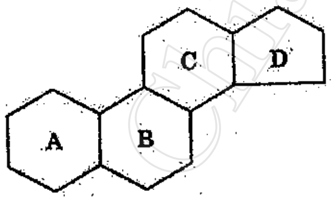
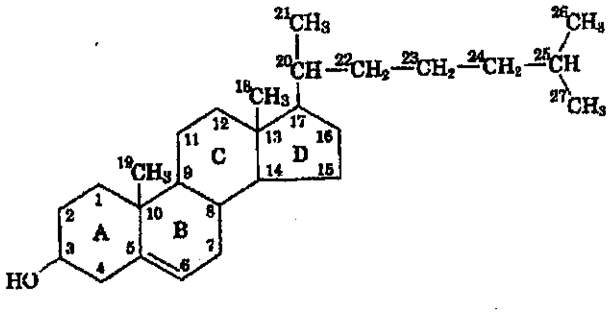
บทที่ 2
ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลิปิด (lipids) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์กลุ่มหนึ่งซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ใน organic sovents ปรากฏอยู่ในรูปของแข็งและของเหลวที่ได้จากพืชและสัตว์ และจัดเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน เกลือแร่ และน้ำ ซึ่ง lipids ส่วนใหญ่ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โคเลสเตอรอล (cholesterrol) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) (Voet *et al.*, 1999)

โคเลสเตอรอล คือ สารในกลุ่ม steroid สามารถสังเคราะห์ได้ในร่างกาย โดยการสังเคราะห์จาก acetyl CoA ซึ่งได้จากขบวนการเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และกรดไขมัน ที่ตับเป็นส่วนใหญ่ โคเลสเตอรอลมีสูตรโครงสร้างเป็นวงแหวน 4 วง cyclopentane ring จับกับ phenanthrene nucleus (Figure 1) ประกอบไปด้วยคาร์บอน 27 อะตอม และมีส่วนที่มีขั้ว คือ หมู่ – OH ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 – 6 (Voet *et al.*, 1999)



(cyclopentanoperhydrophenanthrene)



(cholesterol)

Figure 1 Cholesterol (Voet *et al.*, 1999)

โคเลสเตอรอลเป็นไขมันชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อร่างกายเพื่อใช้ในการสร้างฮอร์โมน วิตามินดี และกรดน้ำดี พบในอาหารที่มาจากสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์เท่านั้น ร่างกายได้รับโคเลสเตอรอลจาก 2 ทาง คือ จากอาหาร และร่างกายสังเคราะห์ขึ้นประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อวัน ถ้าร่างกายมีโคเลสเตอรอลสูงเกินกว่าปกติ (300 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) จะก่อให้เกิดผลเสียจากการที่โคเลสเตอรอลไปพอกตามผนังหลอดเลือดแดง เลือดไหลเวียนไม่สะดวก ทำให้เกิดโรคร้ายต่าง ๆ ตามมา เช่น โรคหัวใจขาดเลือด โรคหัวใจวาย เป็นต้น (คมกฤช, 2539)

นอกจากนี้อาหารไขมัน (dietary fat) เป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญที่มีผลต่อความแปรปรวนของระดับโคเลสเตอรอล ไลโปโปรตีน และไตรกลีเซอร์ไรด์ในกระแสเลือด เนื่องจากไขมันเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในการลำเลียงในกระแสเลือดจึงต้องอาศัยตัวช่วยในการละลาย ที่เป็นสารชีวโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนกับไขมัน เรียกว่า lipoprotein มีโครงสร้างเป็นแบบไมเซล (micellar structure) มีด้วยกัน 4 ชนิดที่มีความสำคัญต่อกระบวนการลำเลียงไขมันและโคเลสเตอรอล (อุษณีย์, 2538; นันทยา, 2532; Voet *et al.*, 1999)

Chylomicon: เป็นไลโปโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ประกอบด้วยไขมัน 80-90 % ที่เหลือเป็นโคเลสเตอรอล โปรตีน และฟอสโฟลิปิด ซึ่งได้แก่ เลซิติน (lecithin) ไคโลไมครอนนำพาไขมันจากอาหารที่เรากินเข้าไปเข้าสู่กระแสเลือดและไปสู่ตับ ไคโลไมครอนมีบทบาทเพียงเล็กน้อยในการนำพาโคเลสเตอรอลในเลือด

Very low density lipoprotein (VLDL): ประกอบด้วยไขมันเป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 60 – 80 % ไม่ได้เป็นไขมันที่มาจากอาหาร แต่เป็นไขมันที่สร้างและสังเคราะห์ขึ้นมา มีหน้าที่สำคัญคือขนส่งไขมันที่สร้างที่ตับขับสู่สายเลือดไปสะสมในเนื้อเยื่อไขมัน ไขมันที่เหลือบางส่วนจะนำกลับไปยังตับอีก เพื่อตับจะได้ใช้ในการสร้างต่อไป VLDL จะพาโคเลสเตอรอลด้วยแต่เป็นส่วนน้อย

Low density lipoprotein (LDL): เป็นตัวอันตราย รับผิดชอบในการพาโคเลสเตอรอลในเลือด 50 – 60 % และยังเป็นตัวนำโคเลสเตอรอลให้ไปเกาะในผนังของหลอดเลือด LDL ประกอบด้วยโคเลสเตอรอลเป็นส่วนใหญ่ โดยมีโปรตีนเพียง 25 % เท่านั้น

ซึ่ง LDL จะเป็นสารที่มี cholesterol ประกอบอยู่มากที่สุด เมื่อมีการขนย้าย Lipoprotein เหล่านี้จำนวนมากในกระแสเลือด จึงมีโอกาสที่จะเกิดสารสะสมของสารเหล่านี้โดยไปเกาะตามผนังด้านในของเส้นเลือด ทำให้เส้นเลือดหนาขึ้น เส้นเลือดจึงเริ่มตีบ จากนั้นพวกแคลเซียมจะเริ่มมาเกาะเป็นแผ่น ทำให้เส้นเลือดมีความแข็งเพิ่มขึ้น เส้นเลือดตีบลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งอุดตันเพราะเส้นเลือดหดตัวได้น้อยหรือไม่ได้ เนื่องจากเส้นเลือดแข็งเพราะ Ca เข้ามาเกาะเนื้อเยื่อบางส่วนจึงขาดการหล่อเลี้ยงจากเลือด ทำให้เนื้อเยื่อตายเป็นแห่ง ๆ ซึ่งลักษณะการเกิดแบบนี้สามารถเกิดได้กับเส้น

เลือดทุกเส้น แต่ส่วนใหญ่มักเกิดกับเส้นเลือดที่นำเลือดเข้าสู่หัวใจ (Coronary artery) เมื่อเกิดอาการเส้นเลือดแข็ง (atherosclerosis) เส้นเลือดเข้าสู่หัวใจตีบลง เลือดไปหล่อเลี้ยงหัวใจน้อยลง เกิดจุดตายของเนื้อเยื่อหัวใจ เมื่อมากขึ้นหัวใจจึงทำงานต่อไปไม่ได้ เกิดหัวใจวายตามมา (Voet *et al.*, 1999)

High density lipoprotein (HDL): เป็นตัวนำโคเลสเตอรอลที่ดี ประกอบด้วยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ และมีฟอสโฟลิปิดบ้าง แต่มีโคเลสเตอรอลเพียงเล็กน้อย มีหน้าที่ขจัดเอาไขมันที่มีอันตราย เช่น LDL ออกจากกระแสเลือดและผนังหลอดเลือดแดง ดังนั้นจึงเป็นกำลังป้องกันที่สำคัญในการต่อต้านการสะสมผิดที่ของไขมันและโคเลสเตอรอล

ไลโปโปรตีนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นนั้น มีบทบาทในการขนส่งลิปิดในกระแสเลือด ในขณะที่อยู่ในกระแสเลือดจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยการเกิดการแลกเปลี่ยนสารบางชนิด เช่นการแลกเปลี่ยนระหว่าง VLDL กับ HDL แสดงใน Figure 2 โดย HDL จะมีหน้าที่พาโคเลสเตอรอลที่สร้างจากเนื้อเยื่อต่างๆ ไปรวมกับกรดไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิปิดที่เซลล์เมมเบรน โดยอาศัยเอนไซม์ lecithin cholesterol acyl transferase (LCAT) ได้เป็นโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ หลังจากนั้นโคเลสเตอรอลเอสเทอร์จะถูกถ่ายเปลี่ยนมาให้แก่ VLDL ขณะเดียวกันก็เกิดการเร่งให้ไตรกลีเซอร์ไรด์ใน VLDL ถูกสลายเอากรดไขมันออก โดย lipoprotein lipase VLDL ที่เสียไตรกลีเซอร์ไรด์ไปและรับโคเลสเตอรอลเอสเทอร์จาก HDL เข้ามาทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นกลายเป็น LDL ซึ่งจะพา โคเลสเตอรอลเอสเทอร์มาสลายที่ตับหรือที่เซลล์อื่นๆ จัดว่า LDL คือตัวพาโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ในร่างกาย การที่ LDL พาโคเลสเตอรอลเอสเทอร์เข้าสู่เซลล์ตับได้ เพราะมีตัวรับเรียก LDL – receptor ซึ่งจำเพาะกับ LDL เมื่อโคเลสเตอรอลเอสเทอร์เข้าสู่เซลล์ตับ โมเลกุลของ LDL จะถูกสลายทำให้มีปริมาณโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ในตับสูงขึ้น เอนไซม์โคเลสเตอรอลเอสเทอร์เลสในตับจะสลายเอาโคเลสเตอรอลอิสระออกมา ปริมาณโคเลสเตอรอลอิสระที่เกิดมากจะยับยั้งการสร้างเอนไซม์ HMG – CoA reductase ในตับ ทำให้การสังเคราะห์โคเลสเตอรอลในตับถูกยับยั้ง ขณะเดียวกันมีการนำโคเลสเตอรอลอิสระไปเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี สเตียรอยด์ฮอร์โมน และวิตามินดี (อุษณีย์, 2538; Voet *et al.*, 1999) การหมุนเวียนเช่นนี้ร่างกายจึงสามารถควบคุมปริมาณโคเลสเตอรอลให้อยู่ในระดับปกติ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชนิดของไลโปโปรตีน (lipoprotein) ได้แก่ HDL มีบทบาทในการขนส่งโคเลสเตอรอลไปเผาผลาญที่ตับ ส่วน VLDL และ LDL มีบทบาทในการขนส่งโคเลสเตอรอลไปเผาผลาญในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและไขมัน (นันทยา, 2532)

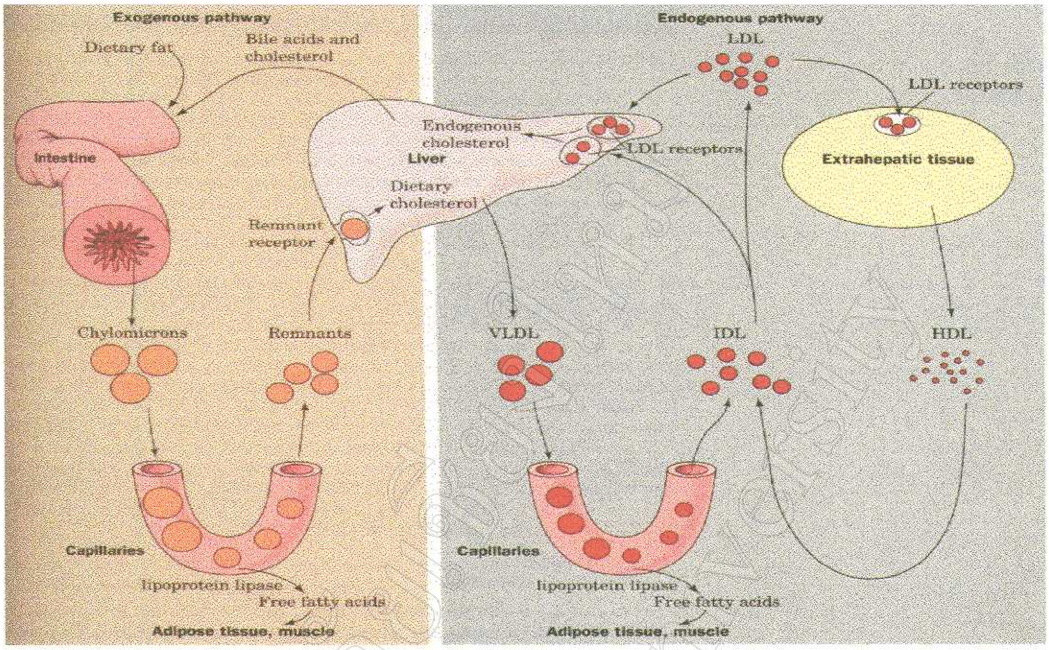


Figure 2 A model for plasma triacylglycerol and cholesterol transport in humans (Voet *et al.*, 1999)

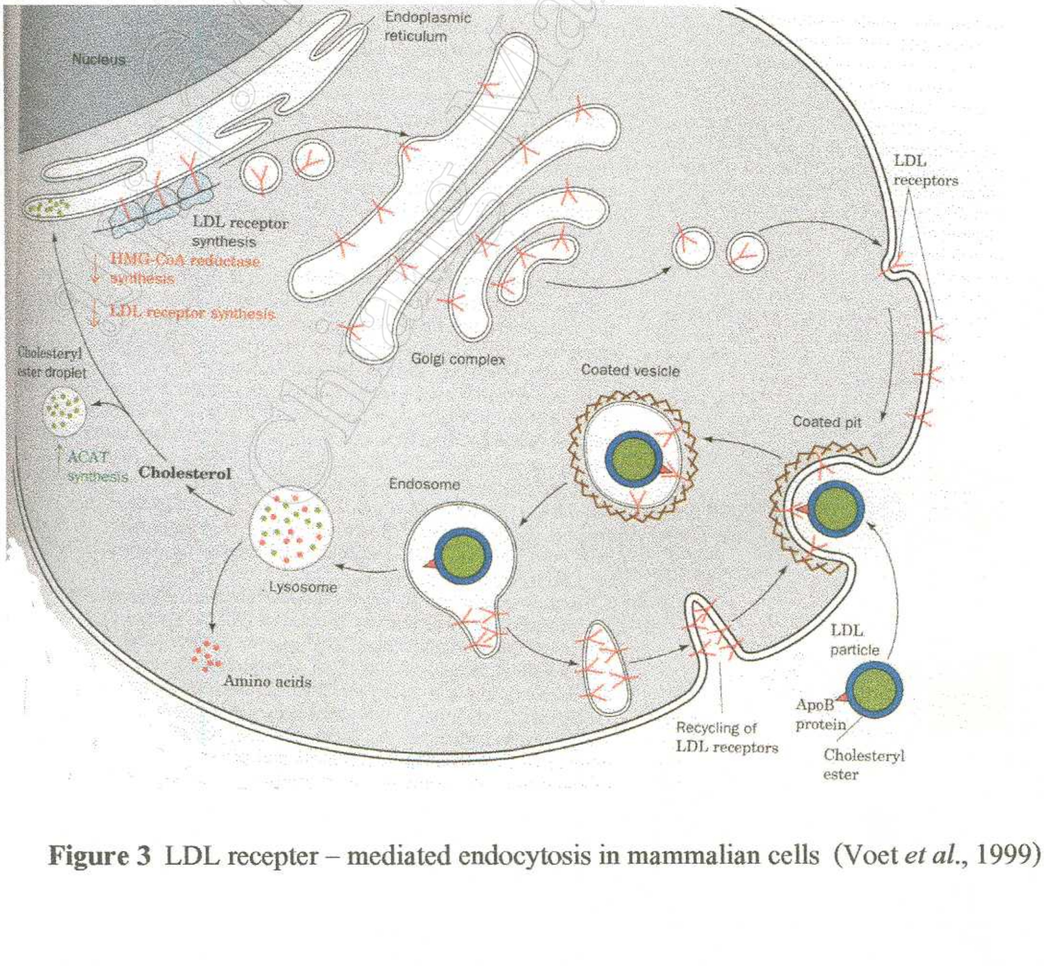


Figure 3 LDL recepter – mediated endocytosis in mammalian cells (Voet *et al.*, 1999)

ร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันอิ่มตัว เช่น palmitic acid (C16:0) stearic acid (C18:0) รวมทั้งกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวได้ เช่น palmitoleic acid (C16:1ω - 7) และ oleic acid (C18:1ω - 9) เป็นสารต้นกำเนิดตามลำดับ แต่ไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง เราจึงเรียกการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งนี้ว่า "กรดไขมันจำเป็น" (essential fatty acids) เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในตระกูลโอเมก้า - 6 (omega - 6 polyunsaturated fatty acid, ω - 6 PUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในตระกูลโอเมก้า - 3 (omega - 3 polyunsaturated fatty acid, ω - 3 PUFA) (Voet *et al.*, 1999ว; Murray *et al.*, 1996)

omega - 3 คือ กลุ่มของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ๆ แรก อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 นับจากปลาย methyl (- CH_3) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น (Essential Fatty Acid) ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ เช่น Linolenic acid, Eicosapentaenoic acid (EPA), Docosahexaenoic acid (DHA) พบมากในน้ำมันดอกคำฝอย, น้ำมันดอกพริมโรส, ปลาทะเลน้ำลึก เช่น ปลาทูน่า, ปลาซาร์ดีน, ปลาแมนฮาเดน เป็นต้น

omega - 6 คือ กลุ่มของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ๆ แรก อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 นับจากปลาย methyl (- CH_3) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น (Essential Fatty Acid) ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ เช่น Linoleic acid, Arachidonic acid พบมากใน เนื้อสัตว์, เมล็ดธัญพืช เป็นต้น

การนับตำแหน่ง C ของกรดไขมัน นับได้หลายวิธี อธิบายได้ดังนี้

1. นับระบบเลข โดยนับจากกลุ่ม carboxyl group เป็นตำแหน่งที่ 1 และให้สัญลักษณ์พันธะคู่เป็นเดลต้า (Δ) เช่น alpha - linolenic acid ใช้สัญลักษณ์ 18:3 $\Delta^{9, 12, 15}$ แสดงว่าเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ 3 คู่ อยู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10, 12 และ 13, 15 และ 16 ตามลำดับ (Figure 4)

2. **นับระบบสัญลักษณ์**

   2.1 นับจากปลาย COOH โดยนับคาร์บอนอะตอมที่ 2, 3, 4 ที่ถัดจากกลุ่ม COOH เข้ามาเป็นแอลฟา (α), เบต้า (β) และ แกรมม่า (γ) ตามลำลับ

   2.2 นับจากปลาย methyl group (CH_3) โดยเรียกว่า โอเมก้า (omega, ω) หรือ n- (n minus) ดังนั้นกรดไขมันที่มีพันธะคู่เริ่มที่ตำแหน่ง Δ 9, 12 และ 15 จึงเรียกว่า ω3, 6 และ 9 หรือ n- 3, 6 และ 9

ยกตัวอย่างเช่น กรดแอลฟาลิโนเลนิก (α - linolenic acid) เป็นกรดไขมันที่มี C 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ 3 คู่ อยู่ตำแหน่งที่ n-3, 6, 9 หรือ ω - 3, 6, 9

n- 1

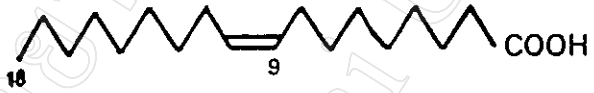
$CH_3-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-CH_2-CH{=}CH-(CH_2)_4-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$

ω γ β α

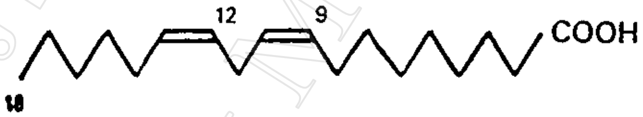
ชื่อสามัญ: α-linolenic acid **ชื่อตามระบบ:** Octadecatrienoic

สัญลักษณ์: 18:3 $\Delta^{9,12,15}$ หรือ n -3,6,9 -18:3 อยู่ในกลุ่ม ω3

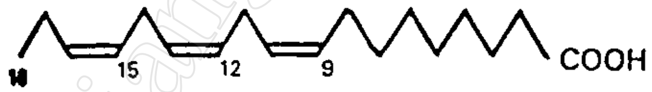
Palmitoeic acid (ω 7, 16:1, Δ^9)



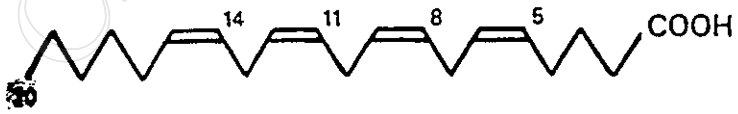
Oleic acid (ω 9, 18:1, Δ^9)



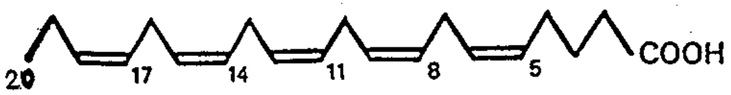
Linoleic acid (ω 6, 18:2, $\Delta^{9,12}$)



α- Linolenic acid (ω 3, 18:3, $\Delta^{9,12,15}$)



Arachidonic acid (ω 6, 20:4, $\Delta^{5,8,11,14}$)



Eicosapentaenoic acid (ω 3, 20:5, $\Delta^{5,8,11,14,17}$)

Figure 4 Structure of some unsaturated fatty acids (Murray *et al.*, 1996)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

นอกจากนี้ร่างกายสามารถเปลี่ยนรูปของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ได้รับเข้าไปให้เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวรูปอื่นได้ แสดงใน Figure 5 ได้แก่ eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) และ alpha - linolenic acid ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Voet *et al.*, 1999; Jakobsen, 1995; Stansby, 1982) โดยมี alpha - linolenic acid เป็นต้นกำเนิดในการสังเคราะห์ EPA และ DHA ตามลำดับ (อุษณีย์, 2538; Murray *et al.*, 1996)

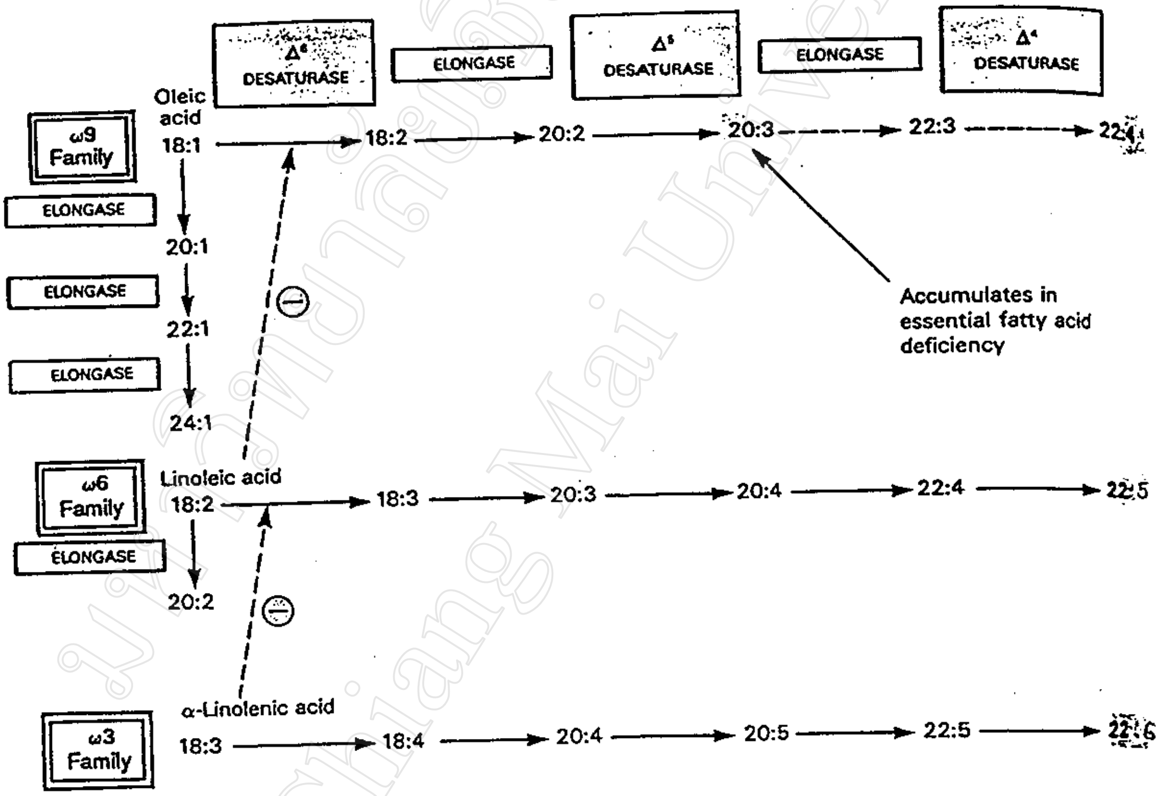


Figure 5 Biosynthesis of ω 9, ω 6 and ω 3 families of polyunsaturated fatty acids (Murray *et al.*, 1996)

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่จะทำให้เกิดไขมันชนิดต่าง ๆ กันขึ้นมา และกรดไขมันจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้ไขมันของสัตว์แต่ละชนิด หรือในอาหารแต่ละอย่างมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และองค์ประกอบที่แตกต่างกัน แสดงใน Table 1-2

Table 1 The fatty acid profile (adapted from Voet and Voet, 1995 and Mc Donald *et al.*, 1995)

Symbol [a]	Commom name	Systematic name	Formula	Melting point (°c)
Saturated fatty acids				
4:0	Butyric	Butanoic	$CH_3(CH_2)_2COOH$	-7.9
6:0	Caproic	Hexanoic	$CH_3(CH_2)_4COOH$	-3.2
8:0	Caprylic	Octanoic	$CH_3(CH_2)_6COOH$	16.3
10:0	Capric	Decanoic	$CH_3(CH_2)_8COOH$	31.2
12:0	Lauric	Dodecanoic	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44.2
14:0	Myristic	Tetradecanoic	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	52
16:0	Palmitic	Hexadecanoic	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63.1
18:0	Stearic	Octadecanoic	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	69.6
20:0	Arachidic	Eicosanoic	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	75.4
22:0	Behenic	Docosanoic	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	81
24:0	Lignoceric	Tetracosanoic	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	84.2
Unsaturated fatty acids (all double bonds are *cis*)				
16:1	Palmitoleic	9-Hexadecenoic	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	-0.5
18:1	Oleic	9-Octadecenoic	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	13.4
18:2	Linoleic	9,12-Octadecadienoic	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$	-9
18:3	α-Linolenic	9,12,15-Octadecatrienoic	$CH_3CH_2(CH{=}CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$	-17
18:3	γ-Linolenic	6,9,12-Octadecatrienoic	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_3(CH_2)_3COOH$	
20:4	Arachidonic	5,8,11,14-Eicosatetraenoic	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$	-49.5
20:5	EPA	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic	$CH_3CH_2(CH{=}CHCH_2)_5(CH_2)_2COOH$	-54
24:1	Nervonic	15-Tetracosenoic	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_{13}COOH$	39

[a] number of carbon atoms; : number of double bonds

Table 2 Fatty acid composition in animal fat, safflower oil, sunflower oil, flaxseed and linseed

Fatty acid type	**Animal fat**[1]	**Safflower oil**[1]	**Sunflower oil**[1]	**Flaxseed**[2]	**Linseed oil**[3]
12 : 0	0.17	0.003	0.06	-	-
14 : 0	1.17	0.09	0.06	-	-
15 : 0	0.46	0.01	0.01	-	-
16 : 0	17.84	5.39	4.12	6.0	4-7
16 : 1	3.40	0	0	-	-
18 : 0	10.2	2.2	4.0	4.4	2-4
18 : 1	45.3	72.1	80.9	25.0	14-30
18 : 2	18.2	19.4	9.5	14.0	14-25
18 : 3 (n-3)	2.0	0	0	52.0	45-60
20 : 0	-	-	-	-	-
20 : 4	-	-	-	0	-
20 : 5 (n-3)	-	-	-	0	-
22 : 1	-	-	-	-	-
22 : 0	-	-	-	-	-
22 : 6 (n-3)	-	-	-	0	-

[1]Miller *et al.* (1990)

[2]Romans *et al.* (1995)

[3]Solomon *et al.* (1992)

สารตั้งต้นของ ω - 6 คือ linoleic acid พบในน้ำมันพืชทั่วไป และสัตว์บก ส่วน ω - 3 สารตั้งต้นคือ linolenic acid พบมากในวัชพืชน้ำ สาหร่ายน้ำจืด-เค็ม พืชสีเขียว แบคทีเรีย แพลงค์ตอน และจากน้ำมันพืชบางชนิด เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันจากเมล็ดลินซีด แต่สำหรับสัตว์น้ำเช่นปลาทะเลน้ำลึกกลับพบ ω - 3 ประกอบอยู่ในไขมันมาก เพราะสัตว์เหล่านี้กิน แพลงตอน สาหร่ายเป็นอาหาร โดยปกติไขมันของแพลงตอนจะประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม เมื่อกินแพลงตอนเป็นอาหารเข้าไปจะสามารถเพิ่มจำนวนคาร์บอน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

เป็น 20 และ 22 อะตอม ดังนั้นในน้ำมันปลาจึงมี EPA และ DHA ประกอบอยู่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบจากแหล่งอื่น (Swern, 1964)

ดังนั้นการศึกษาทางด้านโภชนศาสตร์กับภาวะการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การบริโภค กรดไขมันชนิดโอเมก้า – 3 ไม่ว่าจะเป็นแหล่งของโอเมก้า-3 ที่ได้จากพืช เช่น canola oil (Myer *et al.*,1992), rapeseed oil (Lesknich *et al.*, 1997), ground flaxseed (Romans *et al.*, 1995 a,b) และจากสัตว์ เช่น fish oil (Irie and Sakimoto *et al.*, 1992), redfish meal (Hulan *et al.*, 1989) เพื่อลดระดับโคเลสเตอรอล และไตรกลีเซอร์ไรด์ โดยการเพิ่มสัดส่วนของ HDL:LDL ในกระแสเลือด

ω - 7	ω - 9	ω - 6	ω - 3
C16:0	C18:0	C18:2 Δ9,12	C18:3 Δ9, 12, 15 (ALA)
↓	↓	↓	↓
C16:1	C18:1	C18:3 Δ6 ,9,12	C18:4 Δ 6, 9, 12, 15
		↓	↓
		C20:3 Δ 8 ,11 ,14	C20:4 Δ 8, 11 , 14 , 17
		↓	↓
		C20:4 Δ 5, 8,11 ,14	C20:5 Δ 5 ,8, 11,14, 17 (EPA)
		↓	↓
		C22:4 Δ 7, 10, 13, 17	C22:5 Δ 7, 10, 13, 16, 19
		↓	↓
		C22:5 Δ 4, 7, 10, 13, 16	C22:6 Δ 4, 7, 10, 13, 16, 19 (DHA)

Figure 6 Fatty acid elongation and desaturation in body (อุษณีย์, 2538)

อาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป จะมีกรดไขมัน ω - 3 น้อยกว่า ω - 6 ซึ่งถึงแม้ว่า ω - 6 จะมีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่ ω - 6 ก็เป็นสารตั้งต้นของการสร้าง cholesterol และในเวลาเดียวกัน ω - 6 ก็เป็นสารตั้งต้นของ Prostaglandins, Thromboxane, Leukotrienes ซึ่งสารทั้ง 3 ตัวนี้ มีส่วนทำให้ผนังหลอดเลือดแข็งตัว เปราะ กล้ามเนื้อหดตัว และเลือดแข็งตัว ทำส่งเสริมผลของ cholesterol ต่อโรค

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

เส้นเลือดอุดตัน หัวใจวายรุนแรงยิ่งขึ้นในขณะที่ ω-3 โดยเฉพาะชนิดสายคาร์บอนยาว จะทำงานตรงกันข้ามกับ ω-6 ทุกประการ เช่น

- ทำให้ไขมันไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำมาก เช่น EPA-54.4 °C
- ไปยับยั้งการสร้าง Thromboxane, Prostaglandin และสารตั้งต้นของ Leukotrienes จึงช่วยให้เส้นเลือดแข็งแรงมีการยืดหดตัวดี ไหลเวียนดี ไม่มี cholesterol เกาะผนังเส้นเลือด
- ความสมดุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า - 6 ต่อโอเมก้า - 3 ($\omega_6 : \omega_3$) ในร่างกายจะมีผลต่อการลดภาวะของการเกิดการสะสมของโคเลสเตอรอลที่ผนังหลอดเลือดโดยเปลี่ยนสัดส่วนของ LDL และ HDL ที่เป็นตัวพาโคเลสเตอรอล ซึ่งกรดไขมันชนิดโอเมก้า – 3 จะไปกระตุ้นการสร้าง LDL receptor ที่ extra hepatic tissue มากขึ้น และเนื้อเยื่อส่วนนี้จะเปลี่ยน LDL ให้เป็น HDL โดยเอนไซม์ lipoprotein lipase แล้วขับออกสู่กระแสเลือด อีกทั้งยังพาโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ (cholesterol ester) เข้าไปเผาผลาญและเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี (Voet *et al.*, 1999) ดังนี้

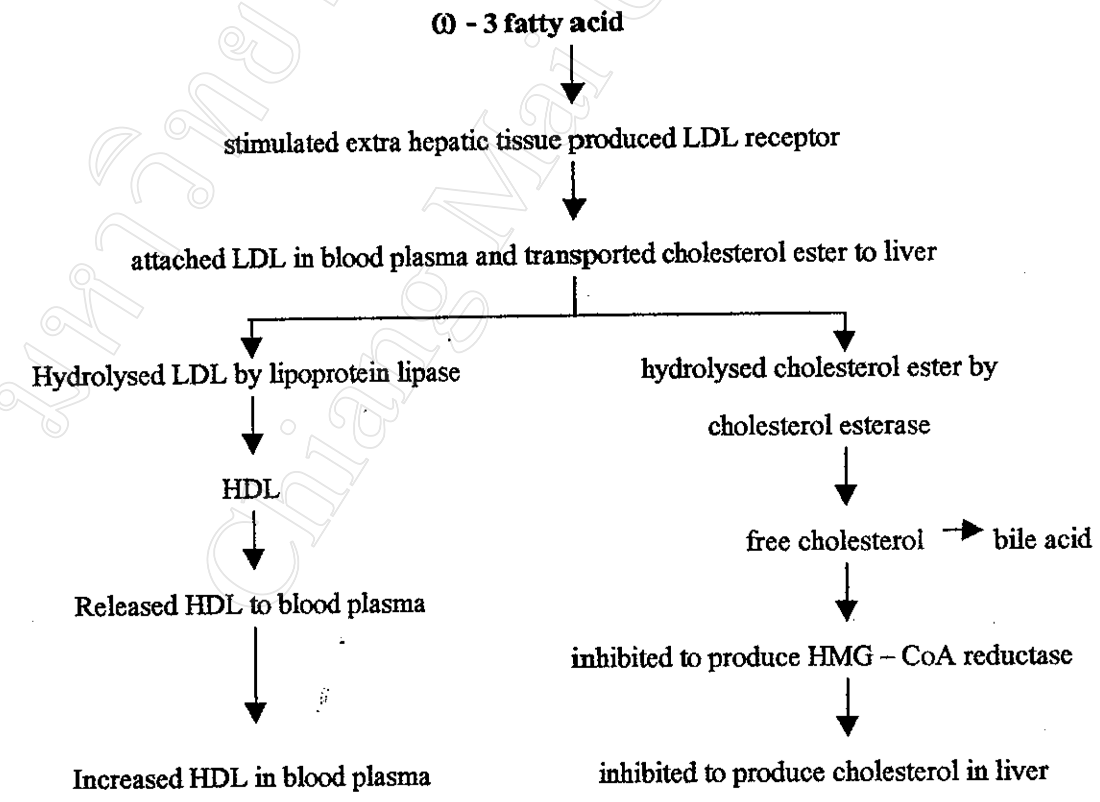


Figure 7 Metabolic pathway of ω - 3 fatty acid (Voet *et al.*, 1999)

น้ำมันปลา

โดยปกติน้ำมันปลาเป็นไขมันที่ใช้มากในอาหารสัตว์ โดยวิธีสเปรย์หรือผสมลงในอาหาร เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ให้กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids) แก่สัตว์ และช่วยลดฝุ่นของอาหาร ทำให้อาหารมีความน่ากินยิ่งขึ้น (พันทิพา, 2535; Sanders, 1994)

น้ำมันปลาที่สกัดได้จากปลาโดยเฉพาะปลาทะเลน้ำลึกจะมีปริมาณของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูง (Jakobsen, 1995; Sanders, 1994) ได้แก่ eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) และ alpha-linolenic acid (ALA) และยังพบว่า DHA มีความสำคัญต่อร่างกายมากกว่า EPA เพราะสามารถแปลงสภาพเป็น EPA ได้เมื่อขาด EPA ในร่างกาย กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 นี้เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่จำนวนมาก จัดอยู่ในพวกกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง (highly unsaturated fatty acid: HUFA) ซึ่งการที่มีพันธะคู่เป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดปัญหาการไม่คงตัวและเกิดการออกซิเดชั่น (oxidation) ได้ง่ายทำให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูป peroxide acid และเกิดกลิ่นหืนในที่สุด (Voet *et al.*, 1999; Murray *et al.*, 1996) จากการศึกษาของ Fritsche and Johnston (1988) พบว่าอาหารที่เสริมน้ำมันปลาโดยปราศจากสารกันหืน (antioxidant) จะนำไปสู่การเกิด autoxidation ของน้ำมันปลาอย่างรวดเร็ว ซึ่งกระบวนการ oxidation ของกรดไขมันเป็นเหตุให้เกิดการทำลายผนังเซลล์ทั่วร่างกาย เนื่องจากผนังเซลล์มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ ทำให้การทำงานของผนังเซลล์ผิดปกติ รวมทั้งเซลล์ของตับและวิลไลก็ถูกทำลาย ตับและม้ามจะใหญ่ขึ้น เพราะเซลล์จะเร่งการแบ่งตัวเพื่อทดแทนเซลล์ที่ถูกทำลายไป ส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน เนื่องจากเป็นแหล่งสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาว (พันทิพา, 2542)

ชนิดของปลาที่ใช้ผลิตน้ำมันปลา

Sanders (1994) รายงานว่ามีหลายประเทศในโลกที่ทำการผลิตน้ำมันปลา ได้แก่ Chile, Denmark, Iceland, Japan, Norway, Peru และ U.S. ซึ่งปลาที่ใช้ผลิตน้ำมันปลาโดยทั่วไปจะถูกเรียกว่า “industrial fish” เช่น ปลาเฮอริง (herring), ปลาเมนเฮเดน (menhaden), ปลาซาร์ดีน (sardines) และ ปลาแอนโชวี (anchovy) เป็นต้น ซึ่งปริมาณของกรดไขมันชนิดโอเมก้า - 3 จะขึ้นอยู่กับชนิดของปลานั้น ๆ

อย่างไรก็ตามความแปรปรวนของกรดไขมันชนิดโอเมก้ - 3 แปรตามชนิดของปลาทะเล เช่น จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาซาร์ดีนของยุวเรศ (2537) พบว่า น้ำมันปลาซาร์ดีนจะมี EPA และ DHA เท่ากับ 12.64 และ 14.45 % ตามลำดับ ส่วนน้ำมันปลาเฮอร์ริ่งมี EPA และ DHA น้อยกว่า (Peterson, 1989; อ้างโดย ฌาตยา และคณะ, 2540) Masniyom (2000) วิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมันปลาเศรษฐกิจชนิดที่พบในตลาดจังหวัดปัตตานี ใช้ตัวอย่าง

ปลา 12 ชนิดมีทั้งปลาน้ำจืดและปลาทะเล พบว่าส่วนเนื้อที่บริโภคได้ของปลาน้ำจืดอยู่ในช่วง 50-58% และปลาทะเลอยู่ในช่วง 62-73% ส่วนของปริมาณไขมันปลาทุกชนิดพบอยู่ในช่วง 0.51-1.53% ผลการวิเคราะห์กรดไขมันพบว่าในปลาทุกชนิดมีค่ากรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันชนิด EPA พบมากในปลากระบอกและปลาหมอเทศถึง 11.4 และ 8.3 % ตามลำดับ และกรดไขมันชนิด DHA พบมากในปลาจาระเม็ดดำ และปลาดุกด้านถึง 30.5 และ 25.9% ตามลำดับ (Table 4) รวมทั้งพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นอีกหลายชนิด จะเห็นว่าน้ำมันปลาส่วนใหญ่จะมีอัตราส่วนของ DHA น้อยกว่า EPA ในขณะที่น้ำมันปลาทูน่ามี DHA มากกว่า EPA 4 ถึง 6 เท่า คือมี EPA ประมาณ 4.5-6.9% และ DHA ประมาณ 21.5-26.6 % (T.C. Union Agrotech CO., LTD, 1997) แสดงใน Table 3

Table 3 The fatty acid composition in tuna and sardine oil (% of fat)

Fatty acid composition	**Tuna oil[1] (% of fat)**	**Sardine oil[2] (% of fat)**
Myristic acid (C14:0)	3.3 – 3.5	7.31
Palmitic acid (C16:0)	20.5 – 23.1	18.32
Palmitoleic acid (C16:1)	5.7 – 6.5	5.88
Strearic acid (C18:0)	6.4 – 7.5	4.36
Oleic acid (C18:1)	16.0 – 16.8	10.64
Linoleic acid (C18:2)	0.4 – 0.6	1.364
Linolenic acid (C18:3)	1.8 – 2.5	-
Arachidic acid (C20:0)	2.2 – 2.8	-
Arachidonic acid (C20:4)	0.9 – 1.3	-
Eicosapentaenoic acid (C20:5)	4.5 – 6.9	12.64
Docosapentaenoic acid (C22:5).	0 – 2.8	2.88
Docosahexaenoic acid (C22:6)	21.5 – 26.6	14.45
Total Omega – 3 fatty acid	32	27.09 *
Total Omega – 6 fatty acid	4 – 5	4.24 *

[1] T.C. Union Agrotech CO., LTD (1997)

[2] ยุวเรศ (2537)

* คำนวณเอง

Table 4 Fatty acid composition as percentage of total fatty acid of various freshwater and marine fish in Pattani province (Masaniyom *et al.*, 2000)

Fatty Acid	Shoot bodies mackerel	Diamond scaled grey mullot	Giant seaperch	Java tilapiz	Batrachain walking catfish	Green catfish	Banded crevalle	Black pomfret	Greasy grouper	Striped snaked-head	Striped catfish	Striped tiger wandid
10 : 0	0.3	0.3	1.2	0.3	0.3	0.8	0.3	0.2	1.1	0.6	0.3	0.3
12 : 0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	0.4	0.3	0.3	0
14 : 0	6.4	8.2	1.2	5.6	4.1	1.8	6.7	2.3	2.5	1.6	3.9	4.0
16 : 0	21.6	22.9	25.2	25.2	21.1	28.2	27.1	19.0	19.9	22.4	39.0	23.4
16 : 1	5.6	16.1	1.2	8.8	5.5	13.6	7.6	2.6	5.2	5.0	1.3	3.8
18 : 0	10.4	11.7	16.1	11.4	5.5	10.6	12.5	14.4	13.2	14.5	10.4	12.9
18 : 1	11.5	10.9	19.9	12.6	14.7	15.4	16.0	8.9	17.3	14.7	32.7	12.8
18 :2(n-6)	2.3	1.7	4.2	1.6	2.2	2.2	1.1	1.4	1.4	6.0	6.3	4.9
18 :3(n-3)	1.2	1.1	0.3	1.0	0.8	0.4	1.0	1.1	0.7	1.8	0.5	0.6
18 :4(n-3)	1.2	0.5	0	1.5	0.9	0.7	0.5	0	0	0.4	0	1.4
20 : 1	0.8	0.6	0.3	0.9	1.2	1.0	0.3	1.7	1.3	0.6	1.0	5.5
20 :5(n-3)	7.2	11.4	8.3	8.3	5.8	5.1	3.7	6.1	6.6	0.8	0.2	2.6
22 : 0	6.7	6.6	0.7	7.0	5.2	0.2	0.7	11.7	12.4	18.8	0	18.8
22 : 1	0.1	0.4	1.4	0	0	3.7	2.4	0	0	0	1.8	0
22 :6(n-3)	24.5	10.3	12.7	15.3	25.9	16.7	20.2	30.5	18.0	12.4	2.3	2.4
Total n-3	34.1	23.3	15.3	26.1	33.4	22.9	25.4	35.2	25.3	15.4	3.0	17.0
S	45.5	40.8	44.4	49.6	36.3	41.8	35.2	47.7	49.5	58.2	53.9	59.4
P	54.4	53.0	48.3	50.0	50.7	58.8	52.8	52.3	50.5	41.7	46.1	44.0
P/S	1.2	1.1	1.1	1.0	1.6	1.4	1.4	1.1	1.0	0.7	0.8	0.7

นอกจากนี้ยังมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อกรดไขมันในตัวปลาชนิดเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร ฤดูกาลของปี อุณหภูมิของทะเล ขนาดและอายุของปลา เป็นต้น (Sanders, 1994)

Table 5 The polyunsatuated fatty acid composition in different fish oil (Ackman, 1986 อ้างโดย ฌาตยา และคณะ, 2540)

Type and source	Type of fatty acids (%)				
	C18:2ω-6	C18:3ω-3	C20:4ω-6	C20:5ω-3	C22: 6ω-3
Herring, North sea	0.95	2.00	N	7.45	6.75
Capelin, North sea	1.20	0.70	1.70	10.00	9.60
Cod liver, Canada	1.40	0.60	1.40	11.50	12.50
Anchovy, Peru	1.20	0.75	0.10	17.00	8.75
Anchovy, Chile	3.30	0.80	0.30	10.10	9.20
Anchovy, south africa	1.00	N	0.80	19.64	9.29
Pichard, south africa	0.80	0.45	0.10	19.30	6.45
Sardine, Japan	1.22	0.93	0.91	15.07	9.97
Menhaden, USA	1.30	1.30	0.15	11.00	9.10
Whale, Antarctic	1.90	0.85	0.25	4.70	5.70

ประโยชน์ของน้ำมันปลา

1. โดยปกติน้ำมันปลาจะเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ เนื่องจากช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด (Voet *et al.*, 1999; Phillipson *et al.*, 1985; Dyerberg *et al.*, 1975) เพราะโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลาจะมีผลช่วยลดการจับตัวของเกล็ดเลือดที่ทำให้เกิดลิ่มเลือดเป็นไปได้ช้าลงและช่วยลดปริมาณไขมันในเลือดด้วย (ฌาตยา และคณะ, 2540) ป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งกรดไขมันชนิดโอเมก้า – 3 ในน้ำมันปลาจะไปกระตุ้นการสร้าง LDL receptor ที่ extra hepatic tissue มากขึ้น และเนื้อเยื่อส่วนนี้จะเปลี่ยน LDL ให้เป็น HDL โดยเอนไซม์ lipoprotein lipase แล้วขับออกสู่กระแสเลือด อีกทั้งยังพาโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ (cholesterol ester) เข้าไปเผาผลาญและเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี (Voet *et al.*, 1999) โดยพบว่าในกลุ่มชาวเอสกิโมที่บริโภคปลาทะเลที่มีปริมาณของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 สูงเป็นอาหารหลักจะมี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อัตราการตายของโรคหัวใจต่ำมาก (Voet *et al.*, 1999; Sanders, 1994; Dyerberg *et al.*, 1975) เนื่องจากช่วยลดไขมันทั้งไตรกลีเซอไรด์และโคเลสเตอรอลลง สอดคล้องกับการรายงานว่าชาวญี่ปุ่นที่บริโภคปลาทะเลในปริมาณสูงจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจน้อยกว่าถึง 50% เมื่อเทียบกับกลุ่มที่บริโภคปลาทะเลน้อยหรือไม่บริโภคเลย (Masniyom, 2000)

2. ช่วยพัฒนาระบบประสาทและบำรุงสมองให้ความจำดีขึ้น เสริมสร้างการเจริญเติบโตของปลายประสาทที่เดนไดรท์ (dendrite) ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณและผ่านข้อมูลระหว่างเซลล์สมอง ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเก็บความจำและการเรียนรู้ (Voet *et al.*, 1999) เนื่องจาก DHA เป็นส่วนประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์สมองและเซลล์ประสาท (Huang *et al.*, 1990) และ DHA ยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาเรตินาของดวงตาด้วย

3. บรรเทาอาการปวดบวมของโรคข้ออักเสบและใช้โอเมก้า-3 เป็นอาหารเสริมร่วมกับยารักษาโรคไขข้ออักเสบ เนื่องจากสารดีเอชเอ (DHA) และอีพีเอ (EPA) ลดการสร้างสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบที่ชื่อว่า ลิวโคไตรอีน (leukotrienes) ซึ่งช่วยลดการอักเสบอาการ (Voet *et al.*, 1999)

4. เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เม็ดเลือดขาว จึงมีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์ในทางอ้อม เมื่อเซลล์เม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้นทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ดีขึ้น (พันทิพา, 2542)

5. การบริโภคน้ำมันปลายังมีผลทำให้ EPA และ DHA เพิ่มสูงขึ้นควบคู่ไปกับการลดลงของ arachidonic acid เกิดการแข่งขันกันในการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ cyclooxygenase มีผลในการยับยั้งการสร้าง tromboxanes A_2 (TX A_2)) ที่มีผลทำให้เกล็ดเลือดจับตัวกัน (Voet *et al.*, 1999; Peifer, 1967; Sander, 1985 cited by Huang, 1990) และสร้างสารโพรสตาแกลนดิน (prostaglandin: PG) โดยเฉพาะ PGI_3 (17-prostacyclin) ซึ่งเป็นสารคล้ายฮอร์โมนที่มีความสำคัญ ทำหน้าที่ต้านการจับตัวกันของเกล็ดเลือดและทำให้หลอดเลือดขยายตัว นอกจากนี้ยังมีผลทำให้เกล็ดเลือดสร้าง tromboxanes A_3 ที่ไม่มีผลต่อการจับตัวของเกล็ดเลือด (Voet *et al.*, 1999; Honstra *et al.*, 1981)

ผลของการเสริมโอเมก้า-3 ต่อสมรรถภาพการผลิต

จากการศึกษาของ Leskanich *et al.* (1997) พบว่าการเสริม rapeseed oil 2% ร่วมกับ fish oil 1% มีแนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโตของสุกรดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม คือเท่ากับ 0.84 และ 0.82 กก./วัน ตามลำดับ โดยสุกรเพศผู้จะมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักสูงกว่าสุกรเพศเมีย (0.88 และ 0.78

กก.) สอดคล้องกับการศึกษาในไก่ พบว่า การเสริมน้ำมันปลาทูน่า 1, 2 และ 3% ในอาหารไก่เนื้อมีแนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (40.71, 42.96 และ 43.26 กรัม/วัน) ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมน้ำมันปลา (ฌาตยา และคณะ, 2540) เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลาเป็นการให้แหล่งพลังงาน เพิ่มความน่ากินของอาหารสัตว์ และยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น ทำให้สัตว์กินอาหารและเจริญเติบโตดีขึ้น (Sanders, 1994) นอกจากนี้ ยุวเรศ (2537) ได้รายงานว่า การเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนลงในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 1.5 และ 3% พบว่า มีผลทำให้ปริมาณของโอเมก้า-3 ในไข่แดงเพิ่มขึ้นตามลำดับของน้ำมันปลาที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และน้ำมันปลาที่ระดับ 3% มีผลทำให้ปริมาณโคเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินต่อวัน น้ำหนักตัวไก่ ขนาดไข่ และอัตราการตายเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีน ($p>0.05$)

รายงานของ Myer *et al.* (1992) พบว่าการเสริม canola oil ที่ระดับ 5 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (ADFI) ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (2.52, 2.42 และ 2.73 กก. ตามลำดับ) สอดคล้องกับรายงานของ Busboom *et al.* (1991) ที่ว่า สุกรที่ได้รับ Ground canola จะมีปริมาณอาหารที่กินต่อวันลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก ground canola มีความน่ากินต่ำและมีค่าพลังงานสูง ทำให้สุกรกินอาหารลดลง (Kramer *et al.*, 1983 cited by Busboom *et al.*, 1991) แสดงว่าถ้าสัตว์ได้รับพลังงานสูงเกินความต้องการจะปรับตัวโดยการกินอาหารน้อยลง (พันทิพา, 2539) ซึ่งบุญล้อ (2536) แนะนำว่า การเติมไขมันลงไปจะช่วยให้การเจริญเติบโตดีขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้นแต่ไขมันจะทำให้สุกรกินอาหารได้น้อยลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มสารอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของสุกร

จากการศึกษาของ Artman (1964) พบว่าการเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดน ในอาหารไก่ 4, 5 และ 9% มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่อวันและประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารดีขึ้น แต่ถ้าให้ถึง 15% จะให้ผลตรงกันข้าม เนื่องจากได้รับน้ำมันปลาในปริมาณมากเกินไป ทำให้มีผลต่อสัดส่วนของพลังงานและโปรตีนไม่เหมาะสม ซึ่งถ้าพลังงานสูงเกินความต้องการสัตว์จะปรับตัวโดยการกินอาหารน้อยลง แต่ถ้าพลังงานต่ำสัตว์จะปรับตัวโดยการกินอาหารเพิ่มขึ้น (พันทิพา, 2539) และปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือกลิ่นคาวของน้ำมันปลา ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันปลา และระดับของน้ำมันปลา (Sanders, 1994) สาเหตุที่น้ำมันปลามีกลิ่นที่น่ารังเกียจมากกว่าในน้ำมันพืช เพราะว่า ในน้ำมันปลาประกอบไปด้วยโอเมก้า-3 และมี tocopherol ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันความหืนน้อย ทำให้เกิดการ autoxidize ของ linolenic acid, EPA และ DHA สูงถึง 70 - 80% เกิดเป็น aldehyde และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นในน้ำมันปลา (ฌาตยา และคณะ, 2540) ดังนั้นจำเป็นต้องเติมสารกันหืนลงในอาหารเพื่อป้องกันการเหม็นหืน (rancid) เพราะอาหารที่หืนจะมี

กลิ่นและรสที่ไม่พึงประสงค์สำหรับสุกร ทำให้สุกรกินอาหารน้อยลงหรือไม่กินเลย (บุญล้อม, 2536) ดังนั้นถ้าในอาหารสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จำเป็นต้องเสริมสารป้องกันการหืน (antioxidant) ให้สูงตามไปด้วยเช่น วิตามินอี (vitamin E), BHA, BHT และ ซีลีเนียม เป็นต้น เพื่อป้องกันไม่ให้ไขมันในอาหารถูกออกซิไดซ์ (พันทิพา, 2535) โดยจะไปยับยั้งปฏิกิริยา peroxidation เป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนบวกแก่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในรูป free radical

ผลของการเสริมโอเมก้า-3 ต่อคุณภาพซาก

Leskanich *et al.* (1997) พบว่าการเสริม rapeseed oils 2% ร่วมกับ fish oils 1% ลงในอาหารสุกรไม่มีผลต่อคุณภาพซากเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p>0.1$) ของน้ำหนักที่เข้าฆ่า (slaughter weight) น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass) ความหนาของไขมันสันหลัง (backfat) โดยสุกรกลุ่มควบคุมมีความหนาของไขมันสันหลังน้อยกว่ากลุ่มเสริมโอเมก้า-3 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าการเสริมไขมันมากลงในอาหารจะทำให้ซากสุกรมีไขมันสันหลังหนาขึ้นด้วย (คมกฤช, 2539) สอดคล้องกับ Romans *et al.*, (1995a and b) ที่รายงานว่า การเสริม Ground flaxseed 5, 10 และ 15% ไม่มีผลต่อความหนาของไขมันสันหลัง คุณภาพซากของสุกร ($p>0.1$) ทางด้านน้ำหนักซากอุ่น เช่นเดียวกับการเสริม ground canola (Busboom *et al.*, 1991) ลงในอาหารสุกร

ส่วนการเสริมโอเมก้า-3 ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระทง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาในสุกร (Hulan *et al.*, 1988 and 1989)

ผลของการเสริมโอเมก้า-3 ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อของสุกร

Leskanich *et al.* (1997) รายงานว่า การเสริม rapeseed oil 2 % ร่วมกับ fish oil 1 % ทำให้ระดับของกรดไขมันชนิดโอเมก้า - 3 เพิ่มขึ้นและลดสัดส่วนระหว่างโอเมก้า - 6 ต่อ โอเมก้า – 3 ในเนื้อเยื่อและผลิตภัณฑ์จากสุกรอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับรายงานของ Romans *et al.* (1995a and b) พบว่า การเสริม ground flaxseed ที่ระดับ 5, 10 และ 15 % มีผลทำให้ปริมาณและเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน α - linolenic acid (ALA), EPA เพิ่มขึ้นในไขมันชั้นนอก (backfat layers) และ มันเปลว ส่วน DHA เพิ่มขึ้นในไขมันชั้นใน (inner backfat layers) และ ALA, EPA และ DHA จะเพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้อ *Longissimus thoracis* ($p<.001$) ส่วนการเสริม ground flaxseed ที่ระดับ 15 % (Specht *et al.*, 1997) fish oil ที่ระดับ 2, 4 และ 6 % (Irie and Sakimoto, 1992) canola oil (Myer *et al.*, 1992) ในอาหารพื้นฐานของสุกรมีผลทำให้อัตราส่วนของโอเมก้า–6 ต่อโอเมก้า – 3 ในเนื้อและไขมันลดลง เนื่องจากมีปริมาณ โอเมก้า–3 เพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมไขมัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเสริม redfish meal (RFM) ที่ระดับ 0, 4, 8 และ 12 % (Hulan *et al.*, 1989) และ RFM ที่ระดับ 7.5, 15 และ

30 % และ redfish oil (RFO) 2.1 และ 4.2 % (Hulan *et al.*, 1988) ในอาหารไก่กระทง ผลการเสริมโอเมก้า – 3 ในสูตรอาหารจะทำให้สัดส่วนของกรดไขมัน ALA, EPA และ DHA ในเนื้อและไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่ง ALA (C18 : 3n – 3) เป็นสารตั้งต้นในการสร้าง EPA และDHA โดยอาศัยขบวนการ desaturation – elongation (อุษณีย์, 2538; Simopoulos, 1996; Murray *et al.*, 1996)

การศึกษาของ Chanmugam *et al.* (1992) ได้เปรียบเทียบการเสริมน้ำมันข้าวโพด น้ำมันลินซีด และน้ำมันปลาเมนฮาเดน ที่ระดับ 1, 2.5 และ 5 % ในสูตรอาหารไก่ พบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันลินซีด มี total ω - 3 ในเนื้อสูงกว่าไก่ที่ได้รับการเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดนในอาหาร ตรงข้ามกับการรายงานของ ฉาตยา และคณะ (2540) พบว่าในเนื้อไก่ตัวผู้ที่เสริมน้ำมันปลาทูน่า 0, 1, 2 และ 3% ในอาหาร พบว่ามีปริมาณ EPA ไม่แตกต่างกับไก่ที่ไม่เสริมน้ำมันปลาในทางสถิติ และปริมาณการสะสม DHA สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันปลา ($p<0.05$) ส่วนในไก่เนื้อตัวเมีย พบว่า ปริมาณการสะสม EPA มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับน้ำมันปลาเพิ่มขึ้น โดยมากขึ้น 0.76, 1.12 และ 5.10 เท่า ที่ระดับ 1, 2 และ 3% ตามลำดับ ส่วนปริมาณการสะสม DHA สูงสุดที่ระดับน้ำมันปลา 1% โดยมากขึ้น 5.52 เท่า ยุวเรศ (2537) รายงานว่า ปริมาณการสะสม DHA โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่ระดับน้ำมันปลา 2 และ 3% โดยมากกว่าเนื้อไก่ที่ไม่ได้เสริมน้ำมันปลา 10.35 และ 9.68 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ การเสริม ω-3 Fatty acid ได้แก่ linolenic acid ในอาหารสุกรมีผลทำให้ปริมาณ EPA ในตับ ไต และหัวใจเพิ่มขึ้น และ DHA ในตับและหัวใจเพิ่มขึ้นด้วย (Cunnane *et al.*, 1990)

Ajuyah *et al.* (1993a) ศึกษาการเสริม full fat flaxseed ในสูตรอาหารไก่กระทงต่อปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ ในเนื้อส่วนอกและน่อง พบว่า ปริมาณ C16:0 และ C18:1 ในเนื้ออกลดลง C18:2, C18:3, C20:5 และ C22:6, total ω-3, total ω-6 fatty acids เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และ อัตราส่วนระหว่าง ω-6/ω-3 ลดลง เช่นเดียวกับเนื้อน่อง

นอกจากนี้ Hertzman *et al.* (1988) อ้างโดย Jakobsen (1995) รายงานว่า การเสริม fishmeal 1.1, 3.3 และ 5.5, 10% rapeseed และ 15% rapeseed meal จะมีผลต่อส่วนประกอบของกรดไขมันในไขมันสันหลัง (back fat) ไขมันแทรก (intramuscular fat) และ กล้ามเนื้อ *Longissimus dorsi* ของสุกรตามระดับการเสริมไขมัน โดยพบว่า การเสริม fishmeal 3-5% และ 10% rapeseed ทำให้ EPA เพิ่มขึ้น ส่วน DHA จะเพิ่มขึ้นเมื่อเสริม fishmeal เท่านั้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางการตรวจชิมและระยะเวลาในการเก็บในเนื้อสดและเนื้อแช่แข็ง พบว่าเนื้อสุกรที่เสริม fishmeal มากกว่า 3% จะมีกลิ่นผิดปกติของเนื้อเกิดขึ้น ส่วนเนื้อที่เสริม 10% rapeseed และ 15% rapeseed meal จะมีกลิ่นผิดปกติของเนื้อเกิดขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Miller *et al.* (1967) และ Dean *et al.* (1969)

จากรายงานของ Romans *et al.* (1995a and 1995b) พบว่า การเสริม ground flaxseed ที่ระดับ 5, 10 และ 15% ทำให้ปริมาณและเปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมัน ALA, EPA และ DHA เพิ่มขึ้นในเบคอนที่ผ่านการทอด (fried bacon) ($p<0.05$) หรือ อบ (microwaved bacon) ตามระดับการเสริมไขมันที่เพิ่มขึ้น ส่วนการเสริม ground flaxseed ที่ระดับ 15% (Specht – overholt *et al.*, 1997) ในอาหารพื้นฐานของสุกร มีผลทำให้อัตราส่วนของโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า – 3 ในเนื้อ ไขมัน และผลิตภัณฑ์เบคอนลดลง เนื่องจากปริมาณของ กรดไขมันชนิดโอเมก้า – 3 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ผลของการเสริมโอเมก้า-3 ต่อคุณภาพเนื้อ

การให้ความสำคัญกับคุณภาพเนื้อเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากมีผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง สีของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเป็นต้น คุณค่าทางโภชนะ ระยะเวลาในการเก็บรักษา การประเมินการยอมรับของผู้บริโภคในเรื่องของกลิ่น รสชาติ ความพึงพอใจโดยรวม และได้เนื้อสุกรที่มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนชนิดโอเมก้า - 6 ต่อโอเมก้า – 3 แคบลง หรือให้มีปริมาณของโคเลสเตอรอลในเนื้อต่ำกว่าปกติ Van Ocekel *et al.* (1996) พบว่าการเสริม Linseed 1.91, 3.65 และ 5.38% โดยมีค่าของพลังงาน โปรตีนเท่ากัน ไม่มีผลต่อการวัดคุณภาพเนื้อทางฟิสิกส์ (pH meter, conductivity, colour) แต่มีแนวโน้มทำให้เนื้อมีสีซีด (Lightness, L*) ทางด้านการตรวจชิม พบว่า มีผลเพียงเล็กน้อย หรือไม่มีผลเลยต่อรสชาติ (taste) ความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มฉ่ำของเนื้อ (juiciness) สอดคล้องกับ Larick *et al.* (1992) พบว่าการเสริม safflower oil ที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารสุกรขุน ไม่มีผลต่อสี ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และกลิ่นของเนื้อสันนอก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Leskanich *et al.* (1997) พบว่าการเสริมกรดไขมันชนิดโอเมก้า – 3 (rapeseed oil 2% ร่วมกับ fish oil 1%) ไม่มีผลต่อการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH value) ค่าสี (L* a* และ b*) ของเนื้อและไขมัน และเปอร์เซ็นต์ drip loss และ cooking loss มีแนวโน้มลดลง ในกลุ่มที่เสริม rapeseed oil 2% ร่วมกับ fish oil 1% และ All – rac - α - tocopheryl acetate 250 มก./กก.ของอาหาร Miller *et al.* (1990) ทำการศึกษาค่าการสูญเสียน้ำภายหลังการแช่แข็งและขณะปรุงอาหารของเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริม animal fat, safflower oil, sunflower oil และ canola oil ที่ระดับ 10% ในอาหารสุกรขุนเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 6 Indicated meat quality (Garrido *et al.*, 1994; Hofmann, 1994 อ้างโดย สัญชัย, 2543)

Indicated	**Meat quality**		
	PSE	**Normal**	**DFD**
pH_1	<5.8	>6.0	
pH_u		<5.8	>6.2
EC_1	7	<5	
EC_u	9	<8	
FOP_1	>35	18-35	<18
FOP_u	>45	25-45	<25
L^*_u	>53	<50	<35
$Drip_u$	>4.5%	<3.5%	

EC = Electric Conductuvity meter

FOP = Fiber Optic Probe

L* = Lightness (0 = black, 100 = white)

1 = 45 min p.m.

u = ultimate (24 hour p.m.)

Drip = Drip loss

การหืนของไขมัน (Lipid oxidation)

การหืน (rancidity) คือ การที่ไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากถูกออกซิไดซ์ (oxidized) ทำให้เกิดกลิ่น รส ไม่ดี สภาพทางฟิสิกส์เปลี่ยนไป ไขมันมีลักษณะข้นขึ้น แข็งขึ้น ไวตามิน A, D, E, K ถูกทำลาย การนำไปใช้ประโยชน์ของโภชนะและพลังงานลดลง (พันทิพา, 2335; Murray *et al.*, 1996) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสามารถถูกออกซิไดซ์ (oxidized) ที่ C ตัวที่ติดกับพันธะคู่ได้ง่าย (oxidative rancidity) โดยปฏิกิริยาขั้นแรกกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะสูญเสีย H^+ ทำให้กรดไขมันอยู่ในสภาพ free radical ตรงตำแหน่งพันธะคู่ พร้อมที่จะไปออกซิไดซ์กรดไขมันตัวอื่นได้เร็วยิ่งกว่าตัวออกซิเจนเอง ปฏิกิริยาที่ผลิตผลสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเองเรียกว่า ออทอกซิเดชั่น (autoxidation) ถ้าอาหารนั้นไม่ได้เติมสารป้องกันการหืน (antioxidation) free radical เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพ fatty acid peroxide free radical อย่างรวดเร็วในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่แล้วเปลี่ยนต่อไปเป็น fatty acid hydroperoxide ซึ่งจะสลายไปเป็น aldehyde หรือ ketone

สำหรับพวกกรดไขมันที่อิ่มตัว เมื่อถูกออกซิไดซ์จะให้รสหวานและกลิ่นฉุน เพราะส่วนมากจะได้สาร ketone ปฏิกิริยานี้หากเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์หรือเชื้อรา จะเรียกว่า Hydrolytic

rancidity ดังนั้นการเหม็นหืนเกิดขึ้นได้เนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์จากแบคทีเรีย และจากปฏิกิริยาของการออกซิไดซ์ของกรดไขมัน (เยาวลักษณ์, 2536; Murray *et al.*, 1996; Hogan, 1978)

ไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อสัตว์ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เป็นต้นเหตุของรสชาติและความอร่อยของเนื้อ ปริมาณมากน้อยของไขมันในเนื้อจะมีผลต่อความนุ่มและความชุ่มฉ่ำ และนอกจากนี้ยังมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อ การเกิด oxidation ของไขมันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ กระบวนการผลิต ระยะเวลา องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ องค์ประกอบของกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งเนื้อสัตว์ต่างๆ ได้แก่ เนื้อสุกร เนื้อไก่ เนื้อลูกวัว ที่มีการเสริมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูงนั้น พบว่า มักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ในระหว่างที่เก็บรักษา (Gray and Pearson, 1987; Igene and Pearson, 1979) Monahan *et al.* (1992ab and 1994) รายงานว่า lipid oxidation ของเนื้อจะนำไปสู่การพัฒนาของ off - flavours, การสูญเสียของสีและคุณค่าทางอาหารของเนื้อ ทำให้เป็นสาเหตุของกลิ่นและสีที่ไม่พึงประสงค์ส่งผลให้ความน่ากินของเนื้อเหล่านี้ลดลง นอกจากนี้ Romans *et al.* (1995) พบว่า การเพิ่มระดับ highly unsaturated fatty acid (HUFA) ในไขมัน เป็นสาเหตุทำให้เกิด rancid flavor เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา oxidation ที่ double bound ของ fatty acid ส่งผลให้การเสริม 15% flaxseed มีค่า TBA number ในไขมันสุกรสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Ajuyah *et al.* (1993a) รายงานว่า การเกิด oxidation ของไขมันมีผลต่อการตรวจชิม ทำให้เกิดกลิ่นและ aroma ที่เปลี่ยนไป และสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ EPA และวิตามินที่ละลายในไขมัน ดังนั้นเนื้อจึงมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่นาน

ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณ thiobarbituric acid number (TBA) ของเนื้อสัตว์ เพื่อเป็นค่าบ่งชี้ถึงระดับการหืน (rancidity) ของไขมัน (มก. malonaldehyde/ กก. ของตัวอย่าง) โดยการทำให้ตัวอย่างมีสภาวะเป็นกรดแล้วนำไปกลั่นซึ่งของเหลวที่ได้เป็นสารประกอบที่เรียกว่า "malonaldehyde" แล้วนำไปต้มกับกรด thiobarbituric acid reagent จะมีสีแดงเกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาของกรดไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ (Figure 8) ซึ่งความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับการหืนของไขมันและค่า TBA number ที่วัดได้ (Gray and Pearson, 1987)

Irie and Sakimoto (1992) พบว่า สุกรที่ได้รับการเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีน 4% และ 6% ในสูตรอาหาร มีค่า iodine number สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมนั้นสะท้อนให้เห็นว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันปลามีระดับเปอร์เซ็นต์ของ PUFA ของไขมันอยู่สูงและมีแนวโน้มที่จะเกิดการหืนได้ง่าย นอกจากนี้การเสริม safflower oil ที่ระดับ 4 และ 6% ในอาหารสุกร มีผลทำให้ C18:2 ในเนื้อสูง จึงทำให้เกิด lipid oxidation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อเกิดขึ้นได้ง่าย (Larick *et al.*, 1992; Fritsche and Johnston,1988) จะเห็นได้ว่าเนื้อสัตว์ต่าง ๆได้แก่ เนื้อสุกร เนื้อไก่ เนื้อลูกวัว ที่มีการเสริมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูงนั้น จะพบว่า มักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation)ใน

เนื้อ ทำให้เป็นสาเหตุของกลิ่นและสีที่ไม่พึงประสงค์ส่งผลให้ความน่ากินของเนื้อเหล่านี้ลดลง นอกจากนี้มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บ (shelf life) และคุณภาพของเนื้อด้อยลง (Jakobsen, 1995) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเสริมสารกันหืนพวก α- tocopherol ลงในอาหารที่มี PUFA สูง จะช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ในเนื้อ (Buckley and Morrissey, 1993; อ้างโดย Jakobsen, 1995) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อจะขึ้นอยู่กับระดับการเสริม antioxidant และ antipro-oxidant (เช่น copper หรือ iron) ว่าเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งสารกันหืนเหล่านี้จะไปยับยั้งปฏิกิริยา peroxidation โดยเป็นแหล่งให้ H^+ แก่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในรูป free radical ทำให้พวก free radical หมดไป กลับคืนสู่สภาพปกติ (พันทิพา, 2535; Harper, 1996) จากการรายงานของ Corino *et al.*, 1999; Cannon *et al.*, 1995 และ Enser, 1999 พบว่าการเสริมวิตามินอี (Vitamin E) ลงในสูตรอาหารจะช่วยป้องกันการเกิด lipid oxidation ของไขมันได้

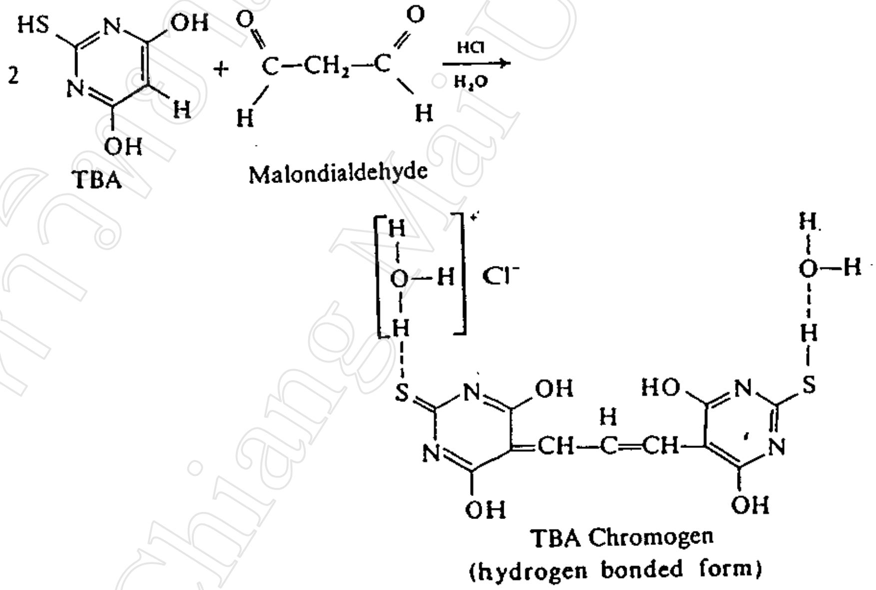


Figure 8 Proposed TBA reaction (Rossell, 1994)

ผลของการเสริมโอเมก้า-3 ต่อโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอร์ไรด์

ยุวฉัตร และคณะ (2543) ศึกษาผลการเปรียบเทียบระดับโคเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาของสุกรเพศเมีย โดยเสริมน้ำมันปลาทูน่า 0, 1, 2 และ 3% ในสูตรอาหาร พบว่า การเสริมน้ำมันปลาที่ระดับ 1, 2 และ 3% ไม่มีผลต่อระดับโคเลสเตอรอล เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (89.4,

8.3, 78.8 และ 84.8 มก./ดล. ตามลำดับ) แต่โคเลสเตอรอลมีแนวโน้มลดลง ส่วนระดับไตรกลีเซอไรด์จากการเสริมน้ำมันปลาทูน่า 1, 2 และ 3% ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คือ เท่ากับ 37.8, 38.3, 35.5 และ 46 มก./ดล. ตามลำดับ สอดคล้องกับ Sim and Jiang (1991) ศึกษาผลการใช้ flaxseed และ canola ในอาหารหนู พบว่า flaxseed มีผลทำให้ระดับโคเลสเตอรอลลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่การใช้ canola ไม่มีผลต่อระดับโคเลสเตอรอล

ณาตยา และคณะ (2540) ศึกษาผลการเสริมน้ำมันปลาทูน่าในระดับ 0, 1, 2 และ 3% ลงในสูตรอาหารไก่ต่อการสะสมของโคเลสเตอรอลและลิปิดในเนื้อและตับไก่เพศผู้และเพศเมีย พบว่า การเสริมน้ำมันปลาที่ระดับ 1, 2 และ 3% มีการสะสมของโคเลสเตอรอลเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมในทางสถิติ ขัดแย้งกับการทดลองของ ยุวเรศ (2537) พบว่า การเสริมน้ำมันปลาที่ระดับ 3% มีผลทำให้ปริมาณโคเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ Oh *et al.* 1994 รายงานว่า การเสริมน้ำมันปลาในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 5 และ 10% มีผลทำให้ปริมาณโคเลสเตอรอลในไข่แดงโดยเฉลี่ย 4 สัปดาห์สุดท้ายของการทดลองลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมน้ำมันปลา คือ เท่ากับ 206, 184 และ 215 มิลลิกรัมต่อฟอง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมน้ำมันปลา สามารถเพิ่มกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่แดงได้ ซึ่งการเพิ่มส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเพิ่มของ DHA และ EPA เป็นไปในทางเดียวกับ Yu and Sim (1987) พบว่า การเสริมน้ำมันปลาแซลมอน (salmon oil) ที่ระดับ 8% ในอาหารไก่ไข่ ทำให้ปริมาณของ EPA และ DHA ในไข่แดงเพิ่มสูงขึ้น และจากรายงานของ Adam *et al.* (1989) พบว่า การเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดน 3 และ 6% มีผลต่อการเพิ่มปริมาณของ EPA และ DHA ในไข่แดง และปริมาณโคเลสเตอรอลลดลงด้วย

สอดคล้องกับการศึกษาในคน Fehily *et al.* (1983) รายงานว่า การบริโภคน้ำมันปลา (fish oil) มีผลทำให้ระดับไตรกลีเซอไรด์ลดลงเมื่อเทียบกับบริโภคอาหารปกติอย่างมีนัยสำคัญ (167 และ 178 mmol/l) ($p<0.05$) เช่นเดียวกับ Bronsgeest-Schoute *et al.* (1981) ศึกษาผลการเสริมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในระดับที่ต่างกัน (0, 1.37, 2.27, 4.09 และ 8.19 g/ω3 fatty acids ตามลำดับ) เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า ระดับไตรกลีเซอไรด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับ 8.19 g / ω3 fatty acids ส่วนระดับโคเลสเตอรอล และ HDL ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 7 Cholesterol in foods

Food	Cholesterol[1] (mg / 100 g)	Cholesterol[2] (mg / 100 g)	Cholesterol[3] (mg / 100 g)
chicken - lean	60	60	80
- liver	685 –750	-	746
duck (lean)	70 – 90	-	-
fish	-	70	43
egg - yolk (hen)	2,000	1,500	1,480
- yolk (duck)	1,120	-	-
- quail	3,640	-	-
- albumen	0	0	0
- whole	550	550	504
goat, sheep (lean)	60	70	-
beef	60	70	91
pork - lean	60 – 70	61	89
- oil	110	-	95
- brain	3,160	2,000	2,000
- back fat	-	95	-

ที่มา: [1]กองส่งเสริมสาธารณสุข สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร (2537) อ้างโดย ฉาตยา และ คณะ (2540)

[2]Pond and Maner (1984) อ้างโดย คมกฤช เอกฉัตร (2539)

[3]วิชัย ตันไพจิตร (2530) และ นิตยา ตั้งชูรัตน์ (2530)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

คุณค่าทางโภชนะของเนื้อ (nutritive values of meat)

คุณค่าทางโภชนะ เป็นลักษณะของสารอาหารหลักที่สำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วย โปรตีน ไขมัน ความชื้น เกลือแร่ และอื่น ๆ ลักษณะเหล่านี้เราไม่สามารถทดสอบหรือตัดสินค่าได้ด้วยตัวเองต้องใช้หลักวิชาการ และ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย (ไพบูลย์, 2524) การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของไขมัน น้ำ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เกิดขึ้นได้ด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น การเสริมอาหารที่ระดับของไขมันที่สูงก็มีผลทำให้มีการสะสมของไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้น เยาวลักษณ์ (2536) รายงานผลของไขมันที่มีต่อสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี ที่ได้จากส่วนเนื้อสัน (loin) พบว่า เนื้อสันที่มีไขมันน้อย มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ โปรตีน ไขมัน เท่ากับ 60, 17.2, 22 ตามลำดับ เนื้อสันที่มีไขมันปานกลาง มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ โปรตีน ไขมัน เท่ากับ 53, 15.2, 31 ตามลำดับ และเนื้อสันที่มีไขมันมาก มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำ โปรตีน ไขมัน เท่ากับ 46, 13.2, 40 ตามลำดับ

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ Leszczynski *et al.* (1992) ศึกษาผลของการเสริม full - fat soybeans (FFS) ที่ระดับ 10%, 20% และ 4% ไขวัว ก่อนเข้าฆ่า 3 สัปดาห์ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของเบคอน พบว่า เบคอนในกลุ่มที่เสริม FFS ระดับ 10% มีเปอร์เซ็นต์ของความชื้นลดลงและไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chant *et al.* (1976) ที่พบว่า องค์ประกอบทางเคมีในส่วนเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนและน้ำจะแปรผกผันกับสัดส่วนของไขมันที่เพิ่มขึ้นของเบคอน

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของเนื้อสุกร

คุณลักษณะการบริโภคของผู้บริโภค (acceptability) ส่วนใหญ่จะพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะของเนื้อ (texture) กลิ่นรส (flavour) รสชาติ (taste) ความนุ่มของเนื้อ (tenderness) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) เป็นต้น รวมแล้วแต่เป็นปัจจัยร่วมที่จะสามารถส่งผลต่อการยอมรับและความนิยมของผู้บริโภค

ความนุ่มของเนื้อ (tenderness) และ ความชุ่มฉ่ำ (juiciness): เป็นปัจจัยหนึ่งของความอร่อย ซึ่งเนื้อจะนุ่มหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ พันธุ์สัตว์ อายุ ชนิดของกล้ามเนื้อ และปริมาณไขมันแทรกอยู่ในกล้ามเนื้อ (marbling fat) ซึ่งไขมันแทรกเพิ่มขึ้นน่าจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวหล่อลื่นขณะเคี้ยวเนื้อ นอกจากนี้ผลจากปฏิกิริยาความร้อนของการปรุงอาหารมีผลต่อเนื้อไขมันแทรกจะละลายแล้วไปอุดช่องว่างในระหว่างเพอริไมเซียม จึงทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวกันมิให้น้ำภายในเนื้อถูกปล่อยออกมามาก ทำให้เนื้อนั้นมีความชุ่มฉ่ำภายในสูง และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันด้วย (สัญชัย, 2543; ชัยณรงค์, 2529)

สี (color) : สีของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ ลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อ ปริมาณของเม็ดสีในกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในกล้ามเนื้อภายหลังจากการฆ่า เป็นต้น เมื่อนำไปทำให้สุกด้วยการย่างหรืออบก็มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคเช่นกัน ด้วยความรู้สึกนี้เองที่จะทำให้ผู้บริโภคคาดคะเนว่ารสชาติจะดีตามไปด้วย (ชัยณรงค์, 2529) การเปลี่ยนแปลงหลายอย่างที่ปรากฏกับโครงสร้างของเนื้อขณะปรุงอาหารมีผลต่อสีของเนื้อ โดยที่ myoglobin จะเสียสภาพโดยเกิดปฏิกริยา oxidation กับเหล็กใน heme โดยเปลี่ยน เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) เป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เกิดขึ้นที่บริเวณด้านที่เป็นอิสระของโมเลกุล มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงสดไปเป็นสีน้ำตาล (สัญชัย, 2543)

กลิ่นรส (flavour) และรสชาติ (taste) : ความรู้สึกของรสชาติและกลิ่นของเนื้อสัตว์ที่บริโภคนั้นนับเป็นความรู้สึกที่ยากในการแยกแยะ โดยเฉพาะทางด้านกลิ่นของเนื้อเป็นปัยจัยที่สำคัญประการหนึ่งของรสชาติ เมื่อนำเนื้อนั้นไปทำให้สุก ความร้อนจะเป็นตัวทำให้สารประเภทให้กลิ่นระเหย ได้แก่ สารจำพวกซัลเฟอร์และไนโตรเจน นอกจากนั้นยังมีพวกไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ เป็นต้น ออกมากระตุ้นต่อมรับรสได้ (ชัยณรงค์, 2529) ซึ่งเนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นลักษณะพิเศษเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่น ปัญหาอย่างหนึ่งสำหรับเนื้อที่เสริมแหล่งของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ได้จากสัตว์ เช่น กลิ่นคาวของน้ำมันปลา ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันปลา และระดับของน้ำมันปลา (Sanders, 1994) ทำให้เกิดการ autoxidize ของ linolenic acid, EPA และ DHA เกิดเป็น aldehyde และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นในน้ำมันปลา (ฌาตยา และคณะ, 2540; Miller *et al.*, 1967) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมสารกันหืนลงในอาหารเพื่อป้องกันการเหม็นหืน (rancidity) ดังนั้นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการเสริมน้ำมันปลาในระดับต่างๆ ลงในสูตรอาหาร คือ การตกค้างของกลิ่นน้ำมันปลา (fish taint) จึงต้องมีการพิจารณาใช้ในระดับที่เหมาะสม

ส่วนการศึกษาในไก่งวง พบว่า จะเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (warmed–over flavour: WOF) ในเนื้อขณะปรุงอาหาร (Ajuyah *et al.*, 1993b) สำหรับเนื้อสุกร พบว่ากลิ่นเนื้อ (pork flavour) และกลิ่นผิดปกติ (abnormal flavour) ที่ได้จากกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมโอเมก้า – 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) Leskanich *et al.* (1997) แต่การเสริมน้ำมันปลา menhaden oil และปลาป่น ที่ระดับสูงในอาหารไก่ จะทำให้ได้เนื้อไก่ที่มีกลิ่นคาวปลา “fishy odour” ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อ และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่เสริมในระดับต่ำในสูตรอาหารจะไม่พบกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อไก่ (Dean *et al.*, 1969; Miller *et al.*, 1967) สอดคล้องกับฌาตยา และ คณะ (2540) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ในระดับน้ำมันปลา 1% ไม่มีกลิ่นคาวปลาจาก

น้ำมันปลา เนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อไก่ทั่วไป เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ที่ระดับน้ำมันปลา 2% มีกลิ่นคาวปลาจากน้ำมันปลาเล็กน้อย เนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อไก่ทั่วไป เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ที่ระดับน้ำมันปลา 3% มีเนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อไก่ทั่วไป แต่มีกลิ่นคาวปลาจากน้ำมันปลามาก ส่งผลให้ความน่ากินของเนื้อไก่ลดลงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่นเดียวกับการศึกษาของ Dean *et al.* (1969) และ Miller *et al.* (1967) รายงานว่าเนื้อไก่ที่เสริม fish oil ประมาณ 1.5-5% หรือ fish meal 3-14% ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทางด้านกลิ่นและรสชาติ สอดคล้องกับ Romans *et al.* (1995b) รายงานว่า การตรวจชิมเบคอนของสุกรที่เสริม ground flaxseed ที่ระดับ 5, 10 และ 15% เป็นเวลา 7 - 21 วันก่อนฆ่า จะเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของเบคอนมากกว่ากลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับรายงานของ Romans *et al.* (1995a) ว่า จากการตรวจชิมเบคอนของผู้บริโภค 105 คน พบว่า ผู้บริโภครู้สึกไม่ชอบเบคอนในกลุ่มที่เสริม ground flaxseed 10, 15% มากกว่ากลุ่มควบคุม