

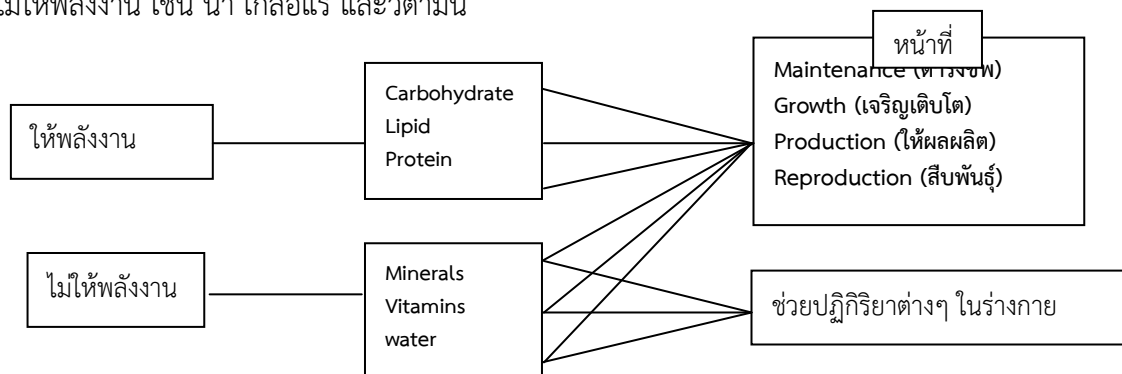
บทที่ 6

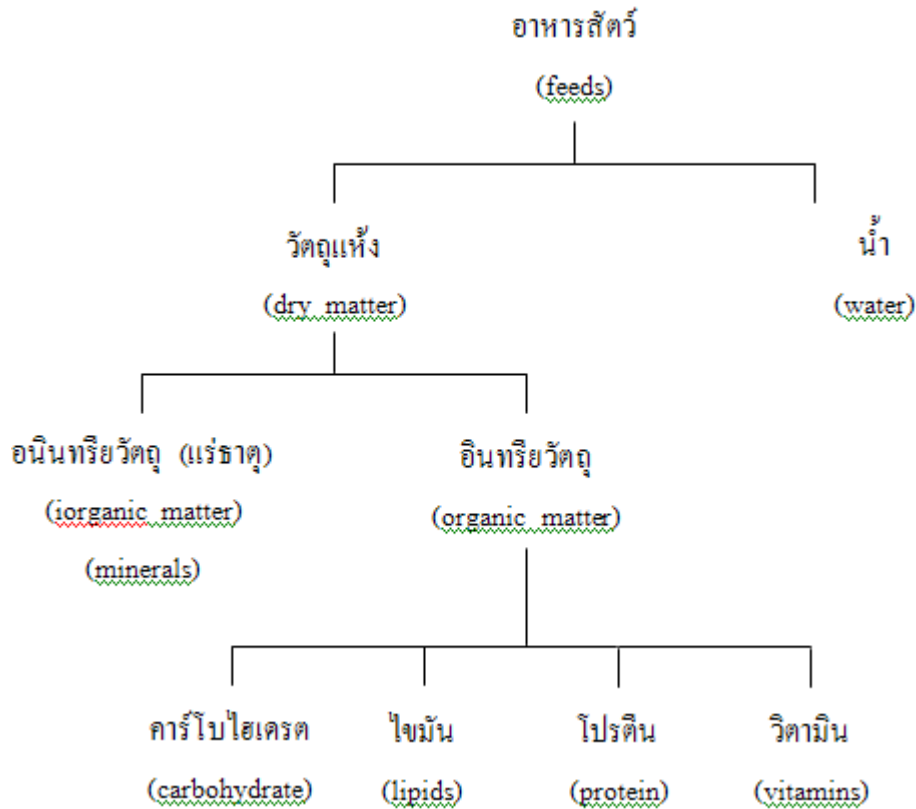
อาหารและความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง
 Feed and Feed Requirement in Ruminants

หลักโภชนศาสตร์ เป็นหลักการให้อาหารเพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะหรือสารอาหารที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพ (การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ) การสร้างผลผลิต (การเจริญเติบโต นม ไข่ เนื้อ ขน การสืบพันธุ์ ฯลฯ) และการทำงาน การให้อาหารสัตว์อย่างเพียงพอและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ทำให้ผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์ได้รับผลตอบแทนหรือกำไรสูงสุด การให้อาหารในสัตว์ก็เช่นเดียวกับในคนคืออาหารจะมีผลโดยตรงกับสุขภาพ ความเป็นอยู่ ความรู้สึก ความสามารถทางกายภาพ การมีความรู้สึกไวต่อโรค และการฟื้นตัวจากโรค รวมถึงโอกาสและอันตรายของโรคที่เกิดจากความผิดปกติทางเมแทบอลิซึม (metabolic disorders) อาหาร (food ในทางอาหารสัตว์นิยมเรียก feed) เป็นสารหรือสิ่งที่ภายหลังสัตว์กิน (ingest / consume) เข้าไปแล้ว จะถูกย่อย (digest) ถูกเมแทบอลิซ์ (metabolize) ถูกดูดซึม (absorb) และนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ (utilize) เพื่อกิจกรรมต่างๆ ของร่างกายสัตว์ได้ เช่น เพื่อการดำรงชีพ (maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (growth) เพื่อการสร้างผลผลิต (production) เช่น เนื้อ นม ไข่ ขนหนัง เขา ในสัตว์บางประเภทอาจใช้เพื่อการทำงาน เช่น โค กระบือ ม้า เป็นต้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามอาหารที่กินเข้าไป สัตว์ก็ไม่สามารถย่อยได้ทั้งหมดสารอาหารส่วนที่ย่อยหรือใช้ประโยชน์ไม่ได้ในร่างกายจะถูกขับออก (excrete) หรือสูญเสียไปในรูปของมูล (feces) ปัสสาวะ (urine) และความร้อนเพิ่ม (heat increment) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminants) จะมีการสูญเสียในรูปของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย ส่วนสารอาหารส่วนที่สัตว์ย่อยได้และ นำไปใช้ประโยชน์ได้เราจะเรียกว่าโภชนะ (nutrients)

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

ในทางโภชนศาสตร์สัตว์ (animal nutrition) ได้จัดสารประกอบต่างๆ ในอาหารออกเป็นสารประกอบ 6 กลุ่ม ที่เรียกว่า “สารอาหาร” (nutrient) ได้แก่ น้ำ (water), คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate), ไขมัน (lipid), โปรตีน (protein), วิตามิน (vitamin), แร่ธาตุ (mineral) นอกจากนี้ยังแบ่งกลุ่มหรือประเภทของโภชนะออกเป็นกลุ่มให้พลังงาน เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และกลุ่มไม่ให้พลังงาน เช่น น้ำ เกลือแร่ และวิตามิน





ภาพที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีในอาหารสัตว์

การจำแนกวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหารสัตว์ (feedstuffs) หมายถึง สารใด ๆ ก็ตามที่ทำให้โภชนะที่เกิดประโยชน์แก่สัตว์ที่กินเข้าไป โดยวัตถุดิบอาหารสัตว์อาจได้มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น พืช สัตว์ ฯลฯ หรืออาจได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น กรดอะมิโน วิตามินต่าง ๆ หรือทางชีววิทยา เช่น โปรตีน จากพืชหรือสัตว์เซลล์เดียวกันได้ ซึ่ง จรัส สว่างทัฬห (2539) ได้จำแนกวัตถุดิบอาหารสัตว์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. อาหารหยาบ (roughages)

อาหารหยาบ หมายถึง วัตถุดิบที่มีโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักต่ำ มีเยื่อใยสูงกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ แบ่งออกเป็น 3 พวก คือ

1.1 อาหารหยาบสด (green roughages หรือ green forages) อาหารหยาบที่อยู่ในสภาพสด มีความชื้นสูง 70 – 85 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ พืชที่ตัดสดมาให้สัตว์กิน (soilage) และพืชอาหารสัตว์ในทุ่งที่สัตว์เข้าไปแทะเล็ม (pasture) อาหารหยาบสดประกอบด้วย

1 พืชตระกูลหญ้า (gramineae) ได้แก่ หญ้าขน (para grass หรือ mauritius grass) หญ้ากินนี (guinea grass) หญ้าเนเปียร์ (napier grass) หญ้ารูซี (ruzi grass) ฯลฯ พืชตระกูลหญ้าเป็นพืชที่ให้คาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก (แป้งหรือเยื่อใย) บางทีจึงเรียกว่า carboneaceous plants

2 พืชตระกูลถั่ว (leguminosee) ได้แก่ ถั่วลายหรือถั่วเซนโตรซีมา (centrosema) ถั่วซีราโตร (siratro) ถั่วสไตโล (stylo) ฯลฯ พืชตระกูลถั่วจะให้คุณค่าทางโภชนะ เช่น โปรตีน สูงกว่าพืชอื่น มักนิยมปลูกผสมกับหญ้าทำเป็นทุ่งหญ้าผสมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่สัตว์ บางทีจึงเรียกว่า proteineaceous plants

3 พืชอาหารอื่น ๆ (others) ได้แก่ ยอดอ้อย ผักตบชวา (water hyacinth) ต้นข้าวโพด (corn stem) ต้นข้าวฟ่าง (sorghum stem) ต้นถั่วต่างๆ ฯลฯ

1.2 อาหารหยาบแห้ง (dry roughages หรือ dry forages) อยู่ในรูปที่มีความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อจุดประสงค์ในการเก็บรักษาไว้ใช้ในยามขาดแคลนอาหาร โดยนำเอาอาหารหยาบสดมา ระบายความชื้นออกด้วยการตากแดด 2 – 3 แดด หรือการอบด้วยความร้อนให้เหลือความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในสภาพที่เชื้อราและราเมือกเจริญได้ยาก จึงสามารถเก็บได้นานขึ้น ตัวอย่างของอาหารหยาบแห้ง ได้แก่ พืชโอหรือ พืชแห้ง (hay) เป็นพืชที่เก็บเกี่ยวในระยะที่มีคุณค่าทางอาหารสูงแล้วนำมา ระบายความชื้นออกไป นอกจากนี้อาหารหยาบแห้งยังรวมถึงฟางข้าว (rice straws) ฟางผักบุ้ง เถาวัลย์ ต้นแห้งของถั่วต่างๆ เปลือกหรือฟักข้าวโพด อีกด้วย

1.3 อาหารหยาบหมัก (ensile roughages หรือ ensile forages) อยู่ในรูปที่มีความชื้น 70 – 75 เปอร์เซ็นต์ ระดับ pH ประมาณ 4.2 ในหลุมหมักที่มีสภาพไร้ออกซิเจนเพื่อจุดประสงค์ในการเก็บรักษาไว้ ใช้ในยามขาดแคลนอาหาร และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานนับสิบปีถ้าไม่เปิดหลุมหมักโดยการนำอาหารหยาบสดที่เก็บเกี่ยวในระยะคุณค่าทางอาหารสูง และมีปริมาณของ คาร์โบไฮเดรตมากพอ มีความชื้น 70 – 75 เปอร์เซ็นต์ นำมาสับเป็นท่อนเล็ก ๆ บรรจุอัดแน่นลงหลุมหมักหรือบ่อหมัก (silo) ปิดปากหลุมหมักให้สนิทแน่นป้องกันไม่ให้อากาศเล็ดลอดเข้าไป ประมาณ 21 วัน ขบวนการหมักก็จะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างอาหารหยาบหมัก ได้แก่ พืชหมัก (silage) แต่ถ้าใช้อาหารหยาบสดที่มีความชื้น 55 – 60 เปอร์เซ็นต์มาทำการหมัก เรียกว่า พืชหมักแห้ง (haylages) ในประเทศไทยหลุมหมักที่นิยมใช้กันมาก คือ หลุมหมักแบบวางนอนใต้ดิน (trench silo)

2. อาหารข้น (concentrate)

อาหารข้น หมายถึง วัตถุดิบที่มีความเข้มข้นของโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักสูง มีเยื่อใยต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ แบ่งออกเป็น 2 พวก ได้แก่

2.1 อาหารหลักหรืออาหารพลังงาน (basal feed หรือ energy feed) คือ วัตถุดิบที่มีพลังงานสูงหรือ มีคาร์โบไฮเดรตมาก มีโปรตีนต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ที่เรียกว่า “อาหารหลัก” เพราะเป็นวัตถุดิบที่ใช้ใน ปริมาณมากถึง 50 – 80 เปอร์เซ็นต์ ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ ได้แก่

- 1 ได้จากพืช ได้แก่ ธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปลายข้าว รำละเอียด เป็นต้น พืชหัว เช่น มันสำปะหลัง (มันเส้น) มันเทศ เป็นต้น และน้ำมันพืชต่าง ๆ
- 2 ได้จากสัตว์ เช่น ไขมันโค – กระปือ (tallow) ไขมันสุกร (lard) เป็นต้น
- 3 อื่น ๆ เช่น กากน้ำตาล (molasses) กากมัน กากเอทานอล (DDGS) เป็นต้น

2.2 อาหารเสริม (supplements) คือ วัตถุดิบที่เสริมลงไปในการประกอบสูตรอาหาร สัตว์เพื่อให้มีโภชนะครบสมบูรณ์ตามความต้องการของสัตว์ แบ่งย่อยออกเป็น

1 อาหารเสริมโปรตีน (protein supplements) คือ วัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีน มีโปรตีน มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่

1.1 ได้จากพืช ได้แก่ ผลพลอยได้จากขบวนการแปรรูปอาหาร พลังงาน เช่น สำเหล้า ผลพลอยได้จาก อุตสาหกรรมพืชน้ำมัน เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดนุ่น กาก เมล็ดปาล์ม กากเมล็ดยางพารา เป็นต้น ใบพืชต่าง ๆ คือ ใบกระถิน ใบมันสำปะหลัง ใบปอ เป็นต้น

1.2 ได้จากสัตว์ เช่น ปลาป่น เนื้อป่น เลือดป่น เครื่องในป่น ขนไก่ป่น เป็นต้น

1.3 ได้จากการสังเคราะห์ เช่น โปรตีนจากพืชหรือสัตว์เซลล์เดียว (single cell proteins) เช่น ยีสต์ เป็นต้น กรดอะมิโนสังเคราะห์ เช่น ไลซีน เมทไธโอนีนฟีนิล อะลานีน เป็นต้น

2 อาหารเสริมแร่ธาตุ (mineral supplements) คือ วัตถุดิบที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุสูง เสริมลงไปในการอาหารหลักเพื่อให้มีแร่ธาตุครบสมบูรณ์ตามความต้องการของสัตว์ ได้แก่

- 2.1 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแคลเซียม เช่น หินปูน (CaCO₃) ปูนขาว (CaO) เปลือก หอยป่น
- 2.2 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแคลเซียมและฟอสฟอรัส เช่น กระดุกป่น ไดแคลเซียมฟอสเฟต
- 2.3 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโซเดียมและคลอรีน เช่น เกลือทะเล
- 2.4 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปตัสเซียม เช่น กากน้ำตาล

3 อาหารเสริมวิตามิน (vitamin supplements) คือ วัตถุดิบที่มีความเข้มข้นของวิตามินสูง เสริมลงไปในการอาหารหลักเพื่อให้วิตามินครบสมบูรณ์ตามความต้องการของสัตว์ ได้แก่

- 3.1 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินเอ เช่น พืชสีเขียวที่มีแคโรทีน
- 3.2 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินดี เช่น พืชแห้งแบบตากแดด (field cured hay)
- 3.3 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินอี เช่น รำละเอียด กากทานตะวัน
- 3.4 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินเค เช่น ใบกระถิน
- 3.5 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินซี เช่น ผลไม้รสเปรี้ยว (citrus fruits)
- 3.6 วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของวิตามินบีรวม เช่น ธัญพืช พืชสีเขียว

3. สารเสริมอาหาร หรือวัตถุดิบในสูตรอาหารสัตว์ (feed additives)

เป็นสารที่เติมลงไปในการอาหารเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพอาหาร ทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากอาหาร ได้มากขึ้น ใช้เสริมในสูตรอาหารสัตว์เพื่อจุดประสงค์ต่างๆ ดังนี้

- 3.1 เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น ยาปฏิชีวนะ อาทิ เพนิซิลลิน (penicillin) อ็อกซีเตตราไซคลิน (oxytetracycline) รูเมนซิน (rumensin) เป็นต้น
- 3.2 เพื่อเร่งการเจริญเติบโต เช่น ฮอร์โมนสังเคราะห์หรือสารคล้ายฮอร์โมน อาทิ ไดเอทิล สทิลเบสทรอล (diethyl stilbestrol ; DES) เมเลนเจสทรอล อาซีเตท (melengestrol acetate ; MGA) ซินโนเวกซ์ (synovex) เซอรานอล (zeranol) หรือราลโกร (ralgro)
- 3.3 เพื่อถ่ายพยาธิ เช่น ไทอาเบนดาโซล (thiabendazole) ปีเปอราซีน (piperazine)
- 3.4 เพื่อปรุงรสชาติ เช่น กากน้ำตาล (molasses)
- 3.5 เพื่อป้องกันหืน เช่น เอทอควิน (ethoxyquin) บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxy toluene ; BHT) บิวทิลไฮดรอกซีอานีโซล (butylated hydroxy anisole ; BHA)
- 3.6 เพื่อป้องกันเชื้อรา เช่น เบนโซเอท (benzoate) ควิโนซาลีน (quinoxalene)
- 3.7 เพื่อป้องกันโรคบิด (coccidiostat) เช่น แอมโพรเลียม (amprolium) บิวทีโนเรท (butynorate)
- 3.8 เพื่อรักษาโรค เช่น ฟูราโซลิโดน (furazolidone) จุนสี (copperas)
- 3.9 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระเพาะรูเมน เช่น สารไฮโอโนเฟอร์ สารบัฟเฟอร์ ซาโปนิน แทนิน เป็นต้น
- 3.10 เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและส่งเสริมสุขภาพ เช่น การเสริมยีสต์ สารเสริมชีวนะ (probiotics) prebiotics เป็นต้น

สารไอโอโนฟอร์ (Ionophores) มีคุณสมบัติในการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน โดยเฉพาะโปรโตซัวและแบคทีเรียแกรมบวก จึงช่วยลดปริมาณของกรดอะซิติกและบิวทีริค ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกรดโปรปิโอนิก ดังนั้นมันจึงช่วยให้โคนมสามารถใช้อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ โมเนนซิน (monensin) และลาซาโลซิด (Lasalocid) โดยเติมลงในอาหารจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใช้อาหาร และเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตและการผลิตน้ำนม

ยีสต์ (Yeast) ใช้เป็นสารที่เติมลงในอาหาร ที่นิยมคือ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่ายีสต์ มีคุณสมบัติช่วยในการควบคุมสภาพนิเวศน์วิทยาในกระเพาะรูเมนให้อยู่ในสภาพปกติมี pH ที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของโคดีขึ้น โดยเฉพาะอาหารหยาบ ดังนั้นเสริมยีสต์ในอาหารจึงช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมได้

สารบัฟเฟอร์ (Buffers) การเลี้ยงโคนมต้องใช้อาหารชั้นในปริมาณที่สูงทำให้มีกระเพาะรูเมนมีสภาพเป็นกรด ดังนั้นเพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในสภาพที่ปกติ จึงได้มีการใช้สารบัฟเฟอร์เติมลงไป ในอาหารชั้นเพื่อปรับสภาพภายในกระเพาะรูเมน สารบัฟเฟอร์มีหลายชนิด เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium sesquicarbonate) แมกนีเซียมออกไซด์ (Mgo) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นต้น จะใช้สารบัฟเฟอร์เมื่อ มีการให้อาหารชั้นสูงกว่า 60% มีการให้อาหารชั้นกับอาหารหยาบแยกจากกัน หรืออาหารหยาบมีการบด หรือสับให้มีขนาดเล็กเกินไป หรืออัดเป็นเม็ด ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของสารเยื่อใยในอาหารหยาบนั้น

สารเสริมชีวนะ (Probiotics) เป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus spp.*), *streptococcus faecium* บางทีมีการผสมรวมวิตามิน แร่ธาตุปลีกย่อย และ Growth hormone หน้าที่สำคัญของสารเสริมชีวนะคือ จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย เช่น *E. coli*, salmonella เป็นต้น probiotics จะให้ผลดีเมื่อใช้ผสมอาหารลูกโค แต่ในโคที่โตเต็มวัยจะไม่ค่อยได้ผล อาจเป็นเพราะว่า ปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้น้อยเกินไป หรือจุลินทรีย์ที่ใช้ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ในกระเพาะรูเมน เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม และจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีชีวิตอยู่ในสัตว์เฉพาะ

4 อาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration, TMR)

อาหาร TMR หรือ Complete Ration (CR) หรืออาหารผสมสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นมาจากการนำอาหารหยาบและอาหารชั้นมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยต้องคำนวณสัดส่วนของอาหารทั้ง 2 ชนิด จากน้ำหนักแห้งให้ได้ตามความต้องการของโค แล้วนำไปเลี้ยงโคนม-โคเนื้อ แทนการเลี้ยงแบบเดิม ซึ่งจะแยกการให้อาหารหยาบและอาหารชั้นตามวิธีปกติที่ผู้เลี้ยงโคนมจะให้อาหารหยาบ ตลอดทั้งวันแบบให้กินเต็มที่และให้อาหารชั้นเสริมวันละ 1 - 2 ครั้ง/วัน ขณะรีดนม เป็นต้น ปัจจุบันเพื่อความสะดวกในการขนส่งและเก็บรักษาบริษัทหลายแห่งได้ผลิตอาหารผสมสำเร็จรูปออกมาจำหน่ายทั้งในรูปอาหารผสมสำเร็จรูปอัดเม็ด อาหารผสมสำเร็จรูปแบบผงหรืออาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมัก ซึ่งในทางปฏิบัติ ถ้าเราทราบปริมาณอาหารหยาบและอาหารชั้นที่เหมาะสมกับความต้องการของโคแล้ว ผู้เลี้ยงจะสามารถนำมาผสมเข้าด้วยกันและให้โคกินได้ทันทีโดยไม่ต้องอัดเม็ดหรือหมักก่อน

วัตถุดิบที่ใช้ผสมในอาหาร TMR

ในการประกอบสูตรอาหาร TMR ต้องใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณสมบัติที่ดีเช่นเดียวกับการประกอบสูตรอาหารชั้น อาหาร TMR จะประกอบด้วย

1. แหล่งอาหารหยาบ ใช้พืชอาหารสัตว์ได้ทุกชนิด และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เยื่อใยสูง อาหารหยาบที่ใช้ควรมีศักยภาพในด้านการย่อยได้และอัตราการย่อยได้สูง มีความสามารถทำให้อัตราการหมักสูง มีอัตราการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงกว่าอัตราการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้

2. แหล่งอาหารข้น ประกอบด้วย แหล่งอาหารโปรตีน เช่น พวกกากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน กากงา กากเมล็ดฝ้าย ใบพืชโปรตีนสูง เช่น ใบกระถินแห้ง ใบมันสำปะหลังแห้ง เป็นต้น แหล่งอาหารพลังงาน เช่น มันเส้น ข้าวโพด รำ ข้าวฟ่าง เป็นต้น

บทบาทของอาหาร TMR

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 และ 4 ว่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนมีความสำคัญต่อขบวนการย่อยอาหารของโค การควบคุมให้ความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนคงที่ได้จะสามารถเพิ่มการย่อยอาหารให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วงของความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมควรเป็น 6.0 - 6.5 ซึ่งความเป็นกรด-ด่างนี้จะมีผลโดยตรงมาจากอาหาร ถ้าให้โคได้กินอาหารแบบแยกกันระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น ความเป็นกรด-ด่างในรูเมนจะเปลี่ยนแปลงไปตามอาหารที่ให้ตลอดเวลา กล่าวคือ ถ้าให้โคกินอาหารข้น ซึ่งปกติอาหารชนิดนี้จะมีพลังงานที่ย่อยได้สูง สภาพในกระเพาะรูเมนจะเป็นกรดมีความเป็นกรด-ด่างต่ำลง ถ้าให้อาหารข้นปริมาณมากโอกาสที่กระเพาะรูเมนจะเป็นกรดมากขึ้น ถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 โคจะมีประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงในโคนมไขมันในน้ำนมจะต่ำและโคจะแสดงอาการป่วยมีกรดในกระเพาะสูง และเมื่อโคได้กินหญ้าหรืออาหารหยาบความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะสูงขึ้น เนื่องจากโคจะมีการเคี้ยวเอื้อง ทำให้เกิดการหมวนเวียนของน้ำลาย ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างไหลกลับเข้ากระเพาะรูเมน จะช่วยปรับสภาพในรูเมนให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ดังนั้นการให้อาหารหยาบและอาหารข้นพร้อมๆ กันในรูปของอาหาร TMR (อาหารผสมสำเร็จรูป) จึงเป็นวิธีหนึ่งจะสามารถควบคุมระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้คงที่ได้ดีกว่าการให้อาหารแยกกัน

สารพิษและสารยับยั้งการใช้ประโยชน์โภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์

ในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดอาจมีสารพิษหรือสารยับยั้งการเจริญเติบโตอยู่ ส่วนใหญ่แล้วสารเหล่านี้เป็นสารที่พืชผลิตขึ้นมาหรือพืชอาจดูดซึมมาจากดินแล้วสะสมตกค้างอยู่ เมื่อสัตว์กิน เข้าไปจะมีผลชะงักการเจริญเติบโต สัตว์อาจแสดงอาการเป็นพิษและอาจถึงตายได้ ดังนั้น ผู้เลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องทราบว่าวัตถุดิบชนิดใดบ้างที่มีสารพิษตกค้างอยู่ภายใน เมื่อทราบแล้วก็หาวิธีแก้ไขให้วัตถุดิบเหล่านั้นมีความปลอดภัยเมื่อสัตว์กินเข้าไป นอกจากพิษจะอยู่ในพืชแล้ว แร่ธาตุบางชนิด ก็เป็นพิษต่อสัตว์ได้เช่นกัน สารพิษและสารยับยั้งการเจริญเติบโตในอาหารสัตว์มีหลายชนิดดังนี้

สารต้านโภชนะตามธรรมชาติหรือจากพืชอาหารสัตว์ (anti-nutritional factors) เป็นสารที่มีอยู่ในส่วนประกอบของพืชที่เกิดขึ้นตามสภาพธรรมชาติ บางชนิดจะแสดงอาการเป็นพิษ เมื่ออยู่ในตัวสัตว์ บางชนิดจะสลายไปได้เองเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง บางทีเรียกว่า Endogenous toxicants สารต้านโภชนะที่พบในพืช และนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ที่สำคัญๆ มีดังนี้

1. สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor)

Trypsin inhibitor พบในพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ เมล็ดถั่วเหลืองดิบ กากถั่วเหลืองที่สุกไม่พอ ถั่ว beans, winged beans pigeon pea และ ถั่วพุ่ม เป็นต้น ในเมล็ดข้าวไรด์ ข้าวบาร์เลย์ จะมี Trypsin inhibitor สูงกว่าในข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี และสารนี้จะถูกทำลายด้วยการผ่านไอน้ำร้อน 110 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที หรือให้ความร้อนแห้ง ซึ่งก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้

ผลของ Trypsin inhibitor ต่อการผลิตสัตว์

การย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนลดลง มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของสัตว์ จากการศึกษาในถั่วเหลือง 3 ชนิด คือผ่านความร้อน ถั่วเหลืองที่มีสาร Trypsin inhibitor ต่ำ และถั่วเหลืองธรรมดาที่ไม่ผ่านขบวนการใดๆ พบว่ามีโปรตีนหายไม่ต่างกัน แต่คุณภาพโปรตีนต่างกัน โดยความสามารถย่อยได้ของกรดอะมิโนต่างกัน เป็น 92, 83 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความร้อนจะลดการทำงานของ Trypsin inhibitor ลดลง จึงทำให้เพิ่มการย่อยได้ของกรดอะมิโน และโปรตีน และในไก่ที่เลี้ยงด้วย ถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน หรือ ที่มี Trypsin inhibitor ต่ำ จะให้สมรรถภาพการผลิตสูงกว่าในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองธรรมดา ในไก่ที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนเปรียบเทียบกับที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองที่ไม่ได้สกัดไขมันและถั่วเหลืองที่มีสาร Trypsin inhibitor ก็พบว่า ไก่จะให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ สูงกว่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ดีกว่าด้วย ซึ่งมีรายงานว่าศึกษาในข้าวไรด์ และข้าวบาร์เลย์เมื่อผ่านความร้อนจะทำให้ใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น เพิ่มการกินได้ เพิ่มการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ และส่วนการเลี้ยงไก่กระທงและไก่ไข่ด้วยถั่วเหลืองที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน พบว่า จะสามารถเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวัน และ ผลผลิตไข่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าในถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนจะให้พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolisable energy) สูงกว่าด้วย

ผลต่อดับอ่อน ทำให้ดื่บอ่อนทำงานมาก จนมีขนาดโตขึ้น (pancreas hypertrophy) เกิดการกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อนออกมาทำให้สูญเสีย Trypsin และ Chymotrypsin สูญเสียกรดอะมิโนในร่างกายออกมากับมูล ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulphur-containing amino acids) ส่งผลให้เกิดการขาด Methionine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid) ในกากถั่วเหลือง ส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ลง จากการศึกษาในถั่วเหลือง 3 ชนิด คือผ่านความร้อน ถั่วเหลืองที่มีสาร Trypsin inhibitor ต่ำ และถั่วเหลืองธรรมดา พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองที่ไม่ได้สกัดไขมันและถั่วเหลืองที่มีสาร Trypsin inhibitor ดื่บอ่อนของไก่จะมีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน และน้ำหนักดื่บอ่อนของไก่จะเพิ่มขึ้นตามเวลาให้ความร้อนที่ลดลง และในไก่พบว่า Trypsin inhibitor จะมีผลทำให้ค่า protein efficiency ratio ลดลงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และในหนู และสุกร ก็พบว่า Trypsin inhibitor สามารถลดความสามารถย่อยได้ของอาหารโปรตีนและกรดอะมิโนลง กว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2. เลคติน (Lectins / Phytohaemagglutinins)

lectins พบในเมล็ดพืชตระกูลถั่วต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วพุ่ม ถั่ว White clover, Lima bean, Faba bean, Broad bean เป็นต้น และถูกทำลายด้วยการต้ม นาน 30 นาที ถูกทำลายด้วยความร้อนขึ้นได้ดีกว่าความร้อนแห้ง เลคติน เป็นสารประกอบพวกไกลโคโปรตีน และสามารถที่จะตัดแปลงหรือเปลี่ยนสภาพรูปร่างของลำไส้เล็กได้ โดยการจับหรือทำลายชั้น Bush border membrane ของลำไส้เล็ก แต่โดยทั่วไปของอาหารโปรตีนพบว่าเลคตินจะต้านทานการแตกตัวในทางเดินอาหาร ทำให้พบในมูลสัตว์ที่กินพวกเมล็ดถั่ว

กลไกความเป็นพิษของเลคติน

ตัวที่เป็นพิษของเลคตินคือ concaavalin A ซึ่งเป็นส่วนประกอบในถั่ว Jack bean winged bean และ ถั่วเหลือง โดยที่ concaavalin A ส่งเสริมให้เกิดสัดหรือปลดของ Bush border membrane ของลำไส้เล็ก และลดความยาวของวิลลัส (villus) ซึ่งจะเป็นการลดพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการดูดซึมในลำไส้เล็ก หรือ เลคตินอาจเกาะจับกับเซลล์เยื่อที่ Bush border ของลำไส้เล็ก จึงขัดขวางการดูดซึมสารอาหาร เช่น โปรตีน ทำให้การเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้เลคตินอาจจะแทรกซึมเข้าไปส่วน lamina propria ของลำไส้เล็ก มีผลต่อ eosinophils และ lymphocytes และอาจมีผลทำให้การทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันเสียหายได้ และเลคตินจะจับตัวกับ Glycoprotein ของผนังเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เม็ดเลือดแดงเกาะตัวกันเป็นก้อน

ผลต่อการผลิตสัตว์

เลคตินในถั่วเหลือง ระดับ 0.048 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทำให้ประสิทธิภาพใช้อาหาร และ ระดับเอนไซม์ของ Bush border ต่ำลง ในไก่วงอายุ 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ ยังมีผลต่อการพัฒนาของลำไส้เล็กในไก่วงอายุ 2 สัปดาห์ด้วย กล่าวคือทำให้ลดความยาวลำไส้เล็กและลดน้ำหนักต่อมไทมัส จากการใช้ถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านบวนการใดๆ ซึ่งมีเลคตินประกอบอยู่ เป็นแหล่งโปรตีนเลี้ยงลูกไก่และสุกร เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง (soy bean meal) หรือถั่วเหลืองที่ไม่มีเลคติน พบว่าการเจริญเติบโตต่อวันในลูกไก่และสุกรจะต่ำในกลุ่มที่ได้รับถั่วเหลืองธรรมดา และมีรายงานว่า การใช้ถั่วเหลืองที่ไม่มีเลคตินเป็นแหล่งโปรตีนเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองธรรมดาซึ่งมีเลคติน 7.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าการเจริญเติบโตในลูกไก่อายุ 2 สัปดาห์ ในกลุ่มที่ไม่มีเลคตินจะสูงกว่า และประสิทธิภาพการย่อยได้ของกรดอะมิโนสูงกว่าประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์

3. ไมโมซิน (Mimosine)

Mimosine เป็นกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน พบในพืชตระกูลถั่ว เช่น กระจง (*Leucaena leucocephala*) ในใบกระจงมี mimosine ประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดในใบกระจง หรือ 20-48 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ใบกระจงอ่อนมีปริมาณไมโมซินสูงกว่าใบกระจงแก่ประมาณ 3 เท่า ไมโมซินจะแตกตัวในกระเพาะหมักเป็น 3-Hydroxy-4(1H)-pyridone (3,4-Dihydroxypyridine; 3,4-DHP) การทำลายสารพิษของไมโมซิน โดยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณของไมโมซินในใบกระจงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือการเสริม FeSO_4 ในอัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารที่มีใบกระจง

กลไกความเป็นพิษของ mimosine

Mimosine สามารถเปลี่ยนเป็น 3, 4 -DHP (Dihydroxypyridine) โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งจะมีผลยับยั้งการสร้างฮอร์โมน Thyroxine ไมโมซินจะทำให้ขนร่วง ส่วน 3, 4 -DHP จะทำให้เป็นคอพอกได้ และไมโมซินจะสกัดกั้นการทำงานของ Metabolites บางตัว เช่น Pyridoxine, Niacin

ผลของไมโมซินต่อสัตว์กระเพาะเดียว

จะทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายลดลง ความสามารถในการย่อยลดลง และอาจทำให้ถึงตายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้หงอนและอัมตะของไกมีการเจริญน้อยลง ในสัตว์ปีกไม่ควรใช้ใบกระถินในสูตรอาหารมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสุกรไม่ควรใช้ใบกระถินในสูตรอาหารมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกระต่ายไม่ควรใช้เกิน 7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหาร ความเข้มข้นของโมโนซิน 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อโรคกระดูกในไก่เนื้อ โดยทำให้ความเข้มข้นและความหนาแน่นของแร่ธาตุ ในกระดูกต้นขาลดลง จึงส่งผลต่อความแข็งแรง ความอ่อนนุ่ม ความเหนียวของกระดูกก็ลดลงด้วย และเกิดการเปลี่ยนแปลงการหมุนเวียนของกระดูกต่ำลง การใช้ใบกระถินปนเลี้ยงลูกไก่ในอัตรา 5-15 เปอร์เซ็นต์ พร้อมเสริม FeSO_4 พบว่าการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดี อาจเป็นเพราะว่าการเสริม FeSO_4 ในอาหารที่ใช้ใบกระถินปนปริมาณสูง จะทำให้ลดพิษของโมโนซินได้ ส่วนในสุกรขุนน้ำหนักอยู่ในช่วง 20-60 กิโลกรัมเลี้ยงด้วยใบกระถินปนในอาหาร 10-20 เปอร์เซ็นต์ เสริมและไม่เสริม FeSO_4 พบว่าการย่อยได้ของโปรตีนจะต่ำในอาหารที่เสริมใบกระถินสูง แต่การใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนไม่ต่างกัน ส่วนกลุ่มที่เลี้ยงด้วยกระถินปนสูงแต่ไม่เสริม FeSO_4 จะทำให้การกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอาหารลดลง อาจเนื่องมาจากโมโนซินทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง นอกจากนี้ยังมีอาการขนร่วง

ผลของโมโนซินต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โมโนซินจะเปลี่ยนเป็น 3, 4 - DHP ทำให้การสร้าง Thyroxine น้อยลง ต่อมไทรอยด์จะขยายใหญ่ สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง การเจริญเติบโตลดลง และขนร่วง ในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ใบกระถินในสูตรอาหารได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่หากใช้เป็นพืชหลักนาน 5-12 เดือน จะทำให้เกิดพิษของโมโนซินได้ จากการศึกษาการใช้ใบกระถินปนในสูตรอาหาร ในลูกวัวพบว่ามีผลทำให้ลดระดับของฮอร์โมนไทรอยด์ thyroxine (T_3) และ triiodothyronine (T_4) และการกินได้ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของใบกระถินขึ้น และระดับที่กินได้สูงสุดเมื่อเสริมใบกระถิน 50 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาการใช้สารโมโนซิน 40 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแม่แทบอติก ในแพะโดยการฉีดเข้าเส้นเลือดเป็นเวลา 3 วันติดต่อกัน พบว่าการกินได้ลดลง กินน้ำลดลง และในระหว่างการทำโมโนซินจะทำให้กรดอะมิโน เมทไธโอนีน และไลซีนในกระแสเลือดต่ำลงเกือบครึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine ก็ลดลงด้วย และจากการเลี้ยงแพะด้วยกระถินเป็นเวลานาน 2 ปี ก็ไม่มีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อการผลิตและประสิทธิภาพระบบสืบพันธุ์ของแพะพันธุ์ Nguni ในแอฟริกาใต้ อันเนื่องมาจากการปรับตัวของสัตว์ต่อสารโมโนซิน โดยแบคทีเรียในกระเพาะหมักที่ชื่อ *Synergistes jonesii* มีรายงานว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องจะสามารถปรับตัวได้ โดยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จะสลายสาร 3, 4 - DHP และป้องกันการเกิดพิษได้ อย่างไรก็ตามในลูกโคเนื้อลูกผสมที่เลี้ยงด้วยกระถินเดี่ยวๆ พบว่าลูกโคหนึ่งในสามตัว มีอาการเป็นพิษจากโมโนซิน หลังจากเลี้ยง 24 วัน คือ น้ำหนักลด การเจริญเติบโตต่ำ ซุปพอม ขนร่วง หูและตาเป็นแผลฟกช้ำ ปากเป็นแผลมีหนอง น้ำลายไหล ส่วนในโคลูกผสมบาร์มันเพศผู้ ก็มีอาการเป็นพิษ 1 ตัว โดยพบว่ามีขนร่วง เป็นโรคคอกพอก น้ำลายไหล หลังจากปล่อยแทะเล็มกระถิน และโคจะมีอัตราการเจริญสูงเมื่อปล่อยแทะเล็มในระยะเวลานาน แต่ถ้าใช้เวลานาน (2 เดือน) อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง และโคจะมีระดับ thyroxine ในเลือดต่ำ

4. กรดไฮโดรไซยานิก / กรดพรัสสิก (Hydrocyanic acid, HCN / Prussic acid)

Cyanogens เป็นสารประกอบพวก ไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ สารพิษที่พบ คือ Cyanogenetic glucoside ซึ่งทำให้มี HCN 2 ชนิด คือ

1. Linamarin พบ Glucoside ชนิดนี้ถึง 97 % เปอร์เซนต์ ในมันสำปะหลัง เมื่อสัตว์กินเข้าไป Linamarin ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Linamarase ที่มีอยู่ในตัวสัตว์ จะให้ D-glucoside, acetone และ HCN เกิดขึ้นในร่างกายสัตว์
2. Lotaustralin พบ Glucoside ชนิดนี้เพียง 3 เปอร์เซนต์ ในมันสำปะหลัง เมื่อสัตว์กินเข้าไป Lotaustralin ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Linamarase ได้ D-glucose, methyl ethylketone และ HCN เกิดขึ้นในร่างกายสัตว์ ซึ่งมีพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบการหายใจล้มเหลว และ หัวใจหยุดเต้น ชะงัก

HCN พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ มันสำปะหลัง เมล็ดยางพาราและกากเมล็ดยางพารา ในหัวมันสำปะหลังจะพบ HCN 2.4-15.6 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม เฉลี่ย 6.98 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม (ในมันสำปะหลัง ไม่ควรมี HCN มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) ในเมล็ดยางพารา พบ HCN 200 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเมล็ดสด 100 กรัม ในกากเมล็ดยางพารามีเปลือก พบ HCN 0.002 เปอร์เซนต์

การทำลายพิษในมันสำปะหลัง โดยการหั่นแล้วผึ่งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่ 60 องศาเซลเซียส HCN จะสูญเสียไปถึง 83 เปอร์เซนต์ หรือโดยการหมัก โดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวทำลาย HCN ซึ่งเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และน้ำ

การทำลายพิษในกากเมล็ดยางพารา การอบด้วยความร้อน 105 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง จะสามารถลดปริมาณ HCN ได้ 84 เปอร์เซนต์ หรือ ในเมล็ดยางพารา โดยการนำไปแช่น้ำ แล้วนำไปต้ม ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปอัดน้ำมันจะลด HCN ลงได้ 97 เปอร์เซนต์

ความเป็นพิษของ HCN ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

สาร Linamarin เป็นพวก cyanogenic glycosides ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมีปริมาณสูงในมันสำปะหลัง และมีความเป็นพิษเมื่อแตกตัวได้ HCN จากการศึกษาในกระต่ายพบว่า การเลี้ยงด้วยมันสำปะหลังสามารถใช้ได้สูงถึง 40-50 เปอร์เซนต์ ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต การกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต หัวใจ และตับอ่อน เป็นต้น จากการกำจัดสารพิษในมันสำปะหลัง 2 วิธี โดยการสับแล้วทำให้แห้งเร็วภายใน 24 ชั่วโมง และทำให้แห้งช้า ภายใน 72 ชั่วโมง พบว่าระดับของสารไซยาโนจะลดลงเหลือ 38 และ 482 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับวิธีแห้งช้าและแห้งเร็ว ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตของไก่เนื้อจะสูงกว่าถ้าเลี้ยงด้วยมันสำปะหลังที่กำจัดสารพิษโดยวิธีแห้งช้า และในกลุ่มที่ให้มันสำปะหลังที่แห้งเร็วไก่จะมีน้ำหนักของตับอ่อนน้อยกว่า และมีการหลั่งของน้ำดีสูงกว่าด้วย ดังนั้นการที่อาหารมีสารไซยาโนสูงจะมีผลประสิทธิภาพการผลิตได้ และในไก่เนื้อสามารถทนสารไซยาโนได้ที่ระดับต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่วนแม่ไก่สามารถทนต่อระดับ HCN ได้ถึง 135 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในไก่ถ้าได้รับอาหารที่มีมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการทรีทจะทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้มีแนวโน้มต่ำลง และถ้าได้รับ HCN 100 ppm การเจริญเติบโตจะลดลง ถ้าได้รับ 280 ppm การกินได้จะลดลง

ในไก่ อาการและอัตราการตายเนื่องจาก HCN มี 3 ลักษณะ คือ

1. หงอยซึม ง่วงนอน และตาย จะป่วย 12 – 16 ชั่วโมง ก่อนตาย มันเกิดกับไก่อายุประมาณ 4 สัปดาห์
2. ตายอย่างรวดเร็วโดยไม่มีอาการป่วย ผ่าซากพบเลือดออกเป็นปื้นระหว่างชั้นของผิวหนังกับกล้ามเนื้อหรือตามพังผืดรอบๆ กล้ามเนื้อ เกิดกับไก่อายุ 5 สัปดาห์ขึ้นไป

3. มีอาการทางประสาท คอบิดไปทางด้านข้าง ศีรษะห้อยต่ำลง ชักและตาย เกิดในไก่อายุ 6-7 สัปดาห์ มีอาการ 10-14 วันก่อนตาย

ความเป็นพิษของ HCN ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การสร้างสารพิษ cyanogens ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น จะเกิดจากการสลายตัวเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycosides) เช่น amygdalin, prunasin และ linamarin เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของอะไกลโคน (aglycones) เช่น benzaldehyde cyanohydrin และ acetone cyanohydrin ออกจากสารพวกน้ำตาล โดยอัตราการเกิด cyanogens ก็ขึ้นอยู่กับ cyanodrin ซึ่งสารตัวกลางจากการแตกตัวของ cyanogenic glycosides ได้เป็นสารพิษ hydrogen cyanide (HCN) และอัตราการสลายตัวของ cyanodrin ก็ขึ้นอยู่กับ pH ในกระเพาะหมัก โดยทั่วไปจะแตกตัวได้ดีที่ pH 6 และอัตราการสลายตัวจะช้าลงถ้า pH 5-6 ยังพบว่าถ้าสัตว์อยู่ในสภาวะอิมและ pH สูงจะสลายตัวได้ดีกว่าสภาวะกำลังกินหรือย่อยอาหาร และอัตราการสร้าง cyanogens สูงสุดที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังอาหารเย็น ดังนั้นสัตว์จะแสดงอาการอ่อนแอต่อพิษของ HCN จากพิษจะเกี่ยวข้องกับ pH และการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ที่สร้างน้ำย่อย β -glucosidase สำหรับสลายพันธะ ไกลโคซิดิก (glycosidic bonds)

ระดับที่เป็นพิษของ HCN ในสัตว์จะประมาณ 1.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวสัตว์ 1 กิโลกรัม

5. กลูโคสิโนเลท (Glucosinolates)

กลูโคสิโนเลท เป็นสารประกอบไกลโคไซด์ ซึ่งมีน้ำตาลกลูโคส จับกับสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบ (sulfur-containing) และพบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ กากคาโนลา เรปซีด ซึ่งกากคาโนลา มีสารกลูโคสิโนเลท ประมาณ 12 - 16 ไมโครโมลต่อกรัม ซึ่งสารนี้มีหลายชนิด ที่สำคัญ ได้แก่ progoitrin, gluconapin และ glucobrassicinapin ทั้งกากคาโนลาและเรปซีด เป็นแหล่งอาหารโปรตีน ซึ่งมีโปรตีนหยาบ 30-38 เปอร์เซ็นต์

การทำลายพิษของกลูโคสิโนเลท การใช้วิธีสกัดน้ำมันที่เหมาะสม โดยใช้อุณหภูมิ 100 -105 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที สามารถทำลายเอนไซม์ไมโรซิเนส ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารกลูโคสิโนเลท

กลไกความเป็นพิษ เนื่องจากในกากเมล็ดพืชพวกนี้มีเอนไซม์ไมโรซิเนส (myrosinase) หรือผลิตโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ และในกระเพาะหมัก จะทำการย่อยสลายสารต้านโภชนาเหล่านี้ให้แตกตัวได้สารที่เป็นพิษต่อสัตว์ ได้แก่ ไอโซไธโอไซยาเนท (Isothiocyanates) ไธโอไซยาเนท (Thiocyanates) ออกซาโซลิดีนไธออน (Oxazolidinethiones) และไนทริล (Nitriles) ความเป็นพิษของสารเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับ กลูโคสิโนเลท และการทำงานของเอนไซม์ไมโรซิเนส สารเหล่านี้จะมีผลทำให้ต่อมไทรอยด์โตขึ้น และผลิตฮอร์โมน Thyroxine ลดลง ทำให้เกิดคอปอก (goiter) โดยเฉพาะ ไธโอไซยาเนท ไอออน จะขัดขวางฮอร์โมนไทรอยด์จับกับไอโอดีน ส่งผลให้ฮอร์โมนไทรอยด์ไม่ทำงานเมื่อปล่อยสู่กระแสเลือดดังนั้นการมีสารกลูโคสิโนเลทสูงจึงทำให้เกิดโรคคอปอก และยังทำให้ ตับและไต มีขนาดใหญ่ขึ้น ขบวนการเมตาโบลิซึมผิดปกติ การกินได้ลดลงโดยเฉพาะในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เจริญเติบโตช้าลง ความสมบูรณ์ พันธุ์เลวลง กลไกยังไม่ชัดเจนนัก แต่เชื่อว่าน่าจะเกิดจากหลายสาเหตุร่วมกัน เช่น การเกิดจากผลของกลูโคสิโนเลท การขาดอาหารของแม่ซึ่งอาจจะเกี่ยวกับการทำงานของฮอร์โมนไทรอยด์ การเคลื่อนย้ายสารก่อโรคคอปอกไปยังลูก และการลดการเคลื่อนย้ายสารโภชนา เช่น ไอโอดีน ผ่านรกของแม่สู่ลูก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม

ตามความรุนแรงของผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ก็ขึ้นอยู่กับชนิดสัตว์ เช่น ในสุกรก็ที่ระดับกลูโคสิโนเลท 4 มิลลิโมลต่อกรัมอาหาร จะมีผลกระทบต่อความสมบูรณ์พันธุ์ และที่ระดับ 8 มิลลิโมลต่อกรัมอาหาร จะมีผลต่อการกินได้

ผลของกลูโคสิโนเลทในสัตว์กระเพาะเดียว

กลูโคสิโนเลท และสารที่ได้จากการแตกตัวของกลูโคสิโนเลท อาจจะสามารถตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์ เช่น ไข่ เนื้อ และนม ได้โดยไม่สามารถวัดได้จากรสชาติ โดยในไก่ไข่ พันธุ์สีน้ำตาล จะไวต่อกลูโคสิโนเลทที่ ระดับ 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัมอาหาร ทำให้มีกลิ่นคาวในไข่ ส่วนในไก่ไข่พันธุ์สีขาวจะทนได้สูงกว่าประมาณ 3 เท่า ในไก่ที่รับประทานที่มียูโรโคสิโนเลทจะทำให้ระดับ thyroxine ในกระแสเลือดลดลงและต่อมไทรอยด์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และในสุกรรุ่นที่ให้กลูโคสิโนเลทสูง และเสริมไอโอดีนร่วมด้วย พบว่ากลุ่มที่ได้รับกลูโคสิโนเลทสูง 3.2- 148 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ โดยไม่เสริมไอโอดีน จะลดประสิทธิภาพการผลิต และจะแสดงอาการขาดไอโอดีน น้ำหนักตัวและไทรอยด์จะเพิ่ม แต่ปริมาณ thyroxine ในกระแสเลือดจะลดลง แต่เมื่อมีไอโอดีนเสริมด้วย พบว่าสารก่อโรคมะเร็งจะลดลง และ thyroxine จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเลี้ยงไก่ไข่ด้วยเรปซิดที่มีกลูโคสิโนเลทสูงจะทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไข่ โดยทำให้การผลิตลดลง และตัวขยายใหญ่ และการใช้เรปซิด 50 เปอร์เซ็นต์ในอาหารจะทำให้ยับยั้งการผลิตไข่ สูตรอาหารที่ประกอบด้วยส่วนผสมของ ไนทริลและกลูโคสิโนเลท จะยับยั้งการกินได้และการผลิตไข่ในไก่ไข่ นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุให้เกิดเลือดออก (haemorrhages) ที่ตับด้วย เลือดจะกระจายออกมาจากรอยแตกของเส้นเลือดดำภายในตับและจากเส้นเลือดฝอยร่วมด้วย ซึ่งเกิดจากการเสื่อมทรามของเซลล์ผนังเส้นเลือด การใช้กากเรปซิดในอาหารสัตว์ ในไก่รุ่นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้การกินได้ลดลง ไก่ไข่ไม่ควรใช้เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสูตรอาหารสุกรเล็ก (5-20 กิโลกรัม) ไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ อาหารสุกรรุ่น (20 -60 กิโลกรัม) ไม่ควรใช้เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ หากไม่เสริมไอโอดีน (0.1-0.2 มิลลิกรัมต่ออาหาร) ร่วมด้วย เพราะจะทำให้การกินได้และการเจริญโตลดลง และอาหารขุน (60 -100 กิโลกรัม) ไม่ควรใช้เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรกำลังท้อง และให้นมที่ให้เรปซิดที่มีกลูโคสิโนเลท 2-10 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมอาหาร และมีการเสริมไอโอดีน 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่า ในกลุ่มไม่เสริมไอโอดีน จะทำให้น้ำหนักหย่านมลดลง และลดระดับ thyroxine ในลูกสุกร แต่ไม่เปลี่ยนแปลงในแม่สุกร ไอโอดีนในน้ำนมก็ลดลง นั่นแสดงว่า กลูโคสิโนเลท มีผลขัดขวางสมดุลของฮอร์โมนและไอโอดีนในลูกสุกร สาร goitrin ในเรปซิด ก็ให้ผลคล้ายกับกลูโคสิโนเลท โดยในสุกรที่ได้รับ goitrin 4.6 มิลลิโมลต่อวัน จะทำให้การกินได้ลดลง น้ำหนักตัว และไทรอยด์จะเพิ่มขึ้น และไทรอยด์จะลดลงเมื่อได้รับ goitrin เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ thyroxine และ triiodothyronine ลดลง มีผลกระทบต่อการทำงานของไทรอยด์

ผลของกลูโคสิโนเลทในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เรปซิดที่มีกลูโคสิโนเลทต่ำ เมื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนในอาหารชั้นของโค กลูโคสิโนเลทจะแตกตัวได้เป็น oxazolidinethione, unsaturated nitriles และ thiocyanate ประมาณ 0.1 , 10 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร และสารเหล่านี้ อาจจะตกค้างในน้ำนม และมีผลต่อซาก ถึงแม้จะยังไม่มียารายงานยืนยัน แต่พบว่า ในหนูที่เลี้ยงน้ำนมจากโคที่ได้รับอาหารเรปซิดที่มีกลูโคสิโนเลทสูง จะทำให้หนูมีต่อมไทรอยด์ขยายใหญ่ขึ้น แต่เมื่อเสริมไอโอดีน 61 ไมโครกรัมต่อวัน ก็พบว่าสามารถป้องกันการขยายของไทรอยด์ได้ มีรายงานว่าเสริมเรปซิด 25 เปอร์เซ็นต์ในอาหารโคนม จะทำให้ลดปริมาณไอโอดีนในน้ำนม และลด thyroxine ในกระแสเลือด ส่วนในลูกโคก็พบว่าทำให้ลด thyroxine และเพิ่มน้ำหนักตัวและ

ไทรอยด์ นอกจากนี้การเสริมเรปซีดที่มีกลูโคสิโนเลทสูงจะทำให้การกินได้ และการเจริญเติบโตลดลงด้วยการศึกษาการใช้เรปซีดที่มีกลูโคสิโนเลทสูงและต่ำในโคนเนื้อเพศผู้ พบว่าประสิทธิภาพใช้อาหาร การย่อยได้ของวัตถุดิบและสารเยื่อใยสูงขึ้นเมื่อเสริมเรปซีดที่มีกลูโคสิโนเลทสูง โดยการเสริมเรปซีด 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การกินได้และอัตราการเจริญเติบโตลดลงเกือบ 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่เสริม 50 เปอร์เซ็นต์ การใช้กากเรปซีดทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารโคขุน พบว่าเมื่อเพิ่มระดับของกากเรปซีดขึ้น จะทำให้การกินได้ของโปรตีนและวัตถุดิบลดลง และยังทำให้ระดับ thyroxine ในกระแสเลือดลดลงด้วย

6. ซาโปนิน (Saponins)

ซาโปนินเป็นสารพวก glycosides compounds ประกอบด้วย steroid (C₂₇) หรือ triterpenoid (C₃₀) จับกับโมเลกุลของน้ำตาล (oligosaccharide) หนึ่งโมเลกุลหรือมากกว่า และจับหนึ่งหรือ สองตำแหน่งก็ได้ และโดยทั่วไปจะจับที่ตำแหน่ง C₃ เรียกว่า monodesmoside saponins แต่ถ้าหากว่ามีโมเลกุลของน้ำตาล เพิ่มที่ตำแหน่ง C₂₂ หรือ C₂₈ ก็จะเรียกว่า bidesmoside saponins

ซาโปนิน พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ กากถั่วเหลือง และพืชตระกูลถั่ว (Acacia) ต่างๆ เช่น ถั่วอัลฟาลฟา ถั่ว pea bean และพืชตระกูลถั่วอื่นๆ เช่น หญ้ากินนี หญ้าชิกแนล นอกจากนี้พบได้ในพืชปลูกและพืชป่าต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะพบสารนี้ในส่วนต่างๆ เช่น ใบ ยอด เปลือกไม้ เมล็ด ราก หัว ผล ซึ่งเป็นส่วนของพืชที่มีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช หรือพวกหอย หรือแม้แต่สัตว์กินพืช และเชื้อก่อโรค เช่น ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา เป็นต้น ซาโปนินจึงเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อป้องกันตัวมันเองจากการทำลายแมลงศัตรูพืชและเชื้อโรค

กลไกความเป็นพิษ ซาโปนินเป็นสารประกอบพวกไขมัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) ทำให้สามารถแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียสภาพได้ เป็นผลให้สารต่างๆ สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้มากขึ้น และอาจทำให้เม็ดเลือดแดงแตกได้ ทั้งนี้พบว่า steroid หรือ triterpenoid ของซาโปนินที่ประกอบด้วยน้ำตาลสายเดี่ยว (monodesmoside saponins) มีความสามารถทำให้เกิดเม็ดเลือดแดงแตกได้สูงกว่าซาโปนินที่ประกอบด้วยน้ำตาลสองสาย ส่วนระดับความเป็นพิษนั้นพบว่าซาโปนินจะถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายน้อยมาก ยังไม่เป็นที่ยอมรับว่ามีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในสัตว์กระเพาะรวมพบว่ามีประโยชน์มากกว่าเป็นโทษกล่าวคือ มีผลต่อการกินได้ การเจริญเติบโต ระบบสืบพันธุ์ และสามารถเป็นสารต้านโปรโตซัว (anti-protzoa) ช่วยในการย่อยโปรตีน ลดการผลิตก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ และการดูดซึมวิตามินและแร่ธาตุในทางเดินอาหารดีขึ้น และในสัตว์กระเพาะเดี่ยว มีรายงานว่า จะทำให้ลดการกินได้ การเจริญเติบโตและลดการผลิตไข่ในไก่ไข่ ลดการย่อยได้ของอาหารโปรตีน ยับยั้งการดูดซึมสารอาหารของผนังลำไส้เล็ก แต่มีรายงานว่าซาโปนินสามารถเพิ่มอัตราการแลกเนื้อในสุกรขุนรุ่นและสุกรช่วงหย่านม อย่างไรก็ตามยังพบว่าซาโปนินสามารถมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดออกซิไดส์ของไขมัน (anti-oxidant) ได้ด้วย จากการศึกษาการใช้สารซาโปนินจากถั่วเหลือง พบว่าสามารถกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนไทรอยด์ในซีรัมได้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการออกซิไดส์ของไขมันของเซลล์ตับในหนูได้

7. แทนนิน (Tannins)

แทนนิน หรือกรดแทนนิก เป็นสารประกอบพวก phenolic compounds พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ข้าวฟ่างสายพันธุ์ Birdresistant hybrids มี Tannin อยู่ระหว่าง 2.36 -7.25 เปอร์เซ็นต์

และ เมล็ดน้ำมันและพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่ ส่วนใน *Acacia spp.* และ *Lotus spp.* พบ ว่ามี condensed tannin อยู่ประมาณ 65 และ 30-40 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

การทำลายพิษของแทนนิน การแช่น้ำ 12 -24 ชั่วโมง และอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง การให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียส 15 นาที ไม่ทำให้ข้าวฟ่างใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้นในไก่

ผลของแทนนินในสัตว์กระเดี้ยว

แทนนินจะยับยั้งการสร้างเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยอาหาร ได้แก่ Trypsin, α -amylase และ Lipase การเกิดกรดแทนนิก (Tannic acid) ในอาหารไก่ จะทำให้คอเลสเตอรอลในกระแสเลือดสูงขึ้น ไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายจะลดลงและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง แทนนิน 0.05 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไข่แดงมีจุดเหลือง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ไข่แดงมีสี olive green และแทนนิน 0.64 – 0.83 เปอร์เซ็นต์ ลดอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่ และกรดแทนนิก 0.5- 2 เปอร์เซ็นต์ ในไก่ ลดอัตราการเจริญเติบโต และเพิ่มไขมันในตับ และกรดแทนนิก 2 -4 เปอร์เซ็นต์ ในไก่ไข่ จะทำให้ไข่แดงเปลี่ยนสีเป็น greenish tint และถ้าหากว่ากรดแทนนิกสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดอัตราการตาย 70 เปอร์เซ็นต์

ผลของแทนนินในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

condensed tannin อาจจะมีผลเสียต่อระบบการทำงานภายในกระเพาะหมัก ยับยั้งการกินได้ การเจริญเติบโต ผลผลิต เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากใช้ในระดับต่ำ ประมาณ 30-40 กรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของถั่วอาหารสัตว์ ก็เป็นประโยชน์ คือเพิ่มการใช้ได้ของโภชนะ โดยเฉพาะเพิ่ม by pass protein และยับยั้งการเกิดท้องอืดในโค คอนเดนแทนนินจากถั่วอาหารสัตว์ จะเพิ่มการใช้โภชนะของแกะ โดยการลดการแตกตัวในกระเพาะหมักของโปรตีนในพืช และเพิ่มโปรตีนหายาไหลผ่านไปยังลำไส้เล็ก และจากการเสริม *Lotus corniculatus* ซึ่งเป็นพืชที่มีคอนเดนแทนนินสูง พบว่าทำให้ประชากรจุลินทรีย์ลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่นในกลุ่มที่ย่อยโปรตีน และแอมโมเนีย เป็นต้น จึงทำให้การย่อยได้ ของโปรตีนและไนโตรเจนในกระเพาะหมักลดลง และส่งผลให้เพิ่มการไหลผ่านของโปรตีนที่ไม่ย่อยได้สูงขึ้น ด้วย เป็นผลให้เพิ่มการไหลผ่านของกรดอะมิโนที่จำเป็นจากกระเพาะหมักสู่ลำไส้เล็กอันจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ เพราะว่าเพิ่มการของกรดอะมิโน ความเป็นไปได้ของผลของแทนนินที่มีต่อไนโตรเจนเมแทบอลิซึม มี 4 ประการ คือ 1) โปรตีนหลบหลีกจากกระเพาะหมักไปสู่ทางเดินอาหารส่วนล่าง 2) เพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ 3) เพิ่มไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของภายในทางเดินอาหาร 4) โปรตีนที่ย่อยไม่ได้จากการจับตัวกับแทนนิน เป็นต้น จากการเสริมคอนเดนแทนนินในการเลี้ยงแพะและแกะด้วยอาหารคุณภาพต่ำ พบว่าการเสริมคอนเดนแทนนินจะทำให้ สมดุลไนโตรเจนดีขึ้น ลดยูเรียไนโตรเจนในซีรัม และเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอาหารโปรตีน และจากการใช้ถั่วอาหารสัตว์ 2 ชนิดที่มีคอนเดนแทนนิน 1 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ ในแพะและแกะ พบว่า อาหารที่มีคอนเดนแทนนินสูงจะป้องกันโปรตีนจากการถูกย่อยในกระเพาะหมัก และทำให้อาหารย่อยได้ต่ำในกระเพาะหมัก โดยคอนเดนแทนนินอาจจะจับกับโปรตีน เป็นอิสระ หรือ การจับกับสารเยื่อใย ซึ่งอาจจะรวมตัวกันระหว่างกระบวนการย่อย และเมื่อมีการเสริม Polyethylene glycol (PEG) ร่วมด้วยจะทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ NDF และ ADF จะสูงขึ้น แต่โปรตีนไหลผ่านก็จะน้อยลง เพราะว่า PEG จะลดการทำงานของคอนเดนแทนนิน

8. กอสซิปอล (Gossypol)

กอสซิพอล เป็นสารประกอบตามธรรมชาติที่พืชสร้างขึ้น เพื่อเป็นด่านป้องกันอันตรายจากการเข้าทำลายของแมลงต่างๆ จากเชื้อก่อโรคต่าง เป็นต้น พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ กากเมล็ดฝ้าย กอสซิพอล เป็นสารประกอบ polyphenols สีเหลือง ละลายได้ในไขมัน อยู่ในต่อมของสมอฝ้าย และปรากฏอยู่ 2 รูป คือ กอสซิพอลที่ยึดจับกับโปรตีนหรือโอโซนอื่นๆ (Bound gossypol , BG) ดูดซึมไม่ได้และไม่เป็นพิษ กับ กอสซิพอลอิสระ (Free gossypol, FG) ซึ่งเป็นพิษกับสัตว์

การทำลายพิษกอสซิพอล การสกัดโดยใช้ hexane : acetone : water = 44: 55: 3 หลังอัดน้ำมันจะลด กอสซิพอลลงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ การให้ความร้อนจะเปลี่ยน Free gossypol ไปให้อยู่ในรูป Bound gossypol ซึ่งมีพิษน้อยกว่า การใช้ $FeSO_4$ เติมลงในกากเมล็ดฝ้ายโดยใช้ $FeSO_4$: gossypol = 1 : 1

ผลต่อสัตว์กระเพาะเดียว

การต้านทานพิษของกอสซิพอลจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ และอายุ ถ้าสัตว์อายุน้อยก็จะไวต่อพิษสูง ในสุกรจะค่อนข้างไวต่อความเป็นพิษของกอสซิพอล การใช้เกลือแร่ธาตุและไลซีนจะช่วยลดพิษได้ และกอสซิพอลจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบสืบพันธุ์ เช่นอาจลดการผสมติด และขนาดของครอก เป็นต้น โดยมีผลต่อการยับยั้งการสร้างฮอร์โมนสเตอรอยด์ ทำให้มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ในทั้ง เพศผู้และเพศเมีย ทั้งนี้กอสซิพอลจะมีผลยับยั้งกระบวนการสร้างสเปิร์มในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยจะมีผลต่อการเคลื่อนไหวของ spermatozoa กลไกของกอสซิพอลต่อการลดการเคลื่อนไหวของสเปิร์มเป็นดังนี้ คือ 1) จะยับยั้งการเคลื่อนไหวและการไหลไปตามท่อเก็บสเปิร์มของ spermatozoa ที่เพิ่งสร้างเสร็จ 2) การใช้ออกซิเจนจะถูกกระตุ้นด้วยความเข้มข้นระดับต่ำของกอสซิพอล และจะถูกยับยั้งเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 3) จะยับยั้งการหายใจของ spermatozoa โดยเยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้สารผ่านได้มากขึ้น จะมีผลยับยั้งโดยตรงต่อขบวนการขนถ่ายอิเล็กตรอนของไมโทคอนเดรีย 4) การลดลงอย่างรวดเร็วของไมโทคอนเดรียมีผลต่อการเคลื่อนไหว สรุปว่ากอสซิพอลจะยับยั้งการเคลื่อนไหวของสเปิร์มได้ โดยการปลดไมโทคอนเดรียของสเปิร์มนั่นเอง นอกจากนี้กอสซิพอลอาจจะมีผลต่อการสังเคราะห์และการหลั่งฮอร์โมนโปรเจสโตโรนจากกรานูโลซ่าเซลล์ จากการศึกษาไก่กระทงโดยให้กอสซิพอล 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าจะทำให้เกิดผิวนอกของท่อน้ำเหลืองมีลักษณะอ่อนและไหลรวมกันและเกิดเนื้อเยื่อพอกพูนของชั้น biliary ในตับ และ ตั้งแต่ 800 มิลลิกรัมขึ้นไป จะทำให้น้ำหนักตัวลดอย่างมาก และการกินได้ลดลงด้วย และถ้าไก่ที่ได้รับกอสซิพอล 1600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีผลทำให้เกิดอัตราการตาย 28.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อตับ ไนโคไซ พบว่าเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีกอสซิพอล 255 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้การกินได้ลดลงและลดประสิทธิภาพการผลิตไข่ ส่วนการศึกษาในสุกรนั้นพบว่า การเสริมกากเมล็ดฝ้ายในระดับสูงในสุกรรุ่นจะลดการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อ และยังทำให้น้ำหนักตัวและไตจะสูงกว่าที่เลี้ยงด้วยระดับต่ำ

Free gossypol 0.015 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่าในอาหาร เชื่อว่าไม่ทำให้เกิดอันตรายกับสัตว์ ถ้ามีมากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารจะทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง อ่อนเพลีย กระสับกระส่าย ซึม หอบและ ตายได้ ไนโคไซ ถ้ามี Free gossypol มากกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร จะทำให้ไม่มีสีผิดปกติ ส่วนในสุกรรุ่น-ขุน ถ้ามี Free gossypol มากกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารจะไม่มีผลต่อลักษณะต่างๆ ของสุกร

ผลต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในโคสาวที่ได้รับกอสซีปอล 12 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 76 วัน พบว่ามีผลต่อความสมบูรณ์พันธุ์ทำให้การผสมติดต่ำลง และมีผลต่อกระบวนการสร้างสเปิร์มของโคพ่อพันธุ์ ที่ได้รับกอสซีปอลอิสระ (Free gossypol) 8.2 กรัมต่อตัวต่อวัน โดยทำให้สเปิร์มอ่อนแอ ไม่สมบูรณ์ และถ้าได้รับกอสซีปอล 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้ลดเปอร์เซ็นต์ การเคลื่อนไหวของสเปิร์ม นอกจากนี้ยังพบว่ามีผลทำให้เม็ดเลือดแดงเพราะแตกได้ เมื่อสัตว์ได้รับในอัตรา 0.2 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งในระยะยาวก็จะมีพิษมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเสริมกอสซีปอลอิสระ 0.04-0.09 เปอร์เซ็นต์ ในโครีดนมพบว่า ทำให้การกินได้ และผลผลิตน้ำนมเพิ่ม แต่องค์ประกอบน้ำนมไม่แตกต่างกัน แต่ในบางรายงานพบว่า การกินได้และผลผลิตน้ำนมไม่ต่างกัน ส่วนการเสริมเมล็ดฝ้ายทั้งเมล็ด (whole cottonseed , WCS) ในแพะรุ่นในอัตรา 8-24 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเจริญเติบโต การกินได้ของวัตถุแห้งและ โปรีตีน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการย่อยได้ลดลงตามปริมาณของเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มในสูตรอาหาร ในโคสาวการให้กอสซีปอลอิสระ 0.5-20 กรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและ คะแนนร่างกาย แต่ในกลุ่มโคสาวที่ได้รับ 20 กรัม จะมีระดับของฮอร์โมนลูทีไนซิง (LH) สูง ส่วนโคกำลังให้นม การเสริมกอสซีปอล 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน น้ำหนักและคะแนนร่างกายและฮอร์โมนเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์ก็ไม่ต่างกัน ส่วนในโคบาร์มันที่กำลังตั้งท้อง หากได้รับกอสซีปอลในอัตรา 4 กรัมต่อตัวต่อวัน ก่อนและหลังคลอด อาจมีผลกระทบต่อการพัฒนา ระบบโครงร่างของลูกโค และเมแทบอลิซึมของวิตามินได้

อาการแสดงการเป็นพิษในสัตว์

ลักษณะอาการเป็นพิษในแพะมีดังนี้คือ ริมฝีปากบวมูน แข็ง ท้องบวมน้ำ และเบื่ออาหาร และตายภายใน 2-3 วัน หลังจากเริ่มป่วย ตรวจสภาพศพพบว่ามี เกิดแผลที่ตับ และ กล้ามเนื้อหัวใจ เกิดจากการกินกอสซีปอลอิสระ 348-414 มิลลิกรัมต่อวัน อย่างน้อย 3 เดือนติดต่อกัน ส่วนในลูกโคเนื้ออายุ 6 เดือน พบว่าเกิดอาการหายใจลำบากและตาย หลังจากแสดงอาการป่วย 2-3 วัน ลักษณะอาการทางกายภาพคือ เนื้อเยื่อหุ้มปอดและช่องท้องมีลักษณะน้ำซึมผ่านได้ ทำให้น้ำท่วมปอด สภาพร่างกายผายผอม และพบลักษณะหัวใจล้มเหลว เป็นสาเหตุการตาย ส่วนอาการในสุนัขก็พบว่าเป็นพิษจากกอสซีปอล เมื่อได้รับกอสซีปอลอิสระ 5.4-5.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน คือพบความพิการของกล้ามเนื้อหัวใจ การหดตัวผิดปกติ กล้ามเนื้อหัวใจเสื่อมสภาพ นำไปสู่อาการหัวใจล้มเหลว นอกจากนี้ยังมีอาการปอดบวมน้ำ เกิดเป็นแผลอักเสบ ที่ปอด หัวใจ ตับ และไต

9. สารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

อะฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่เกิดจากการผลิตของเชื้อราพวก *Aspergillus spp.* ที่ขึ้นอยู่ในอาหารสัตว์ที่เก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีอุณหภูมิและความชื้นสูง เช่น เมล็ดพืชที่มีความชื้นมากกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ และเก็บไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิอยู่ในระหว่าง 25 – 45 องศาเซลเซียส ทำให้เชื้อราพวก *Aspergillus spp.* ที่มีอยู่ทั่วไป ในอากาศและวัตถุดิบมีการเจริญเติบโตแพร่ขยายอย่างรวดเร็ว และเกิดการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นมา ในเปิดโดยเฉพาะลูกเปิดมีความทนทานต่อพิษของ อะฟลาทอกซินต่ำสุดส่วนในแกะจะต้านทานพิษได้สูงสุด สัตว์ที่ได้รับพิษของอะฟลาทอกซินเข้าไป สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง เติบโตช้า ซึม ซีด เกิดอาการดีซ่าน วิธีแก้ไขไม่ให้เกิดอะฟลา-ทอกซิน วิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุดก็คือ นำวัตถุดิบอาหาร เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มัน ถั่วต่าง ๆ ไปตากแดดให้แห้งสนิทให้เหลือความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ จะแก้ปัญหาการเกิดพิษอะฟลา-ทอกซินได้

10. แร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นพิษ

แร่ธาตุเป็นพิษเกิดเนื่องจากสัตว์ได้รับแร่ธาตุมากเกินไป อาจจะมาจกอาหารพืชที่ปลูก ในบริเวณที่มีแร่ธาตุบางชนิดสะสมอยู่มาก หรืออาจได้จากสภาพแวดล้อม โดยหายใจเข้าไปแล้วเกิดการสะสม พิษจนถึงขีดอันตราย ได้แก่ พรอท ตะกั่ว ฟลูออรีน โมลิบดีนัม ซีลีเนียม นอกจากนี้ยังมีกลุ่มสารที่ก่อให้เกิดสารพิษ เช่น ไนเตรต ออกซาเลต

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์

1. ชนิดของสัตว์ เช่น สุนัขต้องการชนิดและปริมาณอาหารแตกต่างจากวัว
2. ประเภทของสัตว์ เช่น วัวนมต้องการอาหารต่างจากวัวเนื้อ
3. ขนาดหรือน้ำหนัก คือ สัตว์ตัวใหญ่ต้องการอาหารมากกว่าสัตว์ตัวเล็ก
4. อายุของสัตว์ คือ สัตว์อ่อนต้องการอาหารที่มีคุณภาพดี หรือมีปริมาณน้อยกว่าสัตว์โตเต็มวัย
5. สัตว์ท้องหรือไม่ท้อง คือ สัตว์อุมท้องต้องการอาหารเพิ่มเพื่อลูกอ่อนด้วย
6. ระยะของการให้นม วัวอยู่ในระยะปลาย ๆ ของการให้นมต้องการอาหารน้อยกว่าระยะเริ่มให้นม
7. ระดับการผลิต เช่น วัวให้นมสูงก็ต้องการอาหารมาก วัวให้ไขมันสูงก็ต้องการอาหารเพิ่มขึ้น ไข่ไก่ตอกต้องกินอาหารมาก
8. สภาพความอ้วนผอมของสัตว์ ตามปกติสัตว์อ้วนกินอาหารมากกว่าสัตว์ผอม
9. การเคลื่อนไหวของสัตว์ สัตว์อยู่นิ่งกินอาหารน้อยกว่าสัตว์ที่เคลื่อนไหว
10. ปริมาณและคุณภาพของอาหารหยาบ เช่น ถั่วดีกว่าหญ้า ดังนั้นวัวกินถั่วจึงได้โภชนะมากกว่ากินหญ้า
11. ปริมาณและคุณภาพของอาหารข้น เช่น กากถั่วเหลืองมีคุณค่าสูงกว่ากากมะพร้าวเมื่อใช้ผสมอาหารกากถั่วเหลือง จะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่ากากมะพร้าว
12. เพศของสัตว์ เช่น ในบางกรณีสัตว์ตัวผู้กินอาหารมากกว่าสัตว์ตัวเมีย
13. โรคและพยาธิสัตว์ สัตว์ที่มีโรคและพยาธิรบกวนจะกินอาหารได้น้อยลง
14. อากาศและความร้อนหนาว คือถ้าอากาศภายในคอกร้อนมากสัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง(ต้องให้อาหารมีโปรตีนสูง)
15. ปัจจัยต่อต้านอื่น ๆ เช่น ถ้าแร่ธาตุชนิดหนึ่งมีมากเกินไปอาจจะทำให้การใช้แร่ธาตุชนิดอื่นลดลง หรือความต้องการแร่ธาตุชนิดอื่นลดลง

ความต้องการโภชนะของสัตว์

1. ความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (maintenance requirement) ใช้เพื่อให้สัตว์มีชีวิตอยู่ โดยไม่เพิ่มผลผลิต โภชนะที่ต้องการมากที่สุดเป็นพลังงาน โปรตีนและแร่ธาตุรองลงมา
2. ความต้องการเพื่อการเจริญเติบโต (growth requirement) ใช้เพื่อเพิ่มขนาดและจำนวนเซลล์ โภชนะที่ต้องการมากที่สุดคือโปรตีน รองลงมาคือพลังงาน และแร่ธาตุ
3. ความต้องการเพื่อการสืบพันธุ์ (reproductive requirement) ใช้เพื่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และลูกอ่อน โภชนะที่ต้องการมากที่สุดคือโปรตีน รองลงมาคือแร่ธาตุและวิตามิน
4. ความต้องการเพื่อการสร้างนม (lactation requirement) ใช้เพื่อการผลิตนม โภชนะที่ต้องการมากที่สุดคือพลังงาน รองลงมาเป็นโปรตีน น้ำตาลและไขมันนม แร่ธาตุ
5. ความต้องการเพื่อการทำงาน (work production requirement) โภชนะเพื่อการงานได้แก่ อาหารพลังงาน รองลงมาก็เป็นโปรตีน แร่ธาตุ

6. ความต้องการเพื่อผลิตขน เขา (wool or horn requirement) เพื่อการผลิตขน เขา หรือขน โภชนะที่ต้องการมากคือกว่าปกติคือพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุวิตามินตามลำดับ
(ศึกษาเพิ่มเติมตารางความต้องการอาหารของสัตว์)

มาตรฐานการให้อาหารสัตว์

1. มาตรฐานคณะกรรมการอาหารสัตว์สหรัฐอเมริกา (US. National Research Council หรือ USNCR หรือ NRC)
2. มาตรฐานคณะกรรมการวิจัยด้านการเกษตรของอังกฤษ (Technical Committee of Agricultural Research Council หรือ ARC)
3. มาตรฐานประเทศเขตร้อนหรือกำลังพัฒนา เช่น Nutrient requirements of Ruminants in developing countries (Kearl, 1982)

การประกอบสูตรอาหารสัตว์ (Feed formulation)

โดยสูตรอาหารที่ประกอบขึ้นเรียกว่า ไดเอท (diet) หรือ แร่ชั้น (ration) ซึ่งแร่ชั้นหมายถึงปริมาณอาหารที่ให้สัตว์กินเต็มทีในแต่ละช่วงเวลา เช่นแต่ละวัน อย่างไรก็ตามสองคำนี้มักใช้ปนกันหรือแทนกัน โดยสูตรที่สร้างขึ้นต้องประกอบด้วยวัตถุดิบอาหาร (feedstuff หรือ feed ingredient) ชนิดต่างๆ หลายประเภทดังกล่าวมาแล้ว

เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในธรรมชาตินั้นแต่ละชนิดจะมีโภชนาที่แตกต่างกันออกไป ไม่มีวัตถุดิบชนิดใดที่มีโภชนาครบถ้วน ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้เลี้ยงสัตว์ที่จะต้องดำเนินการประกอบสูตรอาหารหรือผสมอาหารขึ้นมาเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ ตามชนิด พันธุ์ เพศ และอายุของสัตว์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. สิ่งที่ต้องทราบก่อนการประกอบสูตรอาหาร

การประกอบสูตรอาหารเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์นั้นผู้การประกอบสูตรอาหารจำเป็นต้องทราบข้อมูลในด้านต่าง ๆ อย่างครบถ้วน ทั้งนี้เพื่อให้การประกอบสูตรอาหารทำได้ถูกต้อง แม่นยำ ตรงกับความต้องการของชนิด เพศ พันธุ์ และอายุของสัตว์ ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องทราบดังนี้

1.1 ความต้องการโภชนาชนิดต่าง ๆ ของสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตหรือแต่ละประเภทของผลผลิตซึ่งสามารถหาได้จากตารางมาตรฐานการให้อาหารสัตว์ (feeding standard) เช่น จาก NRC (National Research Council) ARC (Agricultural Research Council) หรือจาก สถาบันค้นคว้าอื่น ๆ

1.2 ส่วนประกอบทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์หรือปริมาณโภชนาที่วิเคราะห์ได้จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาเข้าประกอบสูตร โภชนาที่สำคัญ ๆ ได้แก่ เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์ dry matter หรือ DM) เเปอร์เซ็นต์โปรตีน เเปอร์เซ็นต์โภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient) เเปอร์เซ็นต์แคลเซียม เเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส

1.3 ราคาของวัตถุดิบที่นำมาเข้าประกอบสูตรอาหารสัตว์ เลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก

1.4 ขีดจำกัดในการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์บางตัวในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ เช่น ยูเรีย ใช้ได้ไม่เกิน 3 เเปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโคเนื้อ – กระบือ และใช้ได้ไม่เกิน 2 เเปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโคนม ส่วน

ใบกระถิน ใช้ได้ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรและไก่รุ่น และใช้ได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโค

1.5 ปริมาณอาหารที่โคสามารถกินได้ โดยปกติปริมาณอาหารที่โคกินจะแสดงในรูปของน้ำหนักวัตถุแห้ง (Dry matter) ซึ่งโคจะกินได้มากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งจากตัวสัตว์และสิ่งแวดล้อม โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) (ดูจากมาตรฐานความต้องการอาหารของโค NRC, ARC, Kearn (1982) หรือ มาตรฐานอาหารโคเนื้อของไทย)

2. การพิจารณาเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์

การเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาประกอบหรือผสมเป็นอาหารสูตรต่าง ๆ สำหรับใช้เลี้ยงสัตว์นั้น มีความสำคัญมากเพราะถ้าหากเราได้วัตถุดิบที่ดี สะอาด ใหม่ และไม่มีสิ่งเจือปนแล้วก็จะได้อาหารผสมที่มีคุณภาพสูง ตรงกันข้ามหากเราได้วัตถุดิบอาหารที่เก่า มีสิ่งเจือปน หรือมีกลิ่นเหม็น เมื่อนำมาประกอบเป็นสูตรอาหารแล้วก็จะได้อาหารที่มีคุณภาพต่ำ การเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น

1 วัตถุดิบนั้นหาได้ง่ายและมีปริมาณมากในท้องถิ่น ซึ่งราคามักจะถูกกว่า โดยเฉพาะอาหารที่เป็นพวกอาหารหลัก อันได้แก่อาหารที่เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้เป็นปริมาณมากในสูตรอาหาร

2 วัตถุดิบนั้นควรมีคุณภาพดีราคาถูก ซึ่งบางชนิดขึ้นอยู่กับฤดูกาลผลิตด้วย ดังนั้น ผู้ประกอบสูตรอาหาร ควรคิดว่าฤดูกาลใดวัตถุดิบชนิดใดราคาถูกก็ควรใช้วัตถุดิบชนิดนั้น ๆ

3 วัตถุดิบควรปราศจากสารพิษ วัตถุดิบที่มีสารพิษทำให้คุณภาพสูตรอาหารต่ำลง และมีผลเสียต่อผลผลิตของสัตว์ ดังนั้นก่อนนำวัตถุดิบที่มีสารพิษมาใช้ควรทำลายหรือลดระดับสารพิษให้น้อยลงจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยแก่สัตว์เสียก่อน

2.4 วัตถุดิบนั้นควรมีลักษณะทางกายภาพที่ดี เพื่อให้สัตว์ชอบกินและสามารถกินอาหารนั้นได้ตามความต้องการของร่างกาย เช่น ขนาดอนุภาคเหมาะสมตามชนิดและอายุของสัตว์ มีสี กลิ่นและรสชาติชวนกิน เป็นต้น

2.5 คุณภาพของวัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ ซึ่งมีความสำคัญมากในการควบคุมคุณภาพของอาหารสัตว์ที่ผลิต ถ้าวัตถุดิบที่นำมาใช้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอในแต่ละครั้งที่ผสมจะทำให้ได้อาหารที่ไม่ดีหรือต้องปรับสูตรอยู่เสมอ ๆ มีผลทำให้สัตว์ชะงักการกินอาหารได้

3. การคำนวณสูตรอาหารสัตว์สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. วิธีพีชคณิต (Algebraic method)
2. วิธีเพียร์สันสแควร์ (Pearson's square method)
3. วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error method)

วิธีแต่ละวิธีก็มีความยากง่ายแตกต่างกันออกไป ผู้เลี้ยงสัตว์จะเลือกใช้วิธีการคำนวณวิธีใดนั้นก็แล้วแต่ความสะดวกของแต่ละคน แต่สุดท้ายก็เพื่อต้องการได้สูตรอาหารที่ดีที่สุด มีปริมาณโภชนาครบถ้วนตามที่สัตว์ต้องการ และที่สำคัญจะต้องมีราคาถูกด้วย

3.1 วิธีพีชคณิต (algebraic method) ซึ่งมีหลักเกณฑ์การคำนวณ ดังตัวอย่างเช่น ต้องการ

ประกอบ สูตรอาหารโคนมจำนวน 100 กิโลกรัม ให้มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วัตถุดิบ คือ ข้าวโพดซึ่งมีโปรตีน 8 เปอร์เซ็นต์ และกากถั่วเหลืองซึ่งมีโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ มีวิธีคำนวณดังนี้

1 กำหนดตัวไม่รู้

x = จำนวนข้าวโพดที่ใช้ในสูตรอาหารนี้ (กิโลกรัม)

y = จำนวนกากถั่วเหลืองที่ใช้ในสูตรอาหารนี้ (กิโลกรัม)

2 สร้างสมการ จากเงื่อนไข

เงื่อนไขที่ 1 จำนวนข้าวโพดกับกากถั่วเหลือง รวมกันเท่ากับ 100 จะได้สมการ

$$x + y = 100 \dots\dots(1)$$

เงื่อนไขที่ 2 จำนวนโปรตีนจากข้าวโพดกับโปรตีนกากถั่วเหลือง รวมกันเท่ากับ 16

3 จะได้สมการ $(\frac{8}{100})x + (\frac{44}{100})y = 16 \dots\dots(2)$

จาก (2) $\times 100$ จะได้ $8x + 44y = 1600 \dots\dots(3)$

จาก (1) $\times 8$ จะได้ $8x + 8y = 800 \dots\dots(4)$

จาก (3) - (4) จะได้ $36y = 800$

$$36y = 800$$

$$y = \frac{800}{36}$$

$$= 22.22$$

4 แทนค่า y ในสมการ (1)

$$x + 22.22 = 100$$

$$x = 100 - 22.22$$

$$= 77.78$$

นั่นคือ สูตรอาหารโคนม สูตรนี้ประกอบด้วย ข้าวโพด 77.78 กิโลกรัม กับกากถั่วเหลือง 22.22 กิโลกรัม

5 การตรวจสอบโภชนะ ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การตรวจสอบโภชนะ

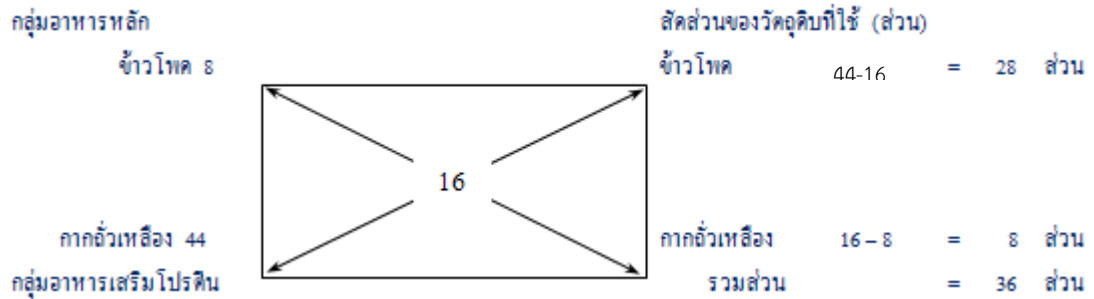
ชื่อวัตถุดิบ	จำนวนที่ใช้ (กก.)	โปรตีน (กก.)
ข้าวโพด	77.78	$(\frac{8}{100}) \times 77.78 = 6.23$
กากถั่วเหลือง	22.22	$(\frac{44}{100}) \times 22.22 = 9.77$

ที่มา (จรัส สว่างทัฬห, 2539, หน้า 151)

3.2 การคำนวณด้วยวิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน (Peason's square method) มีหลักเกณฑ์ในการคำนวณดังนี้

1 จำแนกวัตถุดิบออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มอาหารหลัก ได้แก่ ข้าวโพด และกลุ่มอาหารเสริมโปรตีน ได้แก่ กากถั่วเหลือง

- 2 ปรับจำนวนของวัตถุดิบที่จะนำเข้าสู่สเลียมเพียร์สันทั้งสองกลุ่มรวมกันเท่ากับ 100 เสมอ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน นำมาใส่ลงไปตรงกึ่งกลางของสเลียมเพียร์สัน
- 3 การประกอบสูตรครั้งนี้ ใช้วัตถุดิบเพียง 2 ชนิด ซึ่งรวมกันเท่ากับ 100 กิโลกรัมอยู่แล้ว



4 จะมีส่วนประกอบดังนี้

- ข้าวโพด + กากอ้อยเหลือง จำนวน 36 ส่วน เป็นข้าวโพด 28 ส่วน เป็นกากอ้อยเหลือง 8 ส่วน
- ข้าวโพด + กากอ้อยเหลือง จำนวน 100 กิโลกรัม
- เป็นข้าวโพด $\left(\frac{28}{36}\right) \times 100 \text{ กก.} = 77.78 \text{ กก.}$
- เป็นกากอ้อยเหลือง $\left(\frac{8}{36}\right) \times 100 \text{ กก.} = 22.22 \text{ กก.}$

5 ทำการตรวจสอบโภชนะทุกครั้ง เหมือนวิธีคำนวณโดยวิธีพีชคณิต

3.3 การคำนวณแบบลองผิดลองถูก

ตัวอย่างที่ 1 คำนวณแบบลองผิดลองถูก

โจทย์ จงคำนวณสูตรอาหารโคขุน จำนวน 100 กก. ให้มีโปรตีน 16 % โดยใช้วัตถุดิบดังต่อไปนี้

ปลายข้าว	โปรตีน	8	%	ราคา กก. ละ	9	บาท
รำละเอียด	โปรตีน	12	%	ราคา กก. ละ	8	บาท
หัวอาหาร	โปรตีน	30	%	ราคา กก. ละ	15	บาท

วิธีทำ

วัตถุดิบ	%โปรตีน	จำนวน	คำนวณ	ได้โปรตีน	ราคา/กก.	เป็นเงิน
ปลายข้าว	8	50	$\frac{8 \times 50}{100}$	4.00	9	450
รำละเอียด	12	30	$\frac{12 \times 30}{100}$	3.60	8	240
			$\frac{12 \times 16.67}{100}$	ใหม่ 2.00		

หัวอาหาร	30	20	$\frac{30 \times 20}{100}$ $\frac{30 \times 33.33}{100}$	6.00 ใหม่ 10.00	15	300
รวม		100		เดิม 13.60 ใหม่ 16.00		990

หมายเหตุ

รวมครั้งที่ 1 ได้ 13.60 % แสดงว่าโปรตีนขาด = 16.00 - 13.60 = 2.40 %

ถ้าโปรตีนขาด ลดวัตถุดิบคาร์โบไฮเดรตเพิ่มวัตถุดิบโปรตีน

ในที่นี้ลดรำเพิ่มหัวอาหาร

ลดรำ 100 ก.ก. เพิ่มหัวอาหาร 100 ก.ก. โปรตีนเพิ่ม = 30 - 12 = 18 %

ต้องการให้โปรตีนเพิ่ม 18 % จะต้องแทนกัน อย่างละ 100 ก.ก.

ถ้าต้องการให้โปรตีนเพิ่ม 2.40 % จะต้องแทนกันอย่างละ $\frac{100 \times 2.40}{18} = 13.33$ ก.ก.

แบบที่ 1 ลองผิดลองถูก ตัวอย่างที่ 2

โจทย์ จงคำนวณสูตรอาหารโคขุน จำนวน 100 ก.ก. ให้มีโปรตีน 16 % โดยใช้วัตถุดิบดังต่อไปนี้

ปลายข้าว	โปรตีน	8	%	ราคา/ก.ก.	9	บาท
รำละเอียด	โปรตีน	12	%	“	8	“
กากเนื้อในปาล์ม	“	15	%	“	7.5	“
กากถั่วเหลือง	“	45	%	“	21	“
กระถินปน	“	20	%	“	7	“
กากมะพร้าว	“	20	%	“	7.5	“
แร่ธาตุ+พรีมิกซ์	“	-	-	“	50	“
เกลือ	“	-	-	“	1	“
ปลาปนจืดอัดน้ำมัน	“	60	%	“	25	“

วิธีทำ

วัตถุดิบ	%โปรตีน	จำนวน	คำนวณ	ได้โปรตีน	ราคา/ก.ก.	เป็นเงิน
รำละเอียด	12	20	$\frac{12 \times 20}{100}$ $\frac{12 \times 18.94}{100}$	2.40 ใหม่ 2.27	8	160
ปลายข้าว	8	45	$\frac{8 \times 45}{100}$	3.60	9	405
กากปาล์ม	15	10	$\frac{15 \times 10}{100}$	1.50	7.5	75
ปลาปน	60	5	$\frac{60 \times 5}{100}$	3.00	25	125
กากถั่วเหลือง	45	7	$\frac{45 \times 7}{100}$	3.15		

			100 45 × 8.06 100	ใหม่ 3.63	21	147
กระถินป่น	20	5	$\frac{20 \times 5}{100}$	1.00	7	35
กากมะพร้าว	20	5	$\frac{20 \times 5}{100}$	1.00	7.5	37.5
แร่ธาตุ+พรีมิกซ์	-	2.5	-	-	50	125
เกลือ	-	0.5	-	-	1	0.50
รวม		100		เดิม 15.65 ใหม่ 16.02		1110

หมายเหตุ

รวมครั้งที่ 1 ได้ 15.65 % แสดงว่าโปรตีนขาด = 16.00 - 15.65 = 0.35 %

ถ้าโปรตีนขาด เพิ่มวัตถุดิบโปรตีนลดวัตถุดิบคาร์โบไฮเดรต

ในที่นี้เพิ่มถั่วเหลืองลดรำ

เพิ่มถั่วเหลือง 100 ก.ก. ลดรำ 100 ก.ก. โปรตีนเพิ่ม = 45 - 12 = 33 %

ต้องการให้โปรตีนลด 33% จะต้องแทนกัน อย่างละ 100 ก.ก.

ถ้าต้องการให้โปรตีนลด .35% จะต้องแทนกันอย่างละ $\frac{100 \times .35}{33} = 1.06$ ก.ก.

33

การคำนวณอาหารให้โคตามความต้องการ

การที่จะทำให้สูตรอาหารมีปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลต่างๆ ในการคำนวณ ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ ปริมาณอาหารที่โคสามารถกินได้ โดยปกติปริมาณอาหารที่โคกินจะแสดงในรูปของน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง (Dry matter) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) ปริมาณความต้องการสารอาหารที่โคต้องการในแต่ละอายุ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางสรีรวิทยาของโคในแต่ละช่วง เช่น อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณนมที่ผลิตได้ การตั้งท้อง เป็นต้น ปริมาณของสารอาหารในวัตถุดิบที่จะใช้ในสูตรอาหาร ซึ่งวัตถุดิบมีหลากหลายชนิดทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น

ตัวอย่างในการคำนวณ

โคนมมีน้ำหนัก 500 กก. ให้ผลผลิตน้ำนมที่มีไขมัน FCM (fat corrected milk) 4% ได้เฉลี่ยวันละ 15 กก. เลี้ยงด้วยอาหารหยาบหลักคือหญ้าแพงโกล่าแห้งซึ่งมีโปรตีน 8%CP และมีพลังงาน NEL เท่ากับ 1.56 Mcal/kg และอาหารข้นซึ่งมีส่วนประกอบของข้าวโพดบดและกากถั่วเหลือง ให้อาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วน 60:40 จงหาปริมาณอาหารข้นและหญ้าแพงโกล่าที่ได้รับที่จะเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน ซึ่งจากข้อมูลโคนมกินได้ 2.8%BW

ตารางที่ 6.7 ปริมาณความต้องการโภชนะของโคนม

ความต้องการอาหารของโคนม (หาได้จาก NRC, 1988)	พลังงานในการสร้างน้ำนม (NEL) Mcal/kg	โปรตีนที่ใช้ในการสร้างน้ำนม กก.
เพื่อการดำรงชีวิต	8.46	0.364
เพื่อผลิตน้ำนม 15 kg ไขมัน 4%	11.1	1.35
เพิ่มน้ำหนัก 100 กรัมต่อวัน	0.51	0.03
รวมปริมาณสารอาหารที่ต้องการ	20.07	1.744
หญ้าแห้งแพงโกล่า	1.26	80 g/kg
ข้าวโพดบด	1.87	90 g/kg
กากถั่วเหลือง	1.91	510 g/kg

$$4\% \text{ FCM (kg)} = 0.4 \times \text{ปริมาณนมที่ผลิตได้ (กก.)} + 15 \times (\% \text{ ไขมันนม} \times \text{ปริมาณนมที่ผลิตได้})$$

1. โคนมกินอาหารได้วันละ 2.8% ของน้ำหนักตัว ดังนั้นกินได้ $(2.8 \times 500) / 100 = 14$ kg (ของน้ำหนักวัวตัวแห้ง)
2. ให้อาหารหยายต่ออาหารชั้นในสัดส่วน 60:40 ดังนั้นโคกินหญ้าแห้งแพงโกล่าได้วันละ $(14 \times 60) / 100 = 8.4$ kg และกินอาหารชั้นได้วันละ $14 - 8.4 = 5.6$ kg
3. โคได้รับโภชนะจากหญ้าแห้งแพงโกล่า ดังนี้

$$\text{พลังงานสำหรับสร้างน้ำนม NEL } 1.26 \times 8.4 = 10.58 \text{ Mcal}$$

$$\text{โปรตีน } (8 \times 8.4) / 100 = 0.672 \text{ kg}$$

$$\text{ดังนั้นโคขาดพลังงาน} = 20.07 - 10.58 = 9.49 \text{ Mcal}$$

$$\text{ขาดโปรตีน} = 1.744 - 0.672 = 1.072 \text{ กก}$$

โภชนะที่ขาดได้มาจากอาหารชั้น ซึ่งประกอบด้วย ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง คำนวณได้โดยกำหนดสมการดังนี้

$X =$ น้ำหนักของข้าวโพดที่ต้องใช้ และ $y =$ น้ำหนักของกากถั่วเหลืองที่ต้องใช้

$$1.87X + 1.91Y = \text{พลังงานที่ยังขาดอยู่} = 9.49 \text{(1)}$$

$$0.09X + 0.51Y = \text{โปรตีนที่ขาดอยู่} = 1.072 \text{(2)}$$

ทำการค่า x ในสมการที่ (2) ให้เท่ากับค่า x ในสมการที่ (1) ได้โดยการ ใช้สัมประสิทธิ์ของค่า x จากสมการที่ (2) ไปหารสัมประสิทธิ์ของค่า x ในสมการที่ (1) ได้เท่ากับ 20.78 แล้วนำไปคูณกับสมการที่ (2) ดังนี้

$$1.87X + 10.60Y = 22.28 \text{(3)}$$

สมการที่ (3) - (1)

$$\begin{aligned}
 8.69Y &= 12.79 \\
 Y &= 12.79/8.69 = 1.47\dots\dots\dots(4) \\
 1.87X + 1.91(1.47) &= 9.49 \\
 1.87X + 2.81 &= 9.49 \\
 1.87X &= 9.49-2.81 = 6.68 \\
 X &= 3.57
 \end{aligned}$$

ดังนั้น โคนมต้องได้กินอาหารชั้นวันละ 5.04 kgDM ซึ่งต้องมีข้าวโพด 3.57 kgDM และกากถั่วเหลือง 1.47 kgDM (อัตราส่วน ข้าวโพดต่อกากถั่วเหลือง 70.8:29.2) จะทำให้โคนมได้รับโภชนะพลังงานและโปรตีนอย่างเพียงพอต่อการสร้างผลผลิตน้ำนม หลังจากกินหญ้าแพงโกล่าแห้งไปแล้ว 8.4 กก. ดังนั้น โคนมต้องกินอาหารวันละ 13.44 kgDM ถ้าอาหารมีน้ำหนักรวมแห้งเป็น 90% ดังนั้นต้องให้อาหารโควันละ 14.93 kg

ในกรณีต้องการใช้วัตถุดิบหลายชนิดต้องคำนวณแบบลองผิดลองถูก

เอกสารอ้างอิง

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. : เชียงใหม่ 170 หน้า

เมธา วรณพัฒน์, 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น. 473 หน้า

สมชาย จันทร่มองแสง. 2541 . การเลี้ยงโคนม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานครฯ 311 หน้า

NRC (National Research Council). 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington, D.C. 242 pp.

NRC (National Research Council). 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academy Press. Washington, D.C. 157 pp.

Kearl, L. C., 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute, Utah State University, Logan, Utah. 150 pp.

McDonald, P., R.A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan. 1995. Animal Nutrition. 5th Ed. Longman Scientific & Technical. New York. 607 pp.

Pond W.G., D. C. Church, K.R. Pond, P.A. Schokecht, 2005. Basic Animal Nutrition and Feeding. John Wiley & Sons, Inc. 580 pp.