บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนเป็นอินทรีย์สารที่มีจำนวนมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน 51.0–55.0 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 6.5–7.3 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20.5–23.5 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 15.5–18.0 เปอร์เซ็นต์ กำมะถัน 0.5–2.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.0–1.5 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนในอาหารสัตว์ทั่วๆไปจะมีไนโตรเจน 16 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นในการคำนวณหาโปรตีนจึงใช้แฟกเตอร์ 6.25 คูณกับจำนวนไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์ (ภาสกร, 2526)

โปรตีนมีหน้าที่สำคัญต่อร่างกายสัตว์หลายอย่าง (พันทิพา, 2539; ภาสกร, 2526; จุรุรัตน์, 2528) คือ

1. โปรตีนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เพราะโปรตีนช่วยสร้างอินทรีย์ protoplasm ของเซลล์ในร่างกาย ถ้าขาดโปรตีนจะทำให้สัตว์แคระแกร็น
2. โปรตีนเป็นส่วนประกอบของเซลล์ เนื้อเยื่อ เลือด เอนไซม์ และฮอร์โมนต่างๆ เช่น ฮอร์โมน thyroxine จะมีกรดอะมิโนไทโรซีน และเฟนนิลอะลานีน เป็นองค์ประกอบ
3. เป็นส่วนประกอบของภูมิคุ้มกัน (antibody) ทำให้ร่างกายมีความต้านทานโรค เช่น โปรตีนโกลบูลีน (globulin) ในนมน้ำเหลือง (colostrum)
4. สัตว์นำโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของลูกในท้อง รวมทั้งการสร้างผลิตผล เช่น เนื้อ นม ไข่ และขน เป็นต้น
5. โปรตีนสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานให้แก่ร่างกายได้ ในกรณีที่ร่างกายได้รับอาหารอื่น ๆ ไม่เพียงพอ โดยโปรตีนจะให้พลังงานใกล้เคียงกับคาร์โบไฮเดรต
6. โปรตีนให้กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่สัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไลซีนและทริปโตเฟน ซึ่งอาหารสัตว์ที่ได้จากพืชส่วนใหญ่มักขาดกรดอะมิโนเหล่านี้
7. ให้ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นแก่สัตว์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น

โปรตีนแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า กรดอะมิโนหลายๆ ตัวมาต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเพปไทด์ ดังนั้นโปรตีนอาจเรียกว่า โพลีเพปไทด์ (polypeptide) การเรียงลำดับของกรดอะมิโนโปรตีน จะถูกกำหนดโดย ดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม (genetic material) ของสิ่งมีชีวิต (ศรีสกุลและรณชัย, 2539) การที่โปรตีนต่างชนิดกันมีการเรียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำดับของกรดอะมิโนต่างกันจะทำให้โปรตีนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันออกไป กรดอะมิโนเป็นสารอินทรีย์ที่มีทั้งหมู่อะมิโน (amino group, $-NH_2$ หรือ NH) หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group> -COOH) และหมู่อัลคิล (R-group หรือ side chain) ถ้าหมู่แขนงข้าง R อยู่ทางด้านซ้ายมือของผู้สังเกต จะเป็นกรดอะมิโนชนิดแอล-สเตริโอไอโซเมอร์ หรือกรดอะมิโนชนิดแอล (L-amino group) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่สุกรใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า อีกกลุ่ม คือ กรดอะมิโนชนิดดี (D-amino group) (พันทิพา, 2539)

จากการศึกษาชนิดของกรดอะมิโน พบว่า กรดอะมิโนที่สามารถแยกออกมาได้จากสารชีวภาพ (biological material) นั้นมีมากกว่า 200 ชนิด แต่ที่พบว่าเป็นส่วนประกอบของโปรตีนทั่วๆ ไป มีเพียง 25 ชนิดเท่านั้น นักโภชนศาสตร์สัตว์แบ่งกรดอะมิโนเหล่านี้ออกเป็น 2 ประเภท ตามความต้องการของสัตว์ (จุรีรัตน์, 2528; สมศักดิ์, 2520) คือ

1. กรดอะมิโนจำเป็น (Essential or indispensable amino acid, EAA)

เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสุกร แต่สุกรไม่สามารถสังเคราะห์เองได้หรือสังเคราะห์ได้แต่มีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการ จำเป็นที่จะต้องได้รับเพิ่มเติมจากอาหาร ถ้าสุกรได้รับไม่เพียงพอจะทำให้การเจริญเติบโตช้า ร่างกายแคระแกร็น และเป็นโรคได้ง่าย กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสุกรทั่วไปมี 10 ชนิด คือ ไลซีน (lysine) ทริปโตเฟน (tryptophan) อาร์จินีน (arginine) ฮีสติดีน (histidine) ไอโซลูซีน (isoleucine) ลูซีน (leucine) เมทไทโอนีน (methionine) เฟนนิลอะลานีน (phenylalanine) ทรีโอนีน (threonine) และเวลีน (valine)

2. กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential or dispensable amino acid, NEAA)

กรดอะมิโนไม่จำเป็น เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายของสุกรสามารถสร้างขึ้นมาได้จากสารที่มีไนโตรเจนชนิดอื่นๆ หรือกรดอะมิโนที่จำเป็นในร่างกาย เป็นกรดอะมิโนที่ทำให้การทำงานในกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ของร่างกายเป็นไปอย่างปกติ (สุวิทย์, 2536) แต่ถึงแม้สุกรจะไม่ได้รับจากอาหารก็ไม่แสดงอาการผิดปกติ อย่างไรก็ตาม สุกรยังต้องได้รับปริมาณรวมของกรดอะมิโนในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นควรมีอยู่ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหาร (วันดี, 2546)

เนื่องจากปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่ได้จากพืช จะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัวน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของสัตว์ ซึ่งเรียกกรดอะมิโนเหล่านั้นว่า กรดอะมิโนจำเป็นที่มีอยู่จำกัด (limiting essential amino acid) หรือเป็นกรดอะมิโนที่มีจำนวนน้อยที่สุดที่มีในอาหาร และต่ำกว่าความต้องการของสุกร ซึ่งในสุกรพบว่ามักขาดไลซีนเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid) และขาดเมทไทโอนีนเป็นอันดับที่สอง (second limiting amino acid) (Lewis, 1991) ดังนั้นเพื่อที่จะให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สุกรสามารถใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เลี้ยงจำเป็นต้องให้โปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบตามความต้องการของสุกร และมีจำนวนพอเพียงที่ร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เพราะเหตุที่ว่าร่างกายไม่สามารถเก็บสะสมกรดอะมิโนที่เหลือใช้ในวันหนึ่งๆ นำไปใช้ในวันต่อไปได้ เนื่องจากโปรตีนส่วนที่มากเกินไป หรือไม่ตรงกับความต้องการ ร่างกายจะแยกเอาส่วนหนึ่งของสารประกอบที่มีไนโตรเจนแล้วขับถ่ายออกจากร่างกายในรูปยูเรียทางปัสสาวะ ส่วนประกอบที่เหลือร่างกายจะนำไปใช้เผาผลาญให้เป็นพลังงาน หรือความร้อนได้ (สมศักดิ์, 2520) ด้วยสาเหตุที่โปรตีนเป็นอาหารที่มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นการให้อาหารโปรตีนแก่สุกรมากเกินไปก็เป็นการสิ้นเปลือง ซึ่งผู้เลี้ยงสุกรควรระมัดระวังไม่ควรให้เกินความต้องการ และควรเลือกใช้แต่อาหารโปรตีนที่มีคุณภาพสูง

2.2 การย่อยและการดูดซึมของโปรตีนในสุกร

2.2.1 การย่อยอาหาร (digestion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนอาหารในทางเดินอาหารให้มีขนาดเล็กลง หรือจนกว่าจะอยู่ในรูปที่พร้อมจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ การย่อยอาหารโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ 1) การย่อยโดยวิธีกล (mechanical digestion) ได้แก่ การเคี้ยว การบีบและการหดตัวของกล้ามเนื้อของทางเดินอาหาร 2) การย่อยทางเคมี (chemical digestion) เป็นการย่อยโดยอาศัยเอนไซม์ในน้ำย่อยที่สุกรผลิตขึ้นมา ซึ่งวิธีนี้เป็นการย่อยอาหารส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การย่อยโดยจุลินทรีย์ (microbial digestion) เช่น บัคเตรี และโปรโตซัว (เพทาย, 2538) ซึ่งทางเดินอาหารของสุกร ประกอบด้วย

1. ปาก ซึ่งมีฟันและลิ้นช่วยในการบดเคี้ยว ทำให้อาหารแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และคลุกเคล้าอาหาร เนื่องจากระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากสั้นมาก อีกทั้งขาดเอนไซม์ในการย่อยโปรตีนด้วย จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

2. กระเพาะอาหาร ซึ่งมีหน้าที่สำคัญ คือ สะสมอาหาร ย่อยอาหาร และลำเลียงอาหารเข้าสู่ลำไส้เล็ก กระเพาะอาหารของสุกรจะมีลักษณะเป็นถุงเดียว รูปร่างคล้ายถั่วที่ถูกนำมาดัดให้โค้งงอ ผนังด้านในของกระเพาะอาหารของสุกร มีลักษณะย่นและมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อยฝังอยู่ กระเพาะอาหารแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (จุรีรัตน์, 2528; Yen, 2001) คือ 1) ส่วนอิโซฟาเจียล (esophageal region) เป็นส่วนที่ติดกับหลอดอาหาร มีขนาดเล็กและไม่มีการผลิตน้ำย่อย 2) ส่วนของคาร์ดิแอก แกลนด์ (cardiac gland region) เป็นส่วนที่มีพื้นที่มากที่สุด ทำหน้าที่ผลิตน้ำเมือกเพื่อหล่อลื่นและป้องกันไม่ให้กระเพาะอาหารถูกย่อยด้วยน้ำย่อยตัวเอง น้ำเมือกเหล่านี้ผลิตโดยกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า มิวคัสเนกเซลล์ (mucous neck cell) 3) ฟันดิก แกลนด์ (fundic gland region) จะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เพริเอทอลเซลล์ (parietal cell) ซึ่งทำหน้าที่หลั่งสารกรดไฮโดรโครลิค (HCl) ออกมาสู่กระเพาะ การขับของเหลวโดยเพริเอทอลเซลล์จะถูกกระตุ้นโดยเนิปเวกัส (vagus nerve) หรือโดยฮอร์โมนชนิดโพลีเพปไทด์ ที่เรียกว่า แกสตริน (gastrin) ซึ่งจะถูกกระตุ้นโดยการที่มีอาหารอยู่ในกระเพาะ สามารถกระตุ้นการหลั่งเปปซิโนเจนให้เปลี่ยนเป็นเปปซิน (น้ำหนักโมเลกุล 32,700) เพื่อย่อยโปรตีนทางด้าน N-terminal และเปปซินเองก็สามารถกระตุ้นเปปซิโนเจนให้เปลี่ยนเป็นเปปซินได้เช่นกัน เปปซินจะทำงานได้ดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 2-3.6 (Yen, 2001) ถ้าค่า pH สูงกว่า 3.6 ประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงมาก และเมื่อใดที่กระเพาะอาหารมีค่า pH มากกว่า 6 เอนไซม์จะไม่สามารถทำงานได้ (Taylor, 1959) เอนไซม์นี้มีความจำเพาะเจาะจงกว้าง (broad specificity) และมักย่อย สายโพลีเพปไทด์ที่พันธะที่อยู่ถัดจากกรดอะมิโนประเภทอะโรมาติก (aromatic) ได้เป็นสารประกอบเพปไทด์ (Low and Zebrowska, 1989) ต่อมามวลอาหารในกระเพาะจะผ่านไพลอริค สฟิงค์เตอร์ (pyloric sphincter) ซึ่งอยู่ระหว่างกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก

3. ลำไส้เล็ก มีรูปร่างเป็นท่อมีความยาวมากกว่าส่วนอื่นๆ ของทางเดินอาหาร ซึ่งลำไส้เล็กแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ลำไส้เล็กตอนต้น เรียกว่า ดูโอดีนัม (duodenum) เป็นส่วนที่มีเยื่อมีเซนเตอรี (mesentery) สั้นๆ เป็นส่วนที่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้นมากที่สุด ลำไส้เล็กที่อยู่ถัดไป คือ เจจูนัม (jejunum) และไอเลียม (ileum) อาหารจะเคลื่อนจากกระเพาะเข้าสู่ลำไส้เล็ก โดยการทำงานของกล้ามเนื้อกระเพาะอาหารและกล้ามเนื้อหูรูดอาหาร และเข้าสู่ลำไส้เล็กตอนต้น ภายในดูโอดีนัมก็จะมีน้ำย่อยจากตับอ่อน (pancreatic juice) ผ่านมาที่ท่อผนังของดูโอดีนัม ซึ่งดูโอดีนัมเป็นส่วนของทางเดินอาหารที่มีการย่อยอาหารประเภทโปรตีนเกิดขึ้นมากที่สุด เนื่องจากมีเอนไซม์ส่งมาจากตับอ่อน เป็นสารละลายไอโซโทนิค และมีสภาพเป็นด่าง (pH 6-7) มีบทบาทสำคัญในการย่อยอาหาร การขับน้ำย่อยจากตับอ่อนจะถูกกระตุ้นโดยระบบประสาท จะหลั่งฮอร์โมนเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นโพลีเพปไทด์สองชนิด คือ ซีครีติน (secretin) ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน 27 ตัว ฮอร์โมนซีครีตินจะกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งเกลือคาร์บอเนต เพื่อปรับสภาพอาหารที่มาจากกระเพาะที่มีฤทธิ์เป็นกรดให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง (pH 7-9) (จุรีรัตน์, 2528) เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อมิวคัสเซลล์ของลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การทำงานของเอนไซม์ตับอ่อนด้วย และแพนครีโอไซมีน (pancreozymin) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย เพปไทด์ทั้งสองตัวนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นในผนังของดูโอดีนัม และจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อ pH เริ่มลดลงหรือมีโปรตีนอยู่ในลำไส้ แพนครีโอไซมีนและเซลล์ประสาทเวกัสจะเร่งการขับเอนไซม์ น้ำย่อยตับอ่อนประกอบด้วยไซโมเจน (zymogen) คือ trypsinogen, chymotrypsinogen และ procarboxy peptidase 2 ตัว trypsinogen จะถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์จากผนังลำไส้ ซึ่งเรียกว่า enterokinase หรือโดยทริปซินเอง เป็นทริปซิน (trypsin) ซึ่งทริปซินจะมีความสามารถในการย่อยพันธะเปปไทด์ด้านคาร์บอกซิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(-COOH) ของกรดอะมิโนที่มีฤทธิ์เป็นเบส เช่น อาร์จินีน และไลซีน แต่ chymotrypsinogen จะถูกกระตุ้นโดย chymotrypsin หรือ ทริปซิน เป็นไคโมทริปซิน (chymotrypsin) เอนไซม์ที่ทำงานได้จะอยู่ในรูป α-chymotrypsin, β-chymotrypsin และ γ-chymotrypsin (สุรินทร์และคณะ, 2523) มีความสามารถในการย่อยพันธะเปปไทด์ของกรดอะมิโนด้านคาร์บอกซิล ของกรดอะมิโนประเภทอะโรมาติก (aromatic) ได้แก่ เฟนนิลอะลานีน ทริปโตเฟน และไทโรซีน เป็นต้น ส่วนโปรคาร์บอกซีเปปติเดส เอ (procarboxypeptidase A) จะถูกกระตุ้นโดยทริปซิน เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในรูปที่ทำงานได้ คือ คาร์บอกซีเปปติเดส เอ (carboxypeptidase A) ซึ่งจะย่อยพันธะเพปไทด์ของกรดอะมิโนประเภท aromatic และ aliphatic ที่อยู่ปลาย C-terminal เช่น อาร์จินีนและไลซีน เป็นต้น และโปรคาร์บอกซีเปปติเดส บี (procarboxypeptidase B) มี trypsin เป็นตัวกระตุ้น เปลี่ยนเป็น คาร์บอกซีเปปติเดส บี (carboxypeptidase B) มีความสามารถในการย่อยพันธะเพปไทด์ของกรดอะมิโนที่มีฤทธิ์เป็นเบสที่อยู่ปลาย C-terminal (เพทาย, 2538; สุรินทร์และคณะ, 2523; Low and Zebrowska, 1989) และยังมีน้ำย่อยที่ลำไส้เล็กผลิตขึ้นมาเอง ลำไส้เล็กจะหลั่งน้ำย่อยออกมา เมื่ออาหารอยู่ในรูปไคม์ (chyme) จากกระเพาะเข้าสู่ดูโอดีนัม ซึ่งจะถูกกระตุ้นให้ดูโอดีนัมสร้างฮอร์โมนเอนเทอโรครีนิน (enterocrinin) มากระตุ้นให้ต่อมลำไส้เล็กปล่อยน้ำย่อยโปรตีนที่สำคัญ ได้แก่ เอนเทอโรไคเนส (enterocrinase) จะย่อยพันธะเพปไทด์เฉพาะส่วนปลายที่ถัดจากหมู่กลุ่มอะมิโนอิสระของเพปไทด์หรือโมเลกุลสั้นๆ แล้วปล่อยกรดอะมิโนที่อยู่ปลายสุดนั้นออกมา และเอนไซม์ไดเปปทิเดส (dipeptidase) จะย่อยไดเพปไทด์ไปเป็นกรดอะมิโน ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีน (สุรินทร์และคณะ, 2523) ซึ่งจากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า ภายในลำไส้เล็กมีเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยอาหารมากที่สุดและมีการย่อยอาหารเกิดขึ้นมากที่สุด

4. ลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง อาหารที่เหลือจากการย่อยในลำไส้เล็กจะผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีเอนไซม์ย่อยโปรตีน แต่มีการย่อยเกิดขึ้นได้เนื่องจากเอนไซม์ที่ติดมากับอาหารจากลำไส้เล็ก (จุรุรัตน์, 2528; Schmitz *et al.*, 1990) ในขณะที่ Mason (1984) รายงานว่า บริเวณลำไส้ใหญ่เกิดการย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโนได้ โดยอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะได้เป็นสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น แอมโมเนีย เอมีน และเอไมด์ เป็นต้น และ Low and Zebrowska (1989) ได้รายงานว่า ไนโตรเจนที่เหลือจากการย่อยและดูดซึมจากบริเวณลำไส้เล็กมีเพียง 6 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และจุลินทรีย์จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออีก 60 เปอร์เซ็นต์ จุลินทรีย์จะสังเคราะห์ไนโตรเจนเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การดูดซึม (absorption) เป็นกระบวนการที่ผนังทางเดินอาหารยอมให้สารโมเลกุลเล็กผ่านเข้าไปในระบบเลือดหรือน้ำเหลืองได้ ซึ่งอวัยวะแรกที่ทำหน้าที่ดูดซึมโปรตีนหรือกรดอะมิโน คือ ลำไส้เล็ก ซึ่งมีพื้นที่สำหรับใช้ดูดซึมอยู่มาก เนื่องจากลำไส้เล็กมีความยาว 10-12 ฟุต (3-4 เมตร) และผนังด้านในของลำไส้เล็กจะมีติ่งเล็กๆ ยื่นขึ้นมามากมาย มีเซลล์ชั้นเดียวคลุมอยู่ ไม่มีกล้ามเนื้อ มีแต่หลอดเลือด เส้นประสาท และหลอดน้ำเหลือง และบนผิวของวิลไลยังมีติ่งเล็ก ๆ ยื่นออกมาอีกมากมาย เรียกว่า ไมโครวิลไล (microvilli) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมของลำไส้เล็กเช่นเดียวกัน ซึ่งการดูดซึมส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นพร้อมกับการย่อยขั้นสุดท้าย (Yen, 2001)

การดูดซึมกรดอะมิโนอาศัยกลไกการดูดซึม 2 วิธี คือ

1. การแพร่กระจายธรรมดา (simple diffusion) หรือการขนส่งแบบแอคทีฟ (active transport) เป็นการเคลื่อนที่ของกรดอะมิโนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณกรดอะมิโนที่มีความเข้มข้นต่ำ จนกว่าจะมีความเข้มข้นเท่ากัน

2. การแพร่ที่มีความจำเพาะที่อาศัยตัวพา (facilitated diffusion) ซึ่งเป็นโปรตีน และอาศัยพลังงานที่ได้จากสารพลังงานสูง ได่แก่ ATP เพื่อลำเลียงจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนสูง (จุรุรัตน์, 2528; Webb, 1990)

สุรินทร์และคณะ (2523) รายงานว่า กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมส่วนมากจะเป็น L-isomer มากกว่า D-isomer เนื่องจากทั่วไปแล้วกรดอะมิโนในธรรมชาติจะอยู่ในรูป L-isomer ซึ่งการดูดซึม L- amino acid เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงาน ต้องอาศัยตัวพาและยังมีการแข่งขันกันเองด้วย (active transport) และ Na^+ และวิตามินบี 6 มีส่วนเกี่ยวข้องอย่างสำคัญในการดูดซึมกรดอะมิโน

Webb (1990) และ Webb *et al*. (1992) จำแนกระบบการขนส่งกรดอะมิโนได้เป็น 4 ระบบ คือ

1. ระบบขนส่งสำหรับกรดอะมิโนชนิดเป็นกลาง มีความจำเพาะต่อ อะลานีน และลูซีน
2. ระบบขนส่งสำหรับกรดอะมิโนชนิดเป็นเบส มีความจำเพาะต่อ อาร์จินีน ไลซีน และฮิสติดีน
3. ระบบขนส่งสำหรับกรดอะมิโนชนิดเป็นกรดอิมิโน มีความจำเพาะต่อ โพรลีน
4. ระบบขนส่งสำหรับกรดอะมิโนชนิดเป็นกรด มีความจำเพาะต่อ กรดกลูตามิก และกรดแอสพาร์ติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การย่อยได้ปรากฏและการย่อยได้จริง

การวัดการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนของอาหารสัตว์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบอาหารและคุณค่าของโภชนะต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนมีความสำคัญมากในการประกอบสูตรอาหาร เพราะสุกรมีความต้องการกรดอะมิโนจำเป็น เพื่อการเจริญเติบโต และสร้างผลิตผลออกมา ประกอบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนมักมีราคาแพง จึงมีการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนไปหาค่าการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณสูตรอาหารให้สุกร เพื่อสุกรจะได้รับโภชนะตรงตามความต้องการมากที่สุด และเพื่อลดการสิ้นเปลืองจากการมีโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหารมากเกินความต้องการของร่างกาย โปรตีนและกรดอะมิโนที่มากเกินพอนี้จะถูกสลายไป และจะถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ เพราะร่างกายไม่สามารถเก็บสะสมกรดอะมิโนได้ (พันทิพา, 2539) ซึ่งวิธีการศึกษาหาค่าการย่อยได้ คือ การนำปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ได้จากอาหารหักลบออกจากปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่เหลือจากการย่อยได้ทั้งระบบทางเดินอาหารและขับถ่ายออกมาทางมูล ซึ่งเรียกว่า ค่าการย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) (Darragh and Hodgkinson, 2000) ส่วนที่สูญหายไปในระบบทางเดินอาหารอนุมานว่า สุกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งการย่อยได้ปรากฏของโปรตีนหรือกรดอะมิโนเป็นผลรวมของโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ได้จากอาหารที่สุกรกิน และส่วนที่ร่างกายขับออกมาด้วย เช่น น้ำย่อย น้ำดี เซลล์ที่หลุดลอกออกมาจากทางเดินอาหาร เซลล์ของจุลินทรีย์ และเยื่อเมือก (mucus) ซึ่งรวมกันเรียกว่า เอ็นโดจีนัส ซับแสตน (endogenus substance) จึงส่งผลให้ค่าการย่อยได้ปรากฏของโปรตีนจากมูลสูงกว่าค่าที่ควรจะเป็น (Darragh and Hodgkinson, 2000; Snook, 1973; Fauconneau and Michel, 1970) จากผลการศึกษาของ Haydon *et al.* (1984) โดยใช้สุกรรุ่น น้ำหนักเฉลี่ย 25 กิโลกรัม สุกรได้รับการผ่าตัดสอดท่อเก็บตัวอย่างอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายแบบ simple T-cannulation ให้อาหารที่ระดับต่างๆ คือ ให้อาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ให้อาหารที่ระดับ 4.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว พบว่า การให้อาหารที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ปรากฏของโปรตีนและกรดอะมิโนแต่อย่างใด (Jørgensen *et al.*, 1984; Sauer *et al.*, 1982) และจากรายงานการศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อค่าการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีนและกรดอะมิโนในสุกร พบว่า อาหารที่มีระดับโปรตีนสูงขึ้น จะส่งผลให้การย่อยได้ปรากฏของโปรตีนและกรดอะมิโนมีค่าสูงขึ้น (Batterham, 1994)

เอ็นโดจีนัส ซับแสตน ถูกขับออกมาจากส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร ซึ่งประกอบด้วย น้ำลายที่ถูกขับมาจากปาก น้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร ตับอ่อน น้ำดีและลำไส้เล็ก (Low and Zebrowska, 1989) โดยสุกรรุ่นจะได้รับอาหาร 2 กิโลกรัมต่อวัน และได้รับโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

400 กรัมต่อวัน จะขับเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ทั้งหมดที่มาจากระบบทางเดินอาหารของสุกร มีค่า 140 กรัมต่อวัน โดยมาจากน้ำลายและน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร ปริมาณ 15 กรัมต่อวัน น้ำดี 15 กรัมต่อวัน น้ำย่อยจากตับอ่อน 20 กรัมต่อวัน จากการหลุดลอกของเซลล์จากระบบทางเดินอาหารหรือจากเซลล์ของจุลินทรีย์ ปริมาณ 10 กรัมต่อวัน และเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน จะถูกขับออกมามากที่สุด จากน้ำย่อยของลำไส้เล็ก โดยมีปริมาณ 80 กรัมต่อวัน (Whittemore, 1993) ส่วนการศึกษาของ Low and Zebrowska (1989) รายงานว่า สุกรจะมีการขับ เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ที่มาจากน้ำลายและน้ำย่อยจากกระเพาะอาหารปริมาณ 2.44-3.34 กรัมต่อวัน น้ำดี 3.71 กรัมต่อวัน น้ำย่อยจากตับอ่อน 13.37 กรัมต่อวัน และเอ็นโดรจีนัส ซับแสตนจะถูกขับออกมามากที่สุดจากน้ำย่อยของลำไส้เล็ก โดยมีปริมาณ 55.45 กรัมต่อวัน ซึ่งเมื่อรวมปริมาณของ เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ทั้งหมด ที่มาจากระบบทางเดินอาหารของสุกร ปริมาณ 72.89 กรัมต่อวัน

วิธีการศึกษาการขับ เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก มีหลายวิธี เช่น

1. การใช้สูตรอาหารปราศจากโปรตีน (Protein-free diet) ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ไม่มีแหล่งของโปรตีนและกรดอะมิโน แต่ประกอบด้วยแหล่งที่ให้พลังงาน คือ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำมันพืช แหล่งให้เยื่อใย มักใช้ เซลลูโลสบริสุทธิ์ เพื่อให้การเคลื่อนตัวและการทำงานของระบบทางเดินอาหารเป็นไปอย่างปกติ (Cunha, 1977) และประกอบด้วยน้ำตาลทราย เพื่อช่วยเพิ่มความน่ากินของอาหาร (พันทิพา, 2539) แร่ธาตุและไวตามิน เป็นต้น ซึ่งโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่เหลือจากระบบทางเดินอาหารและขับถ่ายออกมาทางมูล อนุมานว่าเป็น เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน (Darragh and Hodgkinson, 2000; Sauer and De Lange, 1992; Souffrant, 1991)

2. การใช้เคซีน (Casein) เป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่ง อนุมานว่า เคซีน มีค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่พบบริเวณปลายลำไส้เล็กและทั้งระบบทางเดินอาหาร คือ เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ที่ขับออกมาจากตัวสัตว์ (Kies *et al*., 1986; Souffrant *et al*., 1993; Nyachoti *et al*., 1997)

3. การหาค่าสหสัมพันธ์ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่กินได้ (Regression method) โดยสุกรจะได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน ปริมาณเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กหรือทั้งระบบทางเดินอาหารของโปรตีนแต่ละระดับในอาหาร นำมาหาสมการสหสัมพันธ์กับระดับของโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่กินได้ นำสมการสหสัมพันธ์ดังกล่าวไปทำนายเป็นปริมาณของเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน โดยแทนค่าในสมการเมื่อกำหนดให้สุกรไม่ได้รับโปรตีนหรือกรดอะมิโนจากสูตรอาหาร (Mosenthin, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. วิธี Isotope dilution techniques เป็นการใช้สารรังสีติดฉลากกับไนโตรเจน (^{15}N) ในโมเลกุลของกรดอะมิโนบางตัว ซึ่งนำไปผสมลงในอาหารสัตว์ (Leterme *et al*., 1992) หรือฉีดเข้าไปในตัวสัตว์ (Huisman *et al*. 1992; Schulze, 1994) คำนวณความแตกต่างระหว่างปริมาณกรดอะมิโนที่ติดฉลากรังสีที่ไม่ถูกย่อยในอาหาร และปริมาณกรดอะมิโนที่ติดฉลากรังสี ซึ่งพบในของเหลวจากปลายลำไส้เล็กของสัตว์ เนื่องจากสารรังสีติดฉลากกับไนโตรเจนในโมเลกุลของกรดอะมิโน มีราคาแพงมาก จึงเป็นข้อจำกัดในการนำวิธีการนี้ไปใช้ (Mosenthin, 2002)

วิธีการหาค่า เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ที่เก่าแก่และถือว่าเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ซึ่งใช้กันโดยทั่ว ๆ ไป คือ การให้สุกรได้รับสูตรอาหารปราศจากโปรตีน (protein-free diet) ซึ่ง เอ็นโดรจีนัส ซับแสตน จะถูกขับออกมาในปริมาณสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น ปริมาณของเยื่อใย (Jondreville *et al*., 2001) ระดับโปรตีนในอาหาร สารต้านโภชนะ (Huisman *et al*, 1993; Le Guen *et al*., 1995) ขนาดและน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง (Stein, nodate; Leibholz and Mollah, 1988) และวิธีการศึกษาการขับเอ็นโดจีนัส ซับแสตน ที่ต่างกัน (Jansman *et al*., 2002; Otto *et al*., 2003)

อย่างไรก็ตาม การถือว่าส่วนของโภชนะที่ไม่ถูกขับออกทางมูลของสุกร เท่ากับส่วนที่ร่างกายดูดซึมนั้นนับว่ายังไม่ถูกต้องนัก เพราะสิ่งที่ถูกขับออกมาในมูลไม่ได้มาจากอาหารทั้งหมด เนื่องจากมีส่วนของเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน รวมอยู่ด้วย ซึ่งถ้านำปริมาณเอ็นโดรจีนัส ซับแสตน ไปหักออกจากโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่เหลือจากการย่อยและการดูดซึมสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กแล้ว จะได้ค่าการย่อยได้จริงสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก (true ileal digestibility) (Darragh and Hodgkinson, 2000; Albin *et al*., 2001) ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่เกิดจากตัวสัตว์มากที่สุด (Whittemore, 1993) อีกทั้งการย่อยได้จริงยังเป็นวิธีการที่เกิดความแปรปรวน อันเนื่องมาจากอาหารน้อยกว่าการย่อยได้ปรากฏ ซึ่งทำให้ค่าที่ได้จากการย่อยได้จริง ใช้ได้ผลดีกว่าการย่อยได้ปรากฏด้วย (Darragh and Hodgkinson, 2000) นอกจากนี้การย่อยได้ปรากฏ ยังเป็นการประมาณค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนต่ำกว่าความเป็นจริง อีกทั้งค่าการย่อยได้ปรากฏของโปรตีนและกรดอะมิโนก็มีค่าต่ำกว่าการย่อยได้จริงด้วย (Hodgkinson *et al.* 2000) ซึ่ง Whittemore (1993) กล่าวว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้จริงจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ปรากฏประมาณ 5-20 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของปริญญา (2540) เกี่ยวกับการย่อยได้จริงและการย่อยได้ปรากฏ โดยใช้วัตถุดิบอาหาร 3 ชนิด คือ กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง และกากงา โดยสุกรน้ำหนักเฉลี่ย 53.5 กิโลกรัม สุกรทุกตัวจะได้รับการผ่าตัดสอดท่อบริเวณปลายลำไส้เล็กแบบ simple T-cannulation พบว่า การย่อยได้ปรากฏของโปรตีน กรดอะมิโนไลซีน และทรีโอนีน มีค่าต่ำกว่าการย่อยได้จริง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Moughan *et al*. (1990) โดยรายงานว่า สุกรมีการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก มีค่า 84.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าต่ำกว่าการย่อยได้จริงสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก โดยมีค่าเท่ากับ 89.0 เปอร์เซ็นต์

2.4 การศึกษาการย่อยได้จากมูลและสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก

การศึกษาการย่อยได้จากมูลหรือการย่อยได้ทั้งระบบทางเดินอาหาร (fecal or overall digestibility) เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ได้รับจากอาหาร กับปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ขับออกมาจากมูล โปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ออกมาจากมูลเป็นส่วนที่ไม่ถูกย่อยและไม่ดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะเข้าสู่บริเวณลำไส้ใหญ่และเกิดการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถสลายกรดอะมิโนได้โดยกระบวนการดีอะมิเนชัน (deamination) และกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชั่น (decarboxylation) เพื่อสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) และได้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น เอมีน (amines) เอไมด์ (amides) แอมโมเนีย (ammonia) เป็นต้น (Lenis, 1983; Sauer and Ozimek, 1986) จากการศึกษาของ Zebrowska *et al*., (1983) โดยนำโปรตีนเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ พบว่าสัตว์ไม่สามารถนำโปรตีนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้ แต่จะถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ ซึ่งให้ ผลสอดคล้องกับ Michel (1966); Sauer *et al*. (1982)

จากปัญหาการวัดการย่อยได้จากมูลหรือการย่อยได้ทั้งระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดความผันแปรค่อนข้างมาก เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงกระบวนการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ จึงมีการพัฒนาวิธีการหาการย่อยได้ที่ให้ค่าใกล้เคียงกับความจริงที่เกิดจากตัวสัตว์มากที่สุด และถือว่าเป็นค่าของปริมาณการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในตัวสัตว์ดีกว่าค่าที่วัดได้จากมูล (Mosenthin, 2002) คือ การวัดการย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก (ileal digestibility) (Payne *et al*., 1968) จากการศึกษาของ Tartrakoon *et al*. (2001) พบว่า การย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีน กรดอะมิโนไลซีน เมทไทโอนีน และทรีโอนีน จากกากถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 82.4, 89.4, 83.5 และ 72.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการย่อยได้จากมูลของโปรตีน กรดอะมิโนไลซีน เมทไทโอนีน และทรีโอนีน มีค่าเท่ากับ 81.0, 80.9, 66.7 และ 76.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนทั้งสองบริเวณ จะพบว่า การย่อยได้ที่วัดจากมูลมีค่าสูงกว่าการย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก (Rudolph *et al*., 1983; Haydon *et al*., 1984; Tanksley and Knabe, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การศึกษาการย่อยได้ปรากฏของกรดอะมิโนจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก

2.5.1 กากถั่วเหลือง (Soybean meal, SBM)

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูงสุด มีกรดอะมิโนหลายตัว แต่มีกรดอะมิโนซีสทีนและเมทไทโอนีนในระดับต่ำ โดยเฉพาะเมทไทโอนีน มีน้อยมากจึงจัดเป็น first limiting amino acid (Anno, 2002; Dilger *et al*., 2004) กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลืองดิบ ซึ่งวิธีการแยกเอาน้ำมันออกมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของกากถั่วเหลืองได้ ซึ่งขบวนการแยกน้ำมัน (Anno, 2002) มีดังนี้

1. การแยกโดยวิธีกล (mechanical extraction) เป็นการแยกโดยใช้แรงอัดหรือบีบเอาน้ำมันออก (expeller process) ขั้นแรกทำให้เมล็ดถั่วแตกออกก่อน และทำให้แห้งโดยผ่านเข้าไปในห้องที่ทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ (steam jacketed) เมื่อถูกอัดน้ำมันออกแล้ว จะหลุดออกมาเป็นเกล็ดแบนๆ (flaked) มีขนาดใหญ่บ้างและขนาดเล็กบ้าง จากนั้นจึงนำไปบด ซึ่งกากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีการนี้ยังคงเหลือน้ำมันอยู่ประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในสัตว์ระยะเล็กและรุ่น (วันดี, 2544)

2. การแยกโดยใช้สารเคมีสกัด (solvent extraction) เป็นการแยกโดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติละลายไขมัน (solvent) ได้ เป็นตัวสกัดไขมันออกจากกากถั่วเหลือง เช่น เฮกเซนต์และอีเธอร์ เป็นต้น กากที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีโปรตีนสูงและมีไขมันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และกากถั่วเหลืองที่ได้จะมี 2 ชนิด คือ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารเคมีชนิดไม่กระเทาะเปลือกจะมีระดับโปรตีนประมาณ 43-45 เปอร์เซ็นต์ และชนิดกระเทาะเปลือกมีระดับโปรตีน 49-51 เปอร์เซ็นต์ (วันดี, 2544; Anno, 2002) กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทั้ง 2 ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ในทุกชนิดและทุกระยะ

จากตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนในกากถั่วเหลือง จะเห็นว่ากากถั่วเหลืองมีโปรตีน ปริมาณ 43.00-50.00 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ อาร์จินีน ทรีโอนีน เมทไทโอนีน เวลีน เฟนนิลอะลานีน ไอโซลูซีน ลูซีน และไลซีน มีค่าเท่ากับ 2.50-3.70, 1.70-2.00, 0.50-0.70, 0.5-0.70, 2.00-2.40, 2.10-2.50, 1.90-2.20 และ 2.70-3.10 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโนไม่จำเป็น มีค่าระหว่าง 0.70-0.80, 5.10-5.60, 8.10-8.90, 1.80-2.10, 1.90-2.20, 2.20-2.60 และ 4.60-2.30 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบโปรตีนและกรดอะมิโนระหว่างในประเทศกับต่างประเทศ จะเห็นว่ามีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนะในกากถั่วเหลือง จากรายงานต่าง ๆ

โภชนะ	กรมปศุสัตว์ (2548) (%)	NRC (1998) (%)	Stein *et al.* (2001) (%)	Hong *et al.* (2002) (%)	Dilger *et al.* (2004) (%)
วัตถุแห้ง	90.00	89.00	87.40	-	90.20
โปรตีนรวม (Nx6.25)	44.00	43.80	43.30	43.96	49.60
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids)					
อาร์จินีน	3.18	3.23	2.55	3.37	3.55
ทรีโอนีน	1.72	1.73	1.91	1.79	1.84
เมทไทโอนีน	0.59	0.61	0.68	0.65	0.72
เวลีน	2.24	2.06	2.30	2.14	2.40
เฟนนิลอะลานีน	-	2.18	2.47	2.34	2.43
ไอโซลูซีน	2.17	1.99	2.13	1.99	2.15
ลูซีน	3.39	6.42	3.74	3.48	3.74
ไลซีน	2.73	2.83	3.05	2.85	3.01
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acids)					
ซีสทีน	-	0.7	0.73	0.72	0.79
กรดแอสพาร์ติก	-	-	5.43	5.11	5.57
กรดกลูตามิก	-	-	8.66	8.13	8.83
ไกลซีน	1.83	-	2.04	-	1.98
อะลานีน	-	-	2.12	1.91	2.06
โพลีน	-	-	2.55	2.21	2.40
ไทโรซีน	-	2.21	1.75	-	1.69

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2548); NRC (1998); Stein *et al*. (2001); Hong *et al*. (2002); Dilger *et al*. (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากถั่วเหลืองดิบมีสารพิษอยู่มาก มีทั้งสาร glucinins และ lectins ที่ทำให้การดูดซึมของลำไส้เล็กลดลง สาร phytoestrogens, goitrogens, mineral binding และ saponin ซึ่งทำให้กากถั่วเหลืองมีรสขม ทำให้ปริมาณการกินได้ (feed intake) ของสัตว์ลดลง (Liener, 1980) และสารพิษที่สำคัญ คือ trypsin inhibitor ซึ่งพบว่า ถั่วเหลืองที่โดนความร้อนจะมีคุณค่าทางโภชนะสูงกว่าถั่วเหลืองดิบ เนื่องจากสาร trypsin inhibitor ถูกทำลาย แต่หากความร้อนที่ให้อยู่ระดับต่ำ จะไม่สามารถทำลายสารขัดขวางทางโภชนะได้ แต่กลับจะลดค่าการย่อยได้ของพลังงาน โปรตีน และการใช้ประโยชน์ได้ของกากถั่วเหลือง ขณะเดียวกันการให้ความร้อนที่ระดับสูงเกินไปจะไปลดการย่อยได้ของกรดอะมิโนลง โดยเฉพาะไลซีน และเมทไทโอนีน ดังนั้นควรมีการตรวจเช็คและการดูแลระดับความร้อนให้เหมาะสม ไม่สูงหรือต่ำเกินไป เพื่อจะได้กากถั่วเหลืองที่มีคุณค่าทางโภชนะอย่างสูงสุด (Anno, 2002)

อย่างไรก็ตาม การนำกากถั่วเหลืองมาประกอบสูตรอาหารให้แก่สุกรนั้น จำเป็นต้องทราบคุณค่าทางโภชนะที่ลึกซึ้งกว่าองค์ประกอบทางเคมี เช่น ค่าการย่อยได้ ค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ และคุณภาพของโปรตีน เป็นต้น ซึ่งการย่อยได้ของโภชนะ เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ทราบว่า อาหารที่กินเข้าไปนั้น สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยพบว่า กากถั่วเหลืองมีการย่อยได้ของโปรตีนรวม มีค่าระหว่าง 71.40-90.20 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง มีค่าระหว่าง 79.00-81.20 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้ของกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ ทรีโอนีน เมทไทโอนีน ลูซีน ไอโซลูซีน เวลีน เฟนนิลอะลานีน และอาร์จินีน มีค่าระหว่าง 71.50-80.90, 81.40-91.00, 80.20-89.80, 50.41-90.10, 64.80-88.30, 82.20-92.00 และ 87.70-96.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการย่อยได้ของกรดอะมิโนไม่จำเป็น ได้แก่ กรดกลูตามิก กรดแอสพาร์ติก อะลานีน ไกลซีน และโพรลีน มีค่าระหว่าง 81.40-95.00, 80.20-90.80, 70.50-86.20, 60.40-89.70 และ 51.13-98.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนในกากถั่วเหลือง จากรายงานต่างๆ

โภชนะ	ปริญญา (2540) (%)	Fan *et al.* (1994) %))	Mariscal-Landin *et al.* (1995) (%)	Grala (1998) (%)	Stein *et al.* (1999) (%)
วัตถุแห้ง	-	79.70	-	81.20	-
โปรตีนรวม (Nx6.25)	81.75	83.20	90.20	82.50	71.40
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids)					
อาร์จินีน	89.90	91.80	96.30	92.50	87.70
ทรีโอนีน	71.54	79.00	80.90	72.30	72.90
เมทไทโอนีน	82.54	90.10	91.00	88.70	81.40
เวลีน	64.80	84.40	88.30	84.20	76.30
เฟนนิลอะลานีน	87.41	89.00	92.00	88.00	82.20
ไอโซลูซีน	50.41	87.10	90.10	87.00	80.40
ลูซีน	82.63	86.50	89.80	86.60	80.20
ไลซีน	88.66	87.40	93.00	90.60	85.00
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acids)					
กรดแอสพาร์ติก	83.74	85.20	90.80	86.70	80.20
กรดกลูตามิก	86.62	88.00	95.00	90.10	81.40
ไกลซีน	72.69	76.30	89.70	78.00	60.40
อะลานีน	81.86	81.70	86.20	82.30	70.50
โพรลีน	51.13	-	98.20	85.40	58.00

ที่มา : ดัดแปลงจาก ปริญญา (2540); Fan *et al*. (1994); Mariscal-Landin *et al*. (1995); Grala (1998); Stein *et al.* (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 กากทานตะวัน (Sunflower meal, SFM)

ทานตะวันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annus* แหล่งปลูกทานตะวัน ที่ใหญ่ของโลกอยู่ทางตอนเหนือของเทือกเขาคอเคซัส บริเวณราบลุ่มแม่น้ำยูการินและวอลก้าของรัสเซีย และประเทศในคาบสมุทรบอลข่าน เช่น ประเทศอาร์เจนตินา อุรุกวัย โรดิเซีย ตุรกี แทนซาเนีย ฮังการี และปากีสถาน เป็นต้น ส่วนประเทศไทยมีการผลิตเมล็ดทานตะวันกันมากในเขตภาคกลางและภาคตะวันออก เช่น ลพบุรี สระบุรี ปราจีนบุรี กาญจนบุรี และเพชรบูรณ์ เป็นต้น (ชูศักดิ์, 2541)

กากทานตะวันที่ได้จากการสกัดน้ำมันนิยมนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงถึง 26-37 เปอร์เซ็นต์ กากทานตะวันที่กะเทาะเปลือกมีเยื่อใยสูง 3-4 เท่า ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนจากกากทานตะวันมีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และผลจากการมีเยื่อใยสูงนี้ยังเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์อีกด้วย ส่วนปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นโดยรวม จัดว่าค่อนข้างใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง ยกเว้นกรดอะมิโนไลซีน ที่มีปริมาณต่ำกว่ามาก (1.2–1.4 vs 3.0 เปอร์เซ็นต์) (พันทิพา, 2539) ส่วนประกอบทางเคมีหรือโภชนะใน กากเมล็ด-ทานตะวัน แสดงไว้ในตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโน ระหว่างกากเมล็ดทานตะวันและกากถั่วเหลือง (จากตารางที่ 1 และ 3) ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นโดยรวม จัดว่าค่อนข้างใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่กากเมล็ดทานตะวันจะมีกรดอะมิโนเมทไทโอนีน ทริปโตเฟน และอาร์จินีนสูง ในขณะที่กากทานตะวันจะมีกรดอะมิโนไลซีนต่ำกว่ากากถั่วเหลือง โดยเฉพาะกากเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการสกัดน้ำมัน โดยใช้อุณหภูมิสูงๆ การนำกากเมล็ดทานตะวันผสมเป็นอาหารสัตว์จึงต้องระวังการขาดกรดอะมิโนไลซีน อีกทั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนจากกากเมล็ดทานตะวันก็ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (Jørgensen *et al.*, 1984) ส่วนระดับไวตามินแร่ธาตุในกากเมล็ดทานตะวัน Klain *et al.* (1956) รายงานว่า กากเมล็ดทานตะวันมีไวตามินโคลีน ไนอาซีน และไรโบฟลาวิน ในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง เช่นเดียวกับระดับธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส ดังนั้นหากใช้กากเมล็ดทานตะวันระดับสูงในสูตรอาหารสุกร จะทำให้สุกรมีแนวโน้มที่จะเป็นโรคผิวหนัง เนื่องจากฟอสฟอรัสจะไปยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของสังกะสี นอกจากนี้กากเมล็ดทานตะวันยังมีกรดไฟติกอยู่ระดับสูง ซึ่งเมื่อรวมกับธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมจะให้สารไฟติน ซึ่งจะยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารอีกด้วย (Seerley *et al.*, 1974) ซึ่ง พันทิพา (2539) รายงานว่า กากเมล็ดทานตะวันมีการใช้ประโยชน์ได้ของไลซีน ได้เพียง 70.60 เปอร์เซ็นต์ เมทไทโอนีน 81.10 เปอร์เซ็นต์ ทรีโอนีน 68.60 เปอร์เซ็นต์ และเฟนนิลอะลานีน 73.30 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดทานตะวัน จากรายงานต่าง ๆ

โภชนะ	NRC (1998) (%)	กรมปศุสัตว์ (2548) (%)	Van Leeuwan *et al.* (1991) (%)	Shelton *et al.* (2001) (%)	Szabó *et al.* (2001) (%)
วัตถุแห้ง	90.00	90.00	-	-	88.20
โปรตีนรวม (Nx6.25)	26.80	37.00	29.90	-	32.40
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids)					
อาร์จินีน	2.38	-	2.29	2.81	2.7
ทรีโอนีน	1.04	1.32	1.14	1.28	1.22
เมทไทโอนีน	0.59	0.77	0.68	0.82	0.78
เวลีน	1.49	1.93	1.55	1.40	1.62
เฟนนิลอะลานีน	1.23	-	1.32	1.47	1.55
ไอโซลูซีน	1.29	1.60	1.29	1.19	1.38
ลูซีน	1.86	2.27	1.93	2.11	2.07
ไลซีน	1.01	1.29	1.07	1.20	1.54
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acids)					
ซีสทีน	0.48	-	-	0.64	0.56
กรดแอสพาร์ติก	-	-	2.67	-	3.05
กรดกลูตามิก	-	-	5.80	-	7.10
ไกลซีน	-	2.10	1.68	-	1.88
อะลานีน	-	-	1.25	-	1.42
โพรลีน	-	-	1.23	-	1.46
ไทโรซีน	0.76	-	0.67	0.82	0.88

ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมปศุสัตว์ (2548); Van Leeuwan *et al.* (1991); NRC (1998); Shelton *et al.* (2001); Szabó *et al.* (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาของ ธวัช และคณะ (2531) โดยใช้กากทานตะวันทดแทนกากถั่วเหลืองในสุกร ที่ระดับ 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อใช้กากทานตะวันทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับสูงขึ้น ทำให้สุกรกินอาหารน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสุกรน้ำหนัก 20-60 กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น ทำให้อาหารมีลักษณะฟ่ามและไม่น่ากิน ซึ่งเป็นตัวจำกัดปริมาณอาหารในทางเดินอาหาร ส่วนในช่วงสุกรมีน้ำหนัก 60-90 กิโลกรัม มีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากสุกรสามารถปรับตัวและระบบทางเดินอาหารสมบูรณ์มากแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลงานทดลองของ Seerley *et al.* (1974) โดยพบว่า การใช้กากทานตะวันที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีอัตราการเจริญเติบโต ระยะน้ำหนัก 20-60 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อดูที่น้ำหนักช่วง 60-90 กิโลกรัม พบว่าการใช้กากทานตะวันที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio, FCR) ดีกว่าด้วย ดังนั้นกากเมล็ดทานตะวันสามารถใช้ทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรได้ โดยไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต FCR และคุณภาพซากเลวลงแต่อย่างใด ซึ่งทางกรมปศุสัตว์ (2548) รายงานว่า ในอาหารสุกรรุ่น (20-60 กิโลกรัม)ใช้กากเมล็ดทานตะวันทดแทนกากถั่วเหลืองได้ที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสุกรระยะขุน (60-90 กิโลกรัม) สามารถทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 100 เปอร์เซ็นต์

Van Leeuwan *et al.* (1991) ได้ศึกษาการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีนและกรดอะมิโน จากกากเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการสกัดน้ำมัน มีโปรตีน 29.9 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 23.6 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สุกร 2 สายพันธุ์ (Yorkshire x Dutch landrace) และสุกรได้รับการผ่าตัดแบบ Postvalvular T-cecum Cannulation (PVTC) พบว่า กากเมล็ดทานตะวันมีค่าการย่อยได้ของโปรตีน 75.60 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนไลซีน มีค่า 73.8 เปอร์เซ็นต์ เมทไทโอนีน 85.4 เปอร์เซ็นต์ ทรีโอนีน 73.0 เปอร์เซ็นต์ และเฟนนิลอะลานีน 79.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการศึกษาของ Knabe *et al.* (1989); Jørgensen *et al.* (1984) ซึ่งพบว่า กากทานตะวันมีค่าการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีน กรดอะมิโนไลซีน เมทไทโอนีน ทรีโอนีน และเฟนนิลอะลานีน เท่ากับ 73.00, 74.00, 85.00, 69.00 และ 78.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จากการศึกษาของ Szabó *et al.* (2001) โดยใช้กากทานตะวันมีโปรตีน 32.4 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากากทานตะวันมีค่าการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีน 80.00 เปอร์เซ็นต์ ไลซีน 79.00 เปอร์เซ็นต์ เมทไทโอนีน 91.00 เปอร์เซ็นต์ และเฟนนิลอะลานีน 85.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่ากากเมล็ดทานตะวันมีการย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีนและกรดอะมิโน มีค่าสูงกว่าจากรายงานของ Van Leeuwan *et al.* (1991); Knabe *et al.* (1989);

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Jørgensen *et al*. (1984) อาจเนื่องมาจากปริมาณของเยื่อใยและปริมาณโปรตีนที่ต่างกันของกากเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเมื่อเยื่อใยมีปริมาณสูงขึ้นจะส่งผลให้การย่อยได้ของโภชนะลดลง

2.5.3 ข้าวโพด (Corn or Maize)

ข้าวโพด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays L.* ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองลงมาจากข้าวสาลี และข้าว เมล็ดข้าวโพดนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และเดนมาร์ก เป็นต้น และพบว่า ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่มีการปลูกและผลิตข้าวโพดมากที่สุดในโลก และประเทศที่ผลิตรองลงมา คือ จีน บราซิล เม็กซิโก และอาฟริกาใต้ เป็นต้น (ทรงเชาว์, 2531) แหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกประมาณครึ่งของทั้งประเทศ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ตามลำดับ จังหวัดที่ปลูกข้าวโพดที่สำคัญ ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครราชสีมา เลย ลพบุรี นครสวรรค์ และปราจีนบุรี เมล็ดข้าวโพดจัดเป็นอาหารหลัก หรืออาหารพลังงานที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีความน่ากินมากกว่าเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น มีแป้งประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 65.0-78.1 เปอร์เซ็นต์ (จุรุรัตน์, 2528; Gajda *et al*., 2005) มีไขมันประมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่าเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น และเมื่อวัดในรูปพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ พบว่า เมล็ดข้าวโพด 1 กิโลกรัม มีการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน เท่ากับ 3,168 กิโลแคลอรี เมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนต่ำ คือ ประมาณ 7-9 เปอร์เซ็นต์ และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีกรดอะมิโนไลซีน เมทไทโอนีน และทริปโตเฟน ปริมาณน้อยมาก คือ 0.24-0.28, 0.18-0.19 และ 0.05-0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4) ส่วนแร่ธาตุและไวตามิน เมล็ดข้าวโพดมีแคลเซียม โซเดียม คลอรีน ไรโบฟลาวิน ไนอะซีน และโคลีนต่ำ (จุรุรัตน์, 2528)

การย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีนรวม มีค่าระหว่าง 75.00-82.40 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 89.00 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้ของกรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ ไลซีน ทรีโอนีน เมทไทโอนีน ลูซีน ไอโซลูซีน เวลีน เฟนนิลอะลานีน และอาร์จินีน มีค่าระหว่าง 66.00-82.00,69.00-78.90, 82.00-91.00, 81.00-92.50, 79.00-87.50, 79.20-84.90, 81.20-90.50 และ 83.00-87.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพด จากรายงานต่าง ๆ

โภชนะ	กรมปศุสัตว์ (2548) (%)	Burgoon *et al*. (1992) (%)	Stein *et al*. (2001) (%)	Gajda *et al*. (2005) (%)
วัตถุแห้ง	87.00	90.00	83.30	87.00
โปรตีนรวม (Nx6.25)	8.00	7.20	7.50	7.50
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids)				
อาร์จินีน	0.40	0.4	0.40	0.44
ทรีโอนีน	0.32	0.29	0.30	0.30
เมทไทโอนีน	0.19	-	0.18	0.19
เวลีน	0.46	0.35	0.40	0.39
เฟนนิลอะลานีน	-	0.38	0.43	0.70
ไอโซลูซีน	0.34	0.28	0.29	0.27
ลูซีน	1.17	0.95	1.07	0.92
ไลซีน	0.25	0.25	0.24	0.28
ทริปโตเฟน	0.09	0.05	0.07	-
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acids)				
ซีสทีน	0.2	-	-	0.23
กรดแอสพาร์ติก	-	-	0.52	0.63
กรดกลูตามิก	-	-	1.57	1.45
ไกลซีน	0.33	-	0.33	0.33
อะลานีน	-	-	0.64	0.59
โพรลีน	-	-	0.72	0.66
ไทโรซีน	-	-	0.28	0.29

ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมปศุสัตว์ (2548); Burgoon *et al*. (1992); Stein *et al.* (2001); Gajda *et al*. (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของโปรตีน และกรดอะมิโนจากข้าวโพด จากรายงานต่าง ๆ

โภชนะ	NRC (1998) (%)	Tanksley and Knabe (1982) (%)	Stein *et al*. (2001) (%)
วัตถุแห้ง	89.00	-	-
โปรตีนรวม (Nx6.25)	-	82.40	75.00
กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids)			
อาร์จินีน	83.00	87.4	85.20
ทรีโอนีน	69.00	78.90	76.10
เมทไทโอนีน	86.00	91.90	82.50
เวลีน	-	84.90	79.20
เฟนนิลอะลานีน	83.00	90.50	81.20
ไอโซลูซีน	79.00	87.50	80.50
ลูซีน	88.00	92.5	81.00
ไลซีน	66.00	82.00	77.30
ทริปโตเฟน	64.00	-	83.10
กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acids)			
ซีสทีน	78	-	74.90
กรดแอสพาร์ติก	-	-	79.10
กรดกลูตามิก	-	-	80.80
ไกลซีน	-	-	73.20
อะลานีน	-	-	80.20
โพรลีน	-	-	93.20
ไทโรซีน	83.00	-	77.20

ที่มา : ดัดแปลงจาก NRC (1998); Tanksley and Knabe (1992); Stein *et al*. (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 ปลายข้าว (Broken rice, BR)

ปลายข้าวเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะสุกรมาตั้งแต่ดั้งเดิม และปัจจุบันก็ยังคงใช้เลี้ยงกันอยู่ทั่วไป ทั้งนี้เพราะเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาค่อนข้างถูก ปลายข้าวมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับข้าวโพด และข้าวฟ่าง ปลายข้าวเป็นผลิตผลพลอยได้จากการสีข้าวประกอบด้วยเศษที่หักและส่วนของจมูกข้าว ซึ่งจะได้ส่วนของปลายข้าว ประมาณ 15.00 เปอร์เซ็นต์ มี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ หรือที่เรียกกันว่าข้าวท่อน ปลายข้าวขนาดเล็กมักมีส่วนของจมูกข้าวซึ่งเป็นต้นอ่อนที่มีโปรตีน ไขมัน ไวตามิน และแร่ธาตุมากกว่าส่วนอื่นของเมล็ดจึงเหมาะกับการเลี้ยงสัตว์มากกว่า เพราะสัตว์สามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าส่วนปลายข้าวเหนียวมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับปลายข้าวเจ้า แต่ถ้าใช้ปลายข้าวเหนียวต้องใช้ควบคู่กับวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น รำละเอียดเพิ่มลงไปในสูตรอาหารจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องท้องผูกได้ สำหรับปลายข้าวนึ่ง ซึ่งคุณค่าทางอาหารเช่นเดียวกับปลายข้าวธรรมดา แต่สัตว์สามารถย่อยได้ดีกว่าเพราะแป้งผ่านการนึ่งให้สุกแล้ว อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้ปลายข้าวทุกชนิดควรหลีกเลี่ยงการใช้ปลายข้าวเก่าที่มีมอดขึ้น หรือใยหนอนและไม่ควรมีแกลบหรือดอกหญ้าปนมาด้วย ปลายข้าวให้พลังงานสูง มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกร เท่ากับ 3,596 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ มีไขมัน และเยื่อใยต่ำ เก็บไว้ใช้ได้นาน โดยไม่หืน (วันดี, 2544) จากการรายงานของกรมปศุสัตว์ (2548) พบว่า ปลายข้าวมีส่วนประกอบทางเคมี คือ ความชื้น 12.0 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.9 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1.0 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโน ได้แก่ ไลซีน เมทไทโอนีน ทริปโตเฟน ทรีโอนีน ไอโซลูซีน อาร์จินีน ลูซีน ฮีสติดีน เวลีน และไกลซีน มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.27, 0.10, 0.36, 0.45, 0.36, 0.71, 0.18, 0.53 และ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.6 การวัดการย่อยได้ของกรดอะมิโนสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก

2.6.1 วิธีการศึกษาการย่อยได้ของกรดอะมิโนในตัวสุกร (*in vivo* method)

วิธีการศึกษาการย่อยได้ของกรดอะมิโนในตัวสุกรเป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหาร ซึ่งมีการพัฒนาวิธีการผ่าตัดเพื่อสอดท่อเก็บตัวอย่างบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายขึ้น (Wiseman and Cole, 1990) ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่

1. วิธีการฆ่าสุกรเพื่อเก็บตัวอย่าง (slaughter method) เป็นวิธีการฆ่าสุกรโดยการฉีดยาให้ตาย หลังจากนั้นทำการผ่าลำไส้เล็กเอา ileal digesta ออกมาวิเคราะห์หาโภชนะที่เหลือจากการย่อย ซึ่งวิธีการนี้ดูจะเป็นวิธีการที่ง่ายแต่ไม่ค่อยมีการใช้ เนื่องจากมีความแปรปรวนของตัวสุกรสูง ทำให้ต้องใช้จำนวนสุกรมาก เพื่อให้เป็นค่าสังเกตที่เพียงพอ และเพื่อให้ค่าการย่อยได้มีความแปรปรวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยที่สุด ซึ่งวิธีการนี้ปัญหาที่พบ คือ ในช่วงของการฆ่าสุกร ของเหลวจากลำไส้เล็ก มีการเคลื่อนที่ทำให้มีการปนเปื้อนจาก digesta จากส่วนอื่นของลำไส้ นอกจากนี้ในช่วงที่สุกรถูกฆ่าจะมีการหลุดลอกของเยื่อบุผนังลำไส้ออกมา ซึ่งอาจส่งผลถึงค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนได้ (Van Wijik *et al*., 1998)

2. วิธีการสอดท่อรูปตัวที (simple T-cannulation) เข้าที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย (distal ileum) เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง โดยวิธีการ คือ การสอดท่อรูปตัวที (T-shaped) บริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย (distal ileum) โดยประมาณ 12 เซนติเมตร ก่อนถึง ileo-cecal junction และปลายของท่อเปิดออกสู่นอกลำตัวบริเวณซี่โครงซี่สุดท้าย เพื่อป้องกันการเคลื่อนของท่อและให้ digesta มีการรั่วน้อยที่สุด โดยวิธีการ simple T-cannulation นี้สามารถเก็บตัวอย่างได้ 3 ครั้งจากสุกรตัวเดียว สามารถให้อาหารได้หลายชนิด โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตัน นอกจากนี้ในระหว่างการทดลอง ระบบทางเดินอาหารยังคงสภาวะเป็นปกติทางสรีระวิทยา เนื่องจากลำไส้เล็กไม่ถูกตัดขาด ดังนั้นการเคลื่อนตัว myoelectric complex ยังคงอยู่ (Sauer *et al*., 1989)

3. Reentrant Cannulation เป็นวิธีการเปลี่ยนทางเดินของ digesta ออกมานอกตัวสุกร หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่าง digesta จำนวนหนึ่งไว้ แล้วนำ digesta ที่เหลือใส่กลับเข้าไปสู่ ileum หรือ cecum (Easter and Tankaley, 1973) ซึ่งวิธีการนี้สามารถทราบจำนวน digesta ทั้งหมด (total collection) แต่วิธีการนี้ยังคงมีข้อจำกัดด้วยเหตุผลต่างๆ ได้แก่ ลำไส้ถูกตัดขาด เป็นผลให้การเคลื่อนย้ายของ myolectric complex ไม่ปกติ ทำให้การเคลื่อนไหวทางสรีรวิทยาของลำไส้เล็กตามปกติเสียไป นอกจากนี้ เมื่อใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูงๆ ทำให้เกิดการอุดตันได้ ทำให้การกินอาหารของสุกรไม่ต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการแก้จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยการฉีดน้ำเกลือเข้าไป เพื่อคงสภาพการไหลของ digesta เข้าที่ปลายท่อและเมื่อมีการใช้ reentrant cannulation ตัวอย่างที่เก็บได้ส่วนหนึ่งต้องมีการใส่กลับเข้าไป cecum เพื่อคงสภาพความเป็นปกติของ cecum และสำไส้ใหญ่ วิธีการนี้จึงไม่ใช่วิธีการที่ใช้โดยทั่วไปนัก

4. Ileo-Rectal Anastomosis (IRA) วิธีการของ IRA เป็นวิธีการที่มีการพัฒนาและใช้ทั่วไปในฝรั่งเศส ซึ่งเป็นวิธีการที่แยก cecum และลำไส้ใหญ่ออกจากระบบทางเดินอาหาร แล้วทำการผ่าตัดท่อ ileum เข้ากับ rectum แล้วจากนั้นเก็บตัวอย่างจากช่องทวารหนัก โดยวิธีการนี้ช่วยให้มีการเก็บตัวอย่างได้ทั้งหมด การเกิดของแก๊สในส่วนของลำไส้ใหญ่ ถูกแก้ไขโดยการสอด T-cannula เข้าในบริเวณลำไส้ใหญ่ (Sauer *et al*., 1989)

5. Postvalvular T-cecum Cannulation (PVTC) ของ Van Leeuwen *et al*. (1991) ได้พัฒนาวิธีการ PVTC ขึ้นมา โดยการแยกเอาส่วนของ cecum ออกมา แล้วสอดท่อ silicone ขนาดใหญ่ที่มีปีกรอบๆ โดยที่ท่อจะมีมุมของท่อ (angled barrel) ที่ช่วยในการเก็บรวบรวม ileal digesta ซึ่งเมื่อมีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอาจุกที่ปิด barrel ออกทำให้ ileo-cecal valve โผล่หรือยื่นเข้าสู่ barrel ซึ่งเป็นช่วงมีการเก็บรวบรวม digesta ใกล้เสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยได้มีการทดสอบโดยใช้อาหารที่แตกต่างกันเพื่อประเมินวิธีการนี้และทดสอบปัญหาการอุดตัน ซึ่งไม่พบปัญหาการอุดตันแต่อย่างใด

6. Steered Ileo-Cecal Valve Cannulation (SICV) (Mroz *et al*., 1996) เป็นวิธีการใหม่ล่าสุดที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ท่อ silicone ที่มีปีกขนาดใหญ่สอดเข้าสู่ cecum บริเวณตรงข้ามกับ ileo-cecal value ใช้วงแหวนสแตนเลส (stainless steel) ครอบรอบด้านนอกของ ileum และมีวงแหวนอันที่ 2 สอดใส่ภายใน ileum โดยมีด้ายไนล่อนต่อกับวงแหวน โดยในช่วงการเก็บตัวอย่างจะดึงด้ายไนล่อนทำให้วงแหวนด้านนอกมาติดกับปีก (barrel) ของท่อ และทำให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งหมด ซึ่งในช่วงที่ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่างก็จะปล่อยเชือกให้ digesta ไหลไปสู่ทางเดินอาหารส่วนปลายได้ตามปกติ โดยวิธี SICV สามารถใช้อาหารทดสอบได้หลายๆชนิด

การศึกษาการย่อยได้ของกรดอะมิโนในตัวสุกร มีข้อที่พึงระวังและควรคำนึงถึง (Darcy *et al*., 1980) คือ

1. ไม่ควรทำการผ่าตัดตามขวางของท่อลำไส้เล็ก
2. ควรมีช่วงให้สัตว์ได้พักฟื้นอย่างเพียงพอ
3. เมื่อผ่าตัดเรียบร้อยแล้ว ileo-cecal valve ควรมีบทบาทและหน้าที่คงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง
4. ท่อที่จะสอดเข้าสู่ลำไส้เล็กควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 mm.
5. เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อควรมีขนาดที่เพียงพอ หรือมีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไส้ และที่สำคัญเมื่อมีการผ่าตัดแล้วไม่ควรมีผลกระทบต่อความอยากกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์

การศึกษาการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กส่วนปลายมีหลายวิธีดังที่กล่าวมา จึงมีการนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบหาวิธีการที่ดี มีประสิทธิภาพมากที่สุด และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ซึ่ง Köhler *et al*. (1990) เปรียบเทียบวิธี simple T-cannulation, reentrant cannulation และ PVTC ไม่พบความแตกต่างของค่าการย่อยได้ และพบว่าวิธี PVTC ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสุกรและมีค่าไนโตรเจนที่ร่างกายกักเก็บไว้ได้ (N-retention) สูงกว่า เมื่อเทียบกับวิธี IRA ซึ่งพบปัญหาเรื่องกระบวนการย่อยอาหารและทำให้ประชากรของแบคทีเรียในลำไส้เล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ (Leterme *et al*., 1990) จากรายงานของ Huisman *et al*. (1985) เปรียบเทียบวิธีการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างแบบ re-entrant cannulation กับแบบ simple T-cannulation พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจอนุมานได้ว่า การใส่ท่อเก็บตัวอย่างไม่มีผลทำให้ระบบการย่อยอาหารของสุกรผิดปกติ Fernández *et al*., (2000) ได้เปรียบเทียบวิธีการ SICV และ simple T-cannulation โดยสอดท่อที่ปลายลำไส้เล็กและ cecum ในสุกรรุ่นน้ำหนักเฉลี่ย 35 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ 3 ชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คือ กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน และเรปซีด (rapeseed cake) ประกอบสูตรอาหารที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ใช้สารบ่งชี้ 2 ชนิด คือ โครมิกซ์ออกไซด์ (chromic oxide; Cr_2O_2) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium oxide; TiO_2) ผสมในอาหารในอัตราส่วน 5 กรัม และ 1.5 กรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แล้วเก็บ digesta และมูล มาวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง โปรตีน และไลซีน พบว่า การย่อยได้ปรากฏที่ปลายลำไส้เล็กของไลซีน มีค่าไม่แตกต่างกัน และการผ่าตัดทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ นอกจากนี้ Mroz *et al*. (1996) ได้ศึกษาการย่อยได้ปรากฏทั้งระบบทางเดินอาหารระหว่างสุกรปกติและสุกรผ่าตัดแบบ SICV โดยใช้สุกรเพศผู้น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 40 กิโลกรัม และน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 105 กิโลกรัม ให้อาหารที่มีส่วนผสมของแหล่งคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ กัน พบว่า การย่อยได้ปรากฏทั้งระบบทางเดินอาหารของสุกรปกติ มีค่าใกล้เคียงกับสุกรที่ได้รับการผ่าตัดแบบ SICV

อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของสุกรจะผันแปรแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการย่อยได้ ซึ่งได้แก่

1. ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ เช่น เยื่อใย ซึ่งเยื่อใยจะมีผลลดการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กและทั้งระบบทางเดินอาหารของสัตว์มากที่สุด (Den Hartog *et al*., 1988; Smits and Annison, 1996) เยื่อใยที่มีปริมาณสูงขึ้นในสูตรอาหาร จะมีผลทำให้การเคลื่อนตัวของอาหารเร็วขึ้น โอกาสที่น้ำย่อยจะย่อยได้จึงลดลง (Just *et al*., 1983)

2. การเตรียมอาหาร การเตรียมอาหารให้สัตว์กินมีหลายวิธี เช่น การสับ การบด การต้ม การแช่สารละลายกรดและด่าง และการย่อยได้ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งพันทิพา (2539) รายงานว่า อาหารสัตว์จำพวกธัญเมล็ดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวเปลือก และกากเมล็ดพืชที่ผ่านการอัดน้ำมัน ควรมีการลดขนาดให้เล็กลงก่อน เพื่อสะดวกต่อการผสมและสัตว์กินได้ง่ายและย่อยได้สูง เนื่องจากอาหารที่มีขนาดเล็กลงจะเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการเข้าทำงานของเอนไซม์ในตัวสัตว์ จึงทำให้มีการย่อยได้สูงขึ้นตามไปด้วย (Owsley *et al*., 1981) จากการทดลองของ Fastinger and Mahan (2003) ได้ศึกษาขนาดของกากถั่วเหลืองต่อการย่อยได้ของกรดอะมิโนในสุกร โดยบดกากถั่วเหลืองให้มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ 900, 600, 300 และ 150 ไมโครเมตร พบว่าการย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของกรดอะมิโนจำเป็น จะมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.4 เปอร์เซ็นต์ (จาก 83.5 เป็น 84.9 เปอร์เซ็นต์) เมื่อขนาดของกากถั่วเหลืองมีขนาดเล็กลง ขณะที่การย่อยได้ปรากฏสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กของกรดอะมิโนไม่จำเป็น จะมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 80.1 เป็น 80.5 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีถั่วเหลือง การต้มจะช่วยทำลายสารยับยั้งทริปซิน ทำให้สัตว์ย่อยของโปรตีนและกรดอะมิโนได้ดีขึ้นด้วย (จุรีรัตน์, 2528)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ปัจจัยเกี่ยวกับตัวสัตว์เอง ได้แก่ ชนิดของสัตว์ อายุ และโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ จะทำให้การย่อยได้ของสัตว์ต่างกัน ในกรณีสัตว์อายุน้อยจะมีการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนได้ต่ำกว่าสัตว์ที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว เนื่องจากน้ำหนักและอวัยวะต่างๆ และระบบการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ทำงานได้เต็มที่แล้ว (Sangild, 2001)

4. ระดับการให้อาหาร การให้อาหารแก่สัตว์แต่ละครั้งในปริมาณมากเกินไปจะทำให้การย่อยได้ของอาหารลดลง เนื่องจากอาหารจะผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น ทำให้การย่อยได้และการดูดซึมน้อยลง ดังนั้นจึงควรให้อาหารในระดับที่พอเหมาะกับความต้องการของสัตว์เท่านั้น (จุรุรัตน์, 2528) ซึ่งขัดแย้งจากการทดลองของ Albin *et al*. (2001) ซึ่งรายงานว่า ปริมาณอาหารที่กินได้ทุกระดับ ไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน โดยใช้สุกรน้ำหนักเฉลี่ย 78.3 กิโลกรัม ที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างที่ปลายลำไส้เล็ก (simple T-cannula) และได้รับอาหารโปรตีน 17.00 เปอร์เซ็นต์ สุกรได้รับอาหารที่ระดับต่างๆ กัน คิดเป็นปริมาณอาหาร (วัตถุแห้ง) คือ 1.82, 2.73 และ 3.65 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Jørgensen *et al.* (1981) ได้ทดลองสุกรที่ได้รับอาหาร คิดเป็นปริมาณอาหาร (วัตถุแห้ง) 0.84 และ 1.68 กิโลกรัมต่อวัน พบว่า ปริมาณอาหารที่กินได้ทุกระดับ ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนเช่นกัน

2.6.2 วิธีการศึกษาการย่อยได้ของกรดอะมิโนในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* method)

การทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นการจำลองสภาวะต่างๆ ให้เหมือนกับสภาวะที่เกิดขึ้นในทางเดินอาหารของสัตว์ เป็นวิธีการที่ไม่แพงและมีความรวดเร็ว ซึ่งจุดที่แตกต่างจากการทดลองในตัวสัตว์ คือ ความยุ่งยากในการควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลกระทบหรือคุณสมบัติอื่นๆ ในตัวสัตว์ที่มีผลกระทบต่อค่าการย่อยได้ อีกทั้งยังต้องอาศัยระยะเวลา และสัตว์ทดลอง ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายด้วย จึงได้มีการพัฒนาการทดลองในห้องปฏิบัติการเรื่อยมา ซึ่งการศึกษาคุณภาพของโปรตีน โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการ อาจใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียว ซึ่งนิยมใช้เอนไซม์เปปซิน หรืออาจจะใช้เอนไซม์หลายชนิดผสมกัน ซึ่งเอนไซม์ได้มาจากลำไส้เล็กตอนต้น จากมูล หรือจากจุลินทรีย์ (Low, 1990) Furuya *et al.* (1979) ศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน โดยใช้เอนไซม์จากลำไส้เล็กตอนต้น ส่วน Löwgren *et al.* (1989); Graham *et al.* (1989) ใช้เอนไซม์จากลำไส้เล็กตอนกลางและตอนปลาย ซึ่ง Graham *et al.* (1989) รายงานว่า ค่าสหสัมพันธ์การย่อยได้ของไนโตรเจน ระหว่างศึกษาในตัวสัตว์และศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ดีและเป็นที่ยอมรับจะนำเอนไซม์จากลำไส้เล็กตอนต้นของสุกรมาใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาของ Furuya *et al*, (1979) โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำย่อยจากตอนต้นของลำไส้เล็ก (intestinal fluid) ในสุกร นำมาย่อยวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และปลาป่น พบว่า การย่อยได้ของโปรตีนมีค่า เท่ากับ 91.0, 73.0 และ 92.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนไลซีน มีค่าเท่ากับ 28.0, 1.8 และ 56.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) เท่ากับ 0.98 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าสหสัมพันธ์ ในกรณีที่ใช้เอนไซม์ที่มีขายเป็นการค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.90 (Pedersen and Eggum, 1981 อ้างโดย บุญล้อม, 2541) และจากทดลองการย่อยได้ในตัวสัตว์และในห้องปฏิบัติการ ในไก่พันธุ์ไข่ โดยใช้น้ำย่อยจาก intestinal fluid ในสุกร มีค่าสหสัมพันธ์ของวัตถุแห้ง ระหว่างในตัวไก่กับในห้องปฏิบัติการ เท่ากับ 0.98 (r=0.98) และมีค่าสหสัมพันธ์ของโปรตีน ระหว่างในตัวไก่กับในห้องปฏิบัติการ เท่ากับ 0.99 (r=0.99) โดยมีสมการของค่าสหสัมพันธ์ คือ Y=1.06X–0.0321 และ Y=1.21X–0.1731 ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในไก่ไข่ โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการสามารถใช้ประมาณค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนในตัวสัตว์ได้ ($P<0.05$) (Sakamoto and Asano, 1980)

จากการรายงานของ รัตนา (2544) ศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยการผ่าตัดแบบ simple T-cannulation บริเวณส่วนต้น และส่วนปลายของลำไส้เล็ก ของสุกร เพื่อเก็บน้ำย่อยจากลำไส้เล็กมาใช้ในการย่อยในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วัตถุดิบอาหาร 6 ชนิด คือ ปลายข้าว ข้าวโพด รำละเอียด กากถั่วเหลือง ปลาป่น และกากถั่วลิสง พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนเท่ากับ 0.56 (r=0.56)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved