บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 โปรตีน และกรดอะมิโนในอาหารสุกร

2.1.1 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยทั่วไปคาร์โบไฮเดรต และไขมันจะมีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ แต่โปรตีนนอกจากจะมีธาตุเหล่านี้แล้วยังมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบด้วย (McDonald *et al.*, 2002) เนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นสารอาหารที่มีระดับสูงสุดในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อสัตว์ สัตว์จำเป็นต้องใช้โปรตีนในการสร้างเนื้อเยื่อ การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และใช้ในการซ่อมแซมเนื้อเยื่อต่างๆ (Pond *et al.*, 1995) ภายในร่างกายของสัตว์ชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนเองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ถ้าในอาหารมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอ จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง หรือสูญเสียน้ำหนักตัวได้ นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นองค์ประกอบของน้ำนม เนื้อผม ขน กีบ เล็บ ฮอร์โมน เอนไซม์ เลือด และอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ดังนั้นโปรตีนจึงมีผลต่อระบบการทำงานต่างๆ ในร่างกาย (Cunha, 1977) ซึ่งสัตว์ที่อยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโตจะมีความต้องการโปรตีนในระดับสูง แต่เมื่อเติบโตเต็มที่หรือเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายมีความสมบูรณ์แล้ว ความต้องการโปรตีนจะลดลง ยกเว้นถ้าร่างกายกำลังให้ผลผลิต เช่น การให้นม หรือการตั้งท้อง ความต้องการโปรตีนก็จะเพิ่มสูงขึ้น เพราะน้ำนม และตัวอ่อนที่กำลังสร้างมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน และในระยะนี้ร่างกายสัตว์จะมีอัตราเมแทบอลิซึมที่สูงขึ้นด้วย (Pond *et al.*, 1995)

2.1.2 กรดอะมิโน (Amino acids)

โปรตีนมีองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ ขนาด รูปร่าง และหน้าที่ทางชีวภาพที่หลากหลาย (Pond *et al.*, 1995) โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วย กรดอะมิโนหลายตัวมารวมตัวกัน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้ถือว่าเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน ในธรรมชาติมีกรดอะมิโนมากกว่า 200 ชนิด แต่ที่สำคัญและเป็นองค์ประกอบของโปรตีนทั่วไปมีเพียง 20 ชนิดเท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดอะมิโนถูกนำไปใช้ในกิจกรรมหลายอย่างในร่างกาย เช่น เป็นสารตั้งต้น (precursors) สำหรับการสังเคราะห์ฮอร์โมน สารสื่อประสาท (neurotransmitters) สารสี (pigments) และสารโมเลกุลเล็กๆ อีกมากมาย แต่ที่สำคัญที่สุดคือการสังเคราะห์เป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของร่างกาย ในอาหารจะต้องประกอบด้วยกรดอะมิโน 20 ชนิดที่เพียงพอ ถ้าขาดตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนถูกจำกัด กรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิดนี้อาจจะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะความจำเป็น หรือความต้องการของสัตว์ (Fuller, 1994) คือ

1) กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (nonessential or dispensable amino acids) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นใช้เองได้อย่างเพียงพอภายในร่างกาย จึงไม่จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ในการประกอบสูตรอาหาร ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นรายตัว เพียงแต่ให้มีปริมาณทั้งหมดครบตามความต้องการของสัตว์ก็เพียงพอแล้ว

2) กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential or indispensable amino acids) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสัตว์ชั้นสูงสร้างเองไม่ได้ หรือสร้างได้ในปริมาณน้อย ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารซึ่งมีเพียง 10 ชนิดเท่านั้น เมื่อขาดกรดอะมิโนเหล่านี้ตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวมีไม่ครบตามความต้องการ มีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโน หรือโปรตีนในอาหารนั้นเสียไป สัตว์มีการเจริญเติบโต และผลผลิตต่าง ๆ ลดลงด้วย หรืออาจทำให้เกิดโรคได้ ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารควรจะต้องคำนึงถึงกรดอะมิโนเหล่านี้ให้มาก

3) กรดอะมิโนกึ่งจำเป็น (semi-essential animo acids or conditionally dispensable amino acids) กรดอะมิโนกลุ่มนี้เคยจัดเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแต่ต่อมาพบว่า บางตัวสามารถใช้ทดแทนกรดอะมิโนที่จำเป็นได้บางส่วน หรือเรียกว่ามี sparing effect ซึ่งกันและกัน จึงถูกจัดแยกออกมา เช่น tyrosine สามารถใช้แทน phenylalanine ได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และ cysteine สามารถใช้แทน methionine ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในสัตว์หลาย ๆ ชนิด ยกเว้น แมว cysteine ที่ได้รับเข้าไปในร่างกายสามารถถูกเมแทบอไลซ์ไปเป็น taurine ได้ ส่วนกรดอะมิโนอื่น ๆ เช่น arginine สามารถสังเคราะห์ได้ แต่บางช่วงเวลามีอัตราการสังเคราะห์ต่ำจนไม่เพียงพอต่อความต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

กรดอะมิโน 20 ชนิดที่ถูกแบ่งเป็น 3 ประเภทนี้ได้แสดงดังในตาราง 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1 การแบ่งประเภทของกรดอะมิโนในอาหารสุกร

Category	Amino acid
Essential	Threonine
	Methionine
	Valine
	Leucine
	Isoleucine
	Lysine
	Phenyalanine
	Tryptophan
	Histidine
Semi-essential	Cyst(e)ine
	Taurine
	Tyrosine
	Arginine
Non-essential	Glutamic acid, glutamine
	Glycine, serine, proline
	Aspartic acid, asparagine
	Alanine

ที่มา: Fuller (1994)

2.1.3 กรดอะมิโนที่มีจำกัด(Limiting amino acid) ในอาหาร

ธัญพืชที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในอาหารสุกร โดยทั่วไปจะเป็นแหล่งของโปรตีนประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกร ดังนั้นองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดธัญพืชเป็นสิ่งที่สำคัญมาก (Lewis, 2001) ซึ่งวัตถุดิบอาหารชนิดต่างๆ ย่อมมีปริมาณ สัดส่วน และชนิดของกรดอะมิโนแตกต่างกันไป และในสัตว์ที่ระยะต่างๆ กันย่อมมีความต้องการกรดอะมิโนทั้งชนิด และปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากสัตว์ได้รับอาหารชนิดใดแล้วแสดงอาการขาดกรดอะมิโนตัวนั้นออกมา แสดงว่ากรดอะมิโนตัวนั้นเป็นตัวที่มีจำกัดในอาหาร (limiting amino acid) และกรดอะมิโนที่ขาดเป็นอันดับแรกในอาหาร หรือเมื่อเทียบกับความต้องการสัตว์จัดว่าเป็นกรดอะมิโนที่มีจำกัดเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid) และกรดอะมิโนที่มีจำกัดเป็นตัวต่อๆ ไปจึงจัดเป็น second-, third limiting amino acid ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งในอาหารสุกร lysine, threonine, methionine และ trpytophan จัดว่าเป็น limiting amino acid ในอาหารสุกร (Bercovici and Fuller,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1995) และมี lysine เป็น first limiting amino acid เนื่องจาก ธัญพืชที่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มีกรดอะมิโนเหล่านี้อยู่น้อย เช่น ข้าวโพด รำละเอียด และปลายข้าว เป็นต้น จึงต้องใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลือง และปลาป่นที่มีกรดอะมิโนเหล่านี้อยู่สูงเพื่อให้มีกรดอะมิโนเหล่านี้ในปริมาณที่เพียงพอ (Cunha, 1977)

ตาราง 2 กรดอะมิโนที่มีจำกัดในวัตถุดิบอาหารสุกร

	Limiting amino acids		
Cereal Grain	**First**	**Second**	**Third**
Barley	Lysine	Threonine	Histidine
Corn	Lysine and Tryptophan		Threonine
Oats	Lysine		
Sorghum	Lysine	Threonine	Tryptophan
Triticale	Lysine	Threonine	
Wheat	Lysine	Threonine	

ที่มา: Lewis (2001)

2.2 เมแทบอลิซึมของโปรตีน และกรดอะมิโน (Protein and amino acid metabolism)

2.2.1 การย่อยโปรตีน (Protein digestion)

กรดอะมิโนแต่ละชนิดจะถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างโปรตีนโดยการทำงานของเอนไซม์ หรือถูกสลายตัวโดยสารเคมี การย่อยโปรตีนจากอาหารเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง และแตกต่างกัน 4 ขั้นตอน (Bercovici and Fuller, 1995) คือ

1. กลไกการสลายตัวของอาหาร
2. ปฏิกิริยาทางเคมีของกรดไฮโดรคลอริก (hydrochoric acid; HCl) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร
3. การทำงานของเอนไซม์ที่ทำการย่อย หรือสลายสารโมเลกุลเชิงซ้อน
4. การทำงานของจุลินทรีย์ (microbial fermentation)

เอนไซม์ที่ย่อยสลายจะเริ่มต้นตั้งแต่ในกระเพาะอาหาร เมื่อโปรตีนผ่านเข้าไปในกระเพาะอาหารจะไปกระตุ้นให้เซลล์มิวโคซ่าที่บุกระเพาะอาหาร (gastric mucosa) หลั่งฮอร์โมนแกสทริน (gastrin) ทำให้เซลล์บุผนังกระเพาะอาหาร (parential cell) หลั่งกรดไฮโดรคลอริก และกระตุ้นให้ชิฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลล์ (chief cell) หลั่งเอนไซม์เพปซิโนเจน (pepsinogen) พีเอช (pH) ในกระเพาะอาหารจะต่ำกว่า 2 ซึ่งจะเป็นการฆ่าจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มากับอาหาร การมีสภาพเป็นกรดจะทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพและถูกย่อยได้ง่ายขึ้นด้วยเอนไซม์จากกระเพาะอาหาร เอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic enzyme) ในกระเพาะอาหารคือ เพปซิน (pepsin) ซึ่งถูกสังเคราะห์และหลั่งออกมาในรูปเพปซิโนเจน ซึ่งยังทำงานไม่ได้ จากนั้นจะถูกกระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะอาหาร เปลี่ยนเป็นเพปซิน ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเพปไทด์สายยาว และกรดอะมิโนบ้างเล็กน้อย การย่อยในกระเพาะอาหารนี้ไม่มีความสำคัญในแง่ที่จะให้สารดูดซึมได้

เมื่ออาหารที่อยู่ในสภาพเป็นกรดเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้เล็ก การที่มีสภาพกรดของอาหารจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งของฮอร์โมนซีครีติน (secretin) ซึ่งมีผลไปกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งสารละลายไบคาร์บอเนต (bicarbonate solution) ลงสู่ลำไส้เล็ก ทำให้อาหารมีสภาพเป็นกลาง (pH 7 – 8) เมื่ออาหารโปรตีนเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนบน (duodenum) จะทำให้มีการหลั่งของฮอร์โมนโคลิซิสโทไคนิน (cholecyslokinin; CCK) ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งเอนไซม์ต่าง ๆ ออกมา ได้แก่ ทริปซิโนเจน (trypsinogen) ไคโมทริปซิโนเจน (chymotrypsinogen) และโพรคาร์บอกซีเพปทิเดส (procarboxypeptidase) เมื่อทริปซิโนเจนเข้าสู่ลำไส้เล็กแล้ว จะถูกเปลี่ยนเป็นทริปซิน (trypsin) โดยปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์เอนเทอโรเพปทิเดส (enteropeptidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ขับออกมาจากเซลล์ของลำไส้เล็ก เมื่อมีทริปซินเกิดขึ้นแล้ว ทริปซินนี้จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนทริปซิโนเจน ไคโมทริปซิโนเจน และโพรคาร์บอกซีเพปทิเดสไปเป็นทริปซิน ไคโมทริปซิน และคาร์บอกซีเพทิเดส ตามลำดับ

การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะเกิดอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดมีความจำเพาะเจาะจงในการตัด หรือทำลายพันธะเพปไทด์ ในโปรตีนที่ตำแหน่งแตกต่างกัน จะได้โมเลกุลโปรตีนที่มีขนาดเล็กลง และมีสายเพปไทด์สายสั้นๆ มากมาย ซึ่งจะถูกย่อยต่อจนสมบูรณ์ได้เป็นกรดอะมิโนอิสระ โดยเอนไซม์ย่อยเพปไทด์ (peptidase) 2 ชนิดคือ คาร์บอกซีเพปทิเดส (carboxypeptidase) และอะมิโนเพปทิเดส (aminopeptidase) กรดอะมิโนอิสระที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมเข้าเซลล์ที่เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก (intestinal mucasa) เพื่อส่งต่อไปยังเส้นเลือดฝอยที่มีอยู่ในวิลไล (villi) เพื่อส่งต่อเข้ากระแสเลือดไปยังตับ (พัชรา, 2544 และ พจน์ และคณะ, 2543)

การดูดซึมกรดอะมิโนและเพปไทด์สายสั้นๆ จะถูกดูดซึมได้หมดเมื่อถึงลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) ไดเพปไทด์ (dipeptide) ถูกดูดซึมได้เร็วกว่ากรดอะมิโน กรดอะมิโนทุกตัวอาศัยพาหะช่วยในการดูดซึมเข้าเซลล์ และเป็นการดูดซึมแบบ active trantsport ซึ่งส่วนใหญ่ต้องอาศัยโซเดียมเช่นเดียวกับการดูดซึมกลูโคส (นิโลบล, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ส่วนใหญ่จะถูกขับออกนอกร่างกาย แต่อาจถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ได้บ้าง เนื่องจากลำไส้ใหญ่มีการเคลื่อนที่ของอาหารช้า และมีโภชนะเหลืออยู่มากจึงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หลายประเภท จุลินทรีย์จะย่อยโปรตีนให้เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในมูล ได้แก่ อินโดล (indole), สกาโทล (skatole), ฟีนอล (phenol), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide), เอมีน (amines), กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids) และ แอมโมเนีย (ammonia) ซึ่งกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนียอาจถูกดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้บ้าง (Bercovici and Fuller, 1995; McDonald *et al.*, 2002) และโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) ซึ่งจะถูกขับออกทางมูล (Bercovici and Fuller, 1995) แต่การย่อยที่กล่าวมานี้ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร มักเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (McDonald *et al.*, 2002)

2.2.2 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน (Amino acid metabolism)

กรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนที่มีในอาหารเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์บุผนังลำไส้เล็ก แล้วจะถูกขนส่งเข้าเส้นเลือดฝอย แล้วเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อส่งไปยังตับ ซึ่งตับมีหน้าที่สำคัญในการคอยควบคุมระดับของสารเมแทบอไลต์ (metabolite) ต่างๆ ในกระแสเลือดให้มีค่าพอดีกับความต้องการของร่างกาย ในกรณีของกรดอะมิโนเมื่อถูกส่งไปยังตับ กรดอะมิโนจะถูกเมแทบอไลซ์ (metabolise) ได้หลายทาง ดังแสดงในภาพ 1 (พัชรา, 2544) ดังนี้

1 กรดอะมิโนส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปตามกระแสโลหิตไปยังเนื้อเยื่ออื่นๆ เพื่อนำเอากรดอะมิโนไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของเนื้อเยื่อนั้นๆ เช่น การสังเคราะห์กรดอะมิโนไปยังกล้ามเนื้อเพื่อไปสร้างเป็นโปรตีนกล้ามเนื้อ

2 กรดอะมิโนบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนต่างๆ ของตับ เช่น เอนไซม์ต่างๆ หรือนำไปสร้างเป็นโปรตีนของพลาสมา

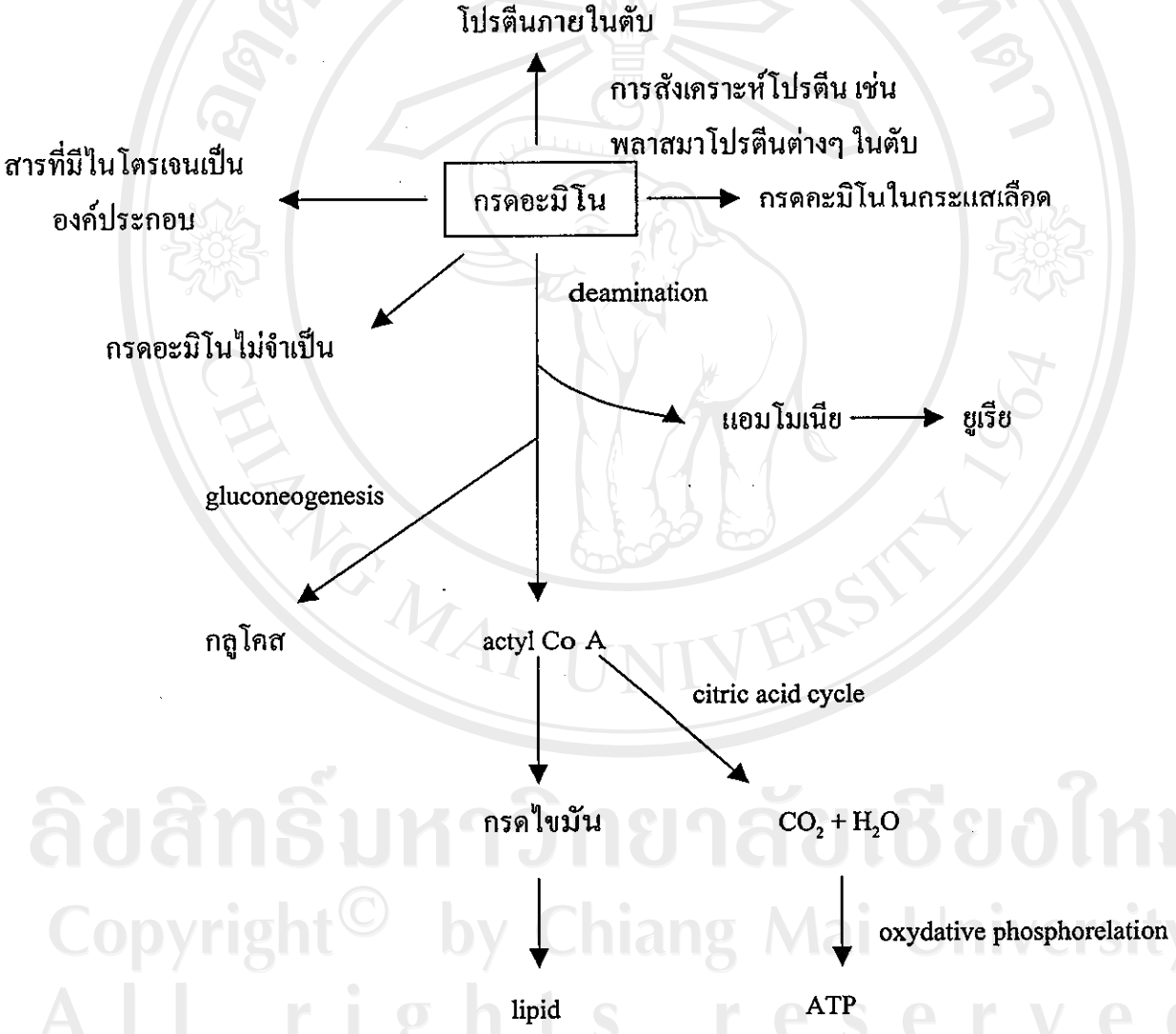
3 กรดอะมิโนบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็นสารประกอบต่างๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เช่น ฮีม (heme), นิวคลีโอไทด์ (nucleotide), ฮอร์โมน (hormone) และโคเอนไซม์ (coenzyme)

4 กรดอะมิโนบางส่วนจะถูกนำไปสร้างเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นชนิดต่างๆ

5 กรดอะมิโนที่มีอยู่มากเกินความต้องการของร่างกายจะถูกสลาย (deamination) โดยกรดอะมิโนจะถูกตัดเอาหมู่แอลฟา-อะมิโน (α-amono group) ออกไปให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียนี้อาจถูกขับออกนอกร่างกายโดยเข้าสู่วัฏจักรยูเรีย (urea

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

cycle) เพื่อสร้างเป็นยูเรียที่ตับแล้วส่งไปตามกระแสโลหิตไปยังไต เพื่อขับออกนอกร่างกายทางปัสสาวะ หรือแอมโมเนียอาจถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในการสังเคราะห์สารที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบต่างๆ สำหรับส่วนที่เป็นโครงสร้างคาร์บอน(carbon skeletol) ของกรดอะมิโนอาจถูกนำไปสร้างเป็นกลูโคสโดยวิธีกลูโคนีโอเจเนซีส (gluconeogenesis) หรือสร้างเป็นกรดไขมัน และลิพิด (lipid) เก็บสะสมเอาไว้ที่เนื้อเยื่อไขมัน หรือส่งเข้าสู่วัฏจักรกรดซิตริก เพื่อให้พลังงาน ATP แก่เซลล์



ภาพ 1 วิธีเมแทบอลิซึมต่างๆ ของกรดอะมิโนในตับ

ที่มา: พัชรา (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างและการสลายโปรตีนเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เรียกว่าการเทอร์นโอเวอร์ของโปรตีน (protein turnover) การสร้างและการสลายนี้จะดำเนินต่อไปอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าสัตว์จะมีการเจริญเติบโตอยู่ในระยะใด ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ดำเนินต่อไปตลอดเวลาชั่วชีวิตของสัตว์ (Bercovici and Fuller, 1995) สำหรับโปรตีนภายในเซลล์ที่มีความเข้มข้นทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป เซลล์สามารถรักษาให้มีระดับคงตัวนี้ (steady state level) อยู่ได้ตลอดเวลาโดยการทำให้อัตราเร็วของการสังเคราะห์โปรตีนนี้มีค่ามากพอที่สัตว์จะสร้างโปรตีนมาทดแทนส่วนที่ถูกสลายไปเท่านั้น ซึ่งกรดอะมิโนที่ได้จากการเทอร์นโอเวอร์ของโปรตีนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยจะนำไปสังเคราะห์โปรตีน ส่วนกรดอะมิโนที่เหลือจะถูกขับออกนอกร่างกาย (พัชรา, 2544)

2.3 ความต้องการโปรตีน และกรดอะมิโนในอาหารสุกร

2.3.1 ความต้องการโปรตีน (Protein requirement)

โดยทั่วไปสุกรมีความต้องการโภชนะต่างๆ เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต ดังนั้นการให้อาหารเพื่อให้สุกรมีสมรรถภาพการผลิตสูงสุด ควรให้อาหารอย่างเพียงพอต่อการดำรงชีพ และมีปริมาณมากพอเพื่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้สูงสุดด้วย ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาสุกรมีความต้องการโปรตีนในระดับที่สูง เนื่องจากในอาหารยังมีปริมาณ และสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่สมดุล แต่ในปัจจุบัน และอนาคต เราสามารถลดระดับความต้องการโปรตีนในอาหารของสุกรลงได้ โดยการปรับสัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารให้เหมาะสม ความต้องการโปรตีนของสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1) ปริมาณ การใช้ประโยชน์ได้ (availability) ของโปรตีน และความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนในอาหาร
2) ระยะของวงจรการให้ผลผลิต เช่น สุกรอายุน้อยต้องการความเข้มข้นโปรตีนในอาหารมากกว่าสุกรที่อายุมาก เพื่อสังเคราะห์เป็นกล้ามเนื้อโปรตีน หรืออวัยวะต่างๆ ในร่างกาย
3) สมดุลของกรดอะมิโน และความสัมพันธ์กับโภชนะอื่นๆ ในอาหาร
4) ผลของขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตอาหารที่มีต่อคุณค่าทางโภชนะของโปรตีน และกรดอะมิโน

นอกจากพิจารณาปัจจัยดังกล่าวแล้ว ควรคำนึงถึงการปรับสารอาหารในสูตรเพื่อให้สุกรตอบสนองได้มากที่สุด เนื่องจากการที่สุกรได้รับสารอาหาร หรือกรดอะมิโนมากหรือน้อยขึ้นกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณอาหารที่กินด้วย จากการที่สัตว์แต่ละระยะมีความต้องการระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน เราสามารถประกอบสูตรอาหารให้เหมาะสมตามระยะ หรือน้ำหนักตัวของสุกรได้ ดังแสดงในตาราง 3 ที่แนะนำโดย NRC (1998)

ตาราง 3 ระดับความต้องการโปรตีนของสุกรแต่ละระยะ

Class of animal	Liveweight range (kg)	Total feed intake (kg/day)	Crude proiein content of diet (%)	Crude protein needed daily (kg)
Growing-finishing	5-10	0.50	23.70	0.12
	10-20	1.00	20.90	0.21
	20-50	1.85	18.00	0.33
	50-80	2.57	15.50	0.40
	80-120	3.07	13.20	0.41
Bred sows	125-200	1.85	12.00	0.22
Lactating sows	175-200	5.25	18.00	0.94
Active boars	120-250	2.00	13.00	0.26

ที่มา: ดัดแปลงจาก NRC (1998)

2.3.2 ความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหาร (Essential amino acid requirement)

ในอาหารและวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารจะประกอบด้วย กรดอะมิโนทั้งชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน และสัตว์ที่ระยะต่างๆ ย่อมมีความต้องการกรดอะมิโนชนิด และปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วสัตว์ที่อายุน้อย เช่น ลูกสุกรหย่านม มีความต้องการระดับกรดอะมิโนต่างๆ ในอาหารสูงกว่าสุกรในระยะรุ่น และขุน ซึ่งเป็นผลทำให้ระดับโปรตีนที่ต้องการในอาหารสูงขึ้นตามไปด้วย ความต้องการระดับกรดอะมิโนในอาหารจะลดลงเมื่อสัตว์มีอายุหรือมีน้ำหนักตัวมากขึ้น ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหาร เราจำเป็นต้องมีการปรับระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่างๆ ในสูตรอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการ (อุทัย, 2529) ถ้าในอาหารมีกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งขาดหรือมีปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้สัตว์ไม่สามารถนำกรดอะมิโนตัวอื่นที่มีในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้การทำงานต่างๆ ของร่างกายที่จำเป็นต้องใช้โปรตีนเลวลงด้วย ซึ่งในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตจะมีความต้องการกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย ปัจจัยทางพันธุกรรม (Bercovici and Fuller, 1995) และสิ่งแวดล้อม (Bercovici and Fuller, 1995; Lewis, 2001) ได้แก่ ระดับโปรตีนในอาหาร ระดับพลังงานในอาหาร อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพศ และเกณฑ์มาตรฐานที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ในการประเมินความต้องการกรดอะมิโน (Lewis, 2001) ความต้องการกรดอะมิโนจะมีความแตกต่างกันตามบทบาท และหน้าที่ของสัตว์ เช่น ระยะการเจริญเติบโต การตั้งครรภ์ การให้นม เป็นต้น (Bercovici and Fuller, 1995; Lewis, 2001) ดังนั้นสัตว์ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หรือให้ผลผลิตน้ำนมสูงจะมีความต้องการกรดอะมิโนสูงกว่าสัตว์ที่มีการเจริญเติบโต หรือให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่า ความต้องการกรดอะมิโนของสุกรในแต่ละระยะดังแสดงในตาราง 4 เป็นค่าแสดงระดับความต้องการต่ำสุดที่ทำการเสริม หรือมีในอาหารสำหรับการเจริญเติบโตที่สูงสุด หรือเหมาะสมกับสมรรถภาพการผลิตในแต่ละวัน

ตาราง 4 ระดับความต้องการกรดอะมิโนของสุกรแต่ละระยะการเจริญเติบโต (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร)

	Growing pig (kg)			Lactating sows
Amino acids	10 - 20	25 - 50	50 - 110	
Lysine	9.5	7.5	6.0	6.0
Methionine+Cystine	4.8	4.1	3.4	3.6
Threonine	5.6	4.8	4.0	4.3
Tryptophan	1.4	1.2	1.0	1.2
Arginine	4.0	2.5	1.0	4.0
Histidine	2.5	2.2	1.8	2.5
Isoleucine	5.3	4.6	3.8	3.9
Leucine	7.0	6.0	5.0	4.8
Phenylalanine+Tyrosine	7.7	6.6	5.5	7.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lewis (2001)

2.4 คุณภาพของโปรตีน (Protein Quality)

โปรตีนประกอบด้วย กรดอะมิโนจำนวนหลายตัวมาต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) ในการประกอบสูตรอาหาร เราสามารถได้รับสารอาหารโปรตีนทั้งจากพืช ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว ซึ่งมีโปรตีนสูง และจากสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น เป็นต้น โดยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารแต่ละตัวจะมีปริมาณ ชนิด และลำดับของการเรียงตัวของกรดอะมิโนในโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ซึ่งโปรตีนที่มีปริมาณ และสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นเหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัตว์ จะทำให้สัตว์สามารถใช้โปรตีนนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจัดว่าเป็น *โปรตีนคุณภาพดี* (high-quality protein) ส่วนโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด หรือหลายชนิดไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ หรือสมดุลเสียไป หรือมีความสมดุลน้อย ซึ่งสัตว์ไม่สามารถใช้โปรตีนนี้ได้อย่างเต็มที่ จัดได้ว่าเป็น *โปรตีนคุณภาพเลว* (low-quality protein) (อุทัย, 2529; Cunha, 1977 and Lewis, 1991)

คุณภาพของโปรตีนส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบ สัดส่วน การย่อยได้ และการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนที่ประกอบอยู่ในโปรตีนนั้น ดังนั้นการประเมินคุณภาพโปรตีนจึงเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็น ซึ่งวิธีประเมินที่นิยมใช้ คือ การประเมินทางชีวภาพ (Biological value) เป็นการวัดคุณภาพโปรตีนโดยตัวสัตว์ คือโปรตีนนั้นสามารถทำให้สัตว์ดำรงชีพ เจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ตามปกติ

โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้ค่าสมดุลของไนโตรเจนมาประยุกต์ใช้วัดคุณภาพของโปรตีน โดยหลักการ คือ ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ เท่ากับปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับออกมาทั้งในรูปของมูล ปัสสาวะ รวมทั้งผลผลิตต่างๆ เช่น น้ำนม เป็นต้น

ถ้าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับจากอาหาร เท่ากับปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับออกนอกร่างกาย สภาวะเช่นนี้ ถือว่าค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นศูนย์ หรืออยู่ในสภาวะสมดุล (nitrogen balance) ซึ่งจะเกิดในสัตว์ที่โตเต็มที่ ไม่มีการเพิ่มน้ำหนักตัว และให้ผลผลิต (พันทิพา, 2539)

ถ้าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับจากอาหาร มากกว่าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับออกนอกร่างกาย คือร่างการสามารถกักเก็บไนโตรเจนไว้ได้ส่วนหนึ่ง มักเกิดในสัตว์ที่อยู่ในระยะเจริญเติบโต หรือให้ผลผลิต แสดงว่าสัตว์มีสมดุลไนโตรเจนเป็นบวก (positive nitrogen balance)

ถ้าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับจากอาหารน้อยกว่าปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ขับออกนอกร่างกาย เกิดกับสัตว์ที่กำลังเจ็บป่วย ขาดอาหาร หรือได้รับอาหารไม่เพียงพอ ทำให้สัตว์ดึงเอาโปรตีนที่สะสมในส่วนต่างๆ ของร่างกายมาใช้ แสดงว่าสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ (negative nitrogen blance)

การประเมินโปรตีนโดยใช้สมดุลไนโตรเจนเป็นหลัก มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ คุณค่าทางชีวภาพ (biological value; BV) ของโปรตีน เป็นการวัดปริมาณไนโตรเจนที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ใช้ดำรงชีพ การเจริญเติบโต หรือเพื่อสร้างเนื้อเยื่อและสารประกอบต่างๆ ในร่างกาย โดยคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม โดยจะทำการวัดปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่กิน และปริมาณที่ขับออกในรูปปัสสาวะ และอุจจาระ และสามารถหาค่าชีวภาพ ได้จากสมการ (1) และ (2) (McDonald *et al.*, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$BV = \frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกสะสมไว้ในร่างกาย}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม}} \quad (1)$$

$$= \frac{[\text{N ที่กิน} - (\text{N ในอุจจาระ} + \text{N ในปัสสาวะ})]}{\text{N ที่กิน} - \text{N ในอุจจาระ}} \times 100 \quad (2)$$

เนื่องจากไนโตรเจนที่ขับออกมาในมูล และปัสสาวะนั้น บางส่วนเป็นไนโตรเจนที่มาจากภายในร่างกายไม่ได้มาจากอาหาร เรียกว่า metabolic fecal nitrogen (MFN) หรือ endogenous fecal nitrogen ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อบุทางเดินอาหาร เอนไซม์ ฮอร์โมน เป็นต้น เช่นเดียวกันกับในปัสสาวะก็มีส่วนของไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากอาหารโดยตรง แต่มาจากกระบวนการเมแทบอลิซึม เรียกว่า endogenous urinary nitrogen (EUN)

การหาค่าเหล่านี้สามารถหาได้โดยการให้สัตว์ได้รับอาหารที่ไม่มีไนโตรเจน (N-free diet) แล้ววัดปริมาณที่ขับถ่ายออกมา ซึ่งไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกขับออกนอกร่างกายอยู่แล้ว แม้ว่าสัตว์จะได้รับอาหารที่ไม่มีไนโตรเจน เพราะเป็นส่วนของไนโตรเจนที่ถูกกักเก็บไว้ภายในร่างกายก่อนหน้านี้ ถ้าเราไม่นำไปลบออกจากไนโตรเจนที่กินเข้าไปจะทำให้ค่าชีวภาพที่ได้ไม่ถูกต้องนัก เพราะจะทำให้ค่าไนโตรเจนจากมูล และปัสสาวะสูงเกินจริง ดังนั้นค่าชีวภาพนี้จึงจัดว่าเป็นค่าชีวภาพที่แท้จริง (true biological value; TBV) หาได้จากสมการ (3) (McDonald *et al.*, 2002)

$$TBV = \frac{[\text{N ที่กิน} - (\text{N ในอุจจาระ} - \text{MFN}) - (\text{N ในปัสสาวะ} - \text{EUN})]}{\text{N ที่กิน} - (\text{N ในอุจจาระ} - \text{MFN})} \times 100 \quad (3)$$

การวัดค่าชีวภาพควรจะคำนึงถึงระดับของโปรตีนในอาหาร ต้องมีระดับโปรตีนให้มากพอที่ร่างกายจะเกิดการสะสมไนโตเจน หรือกักเก็บไว้ได้ แต่ต้องไม่เกินกว่าระดับที่มีการสะสมได้สูงสุด เพราะถ้าให้ไนโตรเจนในระดับสูงเกินไป กรดอะมิโนส่วนที่เกินจะถูกสลายและขับออก ซึ่งมีผลทำให้ค่าชีวภาพที่แท้จริงลดลง และควรจะต้องให้มีโภชนะที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอย่างพอเพียงด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้โปรตีนถูกสลายตัวมาใช้เป็นพลังงาน ในทางปฏิบัตินิยมแทนที่วัตถุดิบในสูตรอาหารในระดับที่ทำให้สูตรอาหารนั้นมีระดับโปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ (Whittemore, 1993)

กรดอะมิโนที่สัตว์ดูดซึมเข้าไปจะถูกนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนของร่างกายได้มากหรือน้อยขึ้นกับสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมว่าคล้ายคลึงกับสัดส่วนของกรดอะมิโนในร่างกายเพียงใด และเพียงพอค่าหรือไม่ ถ้ากรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมมีสัดส่วนที่คล้ายคลึง เหมาะสม และเพียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พอ โปรตีนนั้นจะมีค่าชีวภาพสูง และถือว่าเป็นโปรตีนคุณภาพดี เนื่องจากร่างกายสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้เพียงพอ ดังนั้นถ้าสัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารไม่สมดุลจะเกิดการสูญเสีย และสลายตัวไปใช้ในการสร้างกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น หรือใช้ไปในรูปของพลังงานแทน ซึ่งโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอ หรือมากเกินพอดีจะมีค่าชีวภาพต่ำ และถือว่าเป็นโปรตีนคุณภาพเลว การที่สัดส่วนของกรดอะมิโนมีความสัมพันธ์กันกับประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนภายในร่างกาย ดังนั้นการวัดปริมาณกรดอะมิโนในอาหารก็ถือว่าเป็นการประเมินคุณภาพโปรตีนได้ทางหนึ่ง โดยการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนในวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบ กับกรดอะมิโนในโปรตีนมาตรฐาน ซึ่งคุณภาพโปรตีนสูง เช่น ไข่ขาว หรือนม เป็นต้น หรืออาจเทียบกับรูปแบบกรดอะมิโนที่ FAO และ WHO ได้กำหนดเป็นมาตรฐานแทนก็ได้ ดังแสดงในตาราง 5 ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า Chemical score (พันทิพา, 2539)

ตาราง 5 ปริมาณกรดอะมิโนที่ใช้เป็นรูปแบบในการเทียบให้คะแนน (มิลลิกรัมต่อกรัมไนโตรเจน)

Amino acid	**Egg**	**FAO**	**FAO/WHO**
Isoleucine	340	270	250
Leucine	540	306	440
Lysine	440	270	340
Total sulfer amino acids	335	270	220
Total aromatic amino acid	580	360	380
Threonine	294	180	250
Tryptophan	106	90	60
Valine	410	270	310
Total EAA	3060	2015	2215

ที่มา: Pike and Brown (1984) อ้างโดย พันทิพา (2539)

การวัด chemical score เป็นวิธีที่สะดวกและง่าย โดยกรดอะมิโนที่จำเป็นแต่ละชนิดจะถูกคำนวณให้เป็นเปอร์เซนต์ของกรดอะมิโนในโปรตีนมาตรฐาน ถ้ากรดอะมิโนชนิดใดมีเปอร์เซนต์ต่ำสุด จะถือเป็น limiting amino acid และค่าดังกล่าวจะเป็น score ของโปรตีนนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 สมดุลกรดอะมิโน หรือโปรตีนอุดมคติ (Amino acid balance or Ideal protein)

การที่จะนำโปรตีนในอาหารไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น การสร้างเนื้อเยื่อโปรตีนมีความสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าการสร้างไขมัน สุกรอายุน้อยมีประสิทธิภาพการนำไปใช้ได้ดีกว่าสุกรอายุมาก พ่อพันธุ์ และสุกรสาวมีการนำไปใช้ได้ดีกว่าสุกรเพศผู้ตอน และสุกรที่ได้รับกรดอะมิโนที่เหมาะสมมีการนำไปใช้ได้ดีกว่าสุกรที่ได้รับกรดอะมิโนขาดหรือเกิน (Baker *et al.*, 1993)

เนื่องจากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสุกร เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น มีราคาแพง ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารจึงต้องคำนึงถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้สูงสุด และมีการขับออกเป็นของเสียให้น้อยที่สุดด้วย สิ่งสำคัญที่สามารถทำให้สุกรมีการนำโปรตีนในอาหารไปใช้ได้อย่างเหมาะสม และสามารถมีการเจริญเติบโตที่สูงสุดได้ คือรูปแบบสัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารที่สมดุล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โปรตีนอุดมคติ (Ideal protein) (Lewis, 1991) ซึ่งปริมาณของกรดอะมิโนต้องมีไม่มากเกินไป หรือขาดจนไม่เพียงพอ โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็น

การประเมินความต้องการสัดส่วนกรดอะมิโนในอาหารเป็นเรื่องที่ยาก การที่สัตว์จะมีการเจริญเติบโตสูงสุดจะต้องได้รับกรดอะมิโนที่มีระดับ สัดส่วน และในระยะเวลาที่ถูกต้อง และเหมาะสมโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็น อย่างไรก็ตามสุกรต้องการกรดอะมิโนสำหรับทั้งการดำรงชีพและการสะสมโปรตีนร่างกาย ซึ่งสุกรระยะเจริญเติบโตต้องการกรดอะมิโนเพื่อการสะสมโปรตีนในร่างกายเป็นหลัก ในการกำหนดสัดส่วนของกรดอะมิโนของโปรตีนอุดมคติมีการวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนของกรดอะมิโนจากหลายๆ แหล่ง เช่น องค์ประกอบของเนื้อเยื่อโปรตีน น้ำนมจากแม่พันธุ์สุกร และการรวบรวมกรดอะมิโนแต่ละชนิดตามความต้องการที่ได้จากการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโปรตีนอุดมคติมากมาย จึงทำให้มีข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามแต่ละแห่ง ในการกำหนดสัดส่วนของกรดอะมิโนจะเปรียบเทียบกับ lysine (lysine=100) เนื่องจาก lysine เป็น first limiting amino acid ของสุกร ดังตาราง 6 สุกรแต่ละระยะมีอัตราการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน จึงมีความต้องการกรดอะมิโนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จึงมีการกำหนดสัดส่วนของกรดอะมิโนโดยแบ่งตามระยะการเจริญเติบโต และน้ำหนักตัวของสุกร เพื่อให้สุกรได้รับกรดอะมิโนในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด เพื่อการเจริญเติบโตที่มีประสิทธิภาพดังแสดงในตาราง 7 (Baker *et al.*, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6 สัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนอุดมคติ (เมื่อเทียบกับ lysine เป็นหลัก)

Amino acid	NRC (1998)	ARC (1981)	Yen *et al.* (1986b)	Wang and Fuller (1989)
Lysine	100	100	100	100
Methionine	27	-	39	-
Methionine + cystine	55	50	58	63
Threonine	60	60	67	72
Tryptophan	18	15	21	18
Arginine	48	-	-	-
Histidine	32	33	46	-
Isoleucine	54	55	76	60
Leucine	102	100	140	110
Phenylalanine	50	-	-	-
Phenylalanine + tyrosine	121	96	95	120
Valine	67	70	97	75

ตาราง 7 รูปแบบของโปรตีนอุดมคติของสุกรที่ระยะต่างๆ (Baker *et al.*, 1993)

Amino acid	Ideal patterns of amino acids (% of lysine)		
	5-20 kg	20-50 kg	50-100 kg
Lysine	100	100	100
Methionine	30	30	30
Methionine + cystine*	60	65	70
Threonine	65	67	70
Tryptophan	18	19	20
Arginine	42	36	30
Histidine	32	32	32
Isoleucine	60	60	60
Leucine	100	100	100
Phenylalanine + tyrosine**	95	95	95
Valine	68	68	68
Cysteine	30	35	40

*50% DL-methionine+50%L-cysteine.

**53% L-phenylalanine+47% L-tyrosine.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แม้ว่ากรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acid; NEAA) จะไม่มีความสำคัญมากนัก แต่มีรายงานว่า หนู และไก่ที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid; EAA) เป็นแหล่งของไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพการนำไปใช้ได้น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น จากการศึกษาในสุกรบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ EAA:NEAA พบว่าจะช่วยให้มีอัตราการเจริญเติบโต และการสะสมไนโตรเจนไว้ในร่างกาย (nitrogen retention) ดีขึ้น แม้ว่าสัดส่วนของ EAA:NEAA จะต่ำ คือประมาณ 50:50 แต่จะทำให้ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม (Wang and Fuller, 1989; Lenis *et al.*, 1999) หรือ EAA:NEAA ควรจะมีสัดส่วนที่สูงได้ไม่เกิน 70:30 เพื่อจะช่วยกระตุ้นการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และที่สัดส่วนของ EAA:NEAA ที่สูงเกินกว่านี้ ทำให้ส่วนเกินของกรดอะมิโนที่จำเป็นถูกนำมาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อไป (Lenis *et al.*, 1999)

2.6 กรดอะมิโนสังเคราะห์ (Synthetic amino acid)

ความต้องการกรดอะมิโนของสุกรสามารถได้รับจากแหล่งโปรตีนเดิม (intact protein) ในอาหาร เช่น ข้าวโพด กากถั่วเหลือง หรืออาจได้รับจากกรดอะมิโนสังเคราะห์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวก limiting amino acid ได้แก่ lysine, tryptophan, threonine และ methionine เพราะในอาหารสุกรมักขาด หรือมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของสุกร

กรดอะมิโนส่วนใหญ่ (ยกเว้น glycine) จะมีโครงสร้างที่มีลักษณะไม่สมมาตร (asymmetric) ที่อะตอมของคาร์บอน (C) ทำให้มีโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ D- และ L- forms ในธรรมชาติกรดอะมิโนทุกตัวจะมีโครงสร้างแบบ L-form ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สุกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Pond *et al.*, 1995)

Lysine สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก lysine ได้ถ้าอยู่ในรูป D-lysine เนื่องจาก lysine ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยา transamination แบบย้อนกลับได้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่จำเป็นในการเปลี่ยนโครงสร้างของกรดอะมิโนจาก D-form ไปเป็น L-form จึงทำให้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก D-lysine ได้เลย แต่เนื่องจาก lysine เป็น first limiting amino acid ในอาหารสุกร ดังนั้นในทางการค้าจึงได้มีการสังเคราะห์ lysine มาในรูป L-form เพื่อให้สัตว์ได้ใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ โดยทั่วไป lysineที่สังเคราะห์อยู่ในรูป L-Lysine.HCL ซึ่ง lysine สามารถใช้ประโยชน์ได้ 78.8 เปอร์เซ็นต์

Tryptophan สุกรสามารถใช้ประโยชน์ D-tryptophan ได้ แต่มีประสิทธิภาพในการใช้ได้ไม่ดีเท่ากับ L-form จากการวิเคราะห์การนำไปใช้ประโยชน์ได้ของ D- เมื่อเทียบกับ L-tryptophan พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ในช่วง 60-100 เปอร์เซ็นต์ (Lewis, 1991) ส่วนใหญ่ tryptophan ในรูปสังเคราะห์ คือ L-form จะมีการใช้ประโยชน์ได้ถึง 98.5 เปอร์เซ็นต์

Threonine ที่สังเคราะห์ในทางการค้ามีอยู่ 4 แบบ คือ D- และ L- threonine และ D- และ L-allothreonine สัตว์บางสายพันธุ์ เช่น หนู (rat) และสุกร สามารถใช้ได้ในรูป L-form เท่านั้น เพราะ threonine ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยา transamination ได้เช่นเดียวกับ lysine ซึ่ง L-form ที่สังเคราะห์ได้สามารถใช้ประโยชน์ได้ 98.5 เปอร์เซ็นต์

Methionine สัตว์ส่วนใหญ่สามารถใช้ methionine ได้ทั้งในรูป D- และ L-form รวมทั้งสุกรด้วย ซึ่งสามารถใช้ DL-methionine ทดแทนรูป L-methionine ได้เลยในสูตรอาหาร ดังนั้นในทางการค้าจึงมีอยู่ในรูปผสม คือมีทั้ง D- และ L-form อยู่ด้วยกัน (racemic mixture) ซึ่ง DL-methonine ที่สังเคราะห์ได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 99 เปอร์เซ็นต์

ถึงแม้ว่ากรดอะมิโนที่สังเคราะห์จะมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาเสริมลงในอาหาร สุกรอาจไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ทั้งหมด ซึ่งประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยสุกรขึ้นอยู่กับ จำนวน หรือความถี่ในการให้อาหารในแต่ละวัน (Lewis, 1991) จากรายงานในหลายๆ งานวิจัย พบว่า lysine สังเคราะห์จะมีอัตราการดูดซึมที่เร็วมาก เมื่อเทียบกับกรดอะมิโนอื่นๆ ที่ได้รับจากแหล่งโปรตีนเดิม (intact protein) ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้พร้อมกัน

2.7 การใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของกรดอะมิโน (Amino acids bioavailability)

การใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของกรดอะมิโนเป็นสิ่งที่สำคัญในการคำนวณสูตรอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว เพื่อให้แน่ใจว่าสัตว์ได้รับกรดอะมิโนตามความต้องการ และนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีพ และการเจริญเติบโตได้อย่างแท้จริง

กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารชนิดต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีการทางเคมีโดยกระบวนการไฮดรอไลซิส (hydrolysis) ตามด้วยวิธีการ ion-exchange chromatography โดย colorimetric หรือ fluorimetric detection ของกรดอะมิโน อย่างไรก็ตามวิธีวิเคราะห์ทางเคมีนั้นไม่สามารถประเมินปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ได้ ซึ่งในความหมายของคำว่า bioavailable คือ ปริมาณของกรดอะมิโนจากการย่อยโปรตีนถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก และนำไปใช้ในการดำรงชีพ (ซ่อมแซมโปรตีนส่วนต่างๆ ในร่างกาย) เพื่อการเจริญเติบโต (สร้างเนื้อเยื่อโปรตีนใหม่) และการให้น้ำนมของแม่สุกร (การสังเคราะห์โปรตีนในนม) และใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ (Lewis, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหารสัตว์มีวิธีวิเคราะห์ได้หลายวิธี ทั้งการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และจากตัวสัตว์ โดยปกติการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและได้ค่าที่แตกต่างจากความเป็นจริง ทั่วไปแล้วนิยมวัดโดยตัวสัตว์โดยตรง โดยการวัดการเจริญเติบโต (growth assays) เป็นการทดสอบการใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพของโปรตีน หรือกรดอะมิโน (bioavailability) ที่มีผลต่อการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ การวัดการเจริญเติบโตมีลักษณะสำคัญ 2 ลักษณะ คือ

1) วัดการตอบสนองในรูปการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นลักณะที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ
2) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงผลสุทธิขององค์ประกอบที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ได้ทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยได้ การดูดซึม และการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์

การวัดการเจริญเติบโตโดยการวัดจากการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนมีข้อจำกัดมาก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และใช้ระยะเวลานาน และในการทดลองแต่ละครั้งสามารถวัดการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนเพียงตัวเดียว นอกจากนี้ปัจจัยภายในจากตัวสัตว์ที่มีความผันแปรอยู่ตลอดเวลาก็มีผลต่อการวัดค่าการใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกัน การวัดการเจริญเติบโตมีหลักการ คือ ใช้อาหารฐานที่เสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ (crystalline amino acid) ในระดับสูง ตัวอย่างกรดอะมิโนสังเคราะห์ เช่น L-lysine.HCL และในอาหารที่ต้องการทดสอบจะต้องมีระดับ lysine สูงจนมีระดับใกล้เคียงกับระดับของ lysine ในอาหารฐาน ซึ่งเป็น lysine ที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่เราสนใจต้องการจะทดสอบ และทำการวัดอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion ratio) ปริมาณโปรตีนที่สะสมในร่างกายต่อวัน (daily carcass gain) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หา linear response variable โดยเปรียบเทียบความชัน (slope) ของโภชนะที่ทดสอบ (b_t) กับอาหารฐาน (b_s) และคำนวณค่าความเป็นประโยชน์ได้ทางชีวภาพ (relative bioavailability value ; RBV) เป็นเปอร์เซนต์ (Lewis, 1991) ดังสมการ (4)

$$RBV = (b_t/b_s) \times 100 \quad (4)$$

ค่าที่ได้เป็นสัดส่วนของความชันของเส้นสมการถดถอย (regression line) ดังนั้นจึงให้ชื่อว่า slope ratio assay ค่าที่ได้นี้เป็นสัดส่วนที่ได้จากการประมาณเท่านั้น

การประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนโดยวิธีนี้ใช้ต้นทุนสูงมาก จึงมักทำการทดลองในสัตว์เล็ก เช่น หนู (rat) นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการวัดนี้ ได้แก่ สภาพแวดล้อมในการทดลอง ความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหาร ปริมาณโปรตีนและพลังงานในอาหาร สารต้านโภชนะที่มีในอาหาร สภาพของสัตว์ และสายพันธุ์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การคำนวณสูตรอาหารโดยคำนึงถึงกรดอะมิโน

หลายปีที่ผ่านมาในการประกอบสูตรอาหารสุกรมักจะยึดความต้องการโปรตีนเป็นหลักมากกว่าที่จะคำนึงถึงความต้องการกรดอะมิโน ทำให้สุกรมีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตที่ยังไม่ดีมากนัก แต่การคำนวณสูตรอาหารโดยใช้กรดอะมิโนเป็นหลักแทนการใช้ปริมาณโปรตีนรวม จะมีความแม่นยำและใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์มากกว่า และทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงสุด (Lewis, 1991)

ปัจจุบันสามารถคำนวณสูตรอาหารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ ซึ่งสามารถจะพิจารณาถึงกรดอะมิโนในอาหารทั้งหมดทุกตัวได้ แต่ในความเป็นจริงไม่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาทั้งหมด แต่ควรจะคำนึงถึงเฉพาะกรดอะมิโนตัวที่สำคัญ และจำเป็นที่จะต้องมีในปริมาณที่เพียงพอ คือพวก limiting amino acid โดยเฉพาะ lysine เพราะเป็นกรดอะมิโนที่มักขาดเป็นอันดับแรก ดังนั้นในการคำนวณสูตรอาหารส่วนใหญ่จึงควรคำนึงถึงปริมาณ lysine เป็นหลัก แต่ควรจะพิจารณาถึงระดับของ tryptophan, threonine และ methionine ให้แน่ใจด้วยว่ามีปริมาณของกรดอะมิโนเหล่านี้ในอาหารเพียงพอกับความต้องการด้วย เพราะถือว่ากรดอะมิโนเหล่านี้เป็น limiting amino acid ในอาหารสุกรเช่นกัน (Lewis, 1991)

ถ้าในการประกอบสูตรอาหารนั้นมีแหล่งเมล็ดธัญพืช 2 แหล่งที่มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันมาก แต่มีระดับของ lysine ในวัตถุดิบอาหารใกล้เคียงกัน การคำนวณสูตรอาหารโดยคำนึงถึง lysine เป็นหลักแทนโปรตีนรวมเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะถ้าคำนวณสูตรอาหารโดยใช้โปรตีนรวมเป็นหลัก ในอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากธัญพืชเป็นวัตถุดิบหลักซึ่งมีโปรตีนสูง อาจทำให้ในสูตรอาหารมีโอกาสที่จะขาดกรดอะมิโนบางตัวได้ง่าย ตัวอย่างอาหารที่มีธัญพืช 2 แหล่งเป็นวัตถุดิบในอาหาร เช่น ข้าวโพด และกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งในกากถั่วเหลืองมีระดับโปรตีนสูง มี methionine และ lysine เป็น limiting amino acid และข้าวโพดซึ่งเป็นแหล่งพลังงานมีโปรตีนในระดับต่ำ และมี lysine เป็น limiting amino acid เช่นเดียวกับกากถั่วเหลือง ดังนั้นถ้าเราคำนวณสูตรอาหารโดยยึดความต้องการโปรตีนรวมเป็นหลัก จะทำให้ในสูตรอาหารขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ lysine ได้ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตไม่ดี (Lewis, 1991)

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหาร (protein-energy relationships)

ปริมาณความต้องการอาหารของสุกรที่ได้รับแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ขึ้นอยู่กับ ระดับของพลังงานสุทธิ (net energy; NE) ในอาหาร ถ้าอาหารมีระดับของพลังงานต่ำ จะทำให้สุกรกินอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้พลังงานตามความต้องการ ดังนั้นถ้าระดับพลังงานในอาหารเปลี่ยน จะมีผลต่อปริมาณของโภชนะที่สัตว์ได้รับ รวมทั้งกรดอะมิโนด้วย ฉะนั้นเมื่อระดับของพลังงานในอาหารมีการเปลี่ยนแปลง ระดับของกรดอะมิโนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในอาหาร ควรจะปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วย (Lewis, 1991)

การแสดงค่าความต้องการกรดอะมิโนในรูปปริมาณ หรือระดับในอาหารเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก แต่ในข้อมูลบางแห่งได้แนะนำระดับความต้องการของกรดอะมิโนในหน่วยกรัมต่อหน่วยของพลังงาน (ทั้งในรูป DE และ ME) แม้ว่าค่านี้จะเป็นค่าที่นำไปใช้ได้ดี แต่สามารถหาค่านี้ได้ยาก เพราะระดับของกรดอะมิโนเหล่านี้มีผลมาจากปริมาณการกินได้ ซึ่งบางครั้งปริมาณกรดอะมิโนที่ได้รับอาจขาดหรือเกินบ้าง และค่า NE ของโภชนะที่ได้รับอาจไม่คงที่ และปริมาณการกินได้ของสุกรจะไม่คงที่ ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ นอกจากอาหาร เช่น สภาพที่สุกรป่วย หรือเป็นโรค อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ และการอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น เป็นต้น

2.9.1 สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร (protein:energy ratio)

โดยปกติโปรตีนในอาหารจะอยู่ในรูปของโปรตีนหยาบ (crude protein; CP) ระดับของโปรตีนที่ต้องการในอาหารขึ้นกับจำนวนกรดอะมิโนทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการเจริญของเนื้อเยื่อหรือการผลิตน้ำนม ในทำนองเดียวกัน ร่างกายต้องการพลังงานในอาหารสำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับร่างกาย สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะมีความต้องการพลังงานสูงเพื่อใช้ในการดำรงชีพ และการเจริญของเนื้อแดงของสุกรในระยะนี้จะมีอัตราลดลง ทำให้สุกรมีความต้องการโปรตีนลดลงด้วย ดังนั้นทำให้สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานจะมีค่าลดน้อยลง แต่ในสุกรขนาดเล็กจะมีความต้องการในการดำรงชีพต่ำ แต่จะเป็นช่วงที่มีการเจริญของเนื้อแดงที่สูงมาก จึงต้องการโปรตีนในระดับสูง ทำให้สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานจึงมีค่ามาก (Whittemore, 1993) ดังแสดงในตาราง 8

เราสามารถแบ่งสุกรตามสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานที่ได้รับได้ 3 ประเภท (Whittemore, 1993) ดังนี้

1) อาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ หรือน้อยกว่า 13 g CP/MJ DE จะเหมาะสำหรับสัตว์เพศเมียที่อยู่ในระยะตั้งท้อง เจริญเติบโตเต็มที่ และกำลังเจริญอยู่ในช่วงที่มีน้ำหนักตัวมากกว่า 80 กิโลกรัม
2) อาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานระหว่าง 13-14 g CP/MJ DE เหมาะสำหรับสุกรเพศเมียระยะให้น้ำนม และสุกรที่กำลังเจริญอยู่ในช่วงที่มีน้ำหนักตัว 30-80 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) อาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานมากกว่า 14 g CP/MJ DE จะเหมาะสำหรับสุกรที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า 30 กิโลกรัม ซึ่งเป็นระยะที่สุกรมีอัตราการเจริญของเนื้อเยื่อโปรตีนสูงสุด

ตาราง 8 ปริมาณโภชนะในอาหารของสุกรระยะต่างๆ

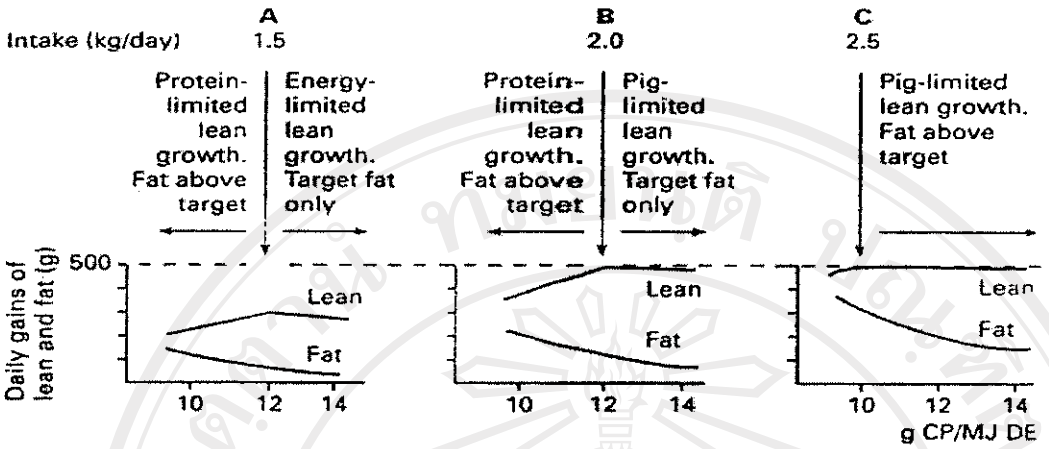
	DE density (MJ/kg)	CP density (g/kg)	CP(g)/MJ DE	Lysine (g/kg)	Lysine (g/MJ DE)
Starter (up to 15 kg)	15.5	250	16	14.8	0.95
Young grower (up to 30 kg)	15.0	225	15	12.8	0.85
Finisher (up to 100 kg)	14.0	200	14	10.5	0.75
Finisher (up to 160 kg)	14.0	170	12	8.4	0.60
Pregnant breeder	12.5	150	12	6.9	0.55
Lactating breeder	13.5	165	12.5	8.1	0.60
Improve entire male grower (40 kg)	15.0	225	15	12.8	0.85
Unimprove castrated male grower (40 kg)	13.0	160	12	7.8	0.60

ที่มา: Whittemore (1993)

จากตาราง 8 จะเห็นว่า อาหารที่มีระดับพลังงานสูง จะมีระดับความต้องการของโปรตีนในอาหารที่สูงด้วย (Whittemore, 1993)

การที่สุกรระยะเจริญเติบโตได้รับโปรตีนสูง และพลังงานอย่างเพียงพอ จะทำให้มีการเจริญของเนื้อแดงสูงสุด ซึ่งถ้าเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารให้มากขึ้นเพียงใด ก็ไม่สามารถเพิ่มการเจริญของเนื้อแดงให้สูงกว่านี้ได้ เพราะเนื้อแดงมีการเจริญอย่างจำกัด ดังนั้นถ้าอาหารมีระดับโปรตีน และพลังงานที่ไม่เพียงพอจะมีผลต่อการเจริญของเนื้อแดง (Whittemore, 1993) ผลของอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานที่ระดับต่างๆ กัน ต่อการเจริญของเนื้อเยื่อโปรตีนของสุกรที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม ดังภาพ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 ผลของสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของสุกร

ที่มา: Whittemore (1993)

จากภาพ 2 ได้ทำการศึกษาสุกรที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม และมีอัตราการเจริญของเนื้อแดง (lean growth) เท่ากับ 500 กรัมต่อวัน โดยให้อาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน 3 ระดับตามปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวัน และมีพลังงานในอาหาร 12.5 MJ DE/kg ซึ่งมีสัดส่วนของ protein:energy ผันแปรอยู่ในช่วง 10 – 14 g CP/MJ DE

ภาพ (A) สุกรได้รับอาหาร 1.5 กิโลกรัมต่อวัน ที่ระดับโปรตีนที่ 10 g CP/MJ DE พบว่า มีระดับโปรตีนไม่เพียงพอต่อการเจริญของเนื้อแดง ถ้าเพิ่มระดับโปรตีนเป็น 12 g CP/MJ DE จะช่วยให้การเจริญของเนื้อแดงดีขึ้น ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่ระดับของโปรตีน และพลังงานมีความสมดุล แต่ถ้าเพิ่มระดับโปรตีนถึง 14 g CP/MJ DE จะทำให้การสะสมเนื้อเยื่อโปรตีนลดลงเพราะมีระดับพลังงานที่ไม่เพียงพอ

ภาพ (B) สุกรได้รับอาหาร 2.0 กิโลกรัมต่อวัน จะมีประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด แต่ถ้าที่ระดับต่ำกว่า 12 g CP/MJ DE จะมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอต่อการเจริญของเนื้อแดง และมีพลังงานมากเกินทำให้ไปสะสมเป็นไขมัน ซึ่งจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญของเนื้อแดงคือระดับที่ได้รับอาหาร 2 กิโลกรัม และระดับโปรตีนที่ 12 g CP/MJ DE ซึ่งเป็นระดับที่มีการสะสมไขมันน้อยที่สุดด้วย ถ้ามีระดับโปรตีนที่มากกว่า 12 g CP/MJ DE การเจริญของเนื้อแดงจะถูกจำกัดด้วยศักยภาพในการผลิตของตัวสุกรเอง (500 g/day) แต่ปริมาณไขมันที่สะสมก็จะลดลงเรื่อยๆ เพราะไม่มีพลังงานมากเกิน ดังนั้นถึงแม้ว่าอัตราการเจริญของเนื้อเยื่อโปรตีนของสุกรที่ได้รับโปรตีนที่ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงกว่า 12 g CP/MJ DE จะไม่เพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซนต์ซากเนื้อแดง (carcass lean percentage) จะเพิ่มขึ้น

ภาพ (C) ถ้าสุกรได้รับอาหารเพิ่มเป็น 2.5 กิโลกรัมต่อวัน การเจริญของเนื้อเยื่อโปรตีนของสุกรที่ได้รับโปรตีนระดับสูงกว่า 10 g CP/MJ DE ก็จะมีระดับที่ไม่มากเกินกว่าระดับที่ได้รับโปรตีนที่ระดับ 10 g CP/MJ DE และพลังงานที่เกินจะถูกนำไปสะสมในรูปของไขมันส่วนเกิน

จากภาพ 2 แสดงว่าถ้าในอาหารมีค่าของสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานน้อยมาก ทำให้การเจริญของเนื้อแดงลดลงโดยเฉพาะเมื่อสุกรได้รับอาหารในปริมาณต่ำ ในขณะที่ถ้าค่าของสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานมากจะทำให้มีอัตราการเจริญของเนื้อแดงสูงสุด และการที่สุกรมีไขมันสะสมมากอาจเกิดจากการให้อาหารโปรตีนไม่เพียงพอ หรือได้รับอาหารในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันลดลงได้โดย ให้อาหารที่มีค่าของสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานมากขึ้น หรือลดปริมาณอาหารลง

2.10 การย่อยได้ของโปรตีน (protein digestibility)

การย่อยได้ (digestibility) หมายถึง โภชนะที่สัตว์กินเข้าไป และสูญหายไปในระบบทางเดินอาหาร โดยอนุมานว่าเป็นโภชนะที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นที่เข้าใจว่าสัตว์สามารถนำกรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมจากบริเวณลำไส้เล็กมาใช้ในกระบวนการต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งการย่อยโปรตีนเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่กระเพาะอาหาร และดำเนินต่อไปจนสิ้นสุดที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) ส่วนโปรตีนที่เหลือจากการย่อยและดูดซึมจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) ที่บริเวณลำไส้ใหญ่ ซึ่งโปรตีนเหล่านี้สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และจะถูกขับออกมากับมูล (Batterham, 1994; Fuller and Wang, 1990)

อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของอาหาร รวมทั้งความต้องการโภชนะของสุกรที่ผ่านมาได้ใช้ในรูปของโปรตีนรวมมาเป็นเวลานาน ซึ่งในการประกอบสูตรอาหารโดยยึดปริมาณของโปรตีนรวมเป็นหลักยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากโปรตีนบริเวณลำไส้ใหญ่ไม่มีความสำคัญหรือเป็นประโยชน์ต่อสุกร ดังนั้นในการหาการย่อยได้ของโปรตีนจากการวิเคราะห์ทางมูลนั้นไม่สามารถบ่งชี้ถึงการย่อยของโปรตีนได้อย่างแท้จริง ซึ่งวิธีการวัดการย่อยได้ของกรดอะมิโนที่ดีที่สุดคือ วัดบริเวณตำแหน่งที่มีการย่อย และการดูดซึมสิ้นสุดลง คือบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย เรียกว่า การย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก (ileal digestibility) ซึ่งเป็นค่าที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างท้จริง (Fuller and Wang, 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดการย่อยได้ของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์จะทำให้ทราบค่าการใช้ประโยชน์ได้และช่วยให้การคำนวณสูตรอาหารแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการประเมินสามารถทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) และวัดจากตัวสัตว์ (*in vivo*) วิธีการในห้องปฏิบัติการ เช่นการใช้เอนไซม์เพปซิน และกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นวัดปริมาณโปรตีนในกากที่เหลือโดยวิธีคเจลดาล (Kjeldahl method) แล้วคำนวณหาปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยโดยนำค่านี้ไปลบออกจากโปรตีนทั้งหมดในอาหาร ค่าที่ได้แตกต่างจากการย่อยจริงในตัวสัตว์บ้างเพราะการย่อยได้ในตัวสัตว์เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (protease) หลายชนิดร่วมกัน ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้ได้ในแง่เปรียบเทียบ ส่วนการหาการย่อยได้จากตัวสัตว์เป็นวิธีที่นิยมกันทั่วไป เพราะเป็นการหาการย่อยได้จากตัวสัตว์จริงๆ โดยจะหาปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร และปริมาณโภชนะที่ถูกขับออกมาในมูล เมื่อนำโภชนะในมูลมาหักออกจากโภชนะในอาหารที่กินเข้าไป และนำมาคิดเป็นร้อยละของโภชนะในอาหาร จะทำให้ทราบค่าการย่อยได้ เรียกวิธีนี้ว่า การย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility) เนื่องจากค่านี้เป็นการประเมินการย่อยได้ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง เพราะในมูลที่ขับออกไม่ได้มีแต่เฉพาะกรดอะมิโนหรือโปรตีนของอาหารที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมเท่านั้น แต่ยังมีส่วนที่ขับออกมาในมูลที่ไม่ได้มาจากอาหาร (endogenous substance) ที่ร่างกายขับออกมา เช่นเอนไซม์ในทางเดินอาหาร และเซลล์ของผนังทางเดินอาหารที่หลุดลอกออกมา รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารนั้นด้วย จึงทำให้ค่าของโปรตีนหรือไนโตรเจนในมูลสูงกว่าความเป็นจริง การหาค่าย่อยได้ที่หักลบค่า endogenous substance ออกจากในมูล เรียกว่า ค่าการย่อยได้จริง (true digestibility) วิธีการหาค่าทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถวัดได้จากทั้งสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก และจากมูล สามารถคำนวณได้ดังสมการ (5) และ (6) (Batterham, 1994; McDonald *et al.*, 2002)

$$\text{การย่อยได้ปรากฏ (apparent digestibility)} = \frac{[\text{โภชนะที่กิน} - \text{โภชนะที่ขับออก}]}{\text{โภชนะที่กิน}} \times 100 \qquad (5)$$

$$\text{การย่อยได้จริง (true digestibility)} = \frac{[\text{โภชนะที่กิน} - (\text{โภชนะที่ขับออก} - \text{endogenous substance})]}{\text{โภชนะที่กิน}} \times 100 \qquad (6)$$

ค่าการย่อยได้ปรากฏจะมีค่าน้อยกว่าค่าการย่อยได้จริงเสมอ ซึ่ง endogenous substance เหล่านี้จะถูกขับออกมาทุกวัน และบางส่วนจะถูกดูดซึมกลับ ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางมูลรวมกับอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึม (Whittemore, 1993) วิธีการหาค่าการย่อยได้ปรากฏเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด (Batterham, 1994) เนื่องจากการวัดค่า endogenous substance เป็นวิธีการที่ยาก ขึ้นกับตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัตว์ และการเคลื่อนที่ของทางเดินอาหาร เมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินจะมากขึ้น ทำให้อัตราการหลั่งของน้ำย่อย และการหลุดลอกของผนังเซลล์ทางเดินอาหารจะมีมากขึ้น (Whittemore, 1993) นอกจากนั้นการจะจำแนกว่าโภชนะส่วนไหนมาจากอาหารหรือตัวสัตว์ทำได้ลำบาก จึงนิยมใช้ค่าการย่อยได้ปรากฏที่สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก (apparent ileal digestibility) ในการคำนวณสูตรอาหาร เนื่องจากเป็นค่าที่ได้คำนึงถึง endogenous substance ของอาหารแล้ว ซึ่งอาหารแต่ละชนิดจะมีค่า endogenous substance แตกต่างกัน (Batterham, 1994; Whittemore, 1993) และสุกรยังสามารถใช้ประโยชน์ของโภชนะได้ดีกว่าการใช้ค่าการย่อยได้ปรากฏจากมูล (apparent faecal digestibility) ในการคำนวณสูตรอาหาร

2.11 ไนโตรเจนที่ขับออกในสิ่งขับถ่ายของสุกร

2.11.1 การย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่

จุลินทรีย์ในลำไส้เล็กสามารถใช้ไนโตรเจนจากสารประกอบไนโตรเจนในอาหาร และยูเรียที่เคลื่อนเข้าสู่ทางเดินอาหาร รวมทั้งเอนไซม์ที่หลั่งจากตัวสัตว์ น้ำเมือก และเซลล์ของผนังลำไส้ที่หลุดลอกมาสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ อาหารที่ถูกย่อยแล้วเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะยังคงอยู่ในลำไส้ใหญ่ประมาณ 20-38 ชั่วโมง ซึ่งสุกรน้ำหนักตัว 30-50 กิโลกรัมจะมีปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่ประมาณวันละ 2-15 กรัม ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบไนโตรเจนในอาหาร อาหารเยื่อใย และอัตราการไหลผ่านของเยื่อใยในทางเดินอาหาร โดยไนโตรเจนประมาณหนึ่งในสี่ส่วนของไนโตรเจนที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจะประกอบด้วย ยูเรีย น้ำเมือก และผนังเซลล์ของทางเดินอาหาร ผลผลิตสุดท้ายของการย่อยสารไนโตรเจนในลำไส้ใหญ่ประกอบด้วย แอมโมเนีย เอมีน กรดไขมันระเหยได้ และโปรตีนของจุลินทรีย์ ซึ่งแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่นำไปใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์เป็นอันดับแรก และโปรตีนหรือไนโตรเจนของจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกขับออกมาในมูลประมาณ 3-6 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งของปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ และจะมีประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในมูลสุกร (Lewis, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

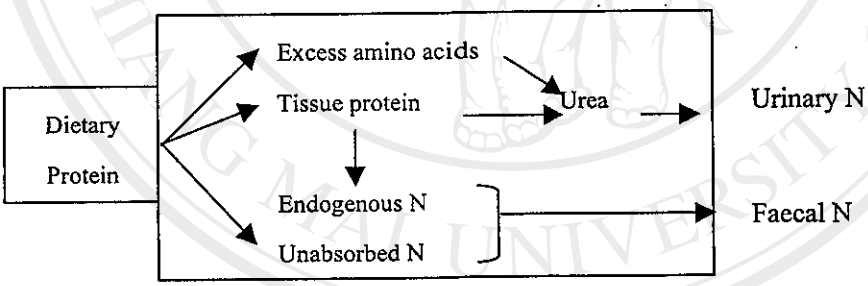
2.11.2 ลักษณะสิ่งขับถ่ายของสุกร

การขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายจะอยู่ในรูปก๊าซ ของแข็ง และของเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป โดยมูลจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 65-85 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เป็นของแข็งอีกประมาณ 15-35 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของมูลมากที่สุดได้แก่ อาหารที่สุกรกินเข้าไป ส่วนของแข็งหรืออุจจาระจากสุกรมีองค์ประกอบดังนี้ (วันดี, 2546) คือ

1) อาหารที่ไม่ถูกย่อย หรือย่อยได้แต่ไม่สามารถดูดซึม ได้แก่ เยื่อใย ขนสัตว์ เป็นต้น
2) ส่วนที่มาจากสัตว์ โดยเฉพาะจากระบบทางเดินอาหาร เช่น เนื้อเยื่อจากผนังลำไส้
3) จุลินทรีย์และสิ่งขับถ่ายของจุลินทรีย์

ในสภาพปกติของการขับถ่ายของสุกรจะผันแปรไปตามอายุ เพศและขนาดของสุกร ชนิดและปริมาณอาหารที่สุกรกิน ปริมาณน้ำที่สุกรได้รับ และปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการ

เมื่อสุกรได้รับอาหารโปรตีนซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อนำไปใช้ภายในร่างกาย โปรตีนในอาหารจะมีกรดอะมิโนที่ถูกนำไปใช้และเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อโปรตีนหมุนเวียนภายในร่างกาย (Leek, 1993) ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 แสดงการหมุนเวียนของโปรตีนภายในร่างกาย
ที่มา: Leek (1993)

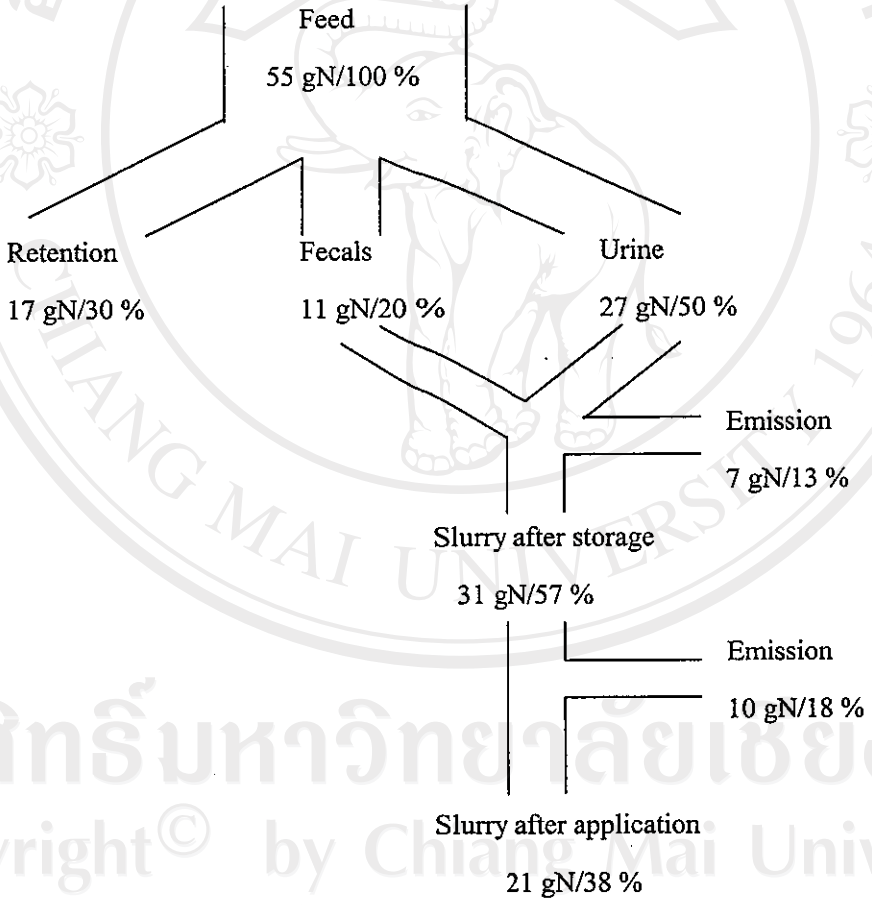
สุดท้ายจะได้ผลผลิตโปรตีน เช่น เนื้อ นม ไข่ ขน และตัวอ่อน เป็นต้น รวมทั้งมีการขับของเสียไนโตรเจนออกมา คือ ไนโตรเจนในปัสสาวะ และมูล (Leek, 1993) ซึ่งสุกรระยะรุ่น-ขุน สามารถนำไนโตรเจนที่กินเข้าไปในอาหารไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้เพียง 30 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนที่เหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ จะถูกขับถ่ายออกมาในปัสสาวะ 50 เปอร์เซ็นต์ และในมูล 20 เปอร์เซ็นต์ ดังสรุปในภาพ 4 จะเห็นถึงการสูญเสียไนโตรเจนในระยะต่างๆ ในช่วงการเก็บและก่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่จะมีการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ ซึ่งในที่สุดจะมีไนโตรเจนเหลือเพื่อการใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยในดิน 38 เปอร์เซ็นต์ (Aarnink and Cahn, 1999)

2.11.3 ไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกรกับปัญหาสิ่งแวดล้อม

ปัญหาหลักของการเกิดมลพิษจากของเสียของสุกร คือปัญหาของไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายที่มีมากเกิน ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ทั้งทางอากาศ แหล่งน้ำ และดิน ซึ่งไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกรจะเข้าสู่วัฏจักรของไนโตรเจนตามธรรมชาติ ดังแสดงในภาพ 5 ไนโตรเจนที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนไตรท (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-)

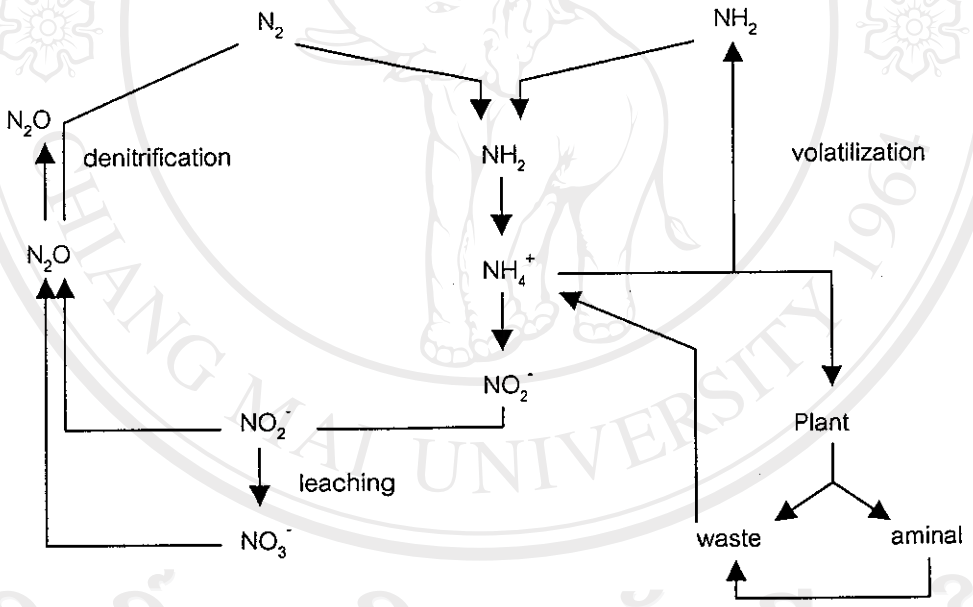


ภาพ 4 แสดงการสูญเสียของไนโตรเจนในการผลิตสุกรระยะรุ่น-ขุน

ที่มา: Aarnink และ Cahn (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อสัตว์กินพืชเข้าไปในรูปของโปรตีนที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จากนั้นจะขับถ่ายเป็นของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบออกมา ของเสียที่อยู่ในรูปแอมโมเนียจะถูกปลดปล่อยสู่ธรรมชาติในรูปการระเหย (วันดี, 2546) หลังจากนั้นบางส่วนจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรทโดยแบคทีเรียพวก Nitrosomonas และ Nitrosococcus ต่อมาไนไตรทที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์อีกครั้งให้เป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียพวก Nitrobactor หรือเรียกปฏิกิริยานี้ว่า nitrification (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ซึ่งเกิดในสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิสูง และความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง ดังนั้นในสภาพอากาศบ้านเราจะเป็นสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นไนเตรทจะถูกสะสมในดิน เมื่อใดที่มีจุลินทรีย์ในดินมันจะรีดิวซ์ให้เป็น N_2O อีกครั้ง แล้วระเหยไปเป็นก๊าซไนโตรเจนในอากาศด้วยกระบวนการ denitrification ซึ่งพืชจะนำไปใช้ได้อีกเกิดเป็นวงจรไนโตรเจนตามธรรมชาติ



ภาพ 5 วัฏจักรของไนโตรเจนตามธรรมชาติ
ที่มา: วันดี (2546)

ถ้าปริมาณของเสีย (ไนเตรท) ที่เกิดขึ้นมีมากเกินไป พืชจะนำไปใช้ได้ไม่ทัน และตัวมันจะละลาย (leaching) ลงสู่พื้นดิน เนื่องจากมันละลายน้ำได้ง่าย ทำให้พวกพืชชั้นต่ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อพืชชั้นต่ำตายลงมันจะทำให้จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำเจริญได้ดี และจะส่งผลถึงค่า BOD, COD ที่สูงขึ้น (วันดี, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าวัฏจักรของไนโตรเจนดังกล่าวมีความสมดุลก็คงจะไม่เกิดปัญหาใด แต่ถ้าเมื่อใดที่มีปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมจากการเลี้ยงสัตว์ที่หนาแน่น และการเลี้ยงสัตว์เพื่อให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจากการได้รับอาหารโปรตีนที่สูงมากๆ ทำให้กระบวนการในขั้นตอนใดตอนหนึ่งของวัฏจักรไนโตรเจนไม่สามารถบำบัดได้ทัน ก็จะเกิดการสะสมและก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ (วันดี, 2546)

2.11.3.1 ปัญหาคุณภาพน้ำ

สารมลพิษ (pollutant) ที่มักก่อให้เกิดปัญหาจากของเสียจากฟาร์มสุกรคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Ritter, 2001) ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) (Ritter, 2001; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) คือการที่มีธาตุอาหารอยู่มาก กระตุ้นให้สิ่งมีชีวิตในน้ำเจริญอย่างรวดเร็วทั้งจุลินทรีย์และพืชน้ำ ทำให้น้ำมีสีเขียวขุ่น และผิวน้ำมีฝุ่นหรือฝ้าบางลอยเคลือบอยู่ ทำให้คุณภาพน้ำลดลง เนื่องจากแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มันจะสลายพืชและได้ใช้ออกซิเจนในน้ำทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนในน้ำลดลง และเกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ส่วนฟอสฟอรัสในน้ำจะไปกระตุ้นการเจริญของสาหร่าย (algae bloom) คือสาหร่ายจะทำให้เกิดเงาทึบบริเวณผิวน้ำ ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้จะก่อผลเสียต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำ เนื่องจากเงาทึบจะบดบังการส่องผ่านของแสงหรือมีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนในน้ำลดลง กลุ่มแพลงค์ตอนพืชเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นพืชที่มีอายุค่อนข้างสั้น เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลงมันจะทับถมเป็นตะกอนอยู่ใต้ท้องน้ำเป็นอินทรีย์วัตถุที่พวกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งในช่วงเวลากลางวันอาจจะไม่เกิดผลการขาดออกซิเจนมากนัก เพราะในเวลากลางวันพืชยังคงมีการสังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนออกมาได้บ้างแต่ในช่วงเวลากลางคืน พืชน้ำและจุลินทรีย์ต่างก็ต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึม จึงทำให้ค่าออกซิเจนในน้ำลดลง ความขุ่นของน้ำเพิ่มมากขึ้น และคุณภาพของน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลถึงค่า BOD, COD และอื่นๆ ที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำที่ลดลง (Ritter and Bergstrom, 2001)

นอกจากนี้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรทจะเป็นพิษต่อคนและสัตว์โดยตรง โดยไนเตรทในน้ำจะเป็นพิษเมื่อมีระดับสูง และทำให้เกิดภาวะโรคเลือดสีน้ำเงินในทารก (blue baby disease หรือ methemoglobinemia) เพราะแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นไนไตรททำให้มีการออกซิไดซ์ของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และรบกวนการทำงานของเลือด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการขนส่งออกซิเจน ในโคอาจทำให้เกิดโลหิตจาง และแท้งได้ ซึ่งในทางปศุสัตว์ น้ำดื่มไม่ควรมี nitrate-N เกิน 40-100 mg/L (Carpenter *et al.*, 1998)

2.11.3.2 ปัญหาอากาศเสีย

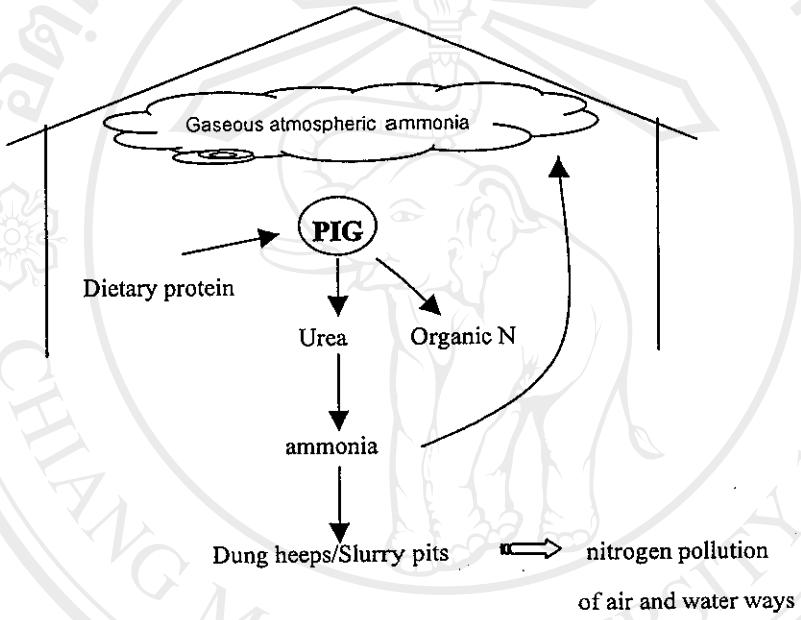
สัตว์แทบทุกชนิดชอบความสะอาดโดยเฉพาะสุกร ดังนั้นจำเป็นต้องรักษาความสะอาดของโรงเรือนสุกรไว้โดยสม่ำเสมอ เพราะความสกปรกเป็นบ่อเกิดของเชื้อโรค กลิ่นเหม็นก๊าซพิษต่างๆ อันเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสุกรและมีปัญหาในฤดูร้อนมากกว่าฤดูหนาว (อโณชา, 2531) โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกรในโรงเรือนที่มีการจำกัดขอบเขต และมีความหนาแน่นมากนับว่าเป็นแหล่งของการเกิดก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ได้สูง ถ้าของเสียจากการขับถ่ายของสุกรมีการสะสมภายในโรงเรือนหรือพื้นคอกซึ่งการเกิดกลิ่นได้แก่ สารระเหยอินทรีย์ (volatile organic compounds, VOC) กรดไขมันสายสั้นที่ระเหยได้ (short chain volatile fatty acid) และสารที่มีคาร์บอน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนลำไส้ใหญ่ และสามารถแพร่กระจายออกทันที หลังจากมูลถูกขับถ่ายออกจากตัวสุกร นอกจากนั้นแอมโมเนียในปัสสาวะจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยการทำงานของเอ็นไซม์ยูรีเอส (urease) ที่ผลิตโดยจุลิยทรีย์ที่มีอยู่ในมูล (Sutton *et al.*, 1999; Janngbloed *et al.*, 1992) ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสุกรและผู้เลี้ยงจะมากหรือน้อยขึ้นกับวิธีการจัดการมูลสุกรหลังจากขับถ่ายออกมา (Sutton *et al.*, 1999) ก๊าซที่เกิดขึ้นในโรงเรือนสุกรได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และมีเทน (CH_4) ซึ่งก๊าซที่มีผลกระทบส่วนใหญ่คือ แอมโมเนียซึ่งเกิดจากมูลสด และไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการหมักมูลภายใต้สภาพไม่มีอากาศ

แอมโมเนีย (NH_3) เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุนแสบจมูก มีน้ำหนักโมเลกุลที่เบากว่าอากาศ ดังนั้นเมื่อเกิดก๊าซแอมโมเนียมันจะลอยสูงขึ้นสูงบรรยากาศอย่างรวดเร็วทำให้สัตว์และคนได้รับก๊าซนี้ค่อนข้างเร็ว ความเข้มข้นที่รับกลิ่นได้ค่อนข้างต่ำคือ 0.15-0.50 ppm. (วันดี, 2546) ก๊าซแอมโมเนียส่วนมากเกิดจากมูลสด พบว่าพื้นคอกแบบแสลตจะมีกลิ่นแอมโมเนียน้อยกว่าพื้นคอกแบบคอนกรีต และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใด กลิ่นก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ก๊าซแอมโมเนียละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการใช้น้ำล้างจะช่วยลดก๊าซนี้ได้บ้าง ระดับที่เป็นพิษและเกิดผลข้างเคียงในคนคือ 50 ppm อาการที่เกิดคือ การระคายเคืองตา ซึ่งเป็นอาการที่สังเกตได้อย่างหนึ่ง คือจะมีอาการกลัวแสง (photophobia) และก๊าซแอมโมเนียรบกวนสุขภาพของสุกรเมื่อมีความเข้มข้นถึง 100-200 ppm ทำให้สุกรมีอาการจาม น้ำลายฟูมปาก กินอาหารลดลง หัวสั่น ซึ่งบางคนคิดว่าเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ (อโณชา, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยสุกรเล็กจะไวต่อระดับแอมโมเนียมากกว่าสุกรโต แต่ถ้ามีแอมโมเนียในระดับต่ำอยู่ในระยะเวลานานๆ ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสุกรได้ (วันดี, 2546)

สิ่งขับถ่ายจากสุกรเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญซึ่งอยู่ในรูปของยูเรียที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ การปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียจากมูลเกิดจากยูเรียในปัสสาวะ และเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ที่จุลินทรีย์ผลิตออกมาในมูล เมื่อมูลกับปัสสาวะรวมกันจะทำให้ยูเรียสลายตัวเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและระเหยสู่บรรยากาศ (Jongbloed *et al.*,1998) ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 แสดงวงจรไนโตรเจนของสัตว์ ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Leek (1993)

แอมโมเนียเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งเมื่อไปสะสมในบรรยากาศจะทำให้เกิดปัญหาภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ชนิดหนึ่งที่ทำให้โลกร้อน (global warming) เนื่องจากก๊าซแอมโมเนียไปทำลายโอโซนของชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้แอมโมเนียในชั้นบรรยากาศเมื่อถูกชะล้างโดยน้ำฝน จะทำให้เกิดลักษณะของฝนกรด (acid rain) ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อม (วันดี, 2546) และพบว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการเลี้ยงสัตว์ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ (Jongbloed *et al.*, 1998)

นอกจากนี้การระเหยของแอมโมเนีย เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกนั้น เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนที่ควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ รวมกัน ได้แก่ ปัจจัยทางชีววิทยา ปัจจัยทางเคมี และปัจจัยทางกายภาพ แต่อย่างไรก็ตาม การระเหยของแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการเกษตรส่วนใหญ่มาจากสิ่งขับถ่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสัตว์ โดยประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ขับถ่าย มาจากสัตว์เลี้ยงในระบบที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่นซึ่งไนโตรเจนจะถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโดยตรงทั้งในช่วงของการกักเก็บและการนำไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช (Ritter and Bergstrom, 2001)

2.11.3.3 ปัญหาคุณภาพดิน

การสะสมของไนโตรเจนในดิน ในรูปของไนไตรท ทำให้เกิดการชะล้าง (leaching) ซึ่งไนไตรท (NO_2^-) ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) โดยการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน การที่มีการชะล้างเอาไนไตรทและไนเตรทไปกับน้ำ ทำให้น้ำมีการปนเปื้อนไนเตรท ซึ่งเป็นอันตรายกับลูกสุกรและทารกที่ได้รับน้ำที่ปนเปื้อนเหล่านี้เข้าไป ซึ่งรูปที่เป็นพิษคือไนไตรท แต่ไนเตรทที่อยู่ในน้ำเหล่านั้นพร้อมที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท โดยการทำงานของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase) ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในทางเดินอาหาร ไนไตรทจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (haemoglobin) โดยเข้าไปแทนที่เหล็ก (Fe) เป็นผลให้เลือดไม่สามารถพาออกซิเจนไปหล่อเลี้ยงเซลล์ของร่างกาย ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน เกิดภาวะโรคเลือดสีน้ำเงิน (methaemoglobinemia) และอาจถึงตายได้ สำหรับสัตว์ที่โตแล้ว การพัฒนาความเป็นกรดในกระเพาะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่จะผลิตเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสลดน้อยลงมาก ทำให้การเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นไนไตรทลดน้อยลงมาก นอกจากนี้เม็ดเลือดขาวยังสามารถผลิตเอนไซม์ออกมาป้องกันไนไตรทที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินได้ (วันดี, 2546)

2.12 การกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ออกประกาศกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร โดยกำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงแหล่งน้ำสาธารณะ หรือสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรไว้ ได้แก่ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้สารเคมี (Chemical Oxygen Demand: COD) สารแขวนลอย (Suspended Solid) รวมทั้งไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) โดยแยกมาตรฐานตามขนาดของฟาร์ม โดยมีการแบ่งประเภทของฟาร์มสุกร และกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟาร์มสุกรดังแสดงในตาราง 9 และ 10 ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2541) ได้อธิบายค่าคุณภาพน้ำจากสุกร ดังนี้

ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

เป็นค่าที่บอกถึงความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้สารเคมี (Chemical Oxygen Demand; COD)

เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการออกซิไดซ์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ โดยใช้โปแทสเซียมไดโครเมทในสารละลายที่เป็นกรด

สารแขนลอย (Suspended Solid)

หมายถึง ปริมาณของสารแขนลอยที่กรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) แล้วอบให้แห้งในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ไม่ได้กรอง ในกรณีของน้ำเสียสารแขวนลอยมีทั้งสารอินทรีย์ เช่น เศษขนสัตว์ เศษอาหาร แต่น้ำทิ้งหลังการบำบัดสารแขวนลอยเป็นสารอินทรีย์พวกมวลชีวภาพจากเซลล์จุลินทรีย์

ค่าทีเคเอ็น (TKN ; Total Kjeldahl Nitrogen)

หมายถึง ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสามารถทำได้โดยย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำทิ้ง และกลั่นให้แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำออกไปพร้อมๆ กับไอน้ำแล้วควบแน่นไอน้ำที่มีแอมโมเนียอยู่จนเป็นของเหลวอีกครั้งจากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยการไตเตรท หรือใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) วัดความเข้มข้นของสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 9 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ค่าที่ใช้วัด	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด[1/]	
		ประเภท ก	ประเภท ข และ ค
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	มล.ก./ลิตร	60	100
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	มล.ก./ลิตร	300	400
สารแขวนลอย (Suspended Solid)	มล.ก./ลิตร	150	200
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	มล.ก./ลิตร	120	200

[1/]มาตรฐานน้ำทิ้งประเภท ก จะใช้บังคับกับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่

มาตรฐานน้ำทิ้งประเภท ข และ ค จะใช้บังคับฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2544)

ตาราง 10 การแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรตามจำนวนหน่วยปศุสัตว์

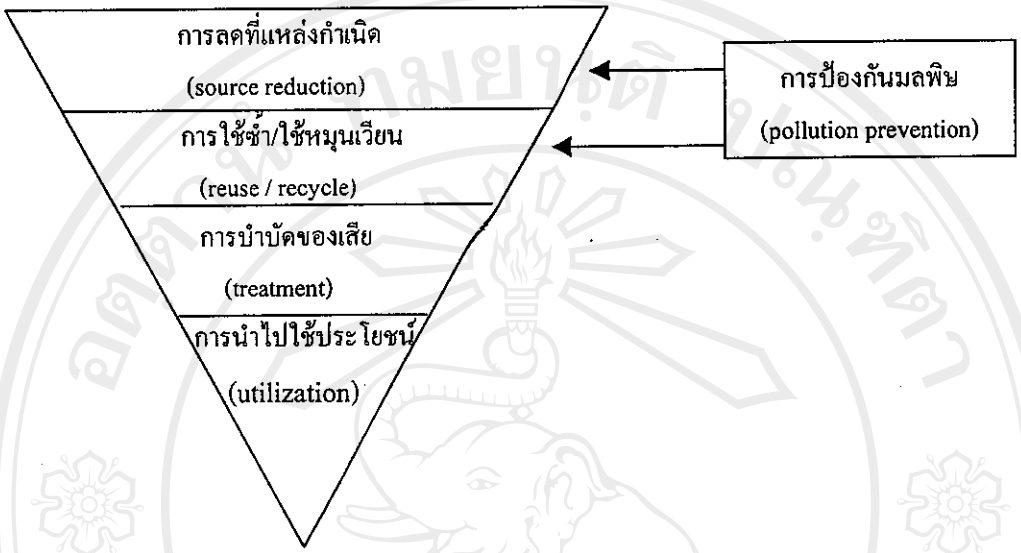
ประเภท	จำนวนหน่วยปศุสัตว์	เทียบเท่าจำนวนสุกร (ตัว)
ก (ฟาร์มขนาดใหญ่)	มากกว่า 600	มากกว่า 5,000
ข (ฟาร์มขนาดกลาง)	ระหว่าง 60 – 600	ระหว่าง 500 – 5,000
ค (ฟาร์มขนาดเล็ก)	ระหว่าง 6 - 60	ระหว่าง 50 - 500

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2544)

2.13 แนวทางการลดผลกระทบจากของเสียของสุกรต่อสิ่งแวดล้อมโดยการจัดการด้านอาหาร

ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มสุกรอย่างมีประสิทธิภาพ ควรใช้ทั้งมาตรการป้องกัน(prevention) การควบคุม (control) และการบำบัด (treatment) ตลอดจนมาตรการการนำของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ (utilization) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนและลำดับความสำคัญของกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรดังแสดงในภาพ 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 7 ลำดับความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อม
ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (มปพ)

วิธีการลดของเสียให้น้อยสุด หรือการป้องกันมลพิษโดยการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด โดยการจัดการด้านอาหารเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำได้และไม่ต้องลงทุนใดๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการลดปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายเหล่านี้ได้นำมาใช้อย่างจริงจังในหลายๆ ประเทศควบคู่กับระบบการบำบัดของเสียโดยเฉพาะประเทศในยุโรป เช่น เนเธอร์แลนด์ ดังนั้นในการลดปัญหาระยะยาวสำหรับการเลี้ยงสุกรในสภาพอากาศร้อนชื้นอย่างในประเทศเรา จึงควรมีการนำเอาเทคนิคการประกอบสูตรอาหาร เทคนิคการให้อาหารมาใช้ร่วมกัน เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในขณะที่ไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้ามอาจจะเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากต้นทุนการผลิตสุกรประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์มาจากต้นทุนค่าอาหาร และจะมีประโยชน์ระยะยาวคือ การผลิตสุกรที่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย การเลี้ยงสุกรเป็นการค้าในปัจจุบันมีการสร้างสูตรอาหารเพื่อทำให้สุกรเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด โดยการคำนวณความต้องการโภชนะไนโตรเจน (หรือโปรตีน) จึงเป็นเหตุผลทำให้โปรตีน (โปรตีนจากไนโตรเจนรวม) ในอาหารมีเปอร์เซ็นต์สูงเกินความต้องการ สุกรสามารถนำไนโตรเจนที่กินเข้าไปในอาหารมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ประโยชน์ได้เพียงส่วนหนึ่ง ไนโตรเจนที่เหลือถูกขับถ่ายออกจากร่างกายในรูปของเสีย (สมชัย และสุริยะ, 2544)

2.13.1 อาหารโปรตีนต่ำ (Low-protein diet)

ในการประกอบสูตรอาหารสุกรโดยยึดแนวคิด Ideal protein เป็นหลัก ทำให้มีกรดอะมิโนในสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีพ และการสะสมโปรตีนในร่างกาย ซึ่งกรดอะมิโนทุกตัวถูกกำหนดให้มีในปริมาณที่พอเพียง (Fuller, 1994; Wang and Fuller, 1989) การที่กรดอะมิโนทุกตัวถูกกำหนดให้มีอย่างเพียงพอในอาหารจะช่วยลดปริมาณของกรดอะมิโนที่ต้องถูกขับออก (Fuller *et al.*, 1989; Wang and Fuller, 1990) ซึ่งจากหลักการนี้ทำให้การประกอบสูตรอาหารคำนึงถึงแหล่งโปรตีนลดลง (Lopez *et al.*, 1994) ในความเป็นจริงจุดมุ่งหมายในการลดระดับโปรตีนในอาหารเพื่อ

1) ต้องการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่ปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากมีจำนวนสุกรที่เลี้ยงในระบบอุตสาหกรรมหนาแน่นมาก และอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรในระบบอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นของโภชนะที่สูงมาก เพราะต้องการให้ได้ผลผลิตที่สูงสุด โดยไม่ได้คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ซึ่งโภชนะที่สัตว์ได้รับมากเกินจะถูกขับออกมาในรูปของเสีย เช่น มูล และปัสสาวะ และโภชนะเหล่านั้น เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ถ้ามีมากเกินจะทำให้เกิดปัญหาด้านน้ำเสีย กลิ่นเหม็น และเกิดภาวะเรือนกระจก (green house effect) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญและควรได้รับการแก้ไข ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาเหล่านี้ จึงได้มีมาตรการ และออกเป็นกฎหมายควบคุมปริมาณสิ่งขับถ่ายจากฟาร์มสุกร และให้มีการบำบัดของเสียเหล่านี้ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ แต่ระบบบำบัดของเสียเหล่านี้มีต้นทุนที่สูง จึงต้องหาทางจัดการของเสียเหล่านี้ด้วยแนวทางอื่น เพื่อให้มีการสิ้นเปลืองน้อยที่สุด

2) ลดต้นทุนการผลิต เพราะต้นทุนในการผลิตส่วนสุกรใหญ่ ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นทุนจากค่าอาหาร เพราะแหล่งโปรตีนที่ใช้ในอาหาร เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดี ส่วนใหญ่มีราคาแพง การลดระดับโปรตีนในอาหารลงจะช่วยลดปริมาณการใช้แหล่งโปรตีนเหล่านั้น โดยทำการใช้กรดอะมิโนสังเคราะห์ร่วมในการประกอบสูตรอาหาร

3) ต้องการให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้สูงสุด

จากเหตุผลต่างๆ เหล่านี้จึงได้มีการศึกษาเพื่อ หาแนวทางในการจัดการที่เหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระยะยาวสำหรับการเลี้ยงสุกรในสภาพอากาศร้อนชื้นอย่างในประเทศเรา และให้มีการสิ้นเปลืองน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดระดับโปรตีนในอาหารโดยการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ให้เพียงพอ มีผลดีในทางโภชนศาสตร์ คือ

1) ช่วยลดปริมาณไนโตรเจนที่ขับออก (nitrogen excretion) โดยไม่มีผลต่อการกักเก็บไนโตรเจนไว้ในร่างกาย (nitrogen retention) และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (Kerr *et al.*, 1995; Tuitoek *et al.*, 1997b; Cahn *et al.*, 1998)

2) ช่วยลดพลังงานที่สูญเสีย (energy loss) ในการขับไนโตรเจน หรือกรดอะมิโนส่วนเกินออกนอกร่างกายในรูปยูเรียในปัสสาวะ และพลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน (heat production) (Bellogo *et al.*, 2001)

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการลดระดับโปรตีนในอาหารเพื่อลดปริมาณไนโตรเจนที่ขับออก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาสามารถมีระดับลดลงได้อย่างมาก โดยการลดระดับโปรตีนในอาหารลงซึ่งสามารถลดได้มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องทำการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ให้เพียงพอกับความต้องการจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนและแร่ธาตุที่ขับออกทางมูลลดลงและไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ (Jongbloed and Lenis, 1998) โดยปริมาณโปรตีนที่ลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยลดปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกได้ประมาณ 8.4 เปอร์เซ็นต์ (Sutton *et al.*,1999) โดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต ดังเช่นการทดลองของ Gatel and Grosjean (1992) ที่ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณโปรตีนในอาหารที่มีผลต่อไนโตรเจนที่ขับออกในสุกรระยะรุ่น-ขุน โดยทำการลดระดับโปรตีนในอาหารและทำการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ให้เพียงพอกับความต้องการ ในอาหารสุกรระยะรุ่นได้ลดระดับโปรตีนจาก 170 g/kg เป็น 155g/kg คิดเป็น 1.5 และสุกรระยะขุนลดระดับโปรตีนในอาหารจาก 145 g/kg เป็น 135 g/kg คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับอาหารโปรตีนระดับปกติที่ใช้ พบว่า การลดระดับโปรตีนในอาหารลงจะช่วยลดปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกประมาณ 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ซึ่งให้ผลที่คล้ายคลึงกับการทดลองของ Tuitoek *et al.* (1997) ที่ได้ทำการศึกษาการลดระดับโปรตีนในอาหารสุกรรุ่น-ขุน โดยในแต่ละระยะสุกรได้รับอาหาร 3 สูตรที่มีความแตกต่างกันของระดับโปรตีน โดยในสุกรระยะรุ่นได้รับโปรตีน 15.6, 15 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสุกรระยะขุนได้รับโปรตีน 14.2, 12.8 และ 11เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า ระยะขุนหรือระยะรุ่น-ขุนน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน ปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่ออาหารที่กิน ไม่ได้รับผลจากอาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกัน แต่ในระยะขุนน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่ออาหารที่กิน มีแนวโน้มว่าจะมีค่าลดลงเมื่อสุกรได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำไม่มีผลต่อคุณภาพซาก นอกจากนี้การใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำยังช่วยเพิ่มพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับการสะสมเนื้อเยื่อในร่างกาย และมีแนวโน้มว่าไขมันในซากจะเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Tuitoek *et al.*, 1997a) อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำมากมาย พบว่า ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตในสุกรระยะเล็ก (Chang and Baker, 1991) และสุกรระยะให้นม (Takach *et al.*, 1992) แต่บางรายงานพบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำมีประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตลดลง (Lopez *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 1998; Tuitoek *et al.*, 1997a)

การลดโปรตีนในอาหารลง 1 เปอร์เซ็นต์สามารถทำให้ไนโตรเจนในของเสียลดลงได้ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ (Ketels, 1999) ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของยูเรียในปัสสาวะ (Jongbloed and Lenis, 1992) จะเป็นส่วนของไนโตรเจนที่ไม่ถูกใช้ประโยชน์ และถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ หลังจากนั้นยูเรียถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ยูรีเอสที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลสุกรไปเป็นแอมโมเนียแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งแอมโมเนียที่แพร่กระจายจากฟาร์มสุกรนั้นมียูเรียเป็นแหล่งกำเนิดประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ (Voermans *et al.*, 1994) ซึ่งเราสามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียได้โดยการลดระดับโปรตีนในอาหารลง และยังสามารถช่วยลดระดับของกลิ่นที่เกิดจากน้ำมูลสุกร (slurry) ด้วย (Ketels, 1999) และการระเหยของแอมโมเนียสามารถหยุดหรือลดลงได้ โดยสภาวะที่มี pH ต่ำคือน้อยกว่า 6 (Voermans *et al.*, 1994)

Canh *et al.*(1998) ได้ศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารที่มีต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนและแอมโมเนียจากของเสียของสุกรระยะรุ่น-ขุน โดยทำการศึกษาทั้งแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) และในตัวสัตว์ (*in vivo*) พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะ และค่า pH ของของเสียจะลดลงตามระดับของโปรตีนในอาหารที่ลดลง และความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายและก๊าซแอมโมเนียที่ปลดปล่อยไปในอากาศลดลง โดยการลดโปรตีนในอาหารลง 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียได้ 10 – 12.5 เปอร์เซ็นต์ (Canh *et al.*, 1998) นอกจากนี้การศึกษาของ Aarnink and Canh (1999) ได้ศึกษาอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ พบความแตกต่างของค่า pH และองค์ประกอบของน้ำมูลและปริมาณแอมโมเนียเหมือนกัน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ในน้ำมูลลดลง 31 และ 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลงจาก 16.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 14.5 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อระดับโปรตีนลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่า pH ของน้ำมูลสุกรลดลง 0.66 หน่วย และการปลดปล่อยแอมโมเนียจากน้ำมูลสุกรลดลง 49 เปอร์เซ็นต์ด้วย ดังนั้นการลดระดับโปรตีนในอาหารลงเป็นการลดการขับถ่ายไนโตรเจนส่วนเกิน มีผลในการลดการปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียและลดกลิ่นเหม็นจากของเสีย การให้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำนอกจากจะให้ผลดีในการลดมลพิษแล้วยังมีผลดีต่อลักษณะการให้ผลผลิตของสุกรอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved