# บทที่ 2
# ตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ไขมันจัดเป็นโภชนะที่ให้พลังงาน ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ต่อเป็นสายยาว มีหมู่ carboxyl group (COOH) อยู่ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีไฮโดรเจนอยู่เต็มระหว่างอะตอมของคาร์บอนจะจับติดต่อกันแบบพันธะเดี่ยว (single bond) ถ้ามีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอมจะมีสภาพเป็นของเหลว ถ้ามีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอมจะมีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) ระหว่างอะตอมของคาร์บอน

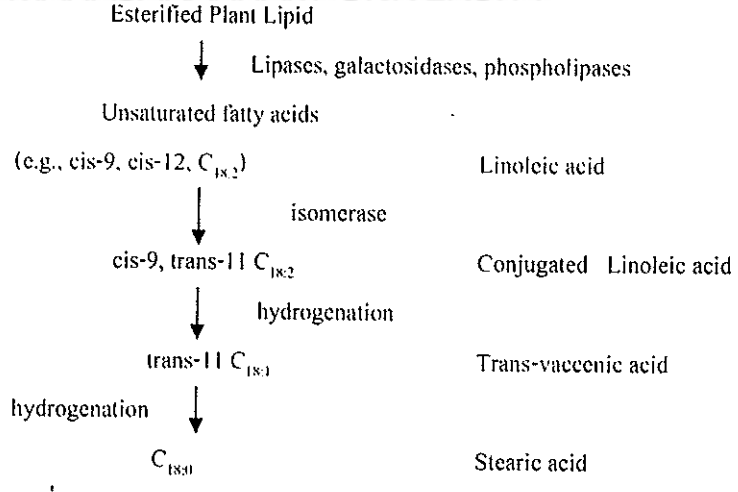
**2.1 เมแทบอลิซึมของไขมันในระบบทางเดินอาหารและในเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้อง**

กรดไขมันที่พบในพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่เมื่อมาถึงกระเพาะหมักซึ่งมีสภาพแบบไร้ออกซิเจน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น 3 ขั้นตอน (ฉลอง, 2541) คือ

1. Hydrolysis โดย triglyceride ถูก hydrolyse ได้เป็น glycerol และ fatty acid

2. Hydrogenation โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เช่น *Butyrivibrio fibrisolvens* (Latham et al., 1972) และ *Anaerovibrio lipolytica* (Jenkins, 1993) เป็นหลัก โดยมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว (Drackley, 2000) ดังรูปที่ 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

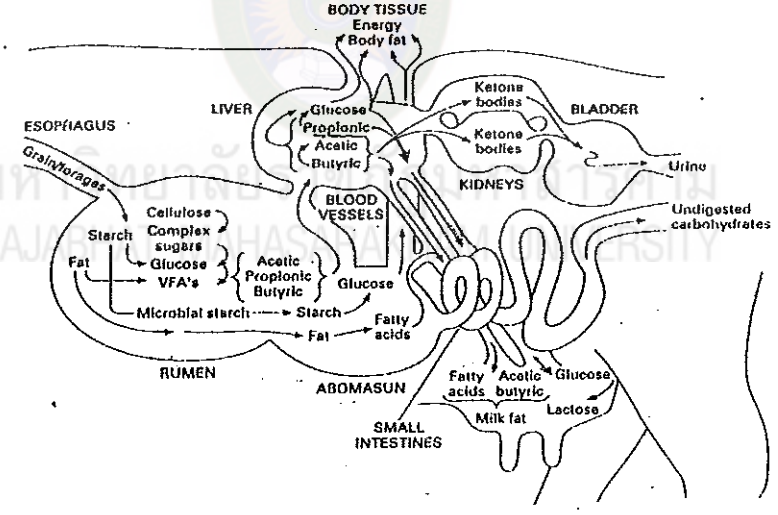



**รูปที่ 1** : ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมัก

**ที่มา :** Jenkins (1993) ; Drackley ( 2000)

ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของแบคทีเรียในกระเพาะหมักอยู่ระหว่าง 10 -15% ซึ่งใน liquid-associated bacteria มีไขมันต่ำกว่าใน solid-associated bacteria (Bauchart et al., 1990) ไขมันในแบคทีเรียได้มาจากอาหาร (exogenous sources) โดยเฉพาะ long-chain fatty acid และจากการสังเคราะห์โดยตัวจุลินทรีย์เอง (endogenous or de novo synthesis) การสังเคราะห์นั้นขึ้นอยู่กับไขมันในอาหารและชนิดของแบคทีเรีย และการเพิ่มระดับของไขมันในอาหารจะช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ไขมันในจุลินทรีย์ได้ (Jenkins, 1993)

3. Isomerization เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจาก cis ให้เป็น trans กระบวนการดังกล่าว ทำให้จุดหลอมเหลวของกรดไขมันสูงขึ้น ไขมันมีลักษณะแข็งตัวขึ้น กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากคือ stearic acid และ palmitic acid นอกจากนี้จุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่จำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่จากกรดโพพิออนิก และกรดไขมันที่มีสายไฮโดรคาร์บอน ที่เป็นแขนงได้โดยสังเคราะห์ได้จาก valine, leucine และ isoleucine (ศรีสกุล และรณชัย, 2539) นักวิทยาศาสตร์ได้มีความพยายามที่ลดกรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น การใช้ไขมันผ่านกรรมวิธี (protected fat) เพื่อป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยให้ไขมันที่ได้รับจากอาหารไปถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2 : การใช้ประโยชน์ของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง**

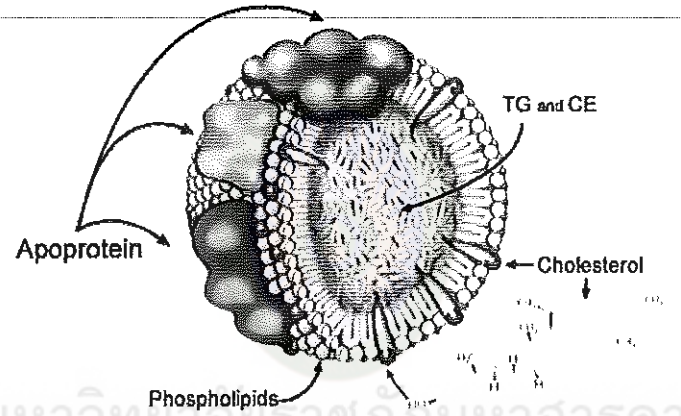
**ที่มา : ฉลอง (2541)**

การดูดซึมกรดไขมันนั้นพบว่า หากเป็นกรดไขมันสายสั้นและสายยาวปานกลาง (C4-C12) สามารถดูดซึมเข้าสู่ mucosal cell ของลำไส้ได้โดยตรงจากนั้นผ่านเข้ากระแสเลือดทางหลอดเลือด portal โดยอาศัยโปรตีน albumin เป็น carrier (ปนัดดา, 2546) ส่วนกรดไขมันสายยาว (C มากกว่า 12) พบว่า

2- monoacylglycerol และคลอเลสเตอรอลอิสระจะรวมตัวกับเกลือของกรดน้ำดีในรูปของไมเซลล์ผสม (mixed micelle) ทำให้สามารถละลายได้ จากนั้นไมเซลล์ผสมจะถูกดูดซึมผ่าน brush border ของผนังลำไส้เล็กต่อไป หลังจากที่ไขมันเข้ามาอยู่ใน mucosal cell ของลำไส้เล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงกับไขมันดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมก่อนที่จะมีการส่งออกไปในรูปของไคโลไมครอน (chylomicrons)

ในเลือดประกอบด้วยโปรตีนอัลบูมิน(albumin) และ ไลโปโปรตีน (lipoprotein) ซึ่งอัลบูมินช่วยลำเลียงกรดไขมันอิสระ ส่วนไลโปโปรตีนมีหลายชนิดช่วยลำเลียงไตรกลีเซอไรด์และไขมันชนิดอื่นๆ ระหว่างตับกับเนื้อเยื่อต่างๆ โดยไลโปโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งไขมันชนิดต่างๆ จะมีลักษณะพิเศษกล่าวคือ แกนกลางของไลโปโปรตีนจะเป็นไขมันชนิดที่ไม่มีขั้ว (nonpolar lipid) เช่น ไตรกลีเซอไรด์และคลอเลสเตอรอลเอสเตอร์

ดังรูปที่ 3




TG = triglyceride ; CE = cholesterol ester

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

**รูปที่ 3 :** ส่วนประกอบของไลโปโปรตีน

**ที่มา** : Protech Inc (2007)

นอกจากนี้ปรากฏว่า ไตรกลีเซอไรด์ และคลอเลสเตอรอลเอสเตอร์ ถูกล้อมรอบด้วยไขมันชนิดที่สามารถละลายน้ำได้บางส่วน (amphipatic lipid) เช่น ฟอสโฟลิปิดและ คลอเลสเตอรอล และมีโปรตีนบางชนิดที่เรียกว่า อะโปโปรตีน (apoprotein) แทรกอยู่ในชั้นของไขมันเหล่านี้โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาน (receptor) ซึ่งไลโปโปรตีนแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆตามระดับชั้นเมื่อนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงกำลังสูง ได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. ไคโลไมครอน (chylomicrons) ทำหน้าที่หลักในการขนส่ง ไตรกลีเซอไรด์ จากลำไส้เล็กไปยังตับ

2. วีแอลดีแอล (very low density lipoprotein, VLDL) ทำหน้าที่ขนส่งไตรกลีเซอไรด์ จากตับไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ

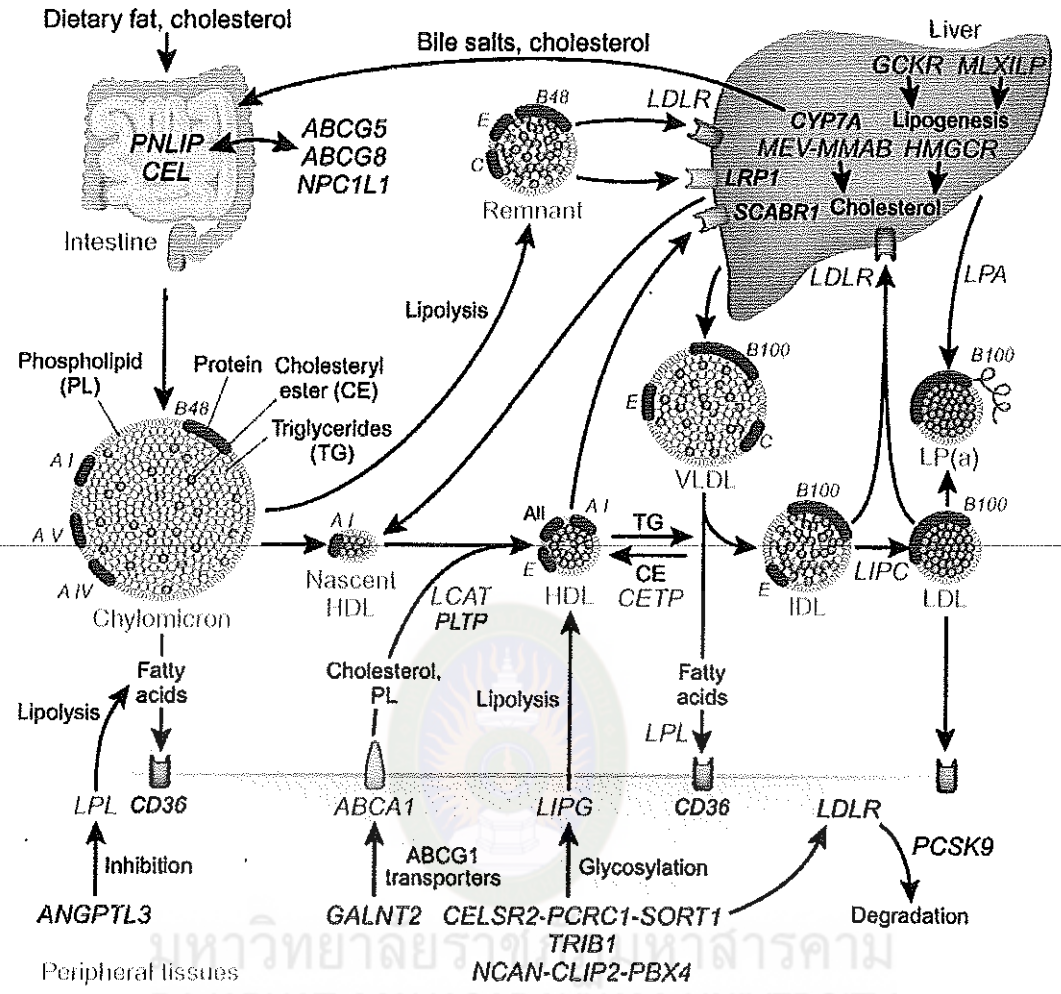
3. แอลดีแอล (low density lipoprotein, LDL) ประกอบด้วย คลอเลสเตอรอล เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะขนส่งคลอเลสเตอรอลเหล่านี้ไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ

4. เอชดีแอล (high density lipoprotein, HDL) ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดมากที่สุด และมีคลอเลสเตอรอลรองลงมา จะทำหน้าที่ในการขนส่งไขมันเหล่านี้จากเนื้อเยื่อต่างๆไปกำจัดที่ตับ

การทำงานของไลโปโปรตีนนั้นพบว่า ไขมันชนิดต่างๆจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายที่ลำไส้เล็ก โดยการย่อยให้เป็นกรดไขมันก่อนที่จะดูดซึม กรดไขมันต่างๆที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ผนังลำไส้เล็กจะรวมตัวกันอีกครั้งในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ส่วนคลอเลสเตอรอลสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เลยโดยไม่ต้องย่อยก่อน (ปนัดดา, 2546) จากนั้นไตรกลีเซอไรด์จะรวมตัวกับคลอเลสเตอรอลและไขมันชนิดอื่นในอัตราส่วนหนึ่งเป็นไลโปโปรตีนที่เรียกว่า ไคโลไมครอน เข้าสู่ระบบน้ำเหลืองเพื่อไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น หัวใจ กล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อไขมัน เป็นต้น ซึ่งเนื้อเยื่อเหล่านี้จะมีเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยไตรกลีเซอไรด์ให้เป็น กลีเซอรอลและกรดไขมันอยู่ คือ ไลโปโปรตีนไลเปส (lipoprotein lipase) ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่ขนส่งมาโดยไคโลไมครอน 80 % ถูกย่อยสลายที่เนื้อเยื่อเหล่านี้เพื่อไปใช้เผาผลาญเป็นพลังงานหรือสะสมไว้ที่เนื้อเยื่อไขมัน ส่วนไคโลไมครอนที่ถูกย่อยเอาไตรกลีเซอไรด์ออกไปจะถูกเรียกว่า ไคโลไมครอนเรมเนนท์ (chylomicron remnant) จะเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อไปย่อยสลายต่อที่ตับต่อไป ดังรูปที่ที่



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY




มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

**รูปที่ 4** : กระบวนการขนส่งไขมัน

**ที่มา** : Aldons and Pajukanta (2008)

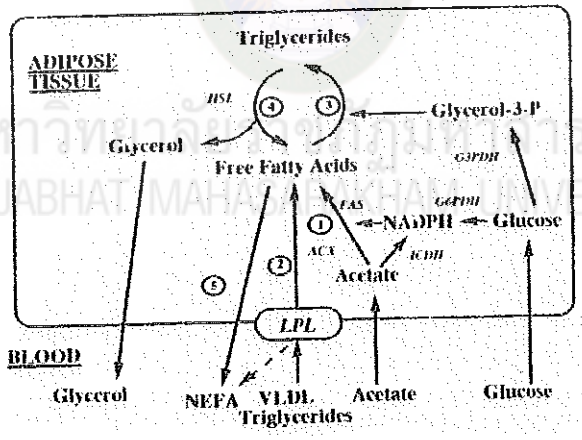
ไตรกลีเซอไรด์และคลอเลสเตอรอลรวมทั้งไขมันชนิดอื่นๆ ถูกย่อยสลายและนำไปผ่านกระบวนการผลิตสารชนิดใหม่ (hydrolysis and metabolism) เช่น การย่อยไตรกลีเซอไรด์จนได้กรดไขมันเพื่อนำไปย่อยสลายต่อจนได้ อะเซติลโคเอ (acetyl coA) สร้างพลังงานให้กับร่างกาย หรือ สร้างน้ำดีจากคลอเลสเตอรอล นอกจากตับจะย่อยสลายสารต่างๆแล้ว ตับเองก็ยังเป็นแหล่งสร้างไตรกลีเซอไรด์ คลอเลสเตอรอล และไขมันชนิดอื่นๆด้วยเช่นกัน ไขมันเหล่านี้จะรวมกับโปรตีนที่สร้างขึ้นในเซลล์ตับเป็นไลโปโปรตีนชนิดที่เรียกว่า VLDL เพื่อนำไขมันเหล่านี้ที่สร้างจากตับไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานเช่นเดียวกับไคโลไมครอน VLDL ที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปสเพื่อเอา

ไตรกลีเซอไรด์ออกไปจะมีคลอเลสเตอร์รอลสูงขึ้นมากถึง 58% รวมทั้งมีการย่อยเอาอะโปโปรตีนบางตัวออกไปด้วย ทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น เรียกว่า LDL ทำหน้าที่ขนส่งคลอเลสเตอรอลเหล่านี้ไปตามกระแสเลือด โดยปริมาณคลอเลสเตอรอล 30 % ถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อต่างๆที่ต้องการคลอเลสเตอรอล ส่วนอีก 70% ที่เหลือจะนำกลับไปยังตับ LDL ที่ขนส่งคลอเลสเตอรอลไปตามกระแสเลือดสามารถที่จะจับกับเซลล์ของกล้ามเนื้อหลอดเลือดแดงได้ เนื่องจากที่หลอดเลือดเหล่านี้มีตัวรับ (receptor) อะโปโปรตีนที่อยู่บน LDL ทำให้เป็นสาเหตุของการสะสมคลอเลสเตอรอลในเส้นเลือดมากขึ้นอันเกิดเนื่องจากการขนส่งของ LDL

ไลโปรตีนที่สำคัญตัวหนึ่ง ที่ถูกสร้างขึ้นที่ตับและลำไส้เล็กเช่นกัน คือ HDL จะทำหน้าที่หลักในการขนส่งอะโปโปรตีนไปให้กับไคโลไมครอนและ VLDL เพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไลโปโปรตีนทั้งสองและรับคลอเลสเตอรอลจากเนื้อเยื่อต่างๆ กลับไปย่อยสลายที่ตับ หรือเรียกไลโปโปรตีนตัวนี้ว่าเป็น ไขมันดี

**2.2 เมแทบอลิซึมของกรดไขมันในเนื้อเยื่อไขมัน**

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องการสังเคราะห์ไขมัน (de novo fatty acid synthesis) เกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เป็นส่วนใหญ่ประมาณ 92 % (เมธา, 2533) สารตั้งต้นคือ กรดอะซิติก (acetic acid) (รูปที่ 5)

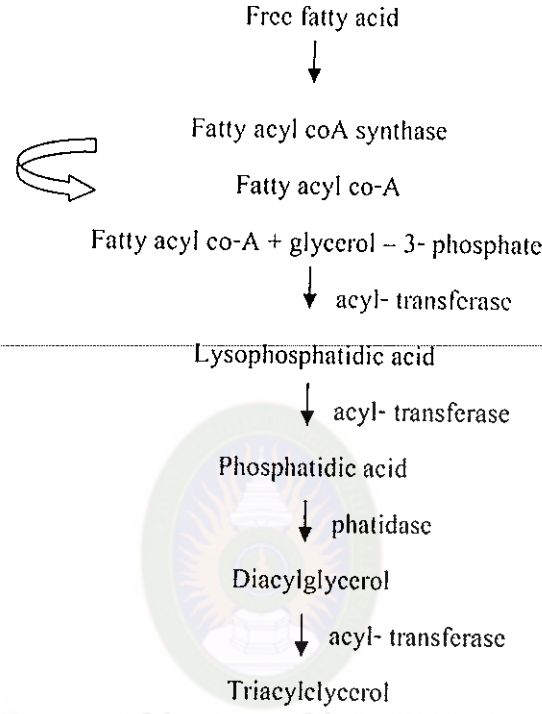



1= De novo fatty acid synthesis, 2 = hydrolysis, 3 = (re)esterification, 4 = lipolysis, 5 = lipomobilization, Very low density lipoprotein (VLDL), Acetyl-coenzyme A carboxylase (ACX), Glucase-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH), Hormone-sensitive lipase (HSL), NADP-isocitrate dehydrogenase (ICDH), Lipoprotein lipase (LPL), Glycerol-3-phosphate dehydrogenase (G3PDH)

**รูปที่ 5 :** ขั้นตอนการสังเคราะห์กรดไขมันในเนื้อเยื่อไขมัน

**ที่มา** : Chilliard (1993)

หากเป็นการสังเคราะห์ไขมันในต่อมน้ำนมใช้ butyric acid เป็นสารตั้งต้น (ฉลอง, 2541) ที่ได้จากกระบวนการหมัก นอกจากนี้ VLDL, triglyceride และ glucose ก็เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมัน โดยการเกิดปฏิกิริยาสร้างเป็นพันธะเอสเทอร์กับ glycerol – 3- phosphate จากนั้นกรดไขมันอิสระจะถูกกระตุ้นเพื่อให้อยู่ในรูปที่สามารถไปเชื่อมต่อกับ glycerol – 3- phosphate ได้ดังปฏิกิริยา




**รูปที่ 6 :** ขั้นตอนการสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอล

**ที่มา** : ปนัดดา (2546)

หลังจากที่ไขมันถูกสังเคราะห์แล้วได้เป็นไตรเอซิลกลีเซอรอล นั้นจะมีการปลดปล่อยกรดไขมันออกจากเนื้อเยื่อไขมันก็ต่อเมื่อ อัตราส่วนของอินซูลิน/กลูคากอนมีค่าลดลง (ภาวะอดอาหาร) ส่งผลให้มีการเติมหมู่ phosphate ให้กับ enzyme lipase โดยการกระตุ้นจากฮอร์โมนกลูคากอน ทำให้ lipase ตัดสายไขมันออกจาก triacylglycerol ทำให้ได้เป็น free fatty acid และ glycerol ซึ่งจะเข้าสู่กระแสเลือดต่อไป (พจน์ และคณะ, 2543)

**2.3 การใช้เมล็ดพืชน้ำมัน (oilseed) เพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง**

การใช้เมล็ดพืชน้ำมัน เพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ในปัจจุบันมีการใช้หลายชนิด ที่นิยมใช้ เช่นการใช้เมล็ดฝ้ายจัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนเป็นหลัก อีกทั้งยังประกอบไปด้วยกรดไขมันที่สำคัญอีกหลายชนิด จากการรายงานของ Franke et al. (1981) พบว่าเมื่อใช้เมล็ดฝ้ายที่ระดับ 15 และ 30 % สามารถเพิ่มปริมาณน้ำนมในโคนมได้ นอกจากนี้ ในเมล็ดฝ้าย และเมล็ดทานตะวัน มีส่วน

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

pericarp ของเมล็ดช่วยป้องกันน้ำมันที่มีอยู่ภายในเมล็ดทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ (Felton and Kerley, 2004) ซึ่งน้ำมันดังกล่าวประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณที่สูง เช่น น้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน ประกอบด้วย oleic acid 45.3 % และ linolenic acid 39.8 % (NRC, 2001) ดังนั้นการใช้พืชน้ำมันอาจช่วยเพิ่มการนำไปใช้ประโยชน์ ได้ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ปริมาณของกรดไขมันในเมล็ดพืชน้ำมันแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 :** ชนิดของกรดไขมันในเมล็ดพืชน้ำมัน

| Oilseeds | % EE[2] | Fatty acids (weight %) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 14:0 | 16:0 | 18:0 | 18:1 | 18:2 | 18:3 |
| Sunflower | 44.93 | - | 7.00 | 4.00 | 17.00 | 72.00 | - |
| Coconut | 34.03 | 18.00 | 11.00 | 6.00 | 7.00 | 2.00 | - |
| Whole cottonseed[1] | 15.20 | 0.77 | 24.23 | 2.28 | 15.45 | 55.72 | 0.18 |
| Palm seed | 55.74 | 1.00 | 48.00 | 4.00 | 38.00 | 9.00 | - |

EE = ether extract

**ที่มา :** Dorrell (1978) ; Bertrand et al.[1] (2005) ; กรมปศุสัตว์[2] (2547)

จากตารางที่ 1 สังเกตได้ว่าจุดเด่นของเมล็ดทานตะวันและเมล็ดฝ้ายจะประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่สูง โดยเฉพาะลิโนเลอิก แอซิด (C18:2) นอกจากนี้มีการนิยมใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารโคนมอีกด้วย เนื่องจากอุดมไปด้วยไขมัน, โปรตีนและเยื่อใย เมื่อมีการเสริมไขมันจากฝ้ายและทานตะวันจะสามารถเพิ่มพลังงานในอาหาร อย่างไรก็ตามหากระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีสูงเกินไปในสูตรอาหารจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และไปเคลือบอาหารส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย (cellulotytic bacteria) ไม่สามารถทำงานได้ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย (Eastridge and Firkins, 1991) แต่หากมีการใช้ในระดับที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย เช่นในเมล็ดฝ้ายพบว่าหากใช้ที่ระดับ 15 % ในอาหาร กรดไขมันในเมล็ดจะถูกปลดปล่อยอย่างช้าๆในกระเพาะหมัก และถูก biohydrogenated อย่างช้าๆทำให้ไม่เกิดพิษต่อจุลินทรีย์ (Moore et al., 1986) แต่หากมีการใช้มากจะส่งผลกระทบเชิงลบต่อความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย (Martine et al., 1991) เนื่องจากน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่สูงถึง 70 % ทำให้ถูก hydrolyzed อย่างรวดเร็วและเกิดพิษต่อจุลินทรีย์ได้ (Keele et al., 1989) การนำเมล็ดทานตะวันไปเป็นส่วนอาหารสัตว์ สามารถใช้ได้ทั้งเมล็ดเต็มที่ระดับ 10 % และน้ำมัน ที่ระดับ 6% ในสูตรอาหาร ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มน้ำหนักตัว สัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำนม ได้อีกด้วย (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2 :** ผลของเมล็ดทานตะวันและเมล็ดฝ้ายต่อต่อปริมาณการกินได้, การเจริญเติบโต,ประสิทธิภาพการหมักในกระเพาะหมักและปริมาณน้ำนมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

| Item | Animal | DMI (kg/d) | ADG (kg/d) | Milk (kg/d) | Volatile fatty acid (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | C2 | C3 | C4 |
| Sunflower seed, SFS | | | | | | | |
| Control | Finishing | 7.38 | 0.96 | - | - | - | - |
| 9% SFS | steers[1] | 8.19 | 1.22 | - | | | |
| 14% SFS | | 8.25 | 1.36 | - | - | - | - |
| Control | Holstein | 15.60 | - | 25.4[a] | 59.3[a] | 21.8 | 16.6[b] |
| 10% SFS | cows[2] | 15.80 | - | 28.7[b] | 60.5[a] | 20.7 | 15.7[ab] |
| 20% SFS | | 16.60 | - | 26.8[ab] | 64.7[b] | 21.0 | 12.8[a] |
| 30% SFS | | 16.20 | - | 26.6[ab] | 62.8[ab] | 22.1 | 12.6[a] |
| Sunflower oil, SFO | | | | | | | |
| Control | Alpine | 1.98[a] | 2.37[a] | - | - | - | - |
| FLS | goats[3] | 1.85[b] | 2.13[b] | - | - | - | - |
| 3.6% SFO | | 1.90[b] | 2.27[a] | - | - | - | - |
| Control | Steers[4] | 7.60 | 1.06[b] | - | - | - | - |
| 6% SFO | | 6.53 | 1.23[a] | - | - | - | - |
| Control | Steers[5] | 8.73 | - | - | 68.0[a] | 18.3[b] | 9.9 |
| 5% SFO | | 8.70 | - | - | 64.0[b] | 21.2[a] | 10.4 |
| Whole cottonseed, WCS | | | | | | | |
| 6 % fat (3 % FFA) | Cows[6] | 21.50 | - | 32.90 | - | - | - |
| 6 % fat (6 % FFA) | | 22.80 | - | 35.70 | - | - | - |
| 6 % fat (9 % FFA) | | 22.10 | - | 32.00 | - | - | - |
| 6 % fat (12 %FFA) | | 23.00 | - | 33.80 | - | - | - |
| control | Steers[7] | - | - | - | 66.90[C] | 15.80 | 12.90[A] |
| 10% WCS | | - | - | - | 68.80[A] | 16.20 | 10.80[B] |

[A,B] Within a column means without a common superscript letter differ ($P < 0.01$).

[a,b] Within a column means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

FLS = formaldehyde-treated linseed oil ; FFA = free fatty acid

[1] Gibb et al. (2004) ; [2] Rafalowski and Park (1982) ; [3] Bernard et al. (2005) ; [4] Mir et al. (2002)

[5] McGinn et al. (2004) ; [6] Sullivan et al. (2004) ; [7] Malcolm and Kiesling (1990)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY