายเลือดชาร์โลเลส์ 50 และ 37.5 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลียต่อวันเท่ากับ 1267.77 และ 1155.56 กรัม/วัน อัตราแลกเนื้อเท่ากับ 6.40 และ 7.46 ระยะเวลาการขุนเท่ากับ 121 และ 126 วัน ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการทำน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม เท่า 34.35 และ 38.41 บาท และมีผลกำไรเท่ากับ 31.77 และ 25.93 บาท/ตัว ตามลำดับ

ศรีจิตต์ และ ไพโรจน์ (2541) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของโคเพศเมียลูกผสมชาร์โรเล่ส์-บราห์มันชั่วที่ 1 (ชาร์โรเล่ส์ 50 % บราห์มัน 50 %) ชั่วที่ 2 (ชาร์โรเล่ส์ 25 % บราห์มัน 75 %) ของโครงการสร้างเนื้อพันธุ์ตากในสภาพการเลี้ยงดูที่มีการจัดการแบบไม่เข้มข้นภายใต้สภาพอากาศร้อนและแห้งแล้ง พบว่า อัตราการเจริญโตทั้งในระยะก่อนหย่านมและหลังหย่านมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) อัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านมของโคชั่วที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 677.70, 638.04 และ 662.60 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และอัตราการเจริญเติบโตในระยะหลังหย่านมถึงที่น้ำหนัก 280

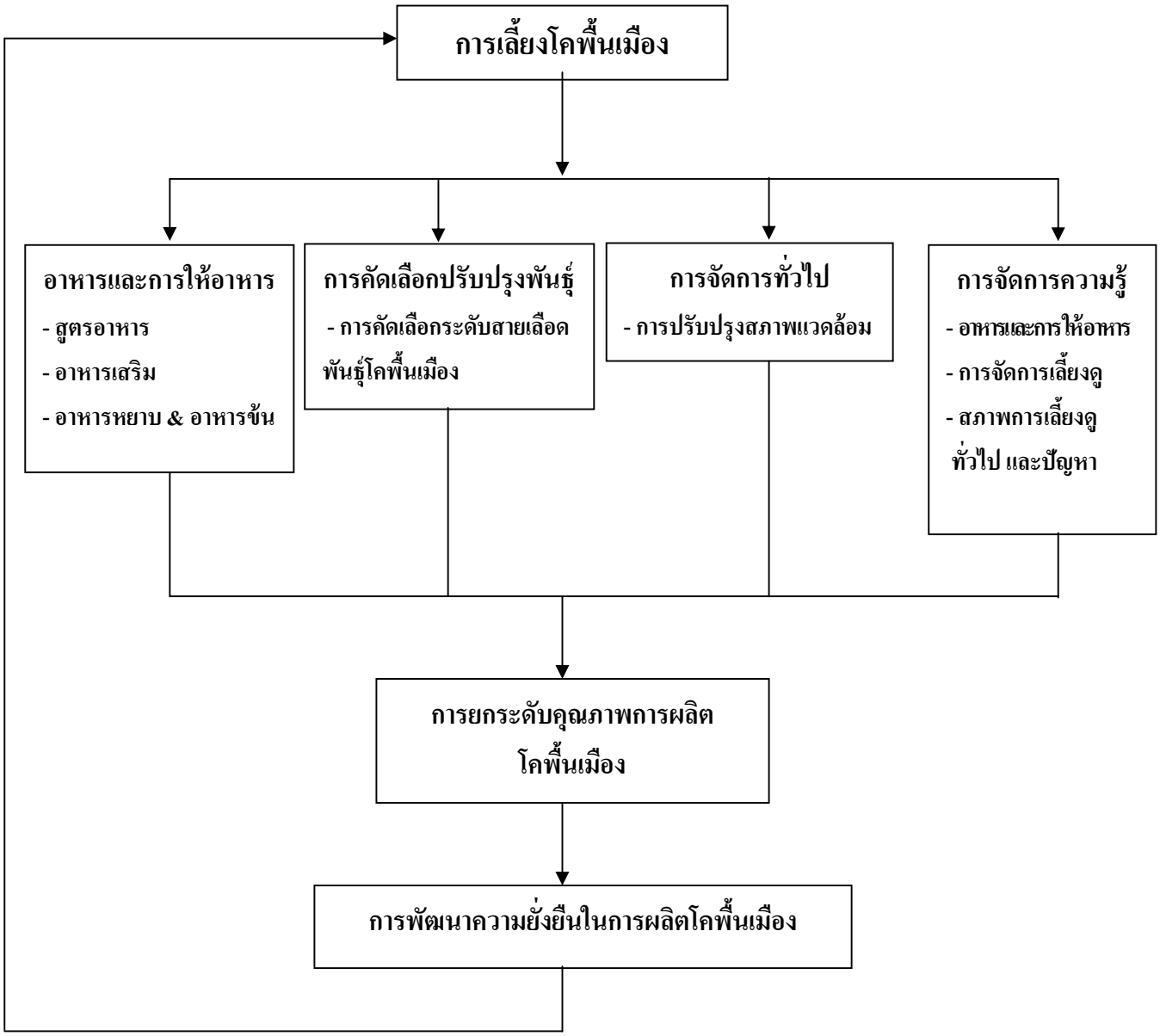
กิโลกรัม ของโคชั่วที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 479.80, 470.40 และ 508.60 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ โคทั้ง 3 ชั่วอายุทนทานต่อสภาพอากาศร้อนได้ดีโดยโคไม่แสดงอาการหอบ และสามารถกินหญ้าในแปลงหญ้าได้ตามปกติแม้ในฤดูแล้ง

สมพร และคณะ (2541) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเศรษฐกิจต่าง ๆ ของแม่โคและลูกโคฝูงยอดเยี่ยมของศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ท่าพระ จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2540 จากข้อมูลจากแม่โค 174 ตัว จากลูกโค 101 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นแม่โคที่เกิดภายในประเทศ และลูกโคที่เกิดจากแม่ในประเทศ กลุ่มที่ 2 เป็นแม่โคนำเข้าจากสหรัฐอเมริกา และลูกที่เกิดจากแม่โคที่นำเข้าจากสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ โดยวิธี Least square analysis ผลการศึกษา พบว่า แม่โคกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก 1283.41 วัน และ 1119.17 วัน มีช่วงห่างการคลอดลูก 564.05 วัน และ 508.98 วัน ตามลำดับ โดยลักษณะดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) สำหรับลักษณะทางเศรษฐกิจเมื่อแรกเกิดของลูกโคที่เกิดจากแม่โคกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 พบว่า น้ำหนักแรกเกิด 29.95 กิโลกรัม และ 28.56 กิโลกรัม ความสูง 75.87 และ 74.55 เซนติเมตร ความยาวลำตัว 56.52 และ 54.57 เซนติเมตร ความยาวรอบอก 69.91 และ 69.35 เซนติเมตร ลักษณะเมื่อหย่านม พบว่า น้ำหนักหย่านม 163.48 และ 155.72 กิโลกรัม ความสูง 110.57 และ 108.54 เซนติเมตร ความยาวลำตัว 99.77 และ 97.63 เซนติเมตร ความยาวรอบอก 130.37 และ 127.86 เซนติเมตร อัตราการเจริญเติบโตระยะกินนม 669.52 และ 636.60 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

จินตนา และคณะ (2535 : 219-231) ศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักเริ่มต้นขุนโคลูกผสมชาร์โรเล่ส์ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถภาพในการขุน ลักษณะซาก และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยแบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่ม ตามน้ำหนักเริ่มต้นคือ 210-240, 241-270 และ 271-300 กิโลกรัม ตามลำดับ ทำการขุนโตคอกขังเดี่ยวด้วยอาหารข้นที่โปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ พลังงานใช้ประโยชน์ 40 เปอร์เซ็นต์ ให้กินเต็มที่ เสริมด้วยหญ้าแห้งประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว จนกระทั่งโคขุนมีน้ำหนักสุดท้าย 500 กิโลกรัม ผลการทดลอง พบว่า อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) คือ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 1.389, 1.397 และ 1.765 กิโลกรัม/วัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 7.52, 7.42 แล 6.22 ตามลำดับ แต่ระยะเวลาขุนของพวกที่ 1 2 จะยาวกว่าพวกที่ 3 ($P<0.05$) คือ 190, 172 และ 115 วัน ตามลำดับ สำหรับเปอร์เซ็นต์ซากพวกที่ 1 และ 2 จะสูงกว่าพวกที่ 3 ($P<0.01$) คือ 63.9, 62.8 และ 59.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ส่วนประกอบซากต่าง ๆ ตามการตัดแต่งแบบไทยจะไม่แตกต่างกัน และการตัดแต่งซากแบบสากล จะให้คุณภาพซากตั้งแต่ low choice ถึง prime โดยมี marbling ในระดับ small ถึง slightly abundant และมี yield grade 2. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของพวกที่ 3 จะสูงกว่า พวกที่ 2 และ 1 ตามลำดับ คือ กำไรสุทธิ 4152, 2726 และ 2562 บาท/ตัว ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ สรุปว่า การขุนโคลูกผสมชาร์โรเลย์-บราห์มันที่น้ำหนักเริ่มต้น 271 - 300 กิโลกรัม จะให้สมรรถภาพในการขุนสูงที่สุด และลักษณะซากเป็นที่ต้องการของตลาด รวมทั้งให้ผลตอบแทนที่สูงด้วย

รักปัญญ์ (2539) ศึกษาผลตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาบางประการและสมรรถภาพการผลิตในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ ฟรีเซียนระดับสายเลือดต่าง ๆ พบว่า อัตราการหายใจ อุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของชีจร ค่าฮีโมโกลบิน ค่าฮีมาโตคริต และค่าสัมประสิทธิ์ การทนทานต่อความร้อน รวมทั้งการตอบสนองทางด้านผลผลิตกรให้นมในรูปปริมาณน้ำนมเฉลี่ยต่อวัน แม่โคนมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ ฟรีเซียน 50 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับระดับสายเลือดโฮลสไตน์ ฟรีเซียน 75 – 8725 กับ 90 – 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนโคนมที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ ฟรีเซียน 75 – 87.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 90 – 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สรุปโดยภาพรวม การยกระดับการผลิตโคพื้นเมืองให้มีประสิทธิภาพ จะต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ คือ การคัดเลือดปรับปรุงพันธุ์ อาหารและการให้อาหาร กาจัดการฟาร์มทั่วไป และการจัดการความรู้ให้กับผู้เลี้ยง อย่างถูกต้อง และเหมาะสม ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 แสดงกรอบแนวคิดการพัฒนาโคพื้นเมืองไทย