บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

เป้าหมายสำคัญในการเลี้ยงสัตว์ คือ การทำให้สัตว์สามารถให้ผลตอบแทนสูงสุดแก่ผู้เลี้ยงในด้านต่าง ๆ เช่น การผลิตเนื้อ นม ไข่ เป็นต้น ผลผลิตต่าง ๆ เหล่านี้ถูกควบคุมโดยปัจจัยที่สำคัญ 3 ชนิด คือ พันธุกรรม การจัดการ และอาหาร โดยเฉพาะอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญมากเนื่องจากต้นทุนในการผลิตสัตว์เป็นค่าอาหารประมาณ 60-80% การลดต้นทุนค่าอาหารด้วยการผลิตอาหารให้มีคุณภาพดี มีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์ จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตได้ดี มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถให้ผลผลิตได้ดี ช่วยลดต้นทุนในการผลิตสัตว์ได้มาก

ปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ประสบปัญหาเรื่องราคาอาหารสัตว์ที่นับวันยิ่งมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทั้งจากพืชและสัตว์ มักมีราคาแพง เช่น กากถั่วเหลืองปี 2541 สามารถผลิตในประเทศได้เพียง 6-7 แสนตัน ในขณะที่มีความต้องการใช้สูงถึง 1.5 ล้านตัน ทำให้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศสูงถึง 8 แสนตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) ประกอบกับอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทของไทยอ่อนตัวลงมากในระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมา ทำให้เมล็ดและกากถั่วเหลืองที่นำเข้าจากต่างประเทศมีต้นทุนสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะในปี 2541 ราคาของกากถั่วเหลืองต่ำสุดอยู่ที่ 7.6 บาท/กก. สูงสุดอยู่ที่ 15.7 บาท/กก. (เฉลี่ย 10.5 บาท/กก.) ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ปลาป่นทั้งที่ผลิตภายในประเทศและนำเข้ามีราคาเพิ่มขึ้นจากปี 2540 สูงถึง 19.4 และ 30.2% ตามลำดับ ในขณะที่กากถั่วเหลืองภายในประเทศมีราคาเพิ่มขึ้น 3.9% ส่วนกากถั่วเหลืองต่างประเทศมีราคาลดลงเล็กน้อย (1.4%) ทั้งนี้มีผลเนื่องจากรัฐบาลฯ ได้ลดภาษีพิเศษสำหรับการนำเข้ากากถั่วเหลือง และได้เพิ่มโควต้าการนำเข้าด้วย ประกอบกับค่าเงินบาทในปี 2541 มีเสถียรภาพ และแข็งตัวมากกว่าปี 2540

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2542) ประมาณการว่าการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สำคัญบางชนิดในปี 2541 มีปริมาณต่ำกว่าปี 2540 อย่างเห็นได้ชัด เช่น ปลาป่นในปี 2541 นำเข้าจำนวน 11.8 พันตัน ขณะที่ปี 2540 นำเข้า 64.4 พันตัน กากถั่วลิสงนำเข้า 99.7 พันตัน ลดลงจากปี 2540 ที่นำเข้าจำนวน 135.2 พันตัน ส่วนกากเมล็ดพืชน้ำมันอื่น ๆ รวมทั้งกากทานตะวันและกากเรปซีด เป็นต้น มีการนำเข้าในจำนวนที่ลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 2) การที่ในปี 2541 มีการนำเข้าวัตถุดิบแหล่งโปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับปี 2539 และ 2540 เป็นผลเนื่องจากภาวะค่าเงินบาท

ยังทรงตัวอยู่ ประกอบกับในกรณีของทานตะวันได้มีการส่งเสริมให้เพาะปลูกในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 1 ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดในช่วงปี 2539-41 (บาท/กก.)

ชนิดวัตถุดิบ	2539	2540	2541	เพิ่ม/ลด (%) [1/]
ข้าวโพด	4.94	4.77	5.02	+4.98
ปลาป่น ภายใน (60%CP)	17.05	18.12	22.47	+19.36
ปลาป่น นำเข้า (60%CP)	22.29	27.45	39.32	+30.19
กากถั่วเหลือง ภายใน	10.04	10.81	11.25	+3.91
กากถั่วเหลือง นำเข้า	9.72	10.65	10.50	-1.42

[1/] ปี 2541 เทียบกับปี 2540

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2541)

ตารางที่ 2 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดในช่วงปี 2539-41

ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณ (พันตัน)			มูลค่า (ล้านบาท)		
	2539	2540	2541	2539	2540	2541
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	302.68	235.70	230.99	1,584.72	1,140.58	1,1228.92
ปลาป่น	160.55	64.38	11.82	2,814.94	1,247.19	33.01
กากถั่วเหลือง	790.15	1,109.13	957.49	5,967.03	10,726.33	8,797.57
กากถั่วลิสง	124.13	135.21	99.67	776.77	1,004.56	922.87
กากทานตะวัน	121.28	95.06	40.89	679.87	600.76	237.40
กากเรปซีด	121.72	78.49	56.44	493.52	396.40	336.67
กากพืชน้ำมันอื่น ๆ	80.83	43.13	36.40	426.13	433.85	229.16

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2542)

การแสวงหาแหล่งโปรตีนจากพืชอื่นที่สามารถผลิตได้อย่างพอเพียงและมีราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นิยมใช้กัน เนื่องจากในอนาคตถั่วเหลืองจะถูกนำไปใช้เป็นอาหารคนเพิ่มขึ้น ปัจจุบันวัตถุดิบชนิดที่นำมาใช้กันมาก ได้แก่ กากเรปซีดและกากทานตะวัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน แต่มีคุณค่าทางโภชนะต่ำกว่ากากถั่วเหลืองเล็กน้อย

กากทานตะวัน (Sunflower meal, SFM)

ทานตะวันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annus* และชื่อสามัญว่า sunflower สามารถเติบโตได้ในดินเกือบทุกประเภท ยกเว้นดินที่เป็นกรดจัด และในสภาพน้ำขัง เนื่องจากทานตะวันเป็นพืชที่ให้โปรตีนและแร่ธาตุสูง จึงควรใส่ปุ๋ยในปริมาณเพียงพอกับความต้องการของพืช เมล็ดของทานตะวันจัดได้ว่าเป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนและพลังงานที่มีคุณภาพสูงชนิดหนึ่ง แหล่งปลูกทานตะวันใหญ่ของโลกอยู่ที่ตอนเหนือของเทือกเขาคอเคซัส บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำยูการิน และวอลก้าของรัสเซีย และรวมทั้งประเทศในคาบสมุทรบอลข่าน ประเทศอาร์เจนตินา อุรุกวัย โรดิเซีย ตุรกี แทนซาเนีย ฮังการี โรมาเนีย ยูโกสลาเวีย และปากีสถาน การผลิตเมล็ดทานตะวันของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคกลางและภาคตะวันออก เช่น ลพบุรี สระบุรี ปราจีนบุรี กาญจนบุรี และเพชรบูรณ์ เป็นต้น (เพิ่มศักดิ์ และศุภชัย, 2540) จากข้อมูลการผลิต ปี 2540/41 ประเทศไทยมีการปลูก 225,000 ไร่ ให้ผลผลิต 40,500 ตัน มีผลผลิตเฉลี่ย 180 กก./ไร่ ถ้าสามารถส่งเสริมให้ผลิตในประเทศได้พอเพียงจะช่วยประหยัดเงินตราสำหรับการนำเข้ากากทานตะวันไม่ต่ำกว่าปีละ 400-500 ล้านบาท โดยทั่วไปเมล็ดทานตะวันจะถูกนำมาผ่านกระบวนการอัดหรือสกัดน้ำมันออกก่อน ส่วนที่เหลือจะเป็นกากที่เป็นผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

กากทานตะวันกะเทาะเปลือกมีโปรตีนค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 50% แต่กากทานตะวันที่ใช้ในประเทศไทยไม่มีการกะเทาะเปลือกออก ทำให้มีโปรตีนประมาณ 35% และมีปริมาณเยื่อใยสูงกว่า 20% (เสกสม, 2543) จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารของสัตว์อ่อน ส่วนปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นโดยรวม จัดว่าค่อนข้างทัดเทียมกับกากถั่วเหลือง ยกเว้นกรดอะมิโนไลซีน ที่มีปริมาณต่ำกว่ามาก (1.2-1.4 vs. 3.0% DM, ตามลำดับ)

องค์ประกอบทางเคมี

สุชน และบุญล้อม (2536) รายงานว่ากากทานตะวันมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำกว่ากากถั่วเหลือง คือ มีโปรตีนประมาณ 75% ของกากถั่วเหลือง ในขณะที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดไลซีนต่ำมาก โดยมีเพียง 1/3 ของกากถั่วเหลือง (0.62-1.0 vs. 2.93%, ตามลำดับ) Rad and Keshavarz (1976) รายงานว่ากากทานตะวันที่มีโปรตีน 28.2% และเยื่อใย 17.5% สามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารได้โดยไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ถ้ามีการเสริมไลซีนให้เพียงพอ วีระศักดิ์ และคณะ (2542) พบว่ากากทานตะวันที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทย มีโปรตีนค่อนข้างต่ำ ประมาณครึ่งหนึ่งของกากถั่วเหลือง (29.4 vs. 49.4% DM) ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ

Dale (1997) เล็กน้อย (34.0%) แต่ต่ำกว่ารายงานของ Bath *et al.* (1997) และ NRC (1994) ค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากกากทานตะวันที่ใช้กันดังกล่าว มีปริมาณเยื่อใยสูงกว่ากากถั่วเหลืองของต่างประเทศประมาณ 3 เท่าตัว (25.2 vs. 7.9% DM, ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 3 การที่กากทานตะวันที่ใช้ในประเทศไทยมีโปรตีนต่ำ แต่มีเยื่อใยสูงนี้ ส่งผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy; ME) มีปริมาณต่ำกว่ากากทานตะวันของต่างประเทศ ตามที่รายงานไว้โดย Dale (1997)

สารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนะ

กากทานตะวันต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ในแง่ที่ไม่มีสารพิษร้ายแรงต่อสัตว์ แต่ข้อจำกัดของการใช้กากทานตะวันในอาหารสัตว์ปีกมักเป็นเรื่องของเยื่อใยที่มีอยู่สูง Dusterhoft *et al.* (1993) รายงานว่ากากทานตะวันมีสารจำพวก 4-*O*-methyl glucuronoxylan ซึ่งเป็นเยื่อใยประเภท hemicellulose ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทประเภทที่ไม่ใช่แป้งหรือเรียกอีกอย่างว่า Non-starch polysaccharide (NSP) สารนี้ขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ มีผลทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากอาหารได้ลดลงหรือไม่ได้เลย โดยเฉพาะสัตว์ปีกจะขาดเอนไซม์สำหรับย่อยเยื่อใยเหล่านี้

Classen (1996) รายงานว่า เมื่อสัตว์กินอาหารพวกเยื่อใย หรือ NSP เข้าไปจะมีผลไปลดระดับเอนไซม์จากตับอ่อน และลำไส้เล็ก ทำให้เกิดความอัดแน่นในทางเดินอาหาร จึงทำให้สัตว์ย่อยอาหารได้น้อยลง Smits and Annison (1996) รายงานว่า NSP จะมีผลไปลดการย่อยได้ของโปรตีน แป้ง และไขมัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดในไก่เนื้อ Shah *et al.* (1982) รายงานว่าระดับของเยื่อใยในอาหารที่สูงขึ้น ทำให้ค่าการย่อยได้ลดลง โดยเฉพาะของโปรตีน สอดคล้องกับรายงานของ Teten *et al.* (1996) ที่รายงานว่าถ้าระดับของเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น สัตว์จะกินอาหารได้น้อย และมีค่าการย่อยได้รวมทั้งการกักเก็บไนโตรเจนในร่างกายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมีการขับออกมาในมูลมากขึ้น Sorensen (1996) รายงานว่า กากทานตะวัน และกากเรปซีด มี NSP จำพวก arabino-xylan และ pectin สูงกว่ากากถั่วเหลือง ค่าการย่อยได้ของกากทั้งสองชนิดดังกล่าว จึงมีปริมาณต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมี (% วัตถุแห้ง) ของกากทานตะวันและกากเรปซีดเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง

	กากทานตะวัน				กากเรปซีด			กากถั่วเหลือง[4/]
	1/	2/	3/	4/	2/	3/	5/	
วัตถุแห้ง	91.2	93.0	92.0	93.0	94.0	92.0	91.9	89.0
โปรตีน	29.4	49.8	34.0	45.4	37.4	36.0	38.1	49.4
ไขมัน	5.3	3.1	0.5	2.9	7.4	2.6	2.7	0.9
เยื่อใย	25.2	12.2	13.0	12.2	16.5	13.2	15.7	7.9
เถ้า	7.2	8.1	7.1	n.a	7.2	7.2	9.0	n.a
NFE	32.9	26.5	45.5	n.a	31.5	41	34.4	n.a
ME (kcal/g DM)	2.10	n.a	2.26	n.a	n.a	1.77	2.13	2.51
กรดอะมิโน:								
ไลซีน	n.a	n.a	1.42	1.24	n.a	2.12	1.83	3.02
เมทไธโอนีน	n.a	n.a	0.64	0.80	n.a	0.67	0.72	0.70
ซีสตีน	n.a	n.a	0.55	0.64	n.a	0.54	0.98	0.74
ทรีโอนีน	n.a	n.a	1.48	1.29	n.a	1.60	1.59	1.93
ทริปโตเฟน	n.a	n.a	0.35	0.41	n.a	0.46	0.51	0.83
ไอโซลูซีน	n.a	n.a	1.39	1.43	n.a	1.41	1.54	2.20
ลูซีน	n.a	n.a	2.58	2.22	n.a	2.60	2.65	3.81
วาลีน	n.a	n.a	1.64	1.74	n.a	1.81	1.98	2.32
ฮิสติดีน	n.a	n.a	1.51	0.87	n.a	0.95	1.06	1.31
อาร์จินีน	n.a	n.a	2.80	2.85	n.a	2.04	n.a	3.53
เฟนิลอะลานีน	n.a	n.a	1.61	1.66	n.a	1.41	n.a	2.43

n.a = data not available

[1/] วีระศักดิ์ และคณะ (2542)

[2/] Bath *et al.* (1997)

[3/] Dale (1997)

[4/] NRC (1994)

[5/] ไพฑูรย์ (2539)

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีน NSP และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน ในวัตถุดิบจากพืชชนิดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกากถั่วเหลือง

ชนิดวัตถุดิบ	โปรตีน (%)	Arabino-xylan (index)	Pectin (index)	การย่อยได้ของโปรตีน (%)
กากถั่วเหลือง	48	100	100	85
กากทานตะวัน	35	117	113	78
กากเรปซีด	37	130	156	72
ถั่วเมล็ดกลม(peas)	20	71	137	77
Lupines	40	165	57	71

ที่มา: Sorensen (1996)

การย่อยได้

การย่อยได้ก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ทราบว่าอาหารที่กินเข้าไปนั้น สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ในร่างกายได้มากน้อยเพียงใด Dalibard and Paillard (1995) รายงานว่ากากถั่วเหลืองที่มีโปรตีน 44% จะมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนต่ำกว่ากากทานตะวัน (87 vs. 89%) แต่มีการย่อยได้ของไลซีนสูงกว่าเล็กน้อย (87 vs. 86 %) และเมื่อนำกากถั่วเหลืองที่มีโปรตีนสูงขึ้น คือ 46 หรือ 48% มาศึกษา พบว่า ค่าการย่อยได้ของโปรตีนและไลซีนของกากถั่วเหลืองสูงกว่ากากทานตะวันเล็กน้อย (90 vs. 89% และ 89 vs. 86%, ตามลำดับ)

กากทานตะวันที่ใช้กันอยู่ภายในประเทศไทยนี้ เป็นพวกที่มีเยื่อใยสูง ซึ่งเยื่อใยเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สัตว์ปีกไม่สามารถย่อยสิ่งเหล่านี้ได้ จึงทำให้มีการย่อยได้ลดลง ดังนั้นเมื่อนำกากทานตะวันไปใช้ในสูตรอาหารจึงควรเสริมเอนไซม์เข้าไปช่วยย่อยโมเลกุลให้แตกออกเสียก่อน การใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียวอาจไม่สามารถย่อยโครงสร้างนี้ได้หมด การใช้เอนไซม์จำพวก polygalacturonase, arabinase และ rhamnogalacturonase จะทำให้การใช้ประโยชน์ของโภชนะสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Sorensen (1996) ที่พบว่าการใช้เอนไซม์จำพวก arabinase, pectinase และ xylanase ผสมลงไปในสูตรอาหารที่ใช้กากทานตะวันเป็นแหล่งโปรตีน จะทำให้เพิ่มคุณค่าการใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับเมื่อใช้กากถั่วเหลือง

นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปในกากทานตะวัน เช่น การให้ความร้อน อาจมีผลลดค่าการย่อยได้ของโภชนะบางชนิด Brody (1994) รายงานว่าอาหารที่ให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้

อาหารอยู่ในรูปของเจล (gelatin) ร่างกายไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ Zhang and Parsons (1994) บ่งว่าการเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งกากทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 121^{0}ซ เป็นเวลา 0, 30, 60 และ 90 นาที มีผลทำให้ค่าการย่อยได้จริงของกรดอะมิโนโดยเฉพาะไลซีน ลดลงตามการเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อน (86, 54, 43 และ 35%, ตามลำดับ)

พลังงานใช้ประโยชน์

ในการคำนวณสูตรอาหารจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรก สัตว์มีความต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ค่าพลังงานรวม (Gross energy, GE) ในอาหาร ไม่ได้บ่งบอกถึงพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ในกรณีของสัตว์ปีก พลังงานที่นิยมใช้ คือ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) จากรายงานของ Lautner and Zenisek (1964) อ้างว่ากากทานตะวันมีค่า GE และ ME เท่ากับ 4.820 และ 1.907 kcal/g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (4.864 และ 2.693 kcal/g) และต่ำกว่ารายงานของ Dale (1997) ที่บ่งว่ากากทานตะวันมีค่า ME เท่ากับ 2.26 kcal/g วีระศักดิ์ และคณะ (2542) พบว่า ค่าพลังงานย่อยได้ปรากฏ (Apparent digestible energy, ADE) ในกากทานตะวันมีค่าเท่ากับ 2.37 kcal/gDM และพลังงานย่อยได้ที่แท้จริง (True digestible energy, TDE) เท่ากับ 2.81 kcal/g DM ส่วนค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (AME) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้จริง (TME) เท่ากับ 2.10 และ 2.65 kcal/g DM ตามลำดับ และยังพบว่าค่า ME ในไก่ทำท่อมูลเทียมและไก่ปกติมีค่าไม่แตกต่างกันนัก

คุณภาพโปรตีน

การศึกษาคุณภาพโปรตีนในกากทานตะวัน จากรายงานของ Clandinin and Robblee (1950) พบว่า การให้ความร้อนจะทำให้คุณภาพโปรตีนในกากทานตะวันลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Rad and Keshavarz (1976) ที่ประเมินค่าทางโภชนะของกากถั่วเหลือง และกากทานตะวันที่ได้รับความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 105-125^{0}ซ และ 80-130^{0}ซ พบว่า การใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนในกากทานตะวันลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และยังพบว่าค่า NPV ลดลงเช่นกัน ซึ่งค่า NPV ในกากทานตะวันจะต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (44.2-49.0 vs. 55.2% ตามลำดับ) สอดล้องกับรายงานของ FAO/WHO (1991) ที่รายงานว่าค่า Amino acid score ในกากทานตะวันต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และกากเรปซีด (0.39 vs. 0.94 และ 0.87 ตามลำดับ)

การนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์

Zatari and Sell (1990) รายงานว่าการใช้กากทานตะวันที่มีโปรตีน 32.6% เยื่อใย 18.4% ในไก่เนื้อ สามารถใช้ได้ที่ระดับ 20% โดยไม่มีผลเสียหายต่อน้ำหนักตัว แต่ถ้าเพิ่มระดับกากทานตะวันให้สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลง เมื่อเสริมน้ำมันพืชหรือสัตว์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานลงในสูตรอาหารระดับ 6% จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น

Rad and Keshavarz (1976) รายงานว่าการใช้กากทานตะวันเพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในไก่เนื้อสามารถใช้ได้ที่ระดับ 50% โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต และมีความเป็นไปได้ที่จะทดแทนได้ถึง 100% แต่ทั้งนี้ต้องเสริมไลซีนและพลังงานลงไปในสูตรอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ด้วย ส่วนการใช้เมล็ดทานตะวันและ/หรือกากทานตะวันมาเป็นอาหารสัตว์ปีกประเภทที่กำลังให้ไข่ทั้งในไก่ไข่ เป็ดไข่ หรือนกกระทาไข่นั้น สุชน และบุญล้อม (2536) รายงานว่าในอาหารเป็ดไข่สามารถใช้กากทานตะวันแทนที่กากถั่วเหลืองได้ทั้งหมด โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ ส่วนเมล็ดทานตะวันใช้ได้ที่ระดับ 23% ในอาหารเป็ดสาวหรือเทียบเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองระดับ 50% โดยไม่มีผลเสียต่ออัตราการผลิตไข่ แต่ทำให้ไข่ฟองเล็กลง ถ้าใช้ในระดับสูงกว่านี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารด้อยลง สุชนและบุญล้อม (2533) รายงานว่าการใช้เมล็ดทานตะวันในอาหารนกกระทาไข่ มีผลทำให้ผลผลิตไข่และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงเมื่อใช้ในสูตรอาหารสูงกว่าระดับ 10% ทำนองเดียวกับในไก่ไข่ที่พบว่าเมื่อมีการใช้เมล็ดทานตะวันทดแทนกากถั่วเหลืองและข้าวโพด จะทำให้ผลผลิตไข่ลดลง และยังทำให้สีไข่แดงจางลง ระดับที่เหมาะสมไม่ควรใช้เกิน 29% หรือเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองที่ระดับ 75% (สุชน และบุญล้อม, 2534) ทั้งนี้มีผลเนื่องจากขีดจำกัดของการใช้เยื่อใย ซึ่งมีปริมาณสูงมากเมื่อใช้ทานตะวันในสูตรอาหาร ทำให้อาหารมีความฟ่าม สัตว์ปีกประเภทให้ไข่จะกินอาหารได้ลดลง ผลตรงข้ามกับการศึกษาในไก่เนื้อที่พบว่าไก่เนื้อสามารถใช้เมล็ดทานตะวันในสูตรอาหารได้สูงถึง 50% หรือเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองทั้งหมดโดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต แต่จะได้ปริมาณไขมันในซากไก่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดทานตะวันมีน้ำมันในเมล็ดสูง (38%) ทำให้สูตรอาหารที่ใช้ทานตะวันมีค่า ME สูง ไก่เนื้อจึงตอบสนองต่อการใช้พลังงานได้ดีมาก โดยมีค่า FCR ลดลง (Cheva – Isarakul and Tangtaweewipat, 1991)

กากเรปซีด (Rapeseed meal, RSM)

เรปซีดเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่ของพืชในกลุ่มนี้มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica napus* และ *B. campestris* ส่วนชื่อสามัญคือ rape จัดเป็นพืชในวงศ์ (family) "Cruciferae" ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับพวกกะหล่ำปลี คะน้า มัสตาร์ด ต้นเรปเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในสภาพอากาศอบอุ่นถึงเย็นจึงพบมากในแถบยุโรปตอนเหนือ เอเชียตอนเหนือ เช่น จีน และอินเดีย ประเทศแคนาดา และตอนใต้ของอเมริกาใต้ ต้นเรปสามารถทนต่อสภาพการขาดน้ำได้ดีพอสมควร แต่ถ้าได้รับน้ำเพียงพอจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ในสภาพดินเค็มหรือแห้งแล้งเกินไปจะให้ผลผลิตลดลง

กากเรปซีดเป็นผลพลอยได้จากการนำเมล็ดมาสกัดน้ำมัน ซึ่งเมล็ดจะมีน้ำมัน 40-50% (Fenwick and Curtis, 1980) สามารถนำมาใช้บริโภค เช่น ใช้ปรุงอาหาร ทำน้ำสลัด และเนย ส่วนที่ไม่ได้ใช้บริโภคจะนำไปเป็นเชื้อเพลิง เป็นปุ๋ย หรือใช้ปรับสภาพดินสำหรับปลูกยาสูบ เป็นต้น

องค์ประกอบทางเคมี

กากเรปซีดจัดเป็นอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์ โดยมีโปรตีนสูง 41-43% แต่กากเรปซีดที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทยมีโปรตีนต่ำกว่า คือ มีประมาณ 33% เท่านั้น (เสกสม, 2543) จากข้อมูลในตารางที่ 3 กากเรปซีดมีปริมาณโปรตีนรวมต่ำกว่ากากถั่วเหลืองประมาณ 13.4% (36.0-38.1 vs. 49.4%) แต่มีไขมันและเยื่อใยสูงกว่ากากถั่วเหลืองประมาณ 2-3 เท่า ส่วน ME มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง จากรายงานของไพฑูรย์ (2539) พบว่า กากเรปซีดที่นำเข้าจากประเทศจีนและอินเดียมีปริมาณโปรตีน และเยื่อใย ใกล้เคียงกับกากเรปซีดที่ใช้กันในต่างประเทศที่รายงานไว้โดย Bath *et al.* (1997) และ Dale (1997)

สารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนะ

Larbier and Leclercq (1994) รายงานว่ากากเรปซีดมีสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ที่สำคัญ ได้แก่ กลูโคซิโนเลท ซึ่งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไธโอกลูโคซิเดส (thioglucosidase) หรือที่นิยมเรียกกันว่าเอนไซม์ "ไมโรซิเนส" (myrosinase) แล้วได้สารอนุพันธุ์ชนิดไอโซไธโอไซยาเนต ออกซาโซลิดิเนทไธโอน (oxazolidinatethione) ไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ไนไตร (nitrile) น้ำตาลกลูโคส และสารประกอบซัลเฟตหรือกรดกำมะถัน สารดังกล่าวจะไปทำให้ต่อมไธรอยด์นำธาตุ

ไอโอดีนไปใช้ประโยชน์ได้ลดลง ขัดขวางการสังเคราะห์และการหลั่งฮอร์โมนไธรอกซิน จึงทำให้เซลล์ของต่อมขยายขนาดใหญ่ขึ้น เกิดโรคคอพอก (บุญล้อม และ บุญเสริม, 2536)

Swick and Tan (1997; อ้างโดย รวีวรรณ์, 2541) รายงานว่า สารกลูโคซิโนเลทที่มีในกากเรปซีด ถ้านำไปใช้เป็นอาหารไก่ไข่ระดับสูง จะมีผลทำให้สีไข่แดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

ประเทศแคนาดาได้ปรับปรุงพันธุ์เรปให้มีระดับของสารกลูโคซิโนเลทในเมล็ดลดลงเหลือประมาณ 15-30 μmol/g DM หรือในกากเหลือไม่เกิน 20 μmol/g DM ในขณะที่สายพันธุ์ดั้งเดิมมีสารพิษดังกล่าวประมาณ 150 μmol/g DM นอกจากนี้ปริมาณกรดอีรูซิคที่มีในน้ำมันเรปซีดได้ถูกปรับปรุงให้ลดลงจากเดิมที่มีสูงถึง 50% ให้เหลือต่ำกว่า 2% สายพันธุ์ใหม่ที่ถูกปรับปรุงนี้เรียกว่า Double zero ("00" variety) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ "คาโนล่า" (Canola) นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงให้มีปริมาณเยื่อใยน้อยลงและมีแทนนินไม่เกิน 4% อีกด้วย ให้ชื่อว่า Triple zero ("000" variety) เช่น สายพันธุ์ SOV 333 จากประเทศอังกฤษ เป็นต้น (Koreleski, 1993)

การให้ความร้อนก็สามารถลดสารพิษเหล่านี้ได้ ดังรายงานของ Jensen *et al.* (1995) ที่นำกากเรปซีดไปผ่านไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^{0}ซ เป็นเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ค่าการย่อยได้ไม่แตกต่างกัน (77.0, 73.9, 72.1, 72.9 และ 71.2% ตามลำดับ) แต่ปริมาณของกลูโคซิโนเลทลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ให้ความร้อน กล่าวคือ เมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที ปริมาณกลูโคซิโนเลทจะถูกทำลายไป 24, 46, 70 และ 95% ตามลำดับ เวลาที่เหมาะสมคือ 30 นาที ซึ่งจะทำให้สารพิษกลูโคซิโนเลทลดลงไปครึ่งหนึ่ง

นอกจากนี้เรปซีดยังมีสารพิษแทนนิน ซึ่งมีรสขม สัตว์ไม่ชอบกิน อีกทั้งยังมีฟอสฟอรัสในรูปไฟเตท (phytate) อยู่สูง สัตว์ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากจะมีเอนไซม์ไฟเตสมาช่วยย่อยเสียก่อน (บุญล้อม และ สุชน, 2540)

การย่อยได้

Dalibard and Paillard (1995) ได้ทำการศึกษาค่าการย่อยได้ของโปรตีน และกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดในกากเรปซีด โดยทำการเปรียบเทียบกับกากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ (%) ของโปรตีน และกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดในกากพืชน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดวัตถุดิบ	โปรตีน	ไลซีน	เมทไธโอนีน	ซีสทีน	ทรีโอนีน
กากถั่วลิสง	89	77	87	74	85
กากเมล็ดฝ้าย	73	60	78	52	67
กากเรปซีด (-0-variety)	75	68	87	60	69
กากเรปซีด (-00-variety)	84	80	91	82	82
กากทานตะวัน	89	86	94	79	86
กากถั่วเหลือง (44% CP)	87	87	89	79	83
กากถั่วเหลือง (46-48% CP)	90	89	91	84	87

ที่มา: Dalibard and Paillard (1995)

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า กากเรปซีดมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนประมาณ 75-84% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ (-0-variety) จะมีค่าการย่อยได้ต่ำกว่าสายพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์แล้ว (-00-variety)

พลังงานใช้ประโยชน์

การศึกษาหาค่า ME ไพฑูรย์ (2539) รายงานว่าค่า TME ในกากเรปซีดเมื่อทำการศึกษาด้วยการบังคับให้ไก่กินกากเรปซีดล้วน ๆ มีค่าเท่ากับ 2.13 kcal/g DM ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ Lee *et al.* (1995) ที่บ่งว่ากากเรปซีดมีค่า TME เท่ากับ 2.50 kcal/g DM ส่วนค่า AME ที่ไม่ได้นำส่วนของ endogenous loss มาหักลบมีค่าเท่ากับ 1.77 kcal/g DM (Dale, 1997) สูงกว่ารายงานของ Zuprizal *et al.* (1993) ที่บ่งว่ากากเรปซีดที่กะเทาะเปลือกออกก่อนการสกัดน้ำมัน มีค่า AME สูงกว่าที่ไม่ได้กะเทาะเปลือก (1.37 และ 1.16 kcal/g DM)

คุณภาพโปรตีน

คุณภาพโปรตีนของกากเรปซีดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1. แหล่งผลิต

แหล่งผลิตกากเรปซีดซึ่งปัจจุบันมีหลายแห่ง มีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีและคุณภาพของกากเรปซีดด้วย Jensen *et al.* (1995) รายงานว่ากากเรปซีดจากจีนมีค่า NPU, BV, TD และการย่อยได้ของ

พลังงาน ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกากเรปซีดจากเยอรมัน และเดนมาร์ก กล่าวคือ มีค่าเป็น 71, 84, 90 และ 83% ของกากเรปซีดจากเยอรมัน และเท่ากับ 78, 78, 93 และ 96% ของกากเรปซีดจากเดนมาร์ก ตามลำดับ

2. สายพันธุ์

การปรับปรุงสายพันธุ์กากเรปซีดเพื่อลดปริมาณของกลูโคซิโนเลท ทำให้แต่ละสายพันธุ์ มีคุณภาพโปรตีนแตกต่างกัน ดังรายงานของ Sauer *et al.* (1982) ที่อ้างว่ากากเรปซีดสายพันธุ์ Regent กับ Candle ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีสารพิษกลูโคซิโนเลทระดับต่ำมีค่า PER เป็น 88-95% ของเคซีน สูงกว่ากากถั่วเหลือง 2-4% ส่วนค่า TD ของโปรตีนในกากเรปซีดเป็น 89 และ 83% ของกากถั่วเหลืองและเคซีน ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์ Turret ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีสารพิษกลูโคซิโนเลทระดับสูง มีค่า PER และ TD ต่ำกว่ากากถั่วเหลืองและเคซีน คือ PER มีค่าเป็น 80 และ 65% ส่วน TD มีค่า 99 และ 92% ของกากถั่วเหลืองและเคซีน ตามลำดับ

3. กรรมวิธีการผลิต

กากเรปซีดที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 100^{0}ซ เป็นเวลา 0-120 นาที จะทำให้คุณภาพโปรตีน (NPU, BV และ TD) ลดลงตามระยะเวลาการให้ความร้อน (Jensen *et al.*, 1995)

การนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์

ไพฑูรย์ (2539) รายงานว่าการเพิ่มระดับของกากเรปซีดชนิดที่มีสารพิษกลูโคซิเลทปริมาณ 75.3 µmol/gDMในอาหารไก่เนื้อ มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวลดลง ในขณะที่ต่อมไทรอยด์ขยายขนาดใหญ่ขึ้น แต่ไม่มีผลเสียต่ออัตราแลกน้ำหนัก โดยสามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ที่ระดับ 75% ส่วนในไก่ไข่สามารถใช้ได้ที่ระดับ 50%หากใช้ในระดับที่สูงกว่านี้มีผลทำให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักไข่ลดลง แต่ไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Tangtaweewipat *et al.*, 1998)

Lee *et al.* (1991) รายงานว่า การใช้กากเรปซีดที่ระดับ 6% ร่วมกับน้ำมันเรปซีดหรือไขมันสัตว์ 4% เลี้ยงไก่เนื้อเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มว่าทำให้อัตราแลกน้ำหนักลดต่ำลง แต่จากรายงานของ Leeson *et al.* (1987) ที่ใช้กากเรปซีด 38% (แทนที่กากถั่วเหลืองทั้งหมด) เลี้ยงไก่เนื้อช่วงอายุ 1-3 สัปดาห์ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต ทั้งด้านปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่มและอัตราแลกน้ำหนัก ส่วนไก่ไข่สามารถใช้แทนที่กากถั่วเหลืองได้ทั้งหมดหรือเท่ากับ 25% ในสูตรอาหาร ขัดแย้งกับรายงานของ Summer *et al.* (1988) ที่บ่งว่าการใช้กากเรปซีดในสูตรอาหารระดับ 16-34% หรือเท่ากับแทนที่

กากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่งจนถึงทั้งหมด จะทำให้ขนาดฟองไข่เล็กลง และไก่กินอาหารได้น้อยลงด้วย อย่างไรก็ดีการใช้กากเรปซีดที่ระดับ 10% ก็ยังทำให้ไข่ฟองเล็กลงอยู่เช่นกัน

การศึกษาการย่อยได้

การศึกษาการย่อยได้เป็นวิธีการที่ทำให้ทราบว่าอาหารที่สัตว์กินเข้าไป สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้มากน้อยเพียงใด เพราะการทราบองค์ประกอบทางเคมีในสูตรอาหารเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ เนื่องจากอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ต้องมีการสูญเสียเนื่องจากกระบวนการย่อยและการเผาผลาญสารอาหาร (metabolism) ในร่างกาย ส่วนที่สูญเสียเป็นอันดับแรก คือ ส่วนที่ย่อยไม่ได้ซึ่งถูกขับออกมาในมูล (feces) ดังนั้นเมื่อนำปริมาณโภชนะในมูลมาหักออกจากโภชนะในอาหารจะทราบปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ (digestible nutrient) การทดลองดังกล่าวอาจทำกับสัตว์โดยตรง (*in vivo*) หรือ ทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ก็ได้ แต่การทดลองกับสัตว์โดยตรงจะให้ข้อมูลได้มากกว่าและถูกต้องกว่า รวมทั้งทราบถึงความน่ากินของอาหารตลอดจนการยอมรับของสัตว์ด้วย (บุญล้อม, 2541)

ในกรณีที่อาหารนั้นไม่สามารถให้สัตว์กินเป็นอาหารเดี่ยวได้ การหาค่าการย่อยได้ต้องทำโดย :

1. วิธีหาความแตกต่าง (different method) เป็นวิธีการแทนที่วัตถุดิบที่ต้องการทดสอบเข้าไปในสูตรอาหารฐานที่ระดับใดระดับหนึ่ง แล้วนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้

2. วิธีใช้สมการถดถอย (regression method) ทำโดยแทนที่วัตถุดิบที่ต้องการทดสอบลงในอาหารฐานมากกว่า 1 ระดับ จากนั้นหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการย่อยได้ของโภชนะในอาหารแต่ละสูตรและสัดส่วนของโภชนะที่มาจากวัตถุดิบในสูตรอาหารเพื่อสร้างสมการทำนายการย่อยได้ของโภชนะในวัตถุดิบนั้น

การหาค่าการย่อยได้ในสัตว์ปีก

ในกรณีของสัตว์ปีก ไม่สามารถหาการย่อยได้ที่แท้จริงได้ เพราะสัตว์ปีกขับมูลและปัสสาวะออกทางเดียวกัน จำเป็นต้องหาวิธีแยกมูลและปัสสาวะออกจากกัน ซึ่งอาจทำได้โดยวิธีทางเคมี หรือวิธีผ่าตัดทำท่อมูลเทียม (Isshiki and Nakahiro, 1988; อ้างโดย สุชน และคณะ, 2542) เมื่อแยกมูลกับปัสสาวะออกจากกันได้แล้ว จะสามารถศึกษาหาการย่อยได้ที่แท้จริงตามวิธีที่กล่าวแล้วข้างต้น

อย่างไรก็ดีการย่อยได้ในสัตว์ปีกยังอาจใช้วิธีการบังคับให้สัตว์กินอาหารโดยการกรอกปาก (force feeding) ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงจากการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แบบแท้จริง (TME) ที่ Sibbald (1977a: 1977b) ได้เสนอไว้ แต่แทนที่จะวัดค่าพลังงาน ให้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโภชนะที่กินเข้าไป และมูลที่ขับออกในไก่ที่ผ่าตัดทำท่อมูลเทียมแทนไก่ปกติ ในกรณีที่มีการเก็บมูลจากสัตว์กลุ่มที่อดอาหารด้วย จะสามารถคำนวณหาค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (TD) ได้ วีระศักดิ์ และคณะ (2542) ได้ศึกษาการย่อยได้ของกากทานตะวันโดยใช้ไก่ผ่าตัดทำท่อมูลเทียมเปรียบเทียบกับไก่ปกติ ผลปรากฏว่า ไก่ที่ทำท่อมูลเทียมมีค่าการย่อยได้สูงกว่าไก่ปกติ โดยเฉพาะการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าสูงกว่าเกือบเท่าตัว (85.3 vs. 48.7% ตามลำดับ; ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าการย่อยได้ที่แท้จริง (%) ของกากทานตะวันในไก่ที่ทำท่อมูลเทียมและไก่ปกติ

	ไก่ทำท่อมูลเทียม	ไก่ปกติ
วัตถุแห้ง	51.6±2.9[a]	43.9±1.9[b]
อินทรียวัตถุ	53.6±3.2[a]	45.1±2.1[b]
โปรตีน	85.3±2.0[a]	48.7±6.7[b]
เยื่อใย	41.8±8.8[a]	46.0±2.6[a]
ไขมัน	73.9±3.9[a]	71.2±3.6[a]
NFE	33.0±5.6[a]	54.2±8.1[b]

[a-b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<.05)
ที่มา: วีระศักดิ์ และคณะ (2542)

นอกจากนี้การศึกษาการย่อยได้ อาจคำนึงถึงโภชนะที่สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้จริง เพราะการย่อยได้และการดูดซึมอาหารเกิดมากที่สุดบริเวณลำไส้เล็ก แต่หลังจากนั้นอาหารยังถูกเปลี่ยนแปลงได้อีกโดยจุลินทรีย์ในไส้ตันและลำไส้เล็ก ซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้นสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้ทดลองศึกษาหาการย่อยได้ในไก่ที่ตัดไส้ตันหรือไส้ติ่งออกเปรียบเทียบกับไก่ปกติ เช่น รายงานของ Dalibard and Paillard (1995) ได้ศึกษาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง กากทานตะวัน และเนื้อกับกระดูกป่น พบว่า ค่าการย่อยได้ของไนโตรเจน และไลซีน ในกากถั่วเหลืองและกากทานตะวันมีค่าเท่ากัน (92 vs. 91%) โดยสูงกว่าเนื้อกับกระดูกป่น (78%) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่ที่ตัดไส้ตันออกกับไก่ปกติ ไม่พบความแตกต่างของค่าดังกล่าว

ในการศึกษาการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองและกากทานตะวัน แต่เมื่อศึกษาในเนื้อกับกระดูกป่นไก่ปกติจะมีการย่อยได้สูงกว่าไก่ที่ตัดไส้ตันออก

การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก

ค่าพลังงานในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร และสัตว์ปีก นิยมระบุในรูปของพลังงานใช้ประโยชน์ เพราะเป็นพลังงานที่ได้หักการสูญเสียในมูลและปัสสาวะออกแล้ว พลังงานใช้ประโยชน์ได้นี้ แม้ว่าจะมีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าค่าพลังงานสุทธิ เพราะยังไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนเพิ่ม (heat increment) ซึ่งสัตว์ในเขตร้อนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (บุญล้อม, 2541) แต่เนื่องจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนเพิ่มน้อย อีกทั้งความร้อนเพิ่มก็วัดได้ยาก พลังงานใช้ประโยชน์จึงเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ค่าพลังงานใช้ประโยชน์มี 2 ประเภท คือ แบบปรากฏ (Apparent metabolizable energy, AME) และแบบจริง (True metabolizable energy, TME) ซึ่งแบบหลังนี้จะต้องนำส่วนมูลและปัสสาวะที่ไม่ได้มาจากอาหารมาหักลบจากพลังงานที่กินด้วย ในขณะที่แบบแรก มิได้คิดถึงส่วนนี้ ด้วยเหตุนี้ค่า TME จึงมีค่าสูงกว่า AME เสมอ สอดคล้องกับรายงานของ วีระศักดิ์ และคณะ (2542) ดังได้กล่าวมาแล้ว

วิธีวัดพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบสามารถทำได้ 3 วิธี

1. วิธีหาความแตกต่าง
2. วิธีใช้สมการถดถอย
3. วิธีการบังคับให้สัตว์กินอาหารโดยการกรอกปาก

ทั้ง 2 วิธีแรกใช้หลักการเดียวกับการหาการย่อยได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพียงแต่นำค่าพลังงานในมูลและปัสสาวะมาหักลบจากพลังงานที่กินแทนการหาการย่อยได้เท่านั้น ส่วนวิธีที่ 3 เป็นการบังคับให้สัตว์กินอาหารโดยการกรอกปาก นิยมใช้ศึกษากับวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด

การหาค่า ME โดยวิธีกรอกปาก

Sibbald (1977a: 1977b) ได้เสนอวิธีหาค่า ME อย่างง่ายที่ประหยัดเวลาและแรงงานดังนี้

1. ให้ไก่อดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อจะได้ขับอาหารเดิมออกจากทางเดินอาหารให้หมด
2. ป้อนอาหารให้ไก่แบบบังคับโดยการกรอกปาก จำนวน 30 กรัม
3. จับไก่ใส่ในกรง metabolic cage ชนิดขังเดี่ยวที่มีถาดรองมูลอยู่ภายใต้กรง มีน้ำให้กินตลอดเวลา ทำการเก็บมูลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ถ่ายมูลอันเนื่องมาจากอาหารที่กินออกให้หมด
4. จับไก่อีกกลุ่มหนึ่งที่ไม่ได้ป้อนอาหาร ใส่ในกรง metabolic cage เช่นกัน มูลที่ถ่ายออกมาถือเป็น endogenous loss

5. ชั่งน้ำหนักมูลที่ได้ทั้งหมดของไก่แต่ละตัว แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 50-60 ^{0}ซ เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากความร้อน ถ้าสามารถทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dryer) ได้จะยิ่งดี

6. นำตัวอย่างอาหารและมูลมาบด เพื่อทำการวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง พลังงาน และไนโตรเจนต่อไป

7. คำนวณหาค่า TME โดยใช้สูตร

$$\text{AME (kcal/g DM)} = \frac{(GE_i \times I) - Yf}{I}$$

$$\text{TME (kcal/g DM)} = \frac{(GE_i \times I) - (Yf - Ye)}{I}$$

เมื่อ GE_i = ค่า gross energy ของอาหาร (kcal/g DM)

I = ปริมาณอาหารที่ให้ไก่กิน (g. DM)

Yf = พลังงานในสิ่งขับถ่ายของไก่กลุ่มที่ได้รับอาหาร (kcal/g DM)

= GE_f ในมูล x ปริมาณมูลที่ขับออกของไก่ที่ได้รับอาหาร

Ye = พลังงานในสิ่งขับถ่ายของไก่ที่ไม่ได้รับอาหาร (kcal/g DM)

= GE_f ในมูล x ปริมาณมูลที่ขับออกในไก่ที่ไม่ได้รับอาหาร

วิธีการดังกล่าวคล้ายคลึงกับของ Dalibard and Paillard (1995) ที่ทำการศึกษาหาค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนในวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ โดยใช้ไก่ทดลอง 2 ชนิด คือ ไก่ปกติ กับไก่ที่ตัดไส้ติ่งออก (caecectomised) ชนิดละ 24 ตัว โดยใช้แผนการทดลอง 4X4 Latin square design ซึ่งใช้ไก่ 6 ตัวต่อบล็อก (block) ให้กินน้ำและอาหารเต็มที่เพื่อปรับสภาพเข้ากับกรงทดลอง จากนั้นทำการอดอาหารไก่เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยในช่วงระหว่างอดให้ได้รับกลูโคส 50 กรัม โดยวิธีการละลายน้ำให้กิน หลังจากนั้นทำการกรอกอาหารแบบเดี่ยว ๆ จำนวน 50 กรัมต่อตัว ได้แก่ กากถั่วเหลือง กากทานตะวัน และเนื้อกับกระดูกป่น และสูตรอาหารที่ไม่มีไนโตรเจน (protein-free diet) เพื่อหาส่วนของ endogenous loss สำหรับการนำไปหาค่าการย่อยได้ที่แท้จริง ส่วน Green and Kiener (1989) ทำการศึกษาโดยวิธีการกรอกปากเช่นกัน แต่ใช้อาหารจำนวน 80 กรัมต่อตัว

การประเมินคุณภาพโปรตีน

คุณภาพโปรตีนเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าโปรตีนในอาหารสัตว์สามารถถูกดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้มากน้อยเพียงใด การศึกษาหาคุณภาพโปรตีนในอาหารสามารถทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและการทดลองกับตัวสัตว์เอง Ravindran and Bryden (1999) ได้แบ่งการประเมินคุณภาพโปรตีนในสัตว์ปีกออกเป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

1. วิธีทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การวิเคราะห์ทางเคมี การใช้เอนไซม์ และการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ (Chemical score, Enzymatic technique และ Microbiological technique)
2. วิธีการทดลองกับตัวสัตว์โดยทางอ้อม (Indirect *in vivo*) ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนในพลาสมา (Plasma amino acid assays)
3. วิธีทดลองกับสัตว์โดยตรง (Direct *in vivo*) เป็นการประเมินคุณภาพโปรตีนทางชีวภาพโดยอาศัยการเจริญเติบโตเป็นหลัก หรือ อาศัยสมดุลไนโตรเจนเป็นหลัก

จากวิธีการทั้ง 3 นี้ Fuller (1988) รายงานว่าการประเมินทางชีวภาพจะให้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์ทางเคมียังไม่สามารถบ่งถึงการใช้ประโยชน์ของโปรตีนได้ดีนัก เพราะโปรตีนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน วิธีประเมินคุณภาพโปรตีนทางชีวภาพมีหลายวิธี สามารถศึกษาได้ดังนี้

1. วิธีที่พิจารณาสมรรถภาพการเจริญเติบโต ที่นิยมได้แก่

1.1 อัตราโปรตีนสุทธิ (Net protein ratio, NPR) คำนวณจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของสัตว์กลุ่มที่ได้รับอาหารทดสอบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารไม่มีโปรตีน (protein-free diet) หารด้วยปริมาณโปรตีนที่กิน โดยโปรตีนในอาหารทดสอบมีระดับที่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์เพื่อการดำรงชีพเท่านั้น

1.2 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein efficiency ratio, PER) คำนวณจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มหารด้วยปริมาณโปรตีนที่สัตว์กิน

2. วิธีที่พิจารณาสมดุลไนโตรเจน วิธีที่นิยมคือ

2.1 ค่าชีวภาพของโปรตีน (Biological value; BV) คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในร่างกาย คิดเป็นร้อยละของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม

2.2 ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนสุทธิ (Net protein utilization, NPU) คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายคิดเป็นร้อยละของไนโตรเจนที่กินเข้าไป

นอกจากนี้ยังสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในซากของสัตว์กลุ่มที่ได้รับอาหารที่ต้องการทดสอบเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารปราศจากไนโตรเจน หารด้วยปริมาณไนโตรเจนที่กิน

2.2 ค่าโปรตีนสุทธิ (Net protein value, NPV) เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าอาหารที่กินเข้าไป 1 กก. วัตถุแห้ง มีไนโตรเจนที่สะสมในร่างกายได้ร้อยละเท่าใด หรืออาจคำนวณจากค่าการย่อยได้ของโปรตีนคูณด้วยค่าทางชีวภาพของโปรตีน แล้วหารด้วย 100 ก็ได้

Rosbrough and Mcmurtry (1993) รายงานว่า โปรตีนที่มีคุณภาพดี จะต้องมีกรดอะมิโนที่พอเพียงต่อความต้องการ และสัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี อาหารบางชนิดมีปริมาณโปรตีนสูงแต่บางชนิดมีต่ำ อาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงไม่ได้หมายความว่าจะต้องมีคุณภาพโปรตีนดีเสมอไป นอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ เช่น เยื่อใยในอาหาร สารพิษ หรือขบวนการแปรรูปต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้ความร้อน ฯลฯ มีส่วนทำให้คุณภาพของโปรตีนในอาหารลดลง ดังเช่นรายงานของ Jensen *et al.* (1995) ที่ทำการวัดค่า BV และ NPU โดยใช้หนูเป็นสัตว์ทดลอง พบว่าค่าที่ได้ลดลงเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาของการให้ความร้อน แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานาน มีผลกระทบต่อคุณภาพโปรตีน

การใช้หนูและไก่เป็นสัตว์ทดลองประเมินคุณภาพโปรตีน

การศึกษาเพื่อประเมินคุณภาพโปรตีนในสัตว์ปีก ส่วนใหญ่จะใช้หนูเป็นสัตว์ทดลอง เพราะหนูมีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว ควบคุมง่าย ปกติจะใช้หนูเพศผู้ อายุหลังหย่านมเป็นตัวแทนในการศึกษาทั้งในคนและสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งการทดลองจะใช้เคซีน (casein) เป็นโปรตีนมาตรฐานในการทดสอบเพราะมีปริมาณของกรดอะมิโนจำพวกซัลเฟอร์ประมาณ 70-87% ตรงกับความต้องการของหนู (FAO/WHO, 1991) อย่างไรก็ดี จากการเปรียบเทียบระหว่างหนูกับไก่ Wu *et al.* (1995) พบว่า ในหนูตัวที่กินเคซีนและตัวที่อดอาหารจะมีการขับไนโตรเจนออกมาใกล้เคียงกัน (1.43 และ 1.33%, ตามลำดับ แต่ในไก่ที่กินเคซีน และอดอาหารจะมีการขับออกมาสูงกว่าหนู (25.76 และ 20.57%, ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังมีการนำไก่มาศึกษาคุณภาพโปรตีนโดยตรง โดยวัดจากอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไนโตรเจนในซาก ดังรายงานของ Lilburn *et al.* (1997) ที่ศึกษาคุณภาพโปรตีนของเศษเหลือทิ้งจากโรงฟักเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง โดยใช้ไก่อายุ 7 วัน บันทึกอัตราการเจริญเติบโต แล้วคำนวณค่า PER และ NPR รวมทั้งนำซากมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนเพื่อคำนวณค่า NPU ด้วย พบว่า ค่า PER และ NPU ของเศษเหลือทิ้งจากโรงฟักมีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลือง (2.3.0 vs. 2.16% และ 51.0 vs. 50.0%, ตามลำดับ) แต่มีค่า NPR ต่ำกว่า คือมีค่าเท่ากับ 2.82 vs. 2.91% ตามลำดับ