บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

นมเทียม (milk Replacer)

ในการเลี้ยงลูกโคหลังคลอดควรให้ลูกโคได้รับนมน้ำเหลือง (colostrum) โดยเร็วที่สุด เนื่องจากลูกโคมีภูมิคุ้มกันโรคในร่างกายน้อยมาก โดยนมน้ำเหลืองจะเป็นแหล่งสำคัญของภูมิคุ้มกันที่ลูกโคสามารถจะดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีภายใน 12 ชั่วโมงหลังคลอด หลังจากแม่โค หมดนมน้ำเหลืองซึ่งเป็นระยะเวลาประมาณ 3-5 วันหลังคลอดแล้ว เกษตรกรมักนิยมเลี้ยงลูกโค โดยการใช้นมเทียมละลายน้ำให้ในรูปของอาหารเหลวในอัตราส่วนอาหารแทนนมต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 1:8 ถึง 1:10 ใช้เลี้ยงลูกโคแทนการเลี้ยงโดยใช้นมสดจากแม่โค พร้อมตั้งอาหารข้น (calf starter) และหญ้าสดหรือหญ้าแห้งให้ลูกโคกินอย่างอิสระ เพื่อให้อาหารข้นและหญ้าทำหน้าที่ในการกระตุ้นการพัฒนาของระบบทางเดินอาหาร ให้มีการพัฒนาเร็วกว่าการให้ลูกโคได้รับนมเทียมหรือนมสดเพียงอย่างเดียว โดยส่วนใหญ่ลูกโคจะเริ่มหัดกินอาหารแห้งจากหญ้าสดหรืออาหารข้นได้เมื่ออายุประมาณ 7 วัน เมื่ออาหารแห้งดังกล่าวผ่านเข้าไปในกระเพาะรูเมน จุลินทรีย์จะเปลี่ยนอาหารแห้ง ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ไวตามินบี และเริ่มมีการสังเคราะห์โปรตีน เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการพัฒนาและการทำหน้าที่ของกระเพาะรูเมน ซึ่งกรดไขมันที่ระเหยได้ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโปรปิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริก (butyric acid) มีส่วนอย่างยิ่งในการพัฒนาของกระเพาะรูเมน ซึ่งจะมีผลให้สามารถหย่านมลูกโคได้เร็วหรือช้าอันจะมีผลต่อเนื่องทำให้ต้นทุนในการผลิตในระยะเลี้ยงลูกโคเล็กลดลงด้วย (เกษตรและพิเชษฐ์, 2531)

เนื่องจากในระยะลูกโคเล็กเป็นระยะที่ระบบทางเดินอาหารยังไม่พัฒนาเต็มที่ การย่อยและการใช้ประโยชน์จากโภชนะในอาหาร จึงจำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์ต่างๆ ในการย่อย ซึ่งผลิตจากกระเพาะ Abomasum และลำไส้เล็ก (small intestine) เป็นสำคัญ เช่นเดียวกับการย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยเอนไซม์ส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยโภชนะต่างๆ ในน้ำนม เช่น เอนไซม์แลคเตส (lactase) ย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนเคซีนและเอนไซม์ที่ย่อยไขมันในน้ำนม เช่นเรนนิน (rennin) และไลเปส (lipase) เป็นต้น เนื่องจากในลูกโคเล็กนั้นมีความสามารถในการกินและย่อยอาหารแห้งได้เพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะในระยะการเจริญเติบโตระหว่าง 0-2 สัปดาห์หลังคลอด ดังนั้นการเลี้ยงลูกโคในระยะหลังคลอด อาหารที่จำเป็นแก่ลูกโคก็คือนมสดจากแม่โคหรืออาหารแทนนมที่ให้ในรูปของอาหารเหลว ส่วนของโภชนะที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานและกรดอะมิโนต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของลูกโค ส่วนใหญ่

จึงมักได้จากการย่อยและใช้ประโยชน์จากโภชนะในน้ำนมที่สัตว์ได้รับเป็นสำคัญ ส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญในน้ำนม แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในน้ำนม

ชนิดของกรดอะมิโน (amino acid)	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
อาลานิน (alanine)	3.0
วาลิน (valine)	7.2
ลูซิน (leucine)	9.2
ไอโซลูซิน (iso-leucine)	6.1
โปรลิน (proline)	11.3
เฟนนิลลาลานิน (phenylalanine)	5.0
ซีสตีน (cystine)	0.34
ซีสเตอีน (cysteine)	0
เมไธโอนีน (methionine)	2.8
ทริปโตเฟน (tryptophan)	1.7
อาร์จินีน (arginine)	4.1
ฮีนติดิน (histidine)	3.1
ไลซีน (lysine)	8.2
กรดแอสพาร์ติค (aspartice acid)	7.1
กรดกลูตามิค(glutamic acid)	22.4
ซีรีน (serine)	6.3
ทรีโอนิน (threonine)	4.9
ไทโรซีน (tyrosine)	6.3

ที่มา : นรินทร์ (2527)

Morrill *et al.* (1969) รายงานว่าในระยะลูกโคเล็กสามารถใช้ประโยชน์จากโภชนะในอาหารนมได้ดีที่สุด โดยแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับลูกโคควรเป็นแหล่งโปรตีนจากน้ำนม ซึ่งพบว่ามี การย่อยได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ การทดแทนแหล่งโปรตีนใน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อาหารแทนนมเพื่อเลี้ยงลูกโคโดยใช้แหล่งโปรตีนจากพืชหรือโปรตีนจากสัตว์ที่ไม่ใช้โปรตีนจากน้ำนมมักประสบปัญหาในการเลี้ยงลูกสัตว์ที่ยังมีอายุน้อย แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นความสามารถในการทดแทนกันของแหล่งโปรตีนจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาที่สำคัญ 2 ประการ คือเคซีนที่เป็นแหล่งโปรตีนในน้ำนมและเป็นแหล่งอาหารหลักที่สำคัญของลูกโคในระยะที่เป็นลูกโคเล็กเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เนื่องจากจะจับตัวเป็นก้อนหรือตกตะกอนในกระเพาะ Abomasum ทำให้เอนไซม์เรนนิน (rennin) เข้าทำการย่อยและใช้ประโยชน์จากโปรตีนในน้ำนมได้เต็มที่ และเอนไซม์ที่ผลิตจากกระเพาะ Abomasum ส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยโปรตีนในน้ำนม

การใช้โปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากเรพซีด (repe seed meal) สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารแทนนมได้เช่นกัน โดยสัดส่วนของโปรตีนจากพืชที่ใช้ในอาหารแทนนมสำหรับเลี้ยงลูกโค ควรมีปริมาณหรือสัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่ออายุสัตว์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนชนิดอื่น ที่ผลิตจากระบบทางเดินอาหารจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์ ส่วนแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่ใช้ประโยชน์ได้ดี คือ น้ำตาลแลคโตส เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่มีมากในน้ำนม โดย Dollar and Parter (1957) และ Dollar and Parter (1959) อ้างโดย Roy *et al.* (1970) รายงานว่าแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่สำคัญสำหรับลูกโควัยอ่อนหรือลูกโคเล็กนอกจากแลคโตสแล้วกลูโคสก็เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญเช่นกัน แต่ความสามารถในการย่อยได้ของน้ำตาลแลคโตสจะลดลงตามอายุสัตว์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถกินอาหารแห้งจากส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบที่เสริมให้กินและเริ่มมีการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารเพิ่มมากขึ้น ลูกโคในขณะที่อายุน้อยและเลี้ยงด้วยนมสดจากแม่โคหรืออาหารแทนนม สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานได้ แต่ไม่สามารถใช้แป้ง (starch) หรือผลผลิตจากแป้ง เช่น แดคตริน (dextrin) และน้ำตาลมอลโตส (moltose) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรท หรือแหล่งพลังงานได้จนกระทั่งสัตว์มีอายุมากกว่า 28 วัน เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยคืออไมเลส (amylase) และมอลเตส (moltase) ที่ย่อยแป้งและผลผลิตจากแป้ง เช่น อไมโลส (amylase) และมอลโตส (moltose) มีการผลิตในปริมาณที่น้อยมากจากเนื้อเยื่อของตับอ่อน ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะมีการผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากกว่า 4 สัปดาห์ นอกจากคาร์โบไฮเดรทจากน้ำตาลแลคโตสเป็นแหล่งพลังงานแล้ว พลังงานจากไขมันในน้ำนม (milk fat) และไขมันจากพืช (vegetable oil) หรือไขมันจากสัตว์ (fat) เช่น ไขมันจากสุกร (lard) ไขมันจากโค (tallow) และน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในนมเทียมหรืออาหารแทนนมก็สามารถถูก ลูกโคใช้เป็นแหล่งพลังงานได้เช่นกัน (Roy *et al.* 1970)

คุณภาพของนมเทียมที่ใช้เลี้ยงลูกโคแทนการใช้นมสดหลังจากที่แม่โคหมดนมน้ำเหลืองจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากนมเทียมที่ไม่มีคุณภาพมักก่อให้เกิดปัญหา

การติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ลูกโคเกิดโรคท้องร่วงได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งในการตายของลูกโคในระยะลูกโคเล็ก โดยพื้นฐานแล้วส่วนประกอบของนมเทียมที่ใช้เลี้ยงลูกโค มักจะประกอบด้วยหางนมผง ไขมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ หางเนย น้ำตาลกลูโคส แป้งถั่วเหลือง ไวตามินและแร่ธาตุบางชนิด โดยส่วนของหางนมผงและหางเนยจัดเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับสัตว์ แหล่งโปรตีนจากพืชสามารถใช้ได้เช่นกัน แต่การใช้ประโยชน์และการย่อยได้สำหรับลูกสัตว์จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากผลิตภัณฑ์นม เช่น หางนมและหางเนย แหล่งของไขมันที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในนมเทียมมีทั้งไขมันพืชและไขมันสัตว์ ไขมันที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวเป็นต้น ส่วนไขมันจากสัตว์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไขมันนม ไขมันจากสุกร (lard) และไขมันจากโค (tallow) เป็นต้น โดยที่ไขมันที่เสริมในนมเทียมจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของลูกโค แต่การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของไขมันจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไขมันและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ในส่วนประกอบของไขมันนมที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง

Item	อายุ 4 สัปดาห์	อายุ 10 สัปดาห์
Butterfat	97	97
Margarine	97	96
Refined lard	93	93
Equal parts refined lard and beef dripping	89	92
Beef dripping	85	89

ที่มา : Roy *et al.* (1970)

ซึ่ง NRC (1989) และ De Gregorio (1990) รายงานว่านมเทียมที่มีคุณภาพดีนั้นควรมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนไม่ต่ำกว่า 22 เปอร์เซ็นต์ และไขมันระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยไขมันที่ใช้เป็นส่วนประกอบควรเป็นไขมันที่มีคุณภาพดีไม่มีปัญหาเรื่องการเหม็นหืน ซึ่งจะทำให้คุณค่าทางอาหารของนมเทียมลดลงได้ ส่วนประกอบที่สำคัญของนมเทียมสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของนมเทียม

Item	1[a]	2	3	4	5	6
Dry skim milk	18	20	2	3	11	15
Dry whey	13	32	37	32	27	37
Whey protein concentrate	17	18	4	3	10	17
Delactosed whey	10	10	10	10	5	0
Dry buttermilk	0	0	0	0	10	0
Sodium caseinate	0	0	0	0	0	1
Fat source[b]	0	2	0	0	0	8
Fat source[c]	40	16	30	40	35	20
Soy protein isolate	0	0	0	10	0	0
Soy protein concentrate	0	0	15	0	0	0
Supplements[d]	2	2	2	2	2	2

[a] 1 = high-quality "all-milk" replacer; 2 = lower-quality "all-milk" replacer; 3 and 4 = replacer containing soy protein; 5 and 6 = milk replacers.

[b] Contains liquid fat and emulsifiers.

[c] Dry product containing 10% protein, 50% fat.

[d] Vitamin and mineral supplements, amino acid supplements, antioxidants, flavoring compounds, etc.

ที่มา : Harding (1995)

แหล่งโปรตีนที่ใช้ในการเลี้ยงลูกโค

Gill (1999) กล่าวว่าในธุรกิจการเลี้ยงโคนมและโคเนื้อ หรือธุรกิจการผลิตเนื้อลูกโควัยอ่อน (Veal) เกษตรกรมักใช้นมเทียมเป็นแหล่งอาหารหลักที่สำคัญทดแทนน้ำนมจากแม่โค เนื่องจากมีผลให้ต้นทุนการผลิตลดต่ำลงได้ โดยการผลิตนมเทียมนั้นส่วนประกอบที่สำคัญจะใช้ผลิตภัณฑ์นม เช่นหางนม หางเนย หรือโปรตีนเข้มข้นจากหางเนย (whey protein concentrate) หรือโปรตีนจากหางเนย (whey protein) เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นต้น โดยเฉพาะใช้เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานที่สำคัญ เนื่องจากการผลิตเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารของลูกโคเล็กยังมีอยู่อย่างจำกัดโดยเอนไซม์ที่ผลิตได้ในระยะแรกส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อย

โภชนะต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำนม แต่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง ทำให้นมเทียมที่ผลิตขึ้นมาได้มีราคาสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้มีการทดลองหาโปรตีนจากแหล่งอื่นที่มีคุณภาพดีราคาถูกมาทดแทนผลิตภัณฑ์จากพืชที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ เช่น ถั่วเหลือง ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญแหล่งหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนโปรตีนจากนมในการผลิตนมเทียมเลี้ยงลูกโคได้ แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงกรรมวิธีในการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลือง คุณภาพของโปรตีนถั่วเหลืองและสารยับยั้งทริปซินที่มีอยู่ในถั่วเหลืองด้วย เนื่องจากการย่อยได้ของโภชนะในถั่วเหลืองสำหรับลูกโคเล็กมีค่าต่ำกว่าการย่อยได้ของโภชนะในนม นอกจากแหล่งโปรตีนจากถั่วเหลืองแล้วโปรตีนจากแหล่งอื่นเช่น โปรตีนสกัดจากปลาและพลาสมาโปรตีนก็มีการทดลองนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในนมเทียมเช่นกัน แต่ผลต่อสมรรถภาพในการผลิตและค่าการย่อยได้ของโภชนะยังมีค่าต่ำกว่านมเทียมที่ใช้แหล่งโปรตีนจากผลิตภัณฑ์นมเช่นกัน

Evan and Bandemer (1967) รายงานผลการทดลองที่สอดคล้องกันว่า ในนมเทียมที่ใช้เลี้ยงลูกโค ส่วนประกอบส่วนใหญ่มักเป็นส่วนประกอบที่มาจากผลิตภัณฑ์นม เช่น หางนม หางเนย และโปรตีนเข้มข้นจากหางเนย เป็นต้น เนื่องจากมีค่าการย่อยได้ของโภชนะ เช่น อินทรียวัตถุ โปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงกว่าแหล่งโปรตีนจากวัตถุดิบอื่น

การใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในนมเทียม

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดแถบภาคตะวันออกของทวีปเอเชีย จัดอยู่ใน Family Leguminoseae และ Subfamily Papilionodeae มีชื่อวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ กัน เช่น *Glycine hispida, Soya max, Phaseolus max* เป็นต้น แต่ชื่อที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ *Glycine max* ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้ทั้งน้ำมันและโปรตีนสูง โดยปกติในองค์ประกอบของเมล็ดจะมีน้ำมันไม่ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์และมีโปรตีนประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดประกอบด้วย เปลือก 8 เปอร์เซ็นต์ ใบอ่อน 2 เปอร์เซ็นต์ และใบเลี้ยง 90 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 2 ใน 3 ของใบเลี้ยงประกอบด้วยน้ำมัน โปรตีน และ แป้งเล็กน้อย ส่วนของน้ำมันจะอยู่ในองค์ประกอบเล็กๆ ที่เรียกว่า Spherosomeและส่วนของโปรตีนจะอยู่รอบๆ Spherosome ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 - 20 ไมครอน เรียกว่า Aleurone grain (เธียรชัย, 2541)

เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท น้ำและฟอสฟอไลปิด โดยประมาณคือ 42.0, 19.0, 26.0, 11.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในเมล็ดถั่วเหลืองดิบมีสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของอาหารหรือสารขัดขวางโภชนะ (antinutritional substances) หลายชนิดด้วยกันได้แก่ สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) ฮีมแมกกลูตินิน (heamaglutinins) ซาโปนิน (saponins) และสารชักนำให้เกิดโรคคอหอยพอก (goitrogenic factor) โดยสารยับยั้งทริบซินเป็น

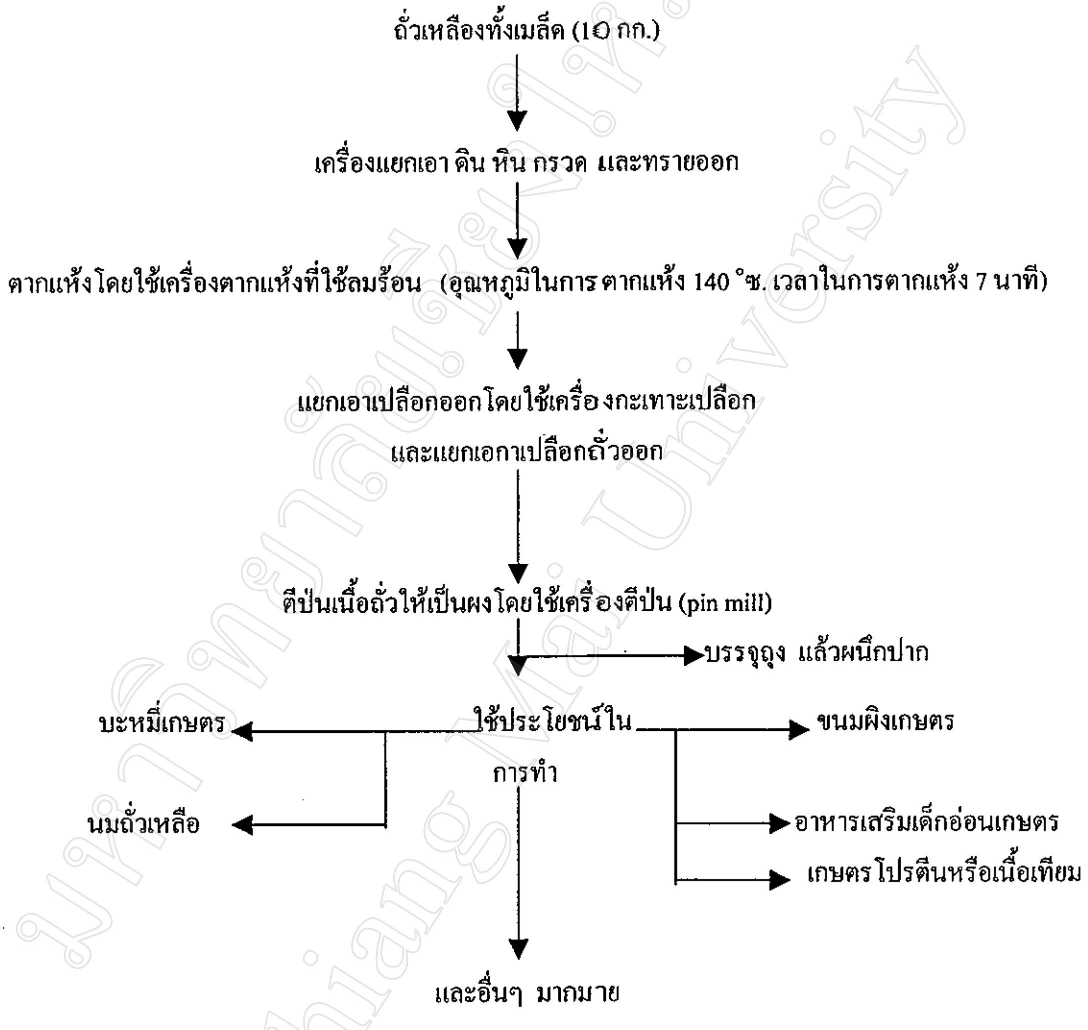
สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนชนิดต่างๆ (protein inhibitor) ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลงโดยเฉพาะการย่อยได้ของโปรตีนที่มีองค์ประกอบพวกกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์หรือกำมะถัน เป็นองค์ประกอบ ส่วนฮีมแมกกลูตินินจะมีผลต่อความสามารถของฮีม (heme) ในฮีโมโกลบิน เมื่อฮีมแมกกลูตินินไปจับกับเม็ดเลือดจะมีผลให้ความสามารถในการพาโภชนะหรือสารอาหารไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายลดลง สำหรับซาโปนินจะมีผลโดยตรงต่อเม็ดเลือดแดงทำให้เม็ดเลือดแดงสลายตัวมีผลให้เกิดอาการโลหิตจาง สารชักนำให้เกิดโรคคอหอยพอกจะมีผลให้ต่อมไทรอยด์ทำงานผิดปกติและเหนี่ยวนำให้เกิดโรคคอหอยพอกได้ (Yen *et al.*, 1977; Turner and Liener, 1975; Liener, 1980)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527) รายงานว่าโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. แป้งถั่วเหลือง และโปรตีนที่เป็นเกล็ด (grit and flour)
2. โปรตีนเข้มข้น (protein concentrate)
3. โปรตีนสกัด (protein isolate)

สำหรับแป้งถั่วเหลืองที่สกัดได้นั้นโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม (full fat soy flour) และแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันต่ำ (low fat soy flour) แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็มจะประกอบด้วย ไขมันธรรมชาติจากถั่วเหลืองประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนในแป้งถั่วเหลืองมีค่าประมาณ 40 - 45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันต่ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็มแต่มีการแยกไขมันออกไป แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำบางชนิดจะมีไขมันเหลืออยู่เพียง 1 เปอร์เซ็นต์หรือบางชนิดมีไขมัน 5-7 เปอร์เซ็นต์ การนำไขมันออกไปจะทำให้โปรตีนสูงขึ้น คือ มีโปรตีนอยู่ระหว่าง 47-54 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนในการผลิตแป้งถั่วเหลืองงและส่วนประกอบของกรดอะมิโนในถั่วเหลือง แสดงในภาพที่ 1 และตารางที่ 4

ภาพที่ 1 การทำแป้งถั่วเหลืองชนิดมีไขมันเต็มของโรงงานหลวง อาหารสำเร็จรูปแม่จัน จังหวัดเชียงราย



ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในแป้งถั่วเหลือง

ชนิดของกรดอะมิโน (amino acid)	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
อาลานิน (alanine)	4.51
วาลิน (valine)	5.38
ลูซิน (leucine)	7.72
ไอโซลูซิน (iso-leucine)	5.10
โปรลิน (proline)	6.28
เฟนนิลลาลานิน (phenylalanine)	5.01
ซีสตีน (cystine)	1.58
เมทไทโอนีน (methionine)	1.56
ทริปโตเฟน (tryptophan)	1.28
อาร์จินีน (arginine)	8.42
ฮีนติดิน (histidine)	2.55
ไลซีน (lysine)	6.86
กรดแอสพาร์ติค (aspartice acid)	12.01
กรดกลูตามิค(glutamic acid)	21.00
ซีรีน (serine)	5.57
ทรีโอนีน (threonine)	4.31
ไทโรซีน (tyrosine)	3.90

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527)

Evan และ Bandeme (1967) กล่าวว่าการที่ผลิตภัณฑ์นมที่ใช้เป็นส่วนประกอบในนมเทียมมีราคาสูงขึ้น จึงควรหาวัตถุดิบชนิดอื่นมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ถั่วเหลืองนับเป็นพืชที่เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญอย่างหนึ่ง คุณภาพของโปรตีนที่มีค่าสูงพอควร การนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในนมเทียมจึงมีผลให้ต้นทุนในการผลิตนมเทียมลดลงได้ แต่การย่อยได้ของโภชนะในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในนมเทียมมีค่าต่ำกว่าค่าการย่อยได้ของโภชนะในผลิตภัณฑ์นม เนื่องจากมีสารยับยั้งทริปซินเป็นต้น การเลือกผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพและการหาสัดส่วนที่เหมาะสมรวมทั้งการเสริมโภชนะที่จำเป็นบางอย่างเช่น กรดอะมิโนเมทไทโอนีน ไลซีน ไวตามินและแร่ธาตุ สามารถทำให้นมเทียมที่ผลิตได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้แหล่งโปรตีนจาก

นมได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในนมเทียม ได้แก่ โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soy protein concentrate) และแป้งถั่วเหลือง (soy flour) เป็นต้น โดยโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองจะมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนต่ำกว่าโปรตีนจากนม คือ 75, 50 และ 93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Morrill *et al.* (1969) และ Nitsan *et al.* (1971) รายงานจากการทดลองเลี้ยงลูกโคด้วยนมเทียมที่มีแหล่งโปรตีนจากโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soy protein concentrate) ซึ่งไม่ผ่านความร้อนหรือทำให้สุกเพียงบางส่วน พบว่าลูกโคทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ เนื่องจากการย่อยได้ของโปรตีนในถั่วเหลืองมีค่าต่ำ ซึ่งมีผลจากปริมาณของสารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) ในถั่วเหลืองที่ไม่สุกจะไปขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ย่อยโปรตีนชนิดต่างๆในลำไส้เล็ก ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Kilshaw and Shade (1982) และ Seegraber and Morrill (1982) ซึ่งรายงานจากการทดลองเลี้ยงลูกโคด้วยนมเทียมที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองพบว่า นอกจากลูกโคจะมีการย่อยได้ของโภชนะต่ำและอัตราการเจริญเติบโตต่ำแล้ว การใช้ถั่วเหลืองในนมเทียมยังมีผลทำให้ลูกโคเกิดอาการท้องเสียได้เนื่องจากปฏิกิริยาบางอย่างในระบบทางเดินอาหารซึ่งมีผลทำให้วิลไล (villi) ของลำไส้เล็กผิดปกติ และมีผลให้เกิดการหลุดลอกของวิลไลของลำไส้เล็กได้ทำให้ความสามารถในการดูดซึมและย่อยอาหารของลำไส้ลดลง ซึ่งมีผลเกี่ยวเนื่องทำให้การเจริญเติบโตต่ำลงด้วย

Thomson *et al.* (1974) รายงานจากการทดลองเลี้ยงลูกโคด้วยนมเทียม (milk replacer) ที่มีแป้งถั่วเหลืองสุกเป็นแหล่งของโปรตีน เปรียบเทียบกับการเลี้ยงลูกโคด้วยนมสด ผลการทดลองพบว่าลูกโคที่เลี้ยงด้วยนมสดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด แต่เมื่อมีการเสริมกรดอะมิโนและเพิ่มระดับของไขมันในนมเทียมที่มีแป้งถั่วเหลืองสุกให้สูงขึ้น จะทำให้ลูกโคมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นแต่ยังด้อยกว่ากลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยนมสด เนื่องจากการเสริมกรดอะมิโนในนมเทียมมีส่วนให้ลูกโคได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นชดเชยจากการย่อยได้ที่ลดลงในโปรตีนจากถั่วเหลืองส่วนการเพิ่มระดับของไขมันน่าจะมีส่วนให้ลูกโคได้รับแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้นได้

Akinyele and Harshbarger (1983) รายงานจากการทดลองเปรียบเทียบการเลี้ยงลูกโคโดยใช้นมเทียมที่มีโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soy protein concentrate)และถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy flour) เป็นแหล่งโปรตีน เปรียบเทียบกับลูกโคที่เลี้ยงด้วยนมเทียมที่มีโปรตีนจากหางนมและหางเนยโดยใช้ระยะเวลาทดลอง 12 สัปดาห์ พบว่า การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และเถ้า ของนมเทียมที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่าการย่อยได้ของนมเทียมที่มีโปรตีนจากนมอย่างเห็นได้ชัด แต่ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของโภชนะจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อลูกโคมีอายุเพิ่มขึ้น

ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมันและเถ้า สำหรับลูกโคเมื่ออายุ 2 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 92.0, 70.0 และ 71.0 เปอร์เซ็นต์สำหรับการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 90.1 , 56.6 และ 61.3 เปอร์เซ็นต์สำหรับการย่อยได้ของโปรตีน 88.9, 55.0, 53.2 และ 85.8 ,62.5 , 61.2 เปอร์เซ็นต์สำหรับการย่อยได้ของไขมันและเถ้าในนมเทียมที่มีแหล่งโปรตีนจากนม โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองและแป้งถั่วเหลือง ไขมันเต็มตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และเถ้าในกลุ่มทดลองที่ได้รับนมเทียมที่มีโปรตีนเข้นข้นจากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองไขมันเต็มมีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับนมเทียมที่มีโปรตีนจากนม เนื่องจากโปรตีนในน้ำนมมีค่าการย่อยได้ที่สูงในขณะที่กลุ่มที่ได้รับนมเทียมที่มีโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากถั่วเหลืองไขมันเต็มขาดเอนไซม์ในการย่อย และมีปัญหาเกี่ยวกับความไม่สมดุลย์ของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่น้ำนม เนื่องจากระบบการย่อยอาหารยังอยู่ในระยะกำลังพัฒนา

Silva and Huber (1986) ทดลองใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองและแป้งถั่วเหลืองที่ทำให้สุกเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนโปรตีนจากนมในอัตราส่วน 66 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงลูกโคนมเปรียบเทียบกับการเลี้ยงลูกโคโดยใช้นมเทียมที่มีโปรตีนจากนมเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับนมเทียมที่โปรตีนจากถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากนมบางส่วนมีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility) และการย่อยได้ของโปรตีน (protein digestibility) ลดลง โดยกลุ่มทดลองที่ได้รับนมเทียมที่มีแป้งถั่วเหลืองสุกเป็นส่วนประกอบ มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งต่ำที่สุดคือ 90.8, 87.2 และ 85.3 สำหรับค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และ 82.6, 72.1, 64.5 สำหรับการย่อยได้ของโปรตีนเมื่อใช้นมเทียมที่มีโปรตีนจากนม โปรตีนจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองสุก ตามลำดับ โดยพบว่าลูกโคทดลองมีการผิดปกติของวิลไลของลำไส้เล็กบ้าง

Kanjanapruthipong (1998) รายงานว่าการใช้นมเทียมที่มีแหล่งโปรตีนจากถั่วเหลืองเลี้ยงลูกโคจะมีผลให้ลูกโคมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และค่าการย่อยได้ของโภชนะต่ำลง เนื่องจากปัญหาการขาดกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบที่เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น กรดอะมิโนเมทไทโอนีน และกรดอะมิโนไลซีน เป็นต้น การเสริมกรดอะมิโนดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการผลิตนมเทียมที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ สำหรับลูกโคที่เลี้ยงด้วยนมเทียมที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนเมื่อเสริมด้วยกรดอะมิโนเมทไทโอนีน กรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนทรีโอนีนการย่อยได้ของโภชนะในนมเทียมจะมีค่าสูงขึ้น แต่การย่อยได้ของโภชนะและอัตราการเจริญเติบโตของลูกโค ยังมีค่าต่ำกว่าลูกโคที่เลี้ยงด้วยนมเทียมที่มีแหล่งโปรตีนจากหางนมและหางเนยอย่างเห็นได้ชัด ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Gill (1999) กล่าวว่าในการผลิตนมเทียมเพื่อเป็นการค้าในปัจจุบันใช้ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบของแหล่งโปรตีนในนมเทียมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัญหาของราคาผลิตภัณฑ์นม เช่น หางนมและหางเนยที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักที่มีราคาสูงขึ้น แต่การใช้แหล่งโปรตีนจากถั่วเหลืองในนมเทียมจำเป็นต้องคำนึงถึงสารยับยั้งการเจริญเติบโตต่างๆ ในถั่วเหลืองเช่นสารยับยั้ง ทริปซิน ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้โปรตีนหลักที่สำคัญที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนในถั่วเหลืองซึ่งได้แก่ ไกลซินีน (glycinin) และ บี – คอนไกลซินีน (B-conglycinin) มีคุณสมบัติแตกตัวหรือสลายตัวค่อนข้างยากหรือสลายตัวได้น้อย จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของนมเทียมที่ใช้เลี้ยงลูกโคในระยะเล็ก ซึ่งยังมีการพัฒนาในการผลิตเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารไม่เพียงพอ ทั้งนี้รวมถึงเอนไซม์ที่ใช้ย่อยโปรตีนอย่างอื่นที่ไม่ใช่เคซีนและเอนไซม์ที่ย่อยแหล่งคาร์โบไฮเดรตมากกว่าด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าไกลซินีน (glycinin) และ บี–คอนไกลซินีน (B-conglycinin) จะมีผลเหนี่ยวนำให้สมรรถภาพในการเจริญเติบโตลดลง โดยทำให้เกิดการอักเสบของวิลไล (villi) ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการดูดซึมโภชนะลดลงและสามารถชักนำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างคุณภาพของกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์นมที่ใช้ในนมเทียมจะเห็นได้ว่าคุณค่าทางอาหารของถั่วเหลืองจะมีค่าต่ำกว่า ดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับนมเทียมที่ผลิตเพื่อการค้าในปัจจุบันนิยมใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบทดแทนหางนมหรือหางเนยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากนมที่มีราคาแพงได้ ส่วนประกอบของนมเทียมที่ใช้ในทางการค้า แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนะที่สำคัญของแหล่งโปรตีนชนิดต่างๆ ที่ใช้ผสมในนมเทียม

Component	Whey protein concentrate	Skim milk	Isolated soy protein	Soy protein Concentrate	Soy flour
			(air-dry basis, %)		
Dry matter	98.00	98.00	94.00	95.00	95.00
Protein	34.00	34.00	86.00	67.00	53.00
			Concentration (g/100 g protein)		
Lysine	9.09	8.24	6.07	6.32	6.15
Methionine	1.94	2.65	1.11	1.32	1.26
Cysteine	2.47	1.51	1.41	1.47	1.42

ที่มา : Gill (1999)

ตารางที่ 6 แสดงส่วนประกอบของนมเทียมที่ใช้เลี้ยงลูกโคในทางการค้า

Item	All milk protein	Soy protein isolate	Soy protein concentrate	Soy flour
Whey protein concentrate, %	44.5	7.0	9.2	-
Delactosed whey, %	10.0	10.0	10.0	8.5
Dried whey, %	25.2	50.8	49.8	46.5
Soy isolate (ISP), %	-	11.2	-	-
Soy protein concentrate (SPC), %	-	-	1.5	-
Soy flour (SF), %	-	-	-	33.8
Fat, %	19.0	19.5	14.5	9.7
Mineral vitamin, amino acid, premix, %	1.3	1.5	1.5	1.5
Protein, %	20.0	20.0	21.0	24.0
Fat, %	20.0	20.0	15.0	10.0
Fibre, %	0.15	0.15	0.5	1.0
Replacement of milk protein, %	-	50.0	48.0	70.0

ที่มา : Gill (1999)

ไขมัน (lipids)

ไขมันหรือลิปิดเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกระดับขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรทประเภทโพลีแซคคาไรด์ โครงสร้างทางเคมีค่อนข้างหลากหลาย แต่มีสิ่งที่เหมือนกันคือมีส่วนของโครงสร้างที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (non polar) ที่แสดงคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) จึงมีผลให้สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ลิปิดบางชนิดอาจจะประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว (polar) ที่มีประจุหรือไม่มีประจุอยู่ในโครงสร้างทำให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilicity) ลิปิดส่วนใหญ่ที่พบในทางอาหารสัตว์จะเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์จากสัตว์มักจะประกอบด้วยกรดไขมันพวกปาล์มิติก (palmitic acid) สเตียริก (stearic acid) และโอลิอิก (oleic acid) เป็นส่วนใหญ่ โดยจะมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวน้อยกว่าน้ำมันพืช จึงมักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและอาจเรียกว่าไขมัน (fat) ที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 42 องศาเซลเซียส เช่นไขมันจากโค (tallow)

ไขมันจากสุกร (lard)ไขมันจากสัตว์ปีก (poultry fat) เป็นต้น ส่วนไตรกลีเซอไรด์จากพืชมักจะประกอบด้วยกรดไขมันพวก โอลิอิก (oleic acid) และลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นส่วนใหญ่ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมักเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ลักษณะของไตรกลีเซอไรด์จากพืชจึงมักเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (20 องศาเซลเซียส) และอาจเรียกว่าน้ำมัน (oil) ในน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) จัดเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียว ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ แต่เป็นกรดไขมันชนิดสายสั้นๆ (short chain fatty acid) ทำให้ยังคงมีจุดหลอมเหลวต่ำอยู่ (ศรีสกุล, 2531) ส่วนประกอบของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไขมันสัตว์และน้ำมันพืช แสดงในตารางที่ 7

ในร่างกายสัตว์ไขมันมีหน้าที่สำคัญคือ (บุญล้อม, 2541)

1. เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เมื่อร่างกายได้รับอาหารมากเกินพอจะเปลี่ยนเป็นพลังงานและเก็บไว้ในรูปของไขมันที่ร่างกายสามารถดึงออกมาใช้เผาผลาญเป็นแหล่งพลังงานได้ในยามขาดแคลนอาหารหรือได้รับอาหารไม่เพียงพอ
2. ทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulator) เก็บความร้อนให้แก่ร่างกาย
3. เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดสัญญาณไฟฟ้าในระบบประสาท
4. เกี่ยวข้องกับการดูดซึมและเป็นแหล่งเก็บสะสมวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน
5. เป็นแหล่งสำคัญของกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกาย (essential fatty acid) เช่น กรดลิโนเลนิก และ กรดลิโนเลอิก เป็นต้น
6. เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลคือส่วนผนังเซล (cell membrane) และในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ที่อยู่ในไซโตพลาสซึม (cytoplasm)
7. ช่วยในการขนส่งไขมันในเลือด

การใช้ประโยชน์ของไขมันในอาหารโค

Pond *et al.* (1995) กล่าวว่าลูกโคที่ยังไม่หย่านมมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากไขมันในอาหารได้ดีกว่าโคที่โตเต็มที่แล้ว เนื่องจากอาหารหลักของลูกโคในระยะก่อนหย่านมคือน้ำนม (Whole milk) ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ในวัตถุแห้งหรือนมเทียมที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบสูงมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ในลูกโคเล็กไขมันบางส่วนจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ ที่ย่อยไขมันที่อยู่ในน้ำลาย (pregastric esterase) ที่มีอยู่ในน้ำลายและส่วนใหญ่เอนไซม์ไลเปสจาก ตับอ่อนจะย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลที่ส่วนของลำไส้เล็ก ซึ่งจะคล้ายกับการย่อย

ตารางที่ 7 แสดงกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไขมันสัตว์ (fat) และไขมันพืช (oil) บางชนิด

Item	12 : 0	14 : 0	16 : 0	16 : 1	18 : 0	18 : 1	18 : 2	18 : 3
Vegetable oils								
Coconut oil	47.4	18.0	8.0	-	2.8	5.6	1.6	-
Corn oil	-	-	12.0	-	2.7	30.1	54.7	1.4
Olive oil	-	-	14.0	1.3	2.6	74.0	8.1	-
Safflower oil	-	0.2	12.3	-	1.8	11.2	74.3	0.2
Soybean	-	-	11.5	-	4.3	27.3	49.7	6.3
Animal fats								
Beef tallow	-	3.3	26.2	-	22.4	45.3	1.6	0.5
Lard	-	1.5	25.7	-	12.1	49.2	9.6	1.1
Menhaden oil	-	11.9	23.2	16.4	5.6	15.3	2.7	1.9
Poultry fat	0.2	1.4	21.4	6.8	5.9	39.5	23.5	1.0

ที่มา : Scott *et al.* (1982)

ไขมันในสัตว์กระเพาะเดี่ยว การดูดซึมไขมันเริ่มเกิดขึ้นในลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) เมื่ออาหารพวกไขมันถูกย่อยแล้วจะสัมผัสกับผนังของลำไส้เล็กที่เรียกว่า Microvillus membrane จากนั้นก็จะกระจายตัวเข้าไปยัง Mucosal cell กรดไขมันที่มีสายโซ่สั้น ๆ (short chain fatty acids) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่า 10 อะตอม จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เข้าไปยังเส้นเลือดดำใหญ่ไปยังอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไปได้โดยตรง ส่วนกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (long chain fatty acids) ซึ่งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอม ไม่สามารถที่จะดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กได้จึงต้องเปลี่ยนรูปไปเป็น Triglyceride ใหม่อีกครั้ง แล้วเดินทางเข้าไปยังระบบท่อน้ำเหลืองโดยอาศัยการเกาะติดกับฟอสฟอไลปิด (phospholipid) (ส่วนใหญ่ คือ phosphatidyl choline หรือ lecithin) และมีโปรตีนชั้นบางๆ หุ้มอยู่เป็นสารที่เรียกว่าไคโลไมครอน (chylomicron) ซึ่งจะเป็นตัวนำพาหรือเคลื่อนย้ายไขมันไปยังอวัยวะต่างๆ เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป น้ำดีและเกลือของน้ำดี เช่น เทาโลโคเลท (taurocholate) และฟอสฟอไลปิด (phospholipid) พวกเลซิทินมีส่วนสำคัญในการย่อยไขมัน โดยจะเกี่ยวข้องกับการสร้างมิกไมเซล (mixed micelles) ที่ช่วยในการละลายพวกกรดไขมันที่ไม่ละลายน้ำ (non-polar fatty acid) และช่วยกระจายกรดไขมันต่างๆ ให้เคลื่อนย้ายไปเกาะที่วิลไลที่อยู่ที่ผนังเซลของลำไส้เล็ก ทำให้

กรดไขมันมีโอกาสถูกดูดซึมได้ มากขึ้น (O'Doherty *et al.* 1973) ในสัตว์กระเพาะรวมที่ระบบการย่อยอาหารพัฒนาแล้ว การย่อยได้และการใช้ประโยชน์จะเริ่มเกิดขึ้นในส่วนของกระเพาะรูเมน โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ ไขมันส่วนใหญ่ที่สัตว์โตแล้วได้รับมักอยู่ในรูป Galactolipids ในพืชอาหารสัตว์ ซึ่งจะถูกย่อยได้เป็นกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ กาแลคโตสและกลีเซอรอล จากนั้นจึงถูกหมักกลายเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย นอกจากนี้สภาพของกระเพาะรูเมนยังเหมาะสมกับการเติมไฮโดรเจนให้แก่กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะได้กรดไขมันที่อิ่มตัวพวกกรดสเตรียริด (stearic acid) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนกรดไขมันที่ระเหยง่ายนอกจากกรดอะซิติก (acetic acid) โปรปิโอนิค (propionic acid) และกรดบิวทิริค (butyric acid) อาจพบกรดไขมันชนิดอื่นๆ ได้ด้วย ซึ่งจะสังเคราะห์จากคาร์บอนอะตอมของกรดอะมิโนพวกวาลีน (valine) ลิวซีน (leucine) และไอโซลิวซีน (isoleucine)

ไขมันที่เพิ่มลงในอาหารสัตว์กระเพาะรวมมีปริมาณที่จำกัดในการใช้ เนื่องจากมีผลในทางลบต่อขบวนการหมักและการย่อยได้ของโภชนะในกระเพาะรูเมน เพราะกรดไขมันอิ่มตัวจะไปยับยั้งจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้น้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืช แต่กรดไขมันอิ่มตัวจะย่อยได้น้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวในลำไส้เล็ก (Barley and Lewis, 1965 และ Steele and Moore, 1968)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยไขมันในโค

1.อายุของสัตว์ลูกโคที่อายุน้อยหรือลูกโคที่ยังไม่หย่านมจะมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากไขมันได้ดีกว่าโคที่มีอายุมาก เนื่องจากมีเอนไซม์ที่ย่อยไขมันที่อยู่ในน้ำลาย (pregastic esterase) และเอนไซม์ที่ได้จากตับอ่อน ฉะนั้นในอาหารลูกโคจึงสามารถใช้ไขมันในอาหารได้มากกว่า (Masoro, 1968)

2.ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของและความยาวของสายโซ่ของกรดไขมันกรดไขมันที่สายโซ่สั้นๆ (short chain fatty acid) จะถูกย่อยและดูดซึมได้ดีกว่ากรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (long chain fatty acid) ในขณะเดียวกันกรดไขมันที่สายโซ่เท่ากัน แต่มีความอิ่มตัวไม่เท่ากัน กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีโอกาสย่อยและดูดซึมได้ดีกว่า (Matanobu *et al.* 1992)

การใช้ประโยชน์ของไขมันในอาหารลูกสุกร

Anonymous (1986) กล่าวว่าลูกสัตว์ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว โดยเฉพาะลูกสุกรจะมีความอยากกินอาหารสูง แต่ในช่วงนี้กระเพาะลูกสัตว์ยังเล็ก มีความจุของกระเพาะน้อย ในขณะที่ลูกสัตว์

ต้องการพลังงานสูง จึงมีผลทำให้ลูกสัตว์ได้รับพลังงานไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย โดยที่ Thaler *et al.* (1988) พบว่า การเพิ่มไขมันในอาหารสัตว์ทำให้สมรรถภาพของลูกสุกรก่อนหย่านมสูงขึ้น ประสิทธิภาพและผลที่ได้รับจากการเพิ่มไขมันในอาหารคือ ได้แหล่งพลังงานที่ดีที่สุดซึ่งมีค่า Gross energy โดยประมาณ 2.25 เท่า ของคาร์โบไฮเดรท

Jin *et al.* (1998) ได้ศึกษาการใช้ไขมันจากแหล่งต่างๆ คือ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันข้าวโพด, น้ำมันถั่วเหลือง ไขสัตว์ และไขสัตว์เสริมเลซิทินในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกสุกรหลังหย่านมพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักต่อ 1 กิโลกรัม และการย่อยได้ของโภชนะ เช่น วัตถุแห้ง ไขมัน และโปรตีนของสุกรที่ ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันพืชและไขสัตว์เสริมเลซิทินดีกว่าลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่ผสมด้วยไขสัตว์อย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากการย่อยและการใช้ประโยชน์ของไขมันพืชในลูกสุกรจะดีกว่าการย่อยและการใช้ประโยชน์ของไขมันสัตว์ แต่การเสริมเลซิทีนจะมีผลให้การย่อยและการดูดซึมไขมันสัตว์ดีขึ้นได้ โดยเพิ่มการกระจายตัวของไขมันทำให้เอนไซม์ไลเปส มีโอกาสย่อยและดูดซึมได้มากขึ้น

Eusebio *et al.* (1965) กล่าวว่าอายุของสัตว์จะมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ที่แท้จริงของไขมัน โดยลูกสัตว์ที่ยังเล็กหรืออายุน้อย จะมีการย่อยอาหารไขมันได้ต่ำกว่าลูกสัตว์ที่มีอายุมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่การเพิ่มไขมันในอาหารสัตว์หรืออาหารที่มีการเสริมไขมันจะทำให้มีการนำไขมันไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (Nichols *et al.* 1980)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของไขมัน

1. pH ในลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ต่ำ pH ในลำไส้เล็กของสุกรที่มีอายุน้อยจะพบว่าต่ำกว่า 6.0 ซึ่ง ต่ำและห่างจาก pH ที่อยู่ในภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย่อย Pancreatic lipase คือ 8.0-9.0 เมื่อ pH ในลำไส้เล็กต่ำจะทำให้การทำหน้าที่ของ Pancreatic lipase ถูกจำกัด (Kidder and Manners, 1978)

2. การขับและการทำงานของเอนไซม์ ไม่เพียงพอ Hartman *et al.* (1961) ; Scherer *et al.* (1973) ; Corring and Durand (1978) และ Lindemann *et al.* (1986) รายงานว่า การทำงานและการขับ Pancreatic lipase ในเนื้อเยื่อของตับอ่อนจะเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังหย่านม น้ำย่อย Pancreatic lipase จะลดลงโดยเฉพาะการทำงานจะลดลงในระหว่างสุกรหย่านม Scherer *et al.* (1975) พบว่าน้ำย่อย Pancreatic lipase จะลดลงในช่วงหลังหย่านมและจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 4 สัปดาห์หลังหย่านม

3. การพัฒนาวิลไล (villi) ในลำไส้เล็กไม่ดี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กอาจจะทำให้มีผลต่อการย่อยได้ของไขมันในลูกสัตว์ได้ Cera *et al.* (1988b) พบว่าความ

ยาวของวิลไล (villi) จะลดลงในช่วงหลังหย่านม เมื่ออาหารมีการเสริมด้วยน้ำมันข้าวโพดมีผลทำให้ วิลไล (villi) ลดลงทำให้การดูดซึมลดลงไปด้วย

4. การทำงานของโปรตีนร่วมกับกรดไขมันลดลง Reinhart *et al.* (1989) พบว่าการทำงานของโปรตีน ซึ่งจับกับกรดไขมันจะลดลงอย่างฉับพลันหลังหย่านมแต่จะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง หลังจากหย่านม 2 สัปดาห์เป็นต้นไป

5. ระดับของแคลเซียมสูงอาหารลูกสุกรที่มีส่วนประกอบของระดับแคลเซียมสูง ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในลำไส้เล็ก อาจจะมีผลทำให้การดูดซึมไขมันลดลง Kidder and Manners (1978) และ Attech and Lesson (1983)

การย่อยได้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญและช่วยเสริมฤทธิ์กันระหว่างแหล่งของไขมันและกรดไขมันแต่ละตัว การย่อยได้ของไขมันที่มาจากแหล่งของกรดไขมันที่อิ่มตัว ซึ่งจะมีมากในไขมันสัตว์จะมีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ต่ำกว่าไขมันที่มาจากแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งได้แก่น้ำมันจากถั่วเหลือง ระดับการเสริมฤทธิ์กันให้ได้อย่าง มีประสิทธิภาพจะต้องมีอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งจะทำให้การย่อยได้ดีขึ้น ต้องมีอัตราส่วนต่ำกว่า 1.5 : 1 (Wiseman, 1984)

จุดหลอมเหลวของไขมันจะมีอิทธิพลต่อการย่อยได้ กรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะมีการย่อยได้ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (Sundstol, 1974)

Bouchard and Stone (1975) พบว่าการใช้ไขมันในระดับ 32 เปอร์เซ็นต์ ของไขมันในนมไม่ทำให้การเพิ่มน้ำหนักตัวดีขึ้นกว่าการใช้ในระดับ 21 เปอร์เซ็นต์ แต่การย่อยได้ของไขมันและพลังงานจะมากกว่าการใช้ในระดับ 21 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มระดับของไขมันจะมีผลต่อการย่อยได้ของ อินทรียวัตถุ เยื่อใยที่ละลายได้ในกรด และการย่อยได้ของไขมันในลำไส้เล็ก โดยที่ Polin (1980) ทำการศึกษาการใช้ Soy lecithin ในระดับ 0.02, 0.2 และ 2 เปอร์เซ็นต์ กับ Tallow 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการดูดซึมของ Tallow มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เพิ่มจากกลุ่มควบคุม 70 – 83 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ เลซิทิน

น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มเป็นกลีเซอไรด์ที่อยู่ในกลุ่มไขมันจากพืชชนิดหนึ่ง มักนิยมใช้น้ำมันปาล์มผสมในอาหารสัตว์ และใช้เป็นส่วนประกอบในนมเทียมสำหรับเลี้ยงลูกโค เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก ชนิดของปาล์มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจคือพันธุ์ Tenera ซึ่งประเทศมาเลเซียเป็นผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลก มีปริมาณการผลิตอยู่ที่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณรวมทั้งหมด พันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในมาเลเซียคือ พันธุ์ Tenera (โครงการวิจัยและพัฒนาปาล์มน้ำมัน, 2532)

น้ำมันปาล์มได้จากการนำเอาผลของปาล์มน้ำมันมาบีบ หรืออัดเอาน้ำมันออก การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์มน้ำมัน สามารถทำได้ 2 วิธี

1. การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์มโดยไม่ได้กะเทาะเปลือกออก น้ำมันปาล์มที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดีนัก

2. การผลิตน้ำมันปาล์มจากผลของปาล์มโดยทำการกะเทาะเปลือกออกก่อน น้ำมันปาล์มที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีแรก เช่นน้ำมันได้มาจากเยื่อชั้นกลาง (Mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน

กระบวนการหีบน้ำมันปาล์มดิบ (โครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน, 2537) มีขั้นตอนที่สำคัญคือ

1. นำทะลายปาล์มสดมาอบด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้ออบความดันไอน้ำ

2. นำเข้าเครื่องนวด เพื่อนวดผลปาล์มให้ออกจากทะลายปาล์ม

3. ผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยบด เพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ด ในขั้นตอนนี้จะได้เมล็ดใน เปลือกและน้ำมันดิบ

4. เมล็ดในจะถูกส่งไปยังเครื่องตะแกรงเมล็ด เพื่อแยกส่วนของกะลาและเนื้อในออกจากกัน เนื้อในปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องอบแห้ง แล้วบรรจุกระสอบจำหน่ายไปยังโรงกลั่นน้ำมันปาล์ม

5. น้ำมันดิบและเปลือกนอกที่มีน้ำมันจะถูกส่งไปยังเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัด เพื่อหีบน้ำมันดิบออกจากเปลือก

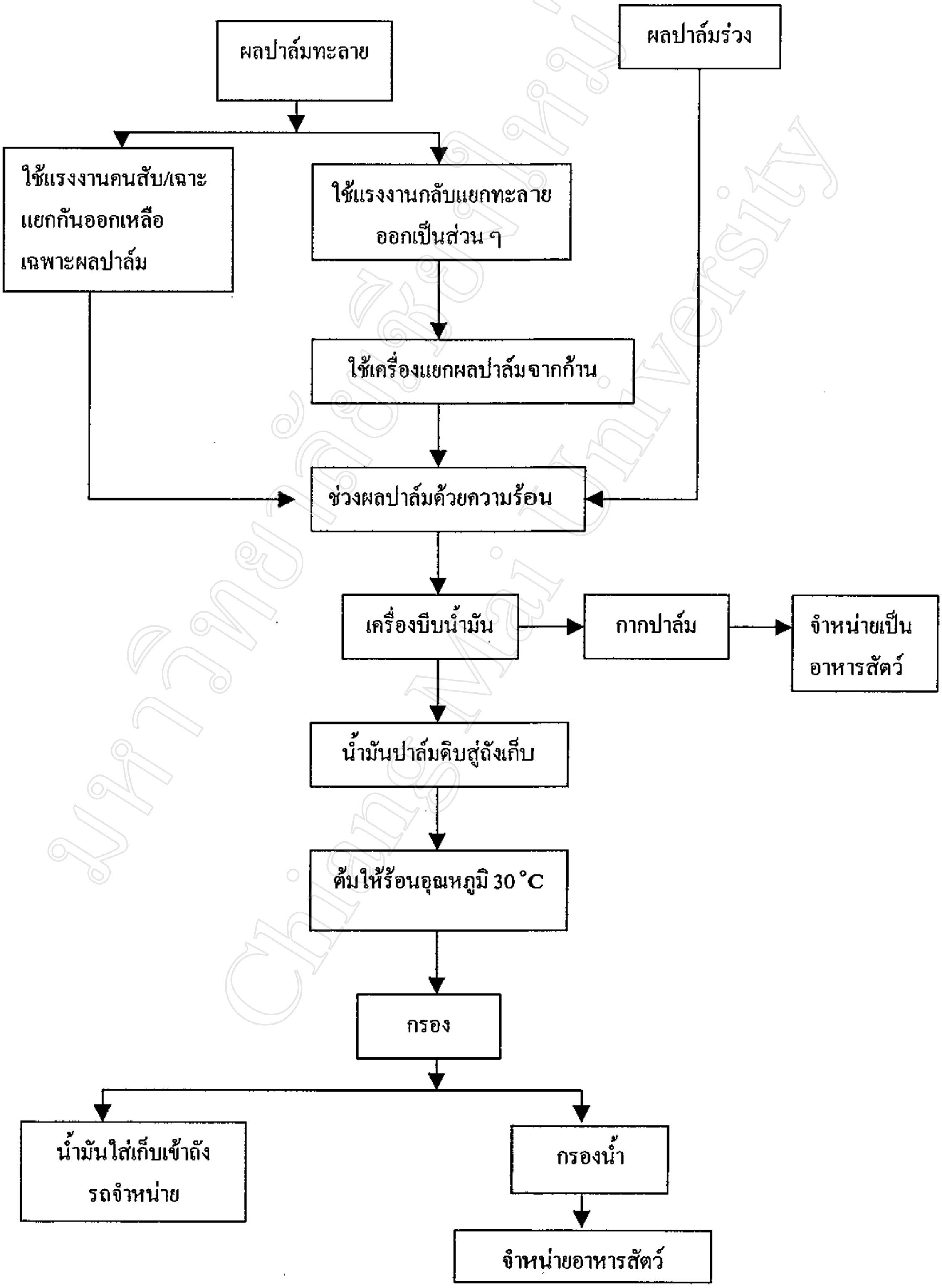
6. น้ำมันดิบจะนำไปยังเครื่องกรองน้ำมันแบบเครื่องจัดกรองหลายชั้น เพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่

7. น้ำมันดิบที่กรองได้จะถูกส่งไปทำความสะอาดโดยใช้เครื่องฟอกเหวี่ยงความเร็วสูงแยกน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ

8. น้ำมันดิบที่ได้ยังมีสิ่งเจือปนอยู่จะถูกส่งไปยังเครื่องกำจัดความชื้น เพื่อไล่ความชื้นจนอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

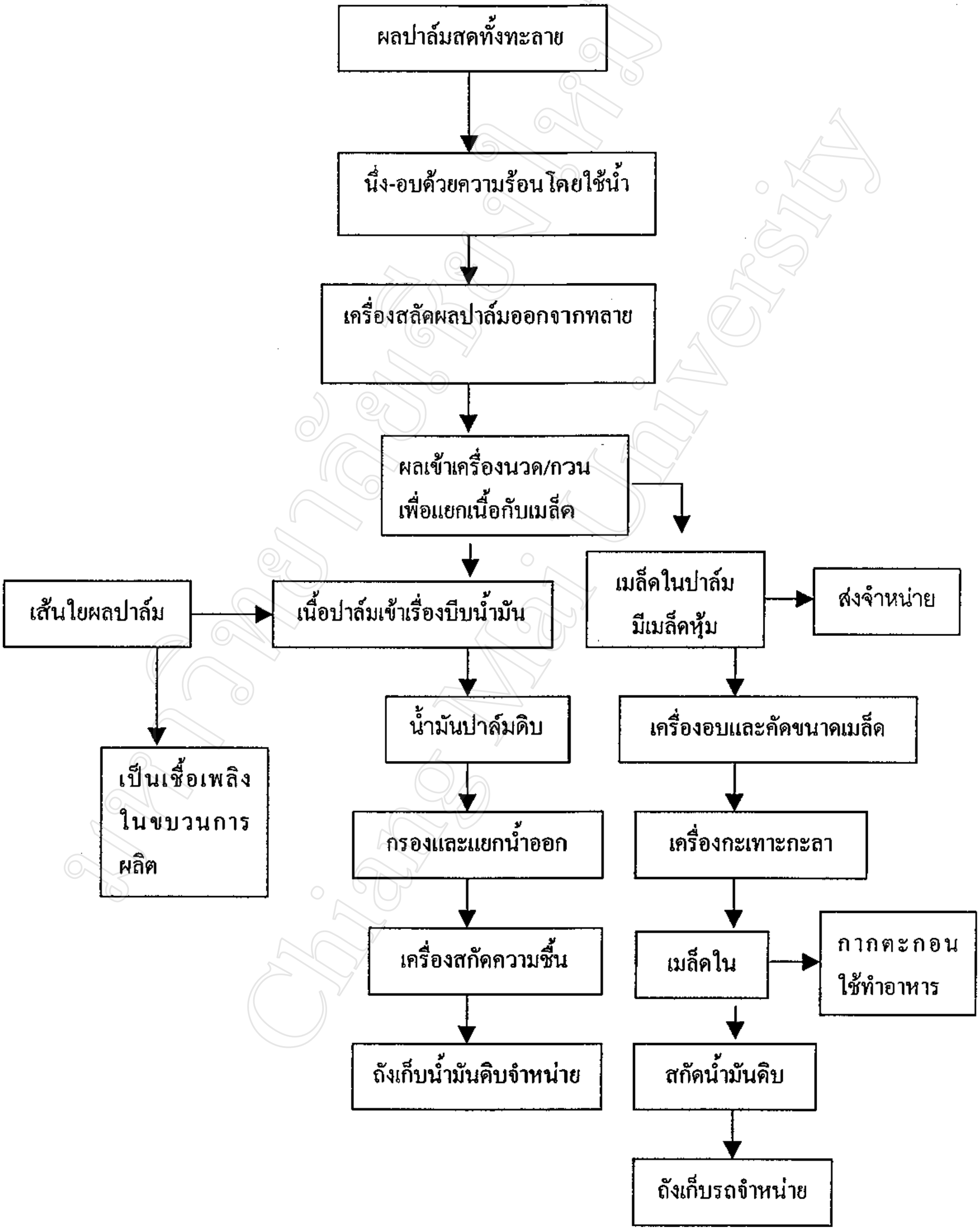
9. บรรจุถังเก็บเพื่อรอจำหน่าย

ภาพที่ 2 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบรวมเมล็ดใน



ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (2536) อ้างโดย โครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน (2537)

ภาพที่ 3 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบแยกเมล็ดออก



ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (2536) อ้างโดย โครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน (2537)

สิ่งเจือปนที่พบในน้ำมันปาล์มดิบ สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้คือ

- Hydrolytic ได้แก่ ความชื้น ฝุ่นผง กรดไขมันอิสระ เอ็นไซม์ และกลีเซอไรด์
- Oxydative ได้แก่ โลหะ Oxydation product, Tocopherols, Phosphatides และสารสี
- Catalyst poison ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฮาโลเจน นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลจากสารพวก Hydrocarbon, Terpenes, Resins, Sterols, Waxs และน้ำตาล

การกำหนดคุณภาพของน้ำมันปาล์มจะต้องกำหนดสิ่งต่างๆ คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์ฝุ่นผง เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ Iodine value, Peroxide value, P-Anisidine value, Iron, Copper, Carotene content, Ultra violet specific extinction, Bleachability, test soap content ppm (Yeong, 1981)

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

กรดไขมัน (fatty acid)		ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
Carprylic	C 8 : 0	4.00
Capric	C 10 : 0	5.00
Lauric	C 12 : 0	50.00
Myristic	C 14 : 0	15.00
Palmitic	C 16 : 0	7.00
Stearic	C 18 : 0	2.00
Oleic	C 18 : 1	15.00
Linoleic	C 18 : 2	1.00

ที่มา : Hartfiel (1988)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง

กรดไขมัน (fatty acid)		น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (เปอร์เซ็นต์)	น้ำมันมะพร้าว (เปอร์เซ็นต์)	น้ำมันถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
Carprylic	C 8 : 0	2.4-4.3	5.4-9.5	-
Capric	C 10 : 0	3.0-6.3	4.5-9.7	-
Lauric	C 12 : 0	44.5-52.0	44.1-51.3	-
Myristic	C 14 : 0	14.1-18.6	13.1-18.5	-
Palmitic	C 16 : 0	6.5-10.4	7.5-10.5	8.0
Stearic	C 18 : 0	1.3-3.5	1.0-3.7	4.0
Oleic	C 18 : 1	10.5-18.5	5.0-8.2	28.0
Linoleic	C 18 : 2	0.7-2.5	1.0-2.6	53.0
Linolenic	C 18 :3	-	-	6.0

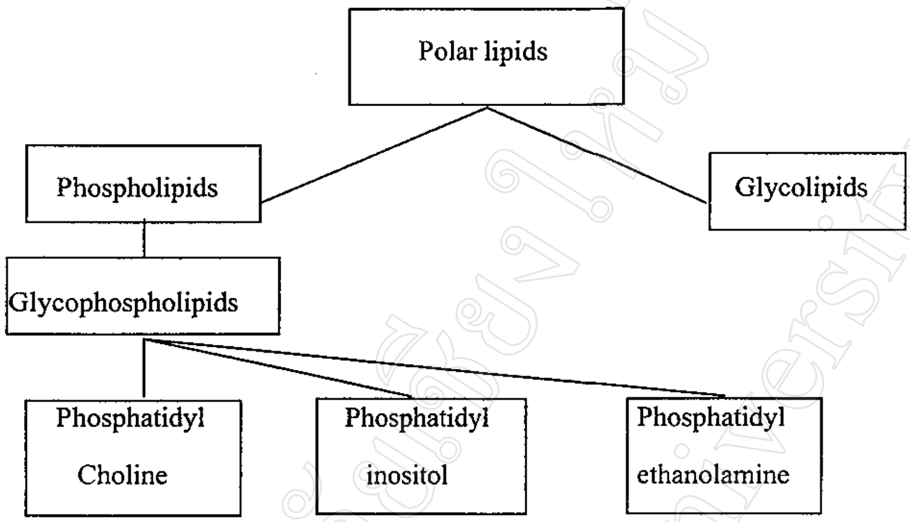
ที่มา : โครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน (2537)

เลซิทิน (lecithin)

Phospholipids เป็นลิปิดที่มีกรดไขมันจับกับแอลกอฮอล์และมีกรดฟอสฟอริค (phosphoric acid) เป็นองค์ประกอบ โดยแอลกอฮอล์ในลิปิดนั้นอาจอยู่ในรูปของกลีเซอรอล (glyceral) หรือ สฟิงโกซีน (sphingosine) ก็ได้จากการที่โมเลกุลของ Phospholipids มี Phosphate ester ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนของกรดไขมันซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเลซิทินจึงทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟด์ (emulsifying agent) ได้ดี คือทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กสามารถแขวนลอยอยู่ได้ทั้งในน้ำและไขมัน ซึ่งมีผลช่วยในการทำให้การย่อยไขมันและการดูดซึม ไขมันได้ดีขึ้น (เนื่องจากมีขั้ว Polar และไม่มีขั้ว Non-polar อยู่ในตัวเดียวกัน) โดยที่ Phospholipid นี้จะมี Phosphatidyl choline เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่ง Phosphatidyl choline (lecithin) คือกลุ่มฟอสเฟตในกรดฟอสฟาติดิก (phosphatidic acid) ไปจับกับ Choline และ Phosphatidyl inositol คือกลุ่มฟอสเฟตในกรดฟอสฟาติดิก (phosphatidic acid) ไปจับกับ Inositol และ Phosphatidyl ethanolamine คือกลุ่มฟอสเฟตในกรดฟอสฟาติดิก (phosphatidic acid) ไปจับกับ Ethanolamine สำหรับ Phosphatidyl serine คือกลุ่มฟอสเฟตในกรดฟอสฟาติดิก (phosphatidic acid) ไปจับกับ Serine (มนตรี และคณะ, 2530)

การแบ่งประเภทของ Polar lipid แสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การแบ่ง Polar lipids



ที่มา : Paltaug and Hermetter. (1990)

เลซิทิน หรือที่เรียกว่า Phosphatidyl choline จัดอยู่ในกลุ่ม Phospholipid หมายถึงพวกที่มีกรดฟอสฟอริค (phosphoric acid) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะมีเบสที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบความบริสุทธิ์ของเลซิทินจะยึดค่าของ Phospholipid เป็นหลักถ้ามีค่ามากเท่าไรก็ถือว่าบริสุทธิ์มากเท่านั้น โดยที่ Phospholipid นี้จะมี Phosphatidyl choline เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่ง Phosphatidyl choline คือกลุ่มฟอสเฟตในกรดฟอสฟาติดิก (phosphatidic acid) ไปจับกับ Choline นอกจากนั้นในเลซิทิน ยังมีธาตุอาหาร วิตามิน และกรดไขมันบางชนิดเป็นส่วนประกอบซึ่งธาตุอาหารประกอบด้วยทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารหลักได้แก่ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียม ธาตุอาหารรองได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส ส่วนวิตามินที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ Choline Inositol และ Ethanolamine กรดไขมันมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) กรดไขมันอิ่มตัวได้แก่ Palmitic acid (16 : 0) Stearic acid (18 : 0) กรด ไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่ Oleic acid (18 : 1) Linoleic acid (18 : 2) และ Linolenic acid (18 : 3) ซึ่งใน เลซิทินประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงทำให้สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก (Schafer and Wywiol, 1986)

ส่วนประกอบของกรดไขมัน ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในเลซิทินแสดงใตารางที่ 10, 11 และ 12

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของกรดไขมันในเลซิทินคิดจากเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

Item	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 11 ส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักในเลซิทิน

Item	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 12 ส่วนประกอบของธาตุอาหารรองในเลซิทิน

Item	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)

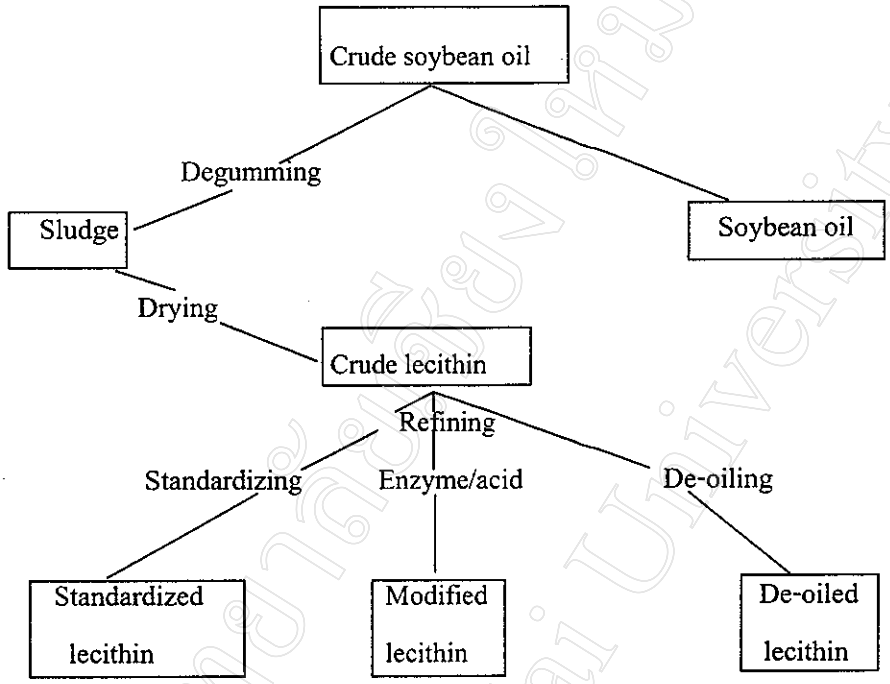
เลซิทินมีคุณสมบัติสำคัญในการช่วยทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ตัวไขมันที่แขวนลอยอยู่ได้ทั้งในน้ำและในไขมัน เนื่องจากตัวมันเองมีส่วน Hydrophilic acid และ Hydrophobic acid ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยย่อยไขมันและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็ก เนื่องจากเลซิทินเป็นพวก Phospholipid ที่มีอยู่ในน้ำดี (ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำดีมี phospholipid ประกอบอยู่) และ 96 เปอร์เซ็นต์ของ Phospholipid ในน้ำดีคือ เลซิทิน หรือ Phosphatidyl choline (Avogaro *et al.* 1983)

Lucas Meyer Ltd. (1981) รายงานว่าเลซิทินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการผลิตไขมันถั่วเหลืองซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ Crude lecithin, Standard lecithin, Modified lecithin และ De-oiled lecithin ขั้นตอนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 5

ชนิดของ เลซิทินที่ได้จากขบวนการผลิตคือ

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

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิตเลซิทิน



ที่มา : Lucas Meyer Ltd. (1981)

การใช้เลซิทินในอาหารสัตว์

Schafer and Wywiol (1986) กล่าวว่า การที่เลซิทินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสารที่มีราคาไม่แน่นอน แต่มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น เป็นสารที่มีการย่อยได้สูงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของของร่างกายเช่นเดียวกับไขมันเนื่องจากมีกรดไขมันที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งยังมีไวตามินและแร่ธาตุหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ ทั้งมีคุณสมบัติในการทำให้ไขมันในแตกตัวและแขวนลอยได้ดี ซึ่งมีจุดประสงค์หลักส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของไขมันชนิดต่าง ๆ ที่ใส่ในสูตรอาหาร เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน

Lusus Meyer Ltd. (1981) รายงานว่า การเสริมเลซิทินในอาหารจะมีผลให้การย่อยได้ของไขมันในอาหารมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเลซิทินจะไปทำให้ไขมันมีการกระจายตัวอย่างคงที่สม่ำเสมอ ทำให้เอนไซม์ไลเปส (pancreatic lipase) เข้าย่อยสลายและมีการดูดซึมไขมันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการย่อยได้ของไขมันจะทำให้ไขมันแตกตัวเป็น โมเลกุลเล็กๆ และไปกระจายอยู่เต็มพื้นที่ของวิลไล (villi) ในลำไส้เล็ก โอกาสที่ไขมันที่ได้จากการย่อยได้ของเอนไซม์จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กมีมากขึ้น

Pandum (1988) รายงานระดับที่เหมาะสมของการเสริมเลซิทินในอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ เพื่อเลซิทินที่เสริมถูกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ ในอาหารสุกรเล็กสามารถใช้เลซิทินได้ในระดับ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นใช้ในระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรไก่เล็กควรใช้ในระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ ของไขมันในอาหารและในอาหารกระต่ายควรใช้ในระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้น

บทบาทของเลซิทินในอาหารลูกสุกร

ปกติอาหารพวกไขมันจะถูกย่อยในลำไส้เล็ก โดยมีน้ำดีเป็นอิมัลซิฟายเออร์ในลำไส้เล็ก และช่วยในการกระจายทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำย่อย Pancreatic lipase ที่ขับออกมาจากตับอ่อนเข้าย่อยไขมันได้มากขึ้นมีผลทำให้การย่อยและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็กได้มากขึ้นด้วย (Cheeke, 1987)

Heller (1963) รายงานว่าการเสริม De-oiled lecithin ในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกสุกรในช่วง 2 สัปดาห์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น 18.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของลูกสุกรแต่ละตัวในช่วงนี้เท่ากับ 7.24 กิโลกรัม ในขณะที่ลูกสุกรที่ได้รับอาหารปกติมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 6.11 กิโลกรัม ทั้งนี้เป็นผลจากในระยะลูกสุกรเล็กความสาสมารถในการย่อยไขมันมีอยู่อย่างจำกัด การผลิตเอนไซม์ที่ย่อยไขมันในระบบทางเดินอาหารยังมีในปริมาณต่ำ แต่การเพิ่มเลซิทินชนิด De-oiled lecithin ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระจายตัวของไขมันจะมีผลให้เอนไซม์ที่ย่อยไขมัน มีโอกาสเพิ่มขึ้นในการย่อยและใช้ประโยชน์จากไขมัน นอกจากนี้ไขมันในเลซิทินก็สามารถถูกย่อยและใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน

Poleacu *et al.* (1974) ได้ทำการทดลองให้อาหารที่เสริมด้วยเลซิทินที่ได้จากถั่วเหลือง (ซึ่งมีค่า phospholipids ประกอบอยู่ 55-60 เปอร์เซ็นต์) ในระดับ 0, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับลูกสุกรหลังหย่านมจนถึงอายุ 72 วัน พบว่าใน 30 วันแรก ลูกสุกรจะให้ผลตอบสนองมากกว่าในช่วงหลังจนถึง 72 วัน และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เลซิทินในระดับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ที่เสริมลงในอาหารอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้สมรรถภาพของลูกสุกรดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมที่ระดับ 2.0 เปอร์เซ็นต์

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

การใช้เลซิทินในอาหารโค

Schafer and Wywiol (1986) กล่าวว่าการทดลองที่เกี่ยวกับผลของเลซิทินในอาหารลูกโคยังมีอยู่น้อยมาก แต่จุดประสงค์ที่สำคัญในการใช้เลซิทินในอาหารลูกโคส่วนใหญ่มักนิยมใช้เสริมในนมเทียมเลี้ยงลูกโค เนื่องจากสูตรอาหารนมเทียมใช้เป็นเป็นการค้ามักนิยมใช้ไขมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ทดแทนไขมันนม (buffer fat) ที่มีราคาแพงกว่า เพื่อให้การกระจายของไขมันที่เสริมในนมเทียมในส่วนของลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้เลซิทินที่เสริมในนมเทียมยังถูกใช้เป็นแหล่งของไวตามินและแร่ธาตุได้

Wonsil *et al.* (1991) ทำการศึกษาผลของการใช้ Tallow และ Crude soya lecithin ในโค รีดนม โดยทำการศึกษาถึงผลต่อการย่อยได้ของโภชนะ ปริมาณน้ำนม และส่วนประกอบในน้ำนม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณน้ำนมรวม ไขมันนมและโปรตีนในนม ซึ่งการใช้ Crude soya lecithin จะมีผลทำให้ Dry matter intake ลดลง พลังงานที่ได้รับเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hollenberger and Grummer (1996) พบว่ากลุ่มที่ได้รับ Tallow, Palm และ Tallow + Palm มีค่า Dry matter intake ลดลงและมีเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของ NDF ลดลง แต่การใช้น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันหมูทดแทน Tallow ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตการย่อยได้ของพลังงานและไขมัน

เลซิทินที่นำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด (Lucas Meyer Ltd, 1981)

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

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

3. Double modified lecithin เป็นเลซิทินที่ผ่านขบวนการเช่นเดียวกับ Single modified lecithin แต่ใช้ Phospholipase หลายครั้ง เลซิทินชนิดนี้อยู่ในรูปของเหลวมีค่า Phospholipids ประมาณ 57.0 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 7697 kCal/kg

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบส่วนประกอบของ Sludge และ Crude lecithin

Item	Sludge (%)	Crude lecithin (%)
Polar lipids	33	60.0-70.0
Soybean oil	12	27.0-37.0
Moisture	53	0.5-1.5
Impurities	2	0.5-2.0

ที่มา : Hertrampf (1992)

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบส่วนประกอบของเลซิทินแต่ละชนิด

Item	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)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบส่วนประกอบของ Crude lecithin และ Pure lecithin

Item	Crude lecithin (oily) (%)	Pure lecithin (powder, granules) (%)
Total Phospholipids	65	98
Phosphatidyl choline	15	23
Phosphatidyl inositol	13	19
Phosphatidyl ethanolamine	14	21
Other phospholipids	10	15
Phosphatidic acid	4	6
Glycolipids	9	14
Oil and other substances	35	2

ที่มา : Ziegelitz (1990)

สารบ่งชี้ (marker) ในการศึกษาการย่อยได้

วิธีการศึกษาการย่อยได้โดยใช้สารบ่งชี้เป็นวิธีการที่ช่วยแก้ปัญหาการศึกษาการย่อยได้ของอาหารในสัตว์ทดลอง ซึ่งต้องใช้เวลานาน ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากสารบ่งชี้ที่ใช้ร่วมกับอาหารทดลอง จะช่วยให้ทราบถึงการเคลื่อนตัวของอาหารทดลองที่ผ่านจุดต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งการย่อยได้ของโภชนะในอาหาร ณ แต่ละจุดของระบบทางเดินอาหารได้ คุณสมบัติที่ดีของสารบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (Maynard *et al.* 1979)

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

สารบ่งชี้ที่สำคัญและที่นิยมใช้ในการทดลองศึกษาการย่อยได้ในสัตว์ ได้แก่ โครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเป็นสารอันตราย เนื่องจากอาจเป็นสารที่ก่อมะเร็งได้ (Peddie *et al.* 1982) นอกจากนี้วิธีวิเคราะห์โครมิกซ์ออกไซด์ก็ค่อนข้างซับซ้อน และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ เช่น กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid) ก็มีอันตรายรุนแรงต่อผู้ที่วิเคราะห์ด้วย (Fenton and Fenton, 1979) ในปัจจุบันจึงเริ่มให้ความสนใจในการนำสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มาใช้เป็นสารบ่งชี้มากขึ้น ในการทดลองหาการย่อยได้เนื่องจากพบว่ามีอันตรายน้อยมากและมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยากไทเทเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและมีคุณสมบัติทางเคมีคือไม่ละลายในน้ำ HCl, HNO_3, H_2SO_4 กรดแก่ และเบสแก่

Peddie *et al.* (1982) ได้ทดลองศึกษาการย่อยได้ในไก่ (*gallus domesticus*)โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตรา 2 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (น้ำหนักสด) และรายงานว่าสารดังกล่าวไม่มีอันตรายต่อตัวสัตว์ไม่มีผลต่อการกินและการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนแต่อย่างใดมีปริมาณที่พบในมูล (% recovery) 99.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายโดยวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนจากวิธี Kjeldahl method

Jagger *et al.* (1992) ได้รายงานผลการทดลองเปรียบเทียบความเหมาะสมของการนำโครมิกซ์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้เป็นสารบ่งชี้ในการศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโน จากปลายลำไส้เล็กและปลายลำไส้ใหญ่ของสุกร โดยใช้สุกรที่ผ่าตัดใส่ท่อเก็บตัวอย่างที่ปลายลำไส้เล็กและใช้สารชี้นำทั้ง 2 ชนิดในสูตรอาหารปริมาณ 1.0, 5.0 และ 1.0, 5.0 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (น้ำหนักสด) ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าการใช้โครมิกซ์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสูตรอาหารปริมาณ 5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารของสุกรลดลง แต่ถ้าให้สุกรได้ปรับตัวกับอาหารเป็นระยะเวลานานขึ้น สุกรจะกินอาหารได้ตามปกติ แต่การใช้โครมิกซ์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสูตรอาหารประมาณ 1 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนเมื่อทำการศึกษาที่ปลายลำไส้เล็กและทั้งระบบทางเดินอาหาร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารบ่งชี้ที่พบในมูลสัตว์ทดลองที่ใช้โครมิกซ์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ในระดับ 1 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ปริมาณสารบ่งชี้ที่พบในมูลในกลุ่มที่ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารบ่งชี้มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าปริมาณสารบ่งชี้ที่พบในมูลมีค่า 74.6, 79.7 เปอร์เซ็นต์และ 78.3, 96.9 เปอร์เซ็นต์สำหรับการใช้สารบ่งชี้โครมิกซ์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ในระดับ 1 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังกล่าวว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ ในระดับ 1 กรัมต่อกิโลกรัมอาหารมีความเหมาะสมที่สุดในการศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนหรือกรดอะมิโนในอาหารสุกร