บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดแถบภาคตะวันออกของทวีปเอเชีย จัดอยู่ใน Family Legumisoseae และ Subfamily Papilionodeae มีชื่อวิทยาศาสตร์ต่างๆ กันเช่น Glycine hispida , Soja max , Phaseolus max เป็นต้น แต่ชื่อที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ Glycine max ส่วนชื่อสามัญที่เรียกต่าง ๆ กันไปเช่น Soja bean , Soyabean , Chinese pea , Manchurian bean และ Soybean

คุณค่าทางโภชนะของเมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท น้ำและฟอสฟอลิพิด โดยประมาณ คือ 42.0 , 19.0 , 26.0 , 11.0 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในส่วนของ phospholipids สามารถแบ่งแยกส่วนประกอบที่สำคัญได้ดังนี้คือ Phosphatidylcholine , Phosphatidylinositol , Phosphatidylethanolamine และ Phosphatidylserine โดย Phospholipids นี้จะมี Phosphatidyl choline เป็นส่วนประกอบหลัก ในเมล็ดถั่วเหลืองดิบมีสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของอาหารหรือสารขัดขวางโภชนะ (Antinutritional substances) หลายชนิดด้วยกันได้แก่ สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) ไปขัดขวางการย่อยโปรตีนในทางเดินอาหารทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลง ฮีมแอกกลูตินนิน (Heamaglutinins) ไปจับตัวกับเม็ดเลือด ทำให้ความสามารถในการพาสารอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายลดลง ซาโปนิน (Saponins) มีผลทำให้เม็ดเลือดแดงสลายตัว และสารชักนำให้เกิดโรคคอหอยพอก (Goitrogenic factor) ไปขัดขวางการทำงานของต่อมไทรอยด์ และเหนี่ยวนำให้เกิดโรคคอหอยพอก (Turner and Liener, 1975; Yen *et al.*, 1977; Liener, 1980)

กากถั่วเหลือง (Soybean meal)

กากถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากการนำเมล็ดถั่วเหลือง มาสกัดไขมันออกโดยกรรมวิธีที่สำคัญ เช่น วิธีกล ใช้แรงดันจากการอัดเกลียว (Screw pressure) หรือโดยวิธีการใช้สารเคมี (Solvent extraction) ทั้งนี้กากถั่วเหลืองที่ใช้กันโดยทั่วไปที่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนในสัตว์ ส่วนใหญ่ได้มาจากขบวนการสกัดไขมันออกด้วยสารเคมี (Tait and Beames, 1988; Church , 1991)

วิธีการสกัดน้ำมันโดยสารเคมีได้แสดงโด ย Mounts *et al.* (1987) สรุปโดยย่อดังนี้ คือ (1) ทำความสะอาดเมล็ดกระเทาะเมล็ดและนำเปลือกออก (2) อบเมล็ดให้มีความร้อนระหว่าง 74-79 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และควบคุมให้มีความชื้นระหว่าง 9.5-10.5 เปอร์เซ็นต์ (3) รีดเมล็ดให้เป็นแผ่นบาง 0.25 มิลลิเมตร (4) สกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Trichloroethylene (5) ระเหยตัวทำละลายออก (6) ทำความสะอาดด้วยความร้อนประมาณ 115 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 197-204 kilopascal เป็นเวลา 15 นาที

กากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีนั้นในระหว่างขบวนการผลิตจะต้องได้จากการใช้ความร้อน ความชื้น และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้เมล็ดถั่วเหลือง สุกพอดี สามารถทำลายสารขัดขวางการใช้ประโยชน์อาหารหรือสารยับยั้งโภชนะชนิดต่าง ๆ มีปริมาณเหลือต่ำที่สุด หรือถูกทำลายจนหมดสิ้นและที่สำคัญที่สุดคือโปรตีนจากถั่วเหลืองจะต้องมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อตัวสัตว์ (Availability) สูงสุด จึงเป็นกากถั่วเหลืองที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งของโปรตีนในการเลี้ยงสัตว์ให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด (Vandergrift *et al.*, 1983; Rudolph *et al.*, 1983; Vandergrift, 1985; ; Chang *et al.*, 1987)

แต่อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองที่เหมาะสม ในแต่ละโรงงานยังมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ให้ได้น้ำมันออกมามากที่สุด กากถั่วเหลืองที่เป็นผลพลอยได้จึงมีคุณภาพแตกต่างกันไป (Vandergrift, 1985)

Hansen *et al.* (1987) ได้รวบรวมกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันจากโรงงานต่างๆนำมาผลิตกากถั่วเหลืองซึ่งสามารถแบ่งคุณภาพเป็น 3 ระดับคือ เกือบสุก (Under cooking) สุกพอดี (Normal cooking) และสุกเกินพอดี (Over cooking) โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิระหว่าง 99-115 องศาเซลเซียส และเวลาระหว่าง 18-55 นาที รายงานว่า กากถั่วเหลืองที่ผลิตได้ทั้ง 3 กรรมวิธี มีสารยับยั้งทริปซินอยู่ระหว่าง 5.3-1.6 มิลลิกรัม/กรัม(น้ำหนักสด) มีค่ายูเรียเอส แอคติวิตี (Urease activity) อยู่ระหว่าง 0.19-0.01 มิลลิกรัม/กรัม และค่าดัชนีละลายน้ำของไนโตรเจน (Nitrogen solubility indexes) อยู่ระหว่าง 27.8-12.5 เปอร์เซ็นต์และนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดลองกับสุกรรุ่นจำนวน 458 ตัวพบว่าคุณภาพของกากถั่วเหลืองที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกรแต่อย่างใด

McNaughton *et al.* (1981) และ Hansen *et al.* (1987) ได้สรุปว่า กากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีจะต้องมีปริมาณสาร ยับยั้งทริปซิน น้อยกว่า 5.3 มิลลิกรัม/กรัม (น้ำหนักสด) และค่ายูเรียเอส แอคติวิตี น้อยกว่า 0.19 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยและให้ประสิทธิภาพในการผลิตสุกรได้สูงสุด

คุณค่าทางโภชนะของกากถั่วเหลือง

กากถั่วเหลืองมีโปรตีน 43-51 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 3-6 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 5-6 เปอร์เซ็นต์ แป้งรวม 29-31 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่เป็นประโยชน์ได้ (Metabolizable energy) 3300-3500 กิโลแคลอลี่/กิโลกรัม แคลเซียม 0.25-0.30 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.50-0.63 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัดน้ำมัน (De mol, 1992)

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งเสริมโปรตีนที่ดีอย่างหนึ่งเพราะมีโปรตีนสูงและยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อยู่ในปริมาณสูงหลายชนิด ได้แก่ ไลซีน 2.77-3.19 เปอร์เซ็นต์ ทรีโอนีน 1.66-1.91 เปอร์เซ็นต์ และ ทริปโตเฟน 0.54-0.64 เปอร์เซ็นต์ (Tanksley *et al.*, 1981; Rudolph *et al.*, 1983; Vandergrift *et al.*, 1983; Chang *et al.*, 1987; NRC, 1988) แต่ถ้านำไปผสมอาหารสัตว์สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวจำเป็นต้องเสริม กรดอะมิโน ไลซีน และ เมทไทโอนีน ซึ่งสุกรต้องการสูงและมักจะขาดในสูตรอาหาร กากถั่วเหลืองสามารถเป็นแหล่งโปรตีน ในสูตรอาหารสุกรได้สูงสุด 250 กิโลกรัมต่อตัน (McDonald *et al.*, 1988)

ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full – fat soybean)

เป็นขบวนการผลิต โดยให้ความร้อนแก่ถั่วเหลืองเมล็ด เพื่อทำลายสารพิษตัวยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) อีกทั้งทำให้แป้งในเมล็ดถั่วเหลืองย่อยได้ง่ายขึ้น การให้ความร้อนอาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออาหารได้รับแรงอัดและการเสียดสีแล้วจะเกิดความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นเพียงพอที่จะทำให้อาหารนั้นสุกได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกระบอกอัดจะมี อุณหภูมิสูงถึง 145 – 180 องศาเซลเซียส อาหารใช้เวลาเดินทางในกระบอกอัดเพียง 20 วินาทีเท่านั้น

ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full-fat soybean) เป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานระดับสูงมากคือให้ไขมันเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำไปผสมอาหารสัตว์ก็จะเป็นแหล่งให้ โภชนะดังต่อไปนี้

1. พลังงานเพื่อการดำรงชีพ การทำงานของอวัยวะต่างๆ การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 81 - 85 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดลิโนเลอิคประมาณ 51 - 53 เปอร์เซนต์กรดโอเลอิคและกรดลิโนเลนิคประมาณ 7 - 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันจำเป็นต้องมีในอาหารเพราะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร

3. มีสารเลซิทิน ประมาณ 1.5 - 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในสารประกอบเลซิทินมีสารฟอสฟาไทด์ ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของระบบประสาทและสมอง และจำเป็นต่อการเคลื่อนย้ายและการดูดซึมไขมันทำให้การใช้ประโยชน์ของไขมันดีขึ้น สารเลซิทินนี้สามารถใช้เป็นสารป้องกันการหืนโดยธรรมชาติ

4. มีระดับธาตุซัลเฟอร์ค่อนข้างสูงมากซึ่งสามารถให้หมู่ไฮโดรซัลไฟด์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบและใช้เป็นแหล่งทดแทนเมทไธโอนีนในสูตรอาหารได้ และยังมีไวตามินอีในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ นอกจากนี้ปริมาณของกรดโฟลิค ไบโอตินและโคลีน อยู่ในปริมาณที่มากพอสมควร การใช้ ถั่วเหลืองไขมันเต็ม จะสะดวกในการผสมอาหารมากกว่าการใช้กากถั่วเหลืองร่วมกับไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งต้องใช้เครื่องมือในการสเปรย์ ไขมันหรือน้ำมันเพื่อให้กระจายทั่วในอาหาร (Mustakas *et al,* 1964)

Mustakas *at al.* (1964) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของถั่วเหลืองไขมันเต็ม ในการเก็บรักษาโดยการวัดกรดไขมันอิสระ โอลีอิคและค่าเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิและความชื้นในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันทั้งในสภาพที่ใช้และไม่ใช้สารกันหืนผลการศึกษาพบว่า ระดับกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ ไม่เปลี่ยนแปลงจนถึง 9 สัปดาห์ ซึ่งแสดงว่าถั่วเหลืองนั้นได้รับการป้องกันจากโทโคเฟอรอลธรรมชาติที่มีในถั่วเหลือง แต่หลังจาก 15 สัปดาห์ระดับของเปอร์ออกไซด์เริ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บโดยไม่ใช้สารกันหืน

น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

ได้จากการนำเอาผลของปาล์มน้ำมันมาบีบหรืออัดเอาน้ำมันออก การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์มน้ำมัน สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์ม โดยไม่ได้กระเทาะเปลือกออก น้ำมันปาล์มที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดีนัก

2. การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์มโดยทำการกระเทาะเปลือกออกก่อนน้ำมันปาล์มที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีแรก น้ำมันจะได้มาจากเยื่อชั้นกลาง (Mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน

ชนิดของปาล์มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมี 3 ชนิดคือ Dura, Pisifera และ Tenera ซึ่งประเทศมาเลเซียเป็นผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดในโลก มีปริมาณการผลิตอยู่ที่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณรวมทั้งหมด พันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในมาเลเซีย คือ พันธุ์ Tenera

สิ่งเจือปนที่พบในน้ำมันปาล์มดิบสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้คือ

1. กลุ่ม Hydrolytic ได้แก่ ความชื้น , ฝุ่นผง , กรดไขมันอิสระ , เอนไซม์ และ กลีเซอไรด์

2. กลุ่ม Oxydative ได้แก่ โลหะ, Oxydation product, Tocopherols, Phosphatides และสารสี

3. กลุ่ม Catalyst poison ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน, ซัลเฟอร์, ฮาโลเจน นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลจากสารพวก Hydrocarbon, Terpenes, Resins, Sterols, Waxs และน้ำตาล

การกำหนดคุณภาพของน้ำมันปาล์ม จะต้องกำหนดสิ่งต่างๆ คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์ฝุ่นผง เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ, Iodine value, Peroxide value, p-Anisidine value Iron, Copper, Carotene content, Ultraviolet specific extinction, Bleachability test, Soap content (Yeong, 1981)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบส่วนประกอบทางโภชนะของ ถั่วเหลืองไขมันเต็มและกากถั่วเหลือง

โภชนะ	ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (%)	กากถั่วเหลือง (%)
โปรตีน	38	44
ไขมัน	18	1
เยื่อใย	5	7
เถ้า	4.6	6
แคลเซี่ยม	0.25	0.25
ฟอสฟอรัส	0.20	0.20
พลังงาน (kCal/kg)	3540	2825
ไลซีน	2.4	2.73
เมทไธโอนีน	0.54	0.59
เมทไธโอนีน+ซิสตีน	1.09	1.26
ทริปโตเฟน	0.52	0.59
ไอโซลูซีน	2.18	2.17
อาร์จินีน	2.8	3.18
ลูซีน	2.8	3.39
เฟนิลอะลานีน+ไทโรซีน	3.3	3.82
ฮีสติดีน	1.01	1.11
เวลีน	2.02	2.24

ที่มา : Waldroup *et al.* (1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์ม (%)	น้ำมันถั่วเหลือง (%)
Carprylic C 8:0	4	-
Capric C 10:0	5	-
Lauric C 12:0	50	-
Myristic C 14:0	15	-
Palmitic C 16:0	7	8
Stearic C 18:0	2	4
Oleic C 18:1	15	28
Linoleic C 18:2	1	53
LinolenicC 18:3	-	6

ที่มา : Hartfiel. (1988)

บทบาทของไขมันในอาหารลูกสุกร

ลิพิด (Lipids) หมายถึงไขมันหรือสารที่คล้ายไขมันประกอบด้วย C, H, O เช่นเดียวกับพวกคาร์โบไฮเดรทแต่ไม่ได้มีสัดส่วนของธาตุทั้ง 3 ค่อนข้างคงที่เช่นในคาร์โบไฮเดรท

หน้าที่ของไขมัน

1. เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เมื่อร่างกายได้รับอาหารมากเกินพอจะเปลี่ยนเป็นพลังงานเก็บไว้ในรูปของไขมัน ซึ่งสามารถดึงออกมาใช้เผาผลาญให้พลังงานได้ในยามขาดแคลน
2. ทำหน้าที่เป็นฉนวน (Insulator) เก็บความร้อนให้แก่ร่างกาย
3. ช่วยในการถ่ายทอดสัญญาณไฟฟ้าในประสาท
4. ช่วยในการดูดซึมและเป็นแหล่งเก็บวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน

5. เป็นตัวให้กรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกาย (Essential fatty acid)
6. เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ (Cell membrane)
7. ช่วยในการขนส่งไขมันในเลือด

ไขมันหรือน้ำมันต่างๆ เป็นแหล่งของพลังงานที่ดีที่สุดสำหรับสัตว์ทุกชนิด ปริมาณและจำนวนของไขมันหรือน้ำมันที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสำหรับลูกสุกร ในอาหารลูกสุกรสามารถเพิ่มระดับของไขมันหรือน้ำมันได้ถึง 3-5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันในน้ำนมแล้วยังต่ำกว่ามากคือในน้ำนมแม่สุกรมีไขมันเป็นส่วนประกอบสูงมากคือ 7.8 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นไขมันที่มีการย่อยได้สูง

Anonymous. (1986) กล่าวว่าลูกสุกรที่มีการเจริญเติบโตเร็วจะมีความอยากกินอาหารสูงมากในช่วงนี้ลูกสุกรจะมีความจุของกระเพาะน้อยไม่เพียงพอและเป็นช่วงที่ลูกสุกรต้องการพลังงานสูง เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในขณะที่ความจุและความหนาแน่นของอาหารมีน้อยมีผลทำให้ลูกสุกรได้รับพลังงานไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

Thaler *et al.*,(1988) กล่าวว่าการเพิ่มไขมันในอาหาร ทำให้สมรรถภาพของลูกสุกรก่อนหย่านมสูงขึ้น ประสิทธิภาพและผลที่ได้รับจากการเพิ่มไขมันในอาหารคือได้แหล่งพลังงานที่ดีที่สุดซึ่งมีค่า Gross energy โดยประมาณ 2.25 เท่าของคาร์โบไฮเดรท

Eusebio *et al.*,(1965) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุของลูกสุกรและการย่อยได้ที่แท้จริงของไขมัน ลูกสุกรที่ยังเล็กหรืออายุยังน้อยจะย่อยอาหารไขมันได้ต่ำกว่าลูกสุกรที่มีอายุมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การกินอาหารของสัตว์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 25 องศาเซลเซียสหรือมากกว่านี้ อาหารที่มีการเสริมไขมันจะทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (Nichols *et al.*, 1980)

Thaler *et al.*,(1988) ได้ศึกษาสมรรถภาพของลูกสุกรในช่วง 0 - 5 สัปดาห์ ชี้ให้เห็นว่าการที่ระบบการย่อยอาหารยังเจริญไม่เต็มที่ เมื่อทำการเสริมไขมันระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากไขมันแหล่งต่างๆ ลงในอาหารช่วง 1 และ 2 สัปดาห์แรกของการทดลองให้ผลออกมาทางลบของการทดสอบค่าพารามิเตอร์แต่สำหรับการทดลองทั้งหมด 5 สัปดาห์ การเพิ่มไขมันมีผลทำให้สมรรถภาพของลูกสุกรสูงขึ้น โดยเฉพาะช่วงสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป

Cera *et al.*, (1988a); Cera *et al.*, (1989) และ Li *et al.*, (1990) พบว่าการใช้ประโยชน์ของอาหารไขมันของลูกสุกรค่อนข้างจำกัด เพราะว่าความพร้อมของระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารไขมันมีต่ำ โดยเฉพาะปัญหาเกิดขึ้นกับลูกสุกรช่วงหลังหย่านม 1 - 2 สัปดาห์ซึ่งจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำแต่จะเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 หลังจากหย่านม

การย่อยไขมัน

ในสุกรการย่อยไขมันจะเริ่มเกิดขึ้นที่กระเพาะโดยที่กระเพาะจะช่วยทำให้เม็ดอาหารแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นก็จะผ่านไปยังลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) โดยไขมันส่วนใหญ่จะถูกย่อยในบริเวณนี้ ซึ่งมีน้ำย่อย Pancreatic lipase ที่ขับออกมาจากตับอ่อนมาย่อยก่อนที่จะมีการย่อยไขมันทั้งหมดที่อยู่ใน Duodenum จะถูกรวมเข้ากับน้ำดีเพื่อช่วยในการกระจายไขมันให้แตกตัว เพิ่มพื้นที่ผิวมากขึ้นน้ำย่อยเข้าทำงานได้ง่ายขึ้น ทำให้การย่อยได้สูงขึ้น (O ' Doherty *et al.*,1973)

การดูดซึมไขมัน

การดูดซึมไขมันจะเริ่มเกิดขึ้นในลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) เมื่อไขมันถูกย่อยแล้วจะสัมผัสกับผนังของลำไส้เล็กที่เรียกว่า Microvillus membrane จากนั้นก็กระจายเข้าไปยัง Mucosal cell กรดไขมันที่มีสายโซ่สั้นๆ (Short chain) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน น้อยกว่า 10 อะตอม จะถูกดูดซึมผ่านเข้าไปยังเส้นเลือดดำใหญ่ ไปยังอวัยวะต่างๆในร่างกาย เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป ส่วนกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (Longer chain) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน มากกว่า 10 อะตอม ไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กได้มันจึงเปลี่ยนรูปไปเป็น Triglyceride แล้วเข้าไปยังระบบท่อน้ำเหลืองโดยอาศัยเกาะไปกับ Lipoprotein เป็นตัวนำพาเข้าไปยังเส้นเลือดดำใหญ่ไปยังอวัยวะต่างๆเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป น้ำดีและ Lecithin หรือ Choline ก็จะซึมผ่านลำไส้เล็กซึ่งมันมีบทบาทสำคัญในการช่วยเคลื่อนย้าย Triglyceride และช่วยกระจายกรดไขมันเหล่านี้ให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นสำหรับที่จะทำให้ Chylomicron ห่อหุ้มและพาเข้าไปยังระบบท่อน้ำเหลือง และเส้นเลือดดำใหญ่ได้มากขึ้น (O ' Doherty *et al.*,1973)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของไขมัน

การย่อยได้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญและช่วยเสริมฤทธิ์กันระหว่างแหล่งของไขมันและกรดไขมันแต่ละตัว การย่อยได้ของไขมันที่มาจากแหล่งของกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งจะมีมากในไขมันสัตว์ จะมีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ต่ำกว่าไขมันที่มาจากแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งได้แก่น้ำมันจากถั่วเหลือง ระดับของการเสริมฤทธิ์กันให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งจะทำให้การย่อยได้ดีขึ้น ต้องมีอัตราส่วนต่ำกว่า 1.5 : 1 (Wiseman, 1984)

จุดหลอมเหลวของไขมันจะมีอิทธิพลต่อการย่อยได้ กรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะมีการย่อยได้ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (Sundstol,1974)

การใช้ประโยชน์ของไขมันจากสุกรที่มีอายุน้อย

การใช้ประโยชน์ของไขมันจากสุกรที่มีอายุมาก จะมากกว่าสุกรที่มีอายุน้อย เนื่องจากสุกรที่มีอายุมากจะมีพื้นที่ความจุของกระเพาะมากและมีประสิทธิภาพการย่อยอาหารสูงกว่าสุกรที่มีอายุน้อย (Kidder and Manners, 1978)

สาเหตุที่ทำให้การใช้ประโยชน์ของไขมันกับสุกรมีอายุน้อยไม่บรรลุตามวัตถุประสงค์คือ

1. อายุของสุกรที่นำเข้าทดลอง อายุอาจจะน้อยเกินไป ซึ่งความสามารถของสุกรที่จะใช้ประโยชน์จากไขมันได้ต่ำในช่วงหลังหย่านมใหม่ ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ระบบการย่อยอาหารมีความพร้อมที่จะย่อยไขมันได้น้อย (Cera *et al.* 1988 a,b,c)

2. ความแตกต่างของอัตราส่วนพลังงาน : โภชนะของอาหาร อัตราส่วนของพลังงาน : โปรตีนในอาหารจะไม่แน่นอนเมื่อมีการเพิ่มของไขมันลงไป

Endres *et al.* (1988) รายงานว่า ไม่มีความแตกต่างกันในการใช้ประโยชน์ของไขมันระหว่างสุกรที่มีอายุน้อย (28วัน) ซึ่งอาหารประกอบด้วยไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่มีไขมัน

3. การผลิตอาหารโดย Pettigrew *et al.*, (1989) รายงานว่า อาหารในกลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีการเพิ่มไขมันโดยเฉพาะอาหารที่ประกอบด้วย ผลผลิตของนม ซึ่งเป็นก้อนแข็งและทำให้เกรียมอย่างง่ายซึ่งจะมีความเหมาะสมของไลซีนต่ำ ถ้าจะเพิ่มในเรื่องสมรรถภาพของสุกร เมื่อมีการปรับระดับของไลซีนให้เหมาะสมจะให้ผลตอบสนองค่อนข้างดีกว่าไขมัน

4. ระดับและแหล่งของไขมัน การใช้ประโยชน์ของไขมันจากสุกรที่มีอายุน้อยแหล่งของไขมันที่นำมาใช้จะมีอิทธิพลมาก เพราะว่าทำให้ประสิทธิภาพของการย่อยได้น้อยลงสุกรที่มีอายุน้อยโดยทั่วไปประสิทธิภาพ การใช้ไขมันจากสัตว์จะน้อยกว่าไขมันจากพืช (Frobish *et al.*, 1970; Cera *et al.*, 1988a และ Li *et al.*, 1988 a) การย่อยได้ของไขมันจะต่ำในช่วงหย่านม โดยเฉพาะช่วงแรกๆ ของการหย่านมจะพบปัญหาสูงมาก (Leibbrandt *et al.*, 1975; Cera *et al.* 1988a) และจะเพิ่มขึ้นช่วงหลังจากหย่านม (Cera *et al.*,1988a)

การย่อยได้ของไขมันต่ำอาจจะเป็นผลของปัจจัยต่าง ๆ คือ

1. pH ในลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) ต่ำ pH ในลำไส้เล็กของสุกรที่มีอายุน้อยจะพบว่าต่ำกว่า 6.0 ซึ่งต่ำและห่างจาก pH ที่อยู่ในภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย่อย Pancreatic lipase คือ 8.0 – 9.0 เมื่อ pH ในลำไส้เล็กต่ำจะทำให้การทำหน้าที่ของ Pancreatic lipase ถูกจำกัด (Kidder and Manners, 1978)

2. การขับและการทำงานของ Enzyme ไม่พอเพียง

Hartman *et al.*, (1961) ; Scherer *et al.*, (1973); Corring *et al.*, (1978) และ Lindemann *et al.*, (1986) รายงานว่า การทำงานและการขับ Pancreatic lipase ในเนื้อเยื่อตับอ่อนเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังหย่านมน้ำย่อย Pancreatic lipase จะลดลงโดยเฉพาะการทำงานจะลดลงในระหว่างสุกรกำลังหย่านม

Scherer *et al.*, (1975) พบว่าน้ำย่อย Pancreatic lipase จะลดลงในช่วงหลังหย่านม และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 4 สัปดาห์หลังหย่านม

3. การพัฒนา Villi ในลำไส้เล็กไม่ดี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างสันฐานวิทยาของลำไส้เล็ก อาจจะทำให้มีผลต่อการย่อยได้ไขมันของลูกสุกรได้

Cera *et al.*, (1988b) พบว่าความยาวของ Villus จะลดลงในช่วงหลังหย่านม เมื่ออาหารมีการเสริมด้วยน้ำมันข้าวโพด เมื่อ Villus ลดลงทำให้การดูดซึมลดลงไปด้วย

4. การทำงานของโปรตีนร่วมกับกรดไขมันลดลง

Reinhart *et al.,* (1989) พบว่าการทำงานของโปรตีน ซึ่งจับกับกรดไขมันจะลดลงอย่างฉับพลันหลังหย่านมแต่จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากหย่านม 2 สัปดาห์เป็นต้นไป

5. ระดับของแคลเซียมสูง อาหารลูกสุกรที่มีส่วนประกอบของระดับแคลเซียมสูง ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในลำไส้เล็ก อาจจะมีผลทำให้การดูดซึมไขมันลดลง Kidder and Manners, (1978)และ Attech and Lesson, (1983)

การย่อยได้ของไขมันที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย

การวัดค่าของการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก จะได้ค่าโดยประมาณของไขมันและกรดไขมันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดค่าการย่อยได้รวมทั้งระบบของทางเดินอาหาร (Carlson and Baylay ,1968) การหาการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก ซึ่งได้ค่าโดยประมาณแม่นยำกว่า ซึ่งเป็นผลของ เลซิทินที่ช่วยทำให้ไขมันแตกตัวและกระจายทำให้การย่อยได้ของไขมันและกรดไขมันบางตัวดีขึ้น ไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารสุกร และประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์อาจจะทำให้มากขึ้นจากการเสริมเลซิทิน ในอาหารสุกรมากขึ้นในอนาคต

ความแตกต่างผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลตอบสนองของการเพิ่มไขมันในอาหารต่อการย่อยและการดูดซึมกรดไขมันที่เติมลงไปและที่อยู่ในอาหาร (Bayley and Lewis, 1965) จุดหลอมเหลว (Calloway *et al,* 1956) อัตราส่วนระหว่างพลังงานกับกรดอะมิโน (Allee *et al.,* 1971) อายุสุกร (Cera *et al.,* 1988b) และแหล่งของไขมันที่ผสมลงในอาหาร (Hamilton and McDonald, 1969, Frobish *et al.,* 1970 และ Cera *et al.,*1988a)

เลซิทิน (Lecithin)

Lecithin หรือบางทีเรียกว่า Phosphatidylcholine จัดอยู่ในกลุ่ม Phospholipids หมายถึง Lipids ที่มีกรดไขมันจับกับแอลกอฮอล์และมีกรดฟอสฟอริค (Phosphoric acid) เป็นองค์ประกอบโดยแอลกอฮอล์นั้นอาจจะอยู่ในรูปของ Glycerol หรือ Sphingosines ก็ได้

Phospholipids มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ Phosphatidylcholine , Phosphatidyl ethanolamine และ Phosphatidylinositol โดยที่ในจำนวนนี้จะมี Phosphatidylcholine เป็นส่วนประกอบหลัก ความบริสุทธิ์ของ Lecithin จะยึดค่าของ Phospholipids เป็นหลักถ้ามีค่ามากถือว่ามีความบริสุทธิ์มาก

โมเลกุลของ Lecithin (Phosphatidylcholine) มี Phosphate ester ซึ่งเป็นส่วนหัว (Polar head group) เป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และ ส่วนหางที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar Tail) เป็นส่วนของกรดไขมันที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ดังนั้น Lecithin จึงทำหน้าที่เป็น Emulsifying agent คือ ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ แขวนลอยอยู่ได้ทั้งในน้ำและในไขมัน จึงมีผลช่วยในการย่อยและดูดซึมของไขมันให้ดีขึ้น นอกจากนั้นใน เลซิทิน ยังมีธาตุอาหาร วิตามิน และกรดไขมันบางชนิดเป็นส่วนประกอบ ซึ่งธาตุอาหารจะประกอบด้วยทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารหลักได้แก่ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ธาตุอาหารรองได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส ส่วนวิตามินที่เป็นส่วนประกอบสำคัญได้แก่ โคลีน อิโนซิทอล และเอททะโนลามีน กรดไขมันมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) กรดไขมันอิ่มตัวได้แก่ Palmitic acid (16:0)และ Stearic acid (18:0) กรดไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่ Oleic acid (18:1) Linoleic acid (18:2) และ Linolenic acid (18:3) ซึ่งใน เลซิทิน ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงทำให้สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก จากการที่เลซิทินมีส่วนประกอบของธาตุอาหาร วิตามิน และกรดไขมันต่างๆ มีผลช่วยทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีขึ้นได้อีกด้วย

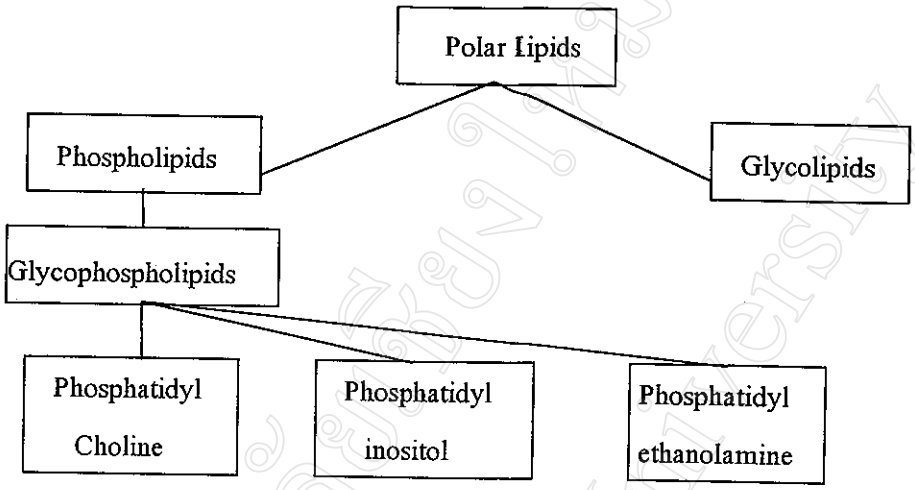
Phospholipids มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 3 กลุ่มดังต่อไปนี้คือ

1. Phosphatidylcholine (Lecithin) คือกลุ่ม Phosphate ในกรด Phosphatidic ไปจับกับ Choline

1. Phosphatidylinositol คือกลุ่ม Phosphate ในกรด Phosphatidic ไปจับกับ inositol

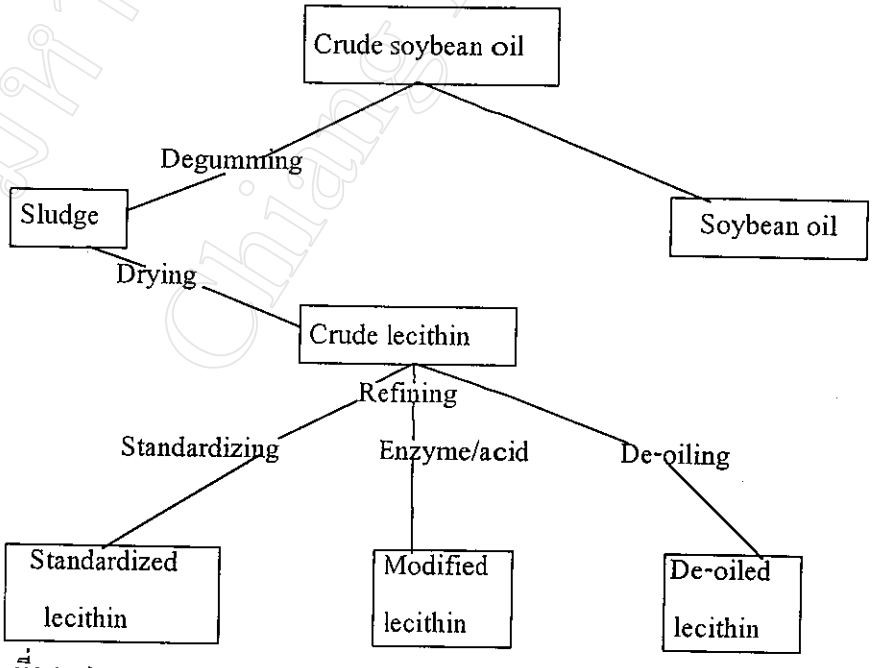
2. Phosphatidylethanolamine คือกลุ่ม Phosphate ในกรด Phosphatidic ไปจับกับ ethanolamine

ภาพที่ 1 การแบ่ง Polar lipids



ที่มา : Paltagf and Hermetter. (1990)

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิต Lecithin



ที่มา : Lucas Meyer Ltd. (1995)

แบ่งชนิดของ Lecithin ตามขบวนการผลิต

1. Crude lecithin
2. Modified lecithin
3. Standard lecithin
4. De-oiled lecithin

เลซิทินที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด

1. De-oiled lecithin เป็นเลซิทินที่ทำให้บริสุทธิ์ ด้วยวิธีการขจัดเอาไขมันออกให้ได้มากที่สุด หรือบางทีเรียกว่า Pure lecithin มีค่า Phospholipids ประมาณ 96.9 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 7230 kCal/kg

2. Single modified lecithin เป็นเลซิทินที่ปรับปรุงขึ้นมาโดยใช้ Phospholipase ครั้งหนึ่ง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้มีศักยภาพช่วยละลายและกระจายไขมันให้ดีขึ้นมีค่า Phospholipids ประมาณ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 6965 kCal/kg

3. Double modified lecithin เป็นเลซิทินที่ผ่านขบวนการเช่นเดียวกับ Single modified lecithin แต่ใช้ Phospholipase หลายครั้ง เลซิทินชนิดนี้อยู่ในรูปของเหลว มีค่า Phospholipids ประมาณ 57.0 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 7697 kCal/kg (Lucas Meyer Ltd, 1995)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบส่วนประกอบของ Sludge และ Crude lecithin

	Sludge (%)	Crude lecithin (%)
Polar lipids	33	60-70
Soybean oil	12	27-37
Moisture	53	0.5-1.5
Impurities	2	0.5-2.0

ที่มา : Hertrampf. (1992)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบส่วนประกอบของ Lecithin แต่ละชนิด

	Standard lecithin (%)	Modified lecithin (%)	De-oiled lecithin (%)
Total Phospholipids	62	56	98
Phosphatidylcholine	15	12	23
Phosphatidylinositol	13	10	19
Phosphotidylethanolamine	14	9.5	21
Other Phospholipids, Glycolipids			
Phosphatidic acid	20	24.5	35
Soy bean oil,other substances	38	44	2

ที่มา : Ziegelitz. (1990)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบส่วนประกอบของ Crude lecithin และ Pure lecithin

	Crude lecithin (Oily) (%)	Pure lecithin (Powder,granules) (%)
Total Phospholipids	65	98
Phosphatidylcholine	15	23
Phosphatidylinositol	13	19
Phosphatidylethanolamine	14	21
Other phospholipids	10	15
Phosphatidic acid	4	6
Glycolipids	9	14
Oil and other substances	35	2

ที่มา: Ziegelitz. (1990)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของกรดไขมันในเลซิทินคิดจากเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

	Crude lecithin (%)	Pure lecithin (%)
Palmitic acid (16:0)	15.6	20.3
Stearic acid (18:0)	4.7	4.6
Total saturated	20.3	24.9
Oleic acid (18:1)	17.9	9.2
Linoleic acid (18:2)	54.0	58.9
Linolenic acid (18:3)	6.7	7.0
Total unsaturated	78.6	75.1
Ratio unsaturted:saturated	3.9:1	3.0:1

ที่มา : Schafer and Wywiol. (1986)

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักในเลซิทิน

	Crude lecithin (%)	Pure lecithin (%)
Phosphorus	2.00	3.00
Potassium	0.44	0.80
Calcium	0.04	0.07
Magnesium	0.06	0.09
Sodium	0.01	0.03

ที่มา : Schafer and Wywiol. (1986)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบของธาตุอาหารรองในเลซิทิน

	Crude lecithin (ppm)	Pure lecithin (ppm)
Aluminium	26.0	16.5
Iron	67.0	52.0
Boron	10.0	12.8
Copper	0.5	2.4
Zine	12.2	23.7
Manganese	1.0	1.5

ที่มา : Schafer and Wywiol. (1986)

บทบาทของเลซิทิน ในอาหารลูกสุกร

ปกติอาหารพวกไขมันจะถูกย่อยในลำไส้เล็ก โดยมีน้ำดีเป็นอิมัลซิฟายเออร์ในลำไส้เล็ก และช่วยในการกระจายทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำย่อย Pancreatic lipase ที่ขับออกมาจากตับอ่อนเข้าย่อยไขมันได้มากขึ้น มีผลทำให้การย่อยและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็กได้มากขึ้นด้วย (Cheeke, 1987)

Avogaro *et al.*, (1983) กล่าวว่าประมาณ 15 เปอร์เซนต์ ของน้ำดีจะมีพวก Phospholipids ประกอบอยู่ซึ่งใน Phospholipids นี้ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ คือ Phosphatidylcholine (Lecithin)

Phosphatidylcholine ยังช่วยในการเคลื่อนย้ายกรดไขมัน โดยจะสามารถเคลื่อนย้ายออกจากตับในรูปของ Triglyceride ที่อยู่ใน Lipoprotein เมื่อมี Phosphatidylcholine ไม่เหมาะสมจะทำให้ไม่สามารถนำ Triglyceride ออกจากตับได้ จะทำให้ไขมันแทรกซึมที่ตับทำให้เกิด Fatty liver syndrome (Zeisel, 1990)

Lucas Meyer Ltd. (1981) พบว่า เลซิทินมีศักยภาพทำให้อาหารพวกไขมันมีการย่อยได้สูงขึ้น เนื่องจากช่วยทำให้ไขมันกระจายตัวคงที่สม่ำเสมอ ให้อยู่ในรูปที่สะดวกและง่ายแก่การย่อยของน้ำย่อย Pancreatic lipase ทำให้การย่อยและการดูดซึมไขมันเพิ่มขึ้น มีการนำเอากรดไขมันเข้าไปใน Micellar มากขึ้น

Heller. (1963) รายงานว่าการเสริม De-oiled lecithin 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกสุกร ทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์ 18.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของลูกสุกรแต่ละตัวในช่วงนี้เท่ากับ 7.24 กิโลกรัม ในขณะที่ลูกสุกรที่ได้รับอาหารปกติมีน้ำหนักต่อตัวเท่ากับ 6.11 กิโลกรัม

Sirotkin. (1962) ได้ทดลองให้ Phospholipids 1.25 กรัมต่อวันต่อน้ำหนักลูกสุกร 1 กิโลกรัม มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) เพิ่มขึ้น 37.1 เปอร์เซ็นต์ และอัตราแลกเนื้อ (FCR) ดีขึ้น 28.1 เปอร์เซ็นต์

Poleacu *et al.*, (1974) ได้ทดลองให้อาหารที่เสริม เลซิทินที่ได้จากถั่วเหลือง (ซึ่งมีค่า Phospholipids ประกอบอยู่ 55 - 60 เปอร์เซ็นต์) ในระดับ 0, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับลูกสุกรหลังหย่านม จนถึงอายุ 72 วัน ใน 30 วันแรก ลูกสุกรจะให้ผลตอบสนองมากกว่าในช่วงหลังจนถึง 72 วัน และพบว่าการใช้ เลซิทิน ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่เสริมลงในอาหารอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้สมรรถภาพของลูกสุกรดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมที่ระดับ 2.0 เปอร์เซ็นต์

Jin *et al.*, (1998) ได้ศึกษาการใช้ไขมันจากแหล่งต่าง ๆ คือ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันข้าวโพด, น้ำมันถั่วเหลือง, ไขสัตว์และไขสัตว์เสริมเลซิทิน ในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ในลูกสุกรหลังหย่านม (อายุ 21 วัน) น้ำหนักเฉลี่ย 5.8 กิโลกรัม ใช้เวลาทดลอง 3 สัปดาห์ ผลของการเจริญเติบโต ADG, ADFI, FCR และการย่อยได้ของโภชนะ (GE, DM, EE, CP) ของลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันจากพืชและไขสัตว์เสริมด้วย Lecithin ดีกว่าลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่ผสมด้วยไขสัตว์อย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สารบ่งชี้ (Marker)

การศึกษาการย่อยได้ ส่วนใหญ่มักใช้สารบ่งชี้ร่วมกับอาหารทดลอง เนื่องจากช่วยให้ทราบการเคลื่อนตัวของอาหารผ่านแต่ละจุดของระบบทางเดินอาหาร รวมถึงปริมาณโภชนะที่หลงเหลือจากการย่อยและดูดซึม ที่ทั้งระบบทางเดินอาหารและสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาการย่อยได้สิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก ในสุกรที่ผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างที่ปลายลำไส้เล็ก (Simple T-cannular) ไม่สามารถเก็บตัวอย่างที่ผ่านมาทั้งหมดได้ แต่ถ้าใช้สารบ่งชี้ในอาหารช่วยแล้ว สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารบ่งชี้ที่พบจากตัวอย่างอาหารสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็ก เปรียบเทียบกับปริมาณที่พบจากอาหารที่กินได้ จะสามารถนำไปคำนวณปริมาณโภชนะที่แท้จริงที่หลงเหลือจากการย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็ก วิธีการใช้สารบ่งชี้นี้สามารถใช้ได้กับการศึกษาการย่อยได้ทั้งระบบทางเดินอาหารได้เช่นกัน

Maynard *et al.* (1979) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติที่ดีของสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้คุณหรือโทษเมื่อเข้าไปในระบบทางเดินอาหาร
2. ไม่มีการย่อยหรือดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร
3. ผ่านไปในระบบทางเดินอาหารในอัตราเดียวกันตลอด
4. มีการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับอาหารที่ผสม
5. วิเคราะห์ทางเคมีง่าย

วิธีการคำนวณ โภชนะที่หลงเหลือจากการย่อยและดูดซึมตัวอย่างอาหาร ที่ปลายลำไส้เล็กและปลายลำไส้ใหญ่หรือมูล จากการประเมินของสารบ่งชี้ที่ตรวจพบ โดยอาศัยทฤษฎีที่ว่า สารบ่งชี้ที่ได้รับจะไม่สูญหายไปไหนและขับออกมาทั้งหมด

สารบ่งชี้ที่นิยมใช้ในการทดลองศึกษาการย่อยได้ คือ โครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) แต่ในปัจจุบันพบว่า เป็นอันตรายเนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งได้ (Peddie *et al.*, (1982) วิธีวิเคราะห์ค่อนข้างซับซ้อนและสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ เช่น กรดเปอร์คลอริก (Perchloric acid) มีอันตรายรุนแรงต่อผู้ที่ทำการวิเคราะห์ (Fenton and Fenton, 1979) ในปัจจุบันจึงเริ่มให้ความสนใจ ไทเทเนียม ไดออกไซด์ (TiO_2) มากขึ้นซึ่งมีอันตรายน้อยมากและทำการวิเคราะห์ได้ง่ายไม่ยุ่งยาก

ไทเทเนียม ไดออกไซด์ มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ สีขาว ไม่มีกลิ่นและรส และคุณสมบัติทางเคมีคือ ไม่ละลายในน้ำ HCl HNO_3 H_2SO_4 กรดแก่ และเบสแก่

Peddie *et al.* (1982) ได้ทดลองศึกษาการย่อยได้ในไก่ (Gallus domesticus) โดยใช้ ไทเทเนียม ไดออกไซด์ ในอัตรา 2 กรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักสด) อาหาร รายงานว่า ไม่มีอันตรายต่อตัวสัตว์ ไม่มีผลต่อการกินและการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนแต่อย่างใด มีปริมาณที่พบในมูล (% Recovery) 99.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ได้ง่าย โดยวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนจากวิธี Kjeldahl method

Jagger *et al.* (1992) ได้ทดลองเปรียบเทียบ ความเหมาะสมของการนำโครมิกซ์ออกไซด์และไทเทเนียม ไดออกไซด์ นำมาใช้เป็นเป็นสารบ่งชี้ในการศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนจากปลายลำไส้เล็กและปลายลำไส้ใหญ่ ในสุกรที่ผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างที่ปลายลำไส้เล็ก โดยใช้ในสูตรอาหารปริมาณ 1.0, 5.0, และ 1.0, 5.0 กรัม/กิโลกรัม อาหาร (น้ำหนักสด) ตามลำดับ รายงานว่า

1. การใช้โครมิกซ์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสูตรอาหารปริมาณ 5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่า ลดปริมาณการกินอาหารของสุกร แต่ถ้าให้สุกรได้ปรับตัวกับอาหารเป็นระยะเวลานานขึ้น สุกรจะกินอาหารได้ตามปกติ

2. การใช้โครมิกซ์ออกไซด์ และไทเทเนียม ไดออกไซด์ ในสูตรอาหาร ปริมาณ 5 และ 1 กรัม/กิโลกรัม อาหาร ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนเมื่อศึกษาสิ้นสุดที่ปลายลำไส้เล็กและทั้งระบบทางเดินอาหาร

3. โครมิกซ์ออกไซด์ ที่ใช้ในสูตรอาหาร ปริมาณ 1 และ 5 กรัม/กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ที่พบที่มูลมีค่า (74.6, 79.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ต่ำกว่า การใช้ไทเทเนียม ไดออกไซด์ (78.3, 96.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ที่ปริมาณเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดลองสรุปได้ว่า ไทเทเนียม ไดออกไซด์ ในระดับ 1 กรัม/กิโลกรัม อาหาร มีความเหมาะสมในการศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโน

ความถี่ในการเก็บตัวอย่างอาหาร (Sampling frequency)

ปัจจัยเกี่ยวข้องเนื่องจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีความสำคัญคือ การเคลื่อนตัวของอาหารจากกระเพาะไปจนออกเป็นมูลนั้นไม่มีความต่อเนื่องกล่าวคือ อาหารเคลื่อนตัวสู่กระเพาะอาหารก่อนอาจจะเคลื่อนตัวออกจากกระเพาะอาหารช้ากว่าอาหารที่เคลื่อนตัวตามมาภายหลังจนกระทั่งออกทางท่อที่สอดเก็บตัวอย่างที่ปลายลำไส้เล็กและออกมาเป็นมูล (Moor, 1957) ฉะนั้นจึงต้องเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างอาหารและสามารถใช้เป็นตัวแทนทั้งหมดของอาหารที่ผ่าน

การย่อยจากบริเวณต่างๆ ที่ศึกษาการย่อยได้ รวมถึงสารบ่งชี้ซึ่งต้องนำมาคำนวณหาปริมาณทั้งหมดที่ผ่านบริเวณดังกล่าวด้วย

Jagger *et al.* (1992) ได้เปรียบเทียบช่วงเวลาที่เหมาะสมที่เก็บตัวอย่างของไทเทเนียม ไดออกไซด์ สรุปว่า หลังจากสุกรได้ปรับตัวกับอาหารในระดับปกติและกินอาหารต่อเนื่องกันอย่างน้อย 4 วัน วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 08.00 และ 20.00 น. วันที่5 ของการทดลอง จึงเก็บตัวอย่างจากปลายลำไส้เล็กหลังจากอาหารมื้อเช้าแล้ว นาน 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง น้ำหนักประมาณ 50 กรัม และวันที่ 8 ของการทดลอง จึงเก็บตัวอย่างจากปลายลำไส้ใหญ่ เก็บตัวอย่างตลอด 24 ชั่วโมง ตัวอย่างที่เก็บได้จากปลายลำไส้เล็กและปลายลำไส้ใหญ่ เป็นตัวแทนของโภชนะที่หลงเหลือจากการย่อยและดูดซึมและเป็นตัวแทนของสารบ่งชี้ที่เหมาะสมที่สุด

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University