

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ไขมันเป็นสารอาหารหลักสำหรับสัตว์น้ำโดยเป็นแหล่งของพลังงานและกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต เป็นโครงสร้างเซลล์ ใ้รักษาสภาพและให้ความแข็งแรงแก่เซลล์เมมเบรน และเป็นสารต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ พรอสตาแกลนดิน (prostaglandins) และลิวโคไตรอิน (leukotrienes) (Kinsella, 1987; Sagent *et al.*, 1999) ไขมันและน้ำมันที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารปลาที่สำคัญจากพืชได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันลินซีด เป็นต้น ส่วนไขมันและน้ำมันจากสัตว์ได้แก่ ไขมันหมูและไขมันวัว ซึ่งเป็นไขมันจากสัตว์บก และน้ำมันปลา น้ำมันตับปลา น้ำมันตับปลาทูน่า (Furuichi, 1988) ไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีประโยชน์และคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของกรดไขมันในไขมันหรือน้ำมันชนิดนั้น และเป็นที่ยอมรับว่ากรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงในกลุ่มโอเมกา3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนโซ่คาร์บอนยาว (มากกว่า 20 อะตอม) มีประสิทธิภาพและถูกนำไปใช้ประโยชน์สูงกว่ากรดไขมันที่มีจำนวนโซ่คาร์บอนสั้น และมีรายงานว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนโซ่คาร์บอนเท่ากัน (Sagent *et al.*, 1989) โดยธรรมชาติของปลาซึ่งเป็นสัตว์เลือดเย็นมีอุณหภูมิร่างกายใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำที่อาศัยอยู่ซึ่งค่อนข้างเย็น จึงเป็นเหตุให้ปลาไม่สามารถย่อยและนำกรดไขมันไปใช้ได้ทันที จึงทำให้ปลาส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันที่มีโซ่คาร์บอนยาว (18-22 อะตอม) และมีความไม่อิ่มตัวสูง ดังนั้นในอาหารปลา น้ำมันปลาจึงเข้ามามีบทบาทอย่างกว้างขวาง เนื่องจากองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปลาซึ่งมีกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ทั้งนี้ น้ำมันปลาต้องมีคุณภาพดีและยังไม่ถูกออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตามการใช้ไขมันปลาในปริมาณที่สูงไม่ได้ให้ผลที่ดีกว่าเสมอไปโดยหากมีการใช้ไขมันชนิดอื่นผสมกับน้ำมันปลาในระดับที่เพียงพอกับความต้องการแล้วมีผลทำให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากการให้น้ำมันปลาในอาหารแต่เพียงอย่างเดียวได้แก่การทดลองของ วิมลและพิศมัย (2538) พบว่าปลาคุณลักษณะที่ได้รับอาหารที่มีระดับกรดไขมันจำเป็นที่มีสัดส่วนของโอเมกา6/โอเมกา3 ระหว่าง 1.0/1.0 และ 1.5/0.5 กรัม/กรัม ให้น้ำหนักเพิ่มและอัตราการแลกเนื้อดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกรดไขมันจำเป็นที่มีสัดส่วนของโอเมกา6/โอเมกา3 เป็น 0/0, 0/2.0, 0.5/1.5 และ 2.0/0 กรัม/กรัม โดยที่ วิมลและพิศมัย (2538) ได้ใช้น้ำมันปลาเป็นแหล่ง

ของกรดไขมันโอเมกา3 และใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นแหล่งของกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา6 นอกจากนี้ สุพิศ (2535) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าถึงแม้ส่วนใหญ่การเปรียบเทียบผลระหว่างน้ำมันปลากับน้ำมันชนิดอื่น ผลปรากฏว่าน้ำมันปลาให้การเจริญเติบโตที่สูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นแต่ในกลุ่มปลากินพืช และกลุ่มปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ควรมีน้ำมันพืชผสมในอาหารประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์เพื่อเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มโอเมกา6 นอกจากนี้ Kanazawa *et al.*, (1980) พบว่าปลานิล (*Tilapia zillii*) สามารถเปลี่ยนกรดไขมันลิโนลีนิก (linoleic acid, 18:2n-6) เป็นกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid, 20:4n-6) ได้ Isik *et al.*, (1999) รายงานว่าปลานิล (*T. zillii*) สามารถสังเคราะห์กรดโคโคซะเฮกซะอีโนอิก (docosahexaenoic acid, 22:5n-3) จากกรดลิโนลีนิกและกรดอะราชิโดนิกจากกรดลิโนลีนิกได้

ปลานิลเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกเช่น ใต้หวัน อินโดนีเซีย สิงคโปร์ คอสตาริกา โคลัมเบีย จาไมกา เวเนซุเอลา และเอกวาดอร์ เกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลมีเลี้ยงอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นปลาที่ใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดี เจริญเติบโตรวดเร็ว แข็งแรง และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นปลาที่มีชีวิตอยู่ได้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงกว้างตั้งแต่ 8-42 องศาเซลเซียส สามารถอยู่ได้อย่างปกติในน้ำที่มีความเค็มสูงถึง 20 ส่วนในพันส่วน ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของน้ำ โดยเมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะพบการตาย 10 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการตายเพิ่มขึ้นเป็น 70 เปอร์เซ็นต์เมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.5-5.5 และจะตายหมดเมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 3.5-4.5 (Philippart and Ruwet, 1982) และสามารถแพร่กระจายพันธุ์ได้ดีจึงพบแพร่กระจายทั่วไปทุกภูมิภาคของโลก ทั้งแอฟริกา อเมริกา เอเชียและยุโรป ในปี พ.ศ. 2539 ผลผลิตปลานิลทั้งจับจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยงทั่วโลกมีจำนวน 1,265,600 ตัน (เครือวัลย์, 2542) และมีแนวโน้มเพิ่มผลผลิตมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้สืบเนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทั้งในเขตเอเชีย สหรัฐอเมริกา และยุโรป ทั้งนี้เพาะเป็นปลาที่มีเนื้อค่อนข้างขาว มีก้างน้อยสามารถแล่นเนื้อได้ง่าย ไม่มีกลิ่น รสชาติอ่อน ๆ สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด และอาจใช้แทนปลาที่มีเนื้อขาวชนิดอื่นได้ดี สำหรับในประเทศไทย จากสถิติกรมประมงปี พ.ศ. 2544 มีผลผลิตปลานิลจากการเพาะเลี้ยงทั่วประเทศรวม 84,480 ตัน มูลค่ารวม 2269.5 ล้านบาท ผลผลิตจำแนกตามประเภทการเลี้ยง คือ เลี้ยงในบ่อผลิตรวม 78,676.97 ตัน มูลค่า 2,110.6 ล้านบาท เลี้ยงในนาผลิตรวม 2,295.35 ตัน มูลค่า 57.5 ล้านบาท เลี้ยงในร่องสวน 1,910.94 ตัน มูลค่า 36.4 ล้านบาท และเลี้ยงในกระชัง 1,597.09 ตัน มูลค่า 65 ล้านบาท การใช้ประโยชน์จากปลานิลส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ ในรูปของการบริโภคสด (86.23%) ทำแก้มและตากแห้ง (6.65%) นอกจากนั้นเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น นึ่ง ย่าง ทำน้ำปลา และปลาร้า (7.12%) (กองเศรษฐกิจการประมง, 2544) จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าปลานิลเป็นปลาที่มีศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้ กรมประมงจึง

กำหนดนโยบายส่งเสริมการผลิตปลานิลเพื่อการส่งออก แต่ถึงแม้ว่าปลานิลจะเป็นปลาที่มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการเพาะเลี้ยงในเชิงอุตสาหกรรม แต่ก็ยังเป็นปลาที่สามารถพัฒนาการผลิตได้อย่างไม่จำกัดซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการแข่งขันทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ และราคา จึงได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางในหลาย ๆ ด้านเพื่อผลิตอาหารให้ได้สารอาหารเฉพาะสำหรับปลานิลโดยมีราคาต่ำที่สุด แต่ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพซากลดลง เช่นการนำเอาวัตถุดิบเหลือใช้ หรือผลพลอยได้จากพืชและสัตว์ซึ่งหาได้ง่ายราคาถูกมาเป็นวัตถุดิบเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนปลาป่นซึ่งมีราคาแพง (วรรณชัย, 2546; นิรุทธ์, 2544) หรือแม้แต่การจัดสัดส่วนของโภชนะให้ตรงกับความต้องการของปลา เช่นการจัดสัดส่วนของกรดไขมันในปลาคุกกูกผสม (วิมลและพิศมัย, 2538) การจัดสัดส่วนของกรดไขมันจำเป็นในปลากดเหลือง (วุฒิพร และมายมูเนาะ, 2544) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความต้องการชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหารและคุณภาพซากของปลา และเพื่อเป็นการประยุกต์ผลการทดลองข้างต้นให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ การทดลองครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของแหล่งไขมันซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์จากน้ำมันหลายแหล่ง ได้แก่ น้ำมันปลา น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง โดยต้องการเปรียบเทียบสัดส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันปลา เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อวิทยาของปลานิลแปลงเพศ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตอาหารสำหรับปลานิล และประยุกต์ใช้กับปลาชนิดอื่นต่อไป

## การตรวจเอกสาร

### 1. ปลานิล

#### 1.1 ชีวิตวิทยาของปลานิล

อนุกรมวิธานของปลานิลจัดจำแนกโดย Linneus (1757 อ้างโดย FAO, 1996) ดังนี้

Phylum	Vertebrata
Class	Osteichthyes
Order	Perciformes
Family	Cichlidae
Genus	<i>Oreochromis</i>
species	<i>niloticus</i>

ปลาในตระกูลปลานิล (Tilapia) เป็นปลาที่มีต้นกำเนิดจากทวีปแอฟริกา มีหลายสายพันธุ์ (เกรอวัลย์, 2542) กล่าวว่าสายพันธุ์สัตว์น้ำตระกูลปลานิลที่นิยมเลี้ยงกันมากได้แก่ Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Blue tilapia (*O. aureus*), Mozambique tilapia (*O. mossambicus*), Three spotted tilapia (*O. andernii*), Longfin tilapia (*O. macrochir*), Mango tilapia (*Sarotherodon galilaeus*), Blackchin tilapia (*S. melanotheron*), Spotted tilapia (*Tilapia mariac*) และ Redbelly tilapia (*T. zillii*) สำหรับปลานิลที่เลี้ยงกันโดยทั่วไปในประเทศไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* (Linn.) มีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวาง 9 - 10 แถว ครีบหลังมีอันเดียว ประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 9 - 10 อัน มีเกล็ด 33 เกล็ดบนแกนเส้นข้างลำตัว ด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเฉียงจากตอนต้นของครีบหลังลงมาถึงเส้นข้างลำตัว 5 เกล็ดและจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงแนวส่วนหน้าของครีบกัน 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้มที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่หนึ่งจุด บริเวณปลายอ่อนของครีบหลัง ครีบกัน และครีบหางมีจุดสีขาวและเส้นสีดำพาดขวางอยู่ทั่วไป (มานพ และคณะ, 2536) ความแตกต่างระหว่างเพศปลานิล เห็นได้ชัดเจนจากลักษณะของติ่งเพศโดยเพศเมียจะมีติ่งเพศปลายมน ช่องเปิดบนติ่งเพศมี 2 ช่อง คือช่องเปิดที่ปลายติ่งเป็นทางออกของปีสสาวะ ส่วนช่องเปิดตามขวางบริเวณกึ่งกลางของติ่งเพศเป็นทางออกของไข่ ส่วนปลาเพศผู้ติ่งเพศยาวเรียวยาวปลายแหลม ช่องเปิดมีเพียงช่องเดียวที่ปลายติ่ง สำหรับสีสนันนั้นปลาเพศผู้ส่วนใหญ่บริเวณใต้คางจะมีสีคล้ำเป็นสีแดงอมม่วง เพศเมียส่วนใหญ่ใต้คางเป็นสีเหลืองแต่มีบ้างเช่นกันที่พบว่าเพศผู้อาจมีสีเหลืองใต้คางจึงไม่ควรใช้ลักษณะสีในการแยกเพศ (อุทัยรัตน์, 2529) ปลานิลเป็นปลาที่เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง อดทน ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่กว้างมาก ตั้งแต่ 11 - 42 องศาเซลเซียส ทนต่อความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5 - 8.3 และยังมี ความทนทานต่อความเค็มของน้ำสูงถึง 20 ส่วนในพันส่วน (ppt) ได้อย่างปลอดภัย ชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ (กรมประมง, 2541)

## 1.2 ปลานิลแดง

ปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยเป็นปลานิลลูกผสมระหว่างปลานิล (*Oreochromis niloticus*) กับปลาหมอเทศ (*O. mossambicus*) ผลการทดสอบทางพันธุกรรมโดยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิส (electrophoresis) โดยมหาวิทยาลัยสเตอร์ลิงประเทศอังกฤษและมหาวิทยาลัยฟิลิปปินส์ ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าปลานิลแดงสายพันธุ์ไทยมีความถี่ยีนส์ปลานิลประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ และปลาหมอเทศ 22 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นเหตุให้ปลานิลสีแดงที่พบมีลักษณะของปลานิลและปลาหมอเทศรวมกันคือปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและมีลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล จากการศึกษา

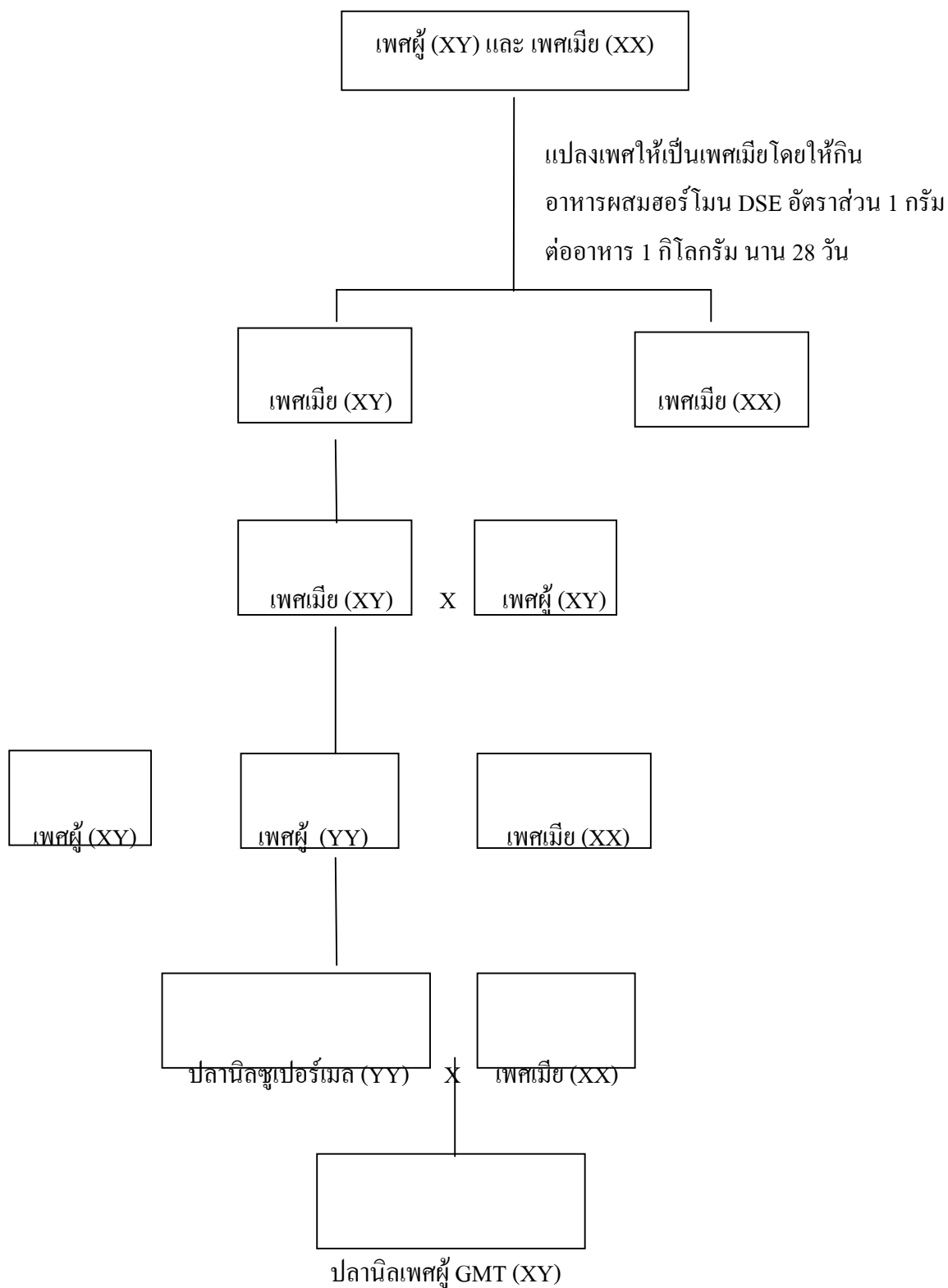
ลักษณะทางอนุกรมวิธาน ปลานิลสีแดงมีรูปร่างลำตัวเหมือนปลานิล แต่ริมฝีปากเฉียงขึ้นและบริเวณครีบหางไม่มีลายเป็นเส้นตามขวาง ลำตัวมีสีแดง สีแดง-ส้ม สีขาว สีส้ม เก็ดสีทองและบางตัวมีเก็ดสีเงินเป็นหย่อมๆ สีของนัยน์ตาแตกต่างกัน เช่น นัยน์ตาสีดำรอบวงตาสีเหลือง นัยน์ตาสีดำรอบวงตาสีแดง มีเก็ดสามแถวที่บริเวณแก้ม ครีบหลังมีอันเดียว ประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 15-17 อัน และก้านครีบอ่อน 12-13 อัน ครีบอกมีเฉพาะก้านครีบอ่อน 13 อัน ครีบท้องมีก้านครีบแข็ง 1 อัน ก้านครีบอ่อน 5 อัน ครีบก้นมีก้านครีบแข็ง 3 อัน และก้านครีบอ่อน 9-11 อัน ครีบหางมีก้านครีบอ่อน 16-18 อัน บนแถบเส้นข้างลำตัวมีเก็ด 28-33 เก็ด เก็ดครอบคอดหางมีประมาณ 18-19 เก็ด (กรมประมง, 2541) ปลานิลสีแดงมีการสืบพันธุ์วางไข่เหมือนปลานิลธรรมดา คือ สามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ปีละประมาณ 3-4 ครั้ง ตัวเมียจะเริ่มวางไข่เมื่อมีความยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 200-250 กรัมจะให้ลูกรุ่นละ 500-1,000 ตัว เป็นปลาที่มีนิสัยก้าวร้าว กินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์แต่ชอบกินสัตว์อื่นที่มีขนาดเล็กมากกว่า และพ่อแม่พันธุ์บางครั้งจะกินลูกปลาซึ่งลักษณะพฤติกรรมเช่นนี้ไม่พบในปลานิลธรรมดา (มานพ และคณะ, 2527; พรรณศรี, 2531)

ปลาในตระกูลปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด จัดเป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ (omnivore) สามารถกินได้ทั้งแมลงก้นดอพืช แมลงก้นดอสัตว์ ซากอินทรีย์เน่าเปื่อย มูลสัตว์ สัตว์หน้าดินบางชนิด เช่น หนอนแดง รวมทั้งแบคทีเรียและพืชน้ำชนิดต่างๆ (Halver, 1989; De Silva and Anderson, 1995) เป็นปลาที่มีนิสัยชอบหากินในเวลากลางวันและจะหยุดกินในเวลากลางคืน แต่การย่อยอาหารยังดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง และเป็นไปอย่างช้า ๆ จะเสร็จสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 18 - 24 ชั่วโมง กินอาหารได้ทั้งบนผิวน้ำ กลางน้ำ และก้นบ่อ ทำให้กินอาหารจำพวกพืช แมลงก้นดอ และอินทรีย์สารก้นบ่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีทางเดินอาหารยาวประมาณ 5 - 7 เท่าของลำตัว ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมอาหารรวมทั้งเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์บางชนิดที่ช่วยสังเคราะห์สารอาหาร ไม่มีกระเพาะแต่เหมือนปลากินเนื้อทั่วไป แต่มีเนื้อเยื่อซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกระเพาะที่สามารถหลั่งน้ำย่อยเพื่อลดความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างการย่อยอาหารได้ ดังนั้นจึงสามารถย่อยสาหร่ายและแมลงก้นดอได้สูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต ชอบกินอาหารที่มีขนาดเล็กเพราะชอบขบเคี้ยวอาหารก่อนกลืนลงกระเพาะ (กรมประมง, 2541) โดยจะใช้ฟันที่ช่องคอ (pharyngeal teeth) ในการบดอนุภาคขนาดเล็กๆ นอกจากนี้ยังพบว่าในกระเพาะอาหารมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 1.5 (Moriarty, 1973) สามารถช่วยในการย่อยผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้งการที่ปลามีลำไส้ยาว เป็นการช่วยเพิ่มเวลาในการย่อยและดูดซึมอาหารให้มากขึ้นด้วย

### 1.3 การผลิตปลานิลเพศผู้

เนื่องจากปลานิลเพศเมียสามารถผสมพันธุ์วางไข่ได้ตั้งแต่อายุ 2 เดือนเป็นต้นไปทำให้ปลาเพศเมียเจริญเติบโตช้าเพราะต้องสูญเสียพลังงานในการสร้างไข่ นอกจากนั้นแม่ปลายังฟักไข่และอนุบาลลูกปลาโดยอมไว้ในปากซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 วัน แม่ปลาจึงไม่ได้กินอาหารทำให้น้ำหนักลด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดลูกปลาขึ้นในบ่อ มีผลต่ออัตราความหนาแน่นและขนาดปลาเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต แนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงเพื่อให้ได้ปลาที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกันเมื่อจับจำหน่าย คือ การเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมดเป็นที่นิยมกันมาก โดยสามารถดำเนินการจัดเตรียมลูกปลาเพศผู้ได้หลายวิธี (ศิริ, 2543) เช่น คัดเฉพาะปลาเพศผู้โดยดูจากลักษณะภายนอกวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะต้องมีความชำนาญและเสียเวลามากเนื่องจากปลาที่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างเพศได้ชัดเจนต้องมีขนาดความยาวตั้งแต่ 12 เซนติเมตรและมีน้ำหนัก 50 กรัมขึ้นไป การใช้เทคนิคผสมข้ามสายพันธุ์ (hybridization) ที่ผสมข้ามสกุล (genus) และชนิด (species) ในปลาบางชนิดสามารถให้ลูกทั้งหมดเป็นเพศเดียวกันได้ เช่น การผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่าง *O. niloticus* × *O. aureus* จะได้ลูกที่เป็นเพศผู้ 100 เปอร์เซ็นต์ และต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อให้ได้ลูกปลานิลเพศผู้โดยใช้เทคนิคการแปลงเพศปลาโดยให้กินอาหารผสมฮอร์โมน 17 เมทิลเทสโทสเตอโรน (17-methyltestosterone หรือ 17-MT) ความเข้มข้น 40-60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 28 - 30 วัน แต่ขั้นตอนผลิตลูกปลาแปลงเพศเหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยากต้องมีความรู้ความชำนาญเพียงพอ อีกทั้งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ผลิตลูกพันธุ์ปลา นอกจากนี้ฮอร์โมน 17-เมทิลเทสโทสเตอโรนต้องนำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพง และเสื่อมคุณภาพได้ง่ายโดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศร้อนอย่างในประเทศไทยทำให้ต้นทุนการผลิตปลานิลเพศผู้ในลักษณะนี้ค่อนข้างสูงและมีประสิทธิภาพในการผลิตไม่สม่ำเสมอ หากลูกปลากินอาหารผสมฮอร์โมนไม่ครบก็จะให้ผลผลิตเพศผู้ไม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้จะได้รับการยืนยันว่าไม่มีผลตกค้างในเนื้อปลาโดยเฉพาะในปลาที่มีขนาดจับขายได้แต่ยังมีผู้บริโภคบางส่วนที่ไม่ยอมบริโภคปลานิลที่ถูกเปลี่ยนเพศด้วยฮอร์โมนเหล่านี้ อีกแนวทางหนึ่งโดยการผลิตลูกปลานิลเพศผู้ทั้งหมดโดยหลีกเลี่ยงปัญหาฮอร์โมนอาจตกค้างในเนื้อปลาที่จะนำไปบริโภค หรือหลีกเลี่ยงปัญหาของประสิทธิภาพการผลิตลูกปลาเพศผู้ที่ไม่สม่ำเสมอหรือปัญหาอื่นๆ ดังกล่าวข้างต้นคือ การผลิตปลานิลเพศผู้โดยทางอ้อม (indirect monosex production) โดยผลิตพ่อปลานิลซูเปอร์แมด (supermale หรือ YY - male) ซึ่งมีโครโมโซมเพศเป็น YY แล้วนำพ่อพันธุ์ซูเปอร์แมดเหล่านี้ไปผสมกับแม่พันธุ์ปลานิลปกติจะได้ลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมด เนื่องจากลูกปลาเพศผู้เหล่านี้เป็นปลาเพศผู้โดยพันธุกรรม (genetically male tilapia) และมีโครโมโซมเพศเป็น XY จึงนิยมเรียกปลาเพศผู้เหล่านี้ว่าปลานิลเพศผู้ GMT ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตพอสรุปได้ดังนี้ (ภาพ 1)

1. รวบรวมลูกปลาจากปากแม่ปลามาอนุบาลจนถุงไข่แดงยุบและเริ่มกินอาหาร
2. เตรียมอาหารผสมฮอร์โมน ไดเอทิลสติบีสโตรล (diethylstilbestrol หรือ DSE) อัตราส่วน 1 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ละลายฮอร์โมนในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และคลุกกับอาหารให้ทั่วให้ลูกปลากินนาน 28 วัน จะได้ลูกปลาที่เป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม 2 แบบ คือ XX และ XY
3. ตรวจสอบว่าปลาเพศเมียตัวใดเป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม XY โดยเลี้ยงปลาเหล่านี้จนเป็นแม่พันธุ์แล้วนำมาผสมกับปลาเพศผู้ปกติ ที่มีโครโมโซมเพศเป็น XY ถ้าแม่ปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 3 ต่อ 1 แสดงว่ามีโครโมโซมเพศเป็น XY
4. นำปลาเพศเมียที่มีโครโมโซม XY ดังกล่าวมาผสมกับปลานิลเพศผู้ปกติ จะได้ลูกปลาเพศเมียต่อเพศผู้ เท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยในลูกปลาเหล่านี้จะมี 1 ส่วนที่มีโครโมโซมเพศเป็น YY
5. ตรวจสอบว่าปลาเพศผู้ตัวใดเป็นปลาเพศผู้ที่มีโครโมโซม YY โดยนำไปผสมกับปลาเพศเมียปกติ ถ้าปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมดแสดงว่าโครโมโซมเป็น YY แสดงว่าเป็นปลาซูเปอร์แมด เมื่อนำมาผสมกับปลาเพศเมียปกติ จะได้ปลาเพศผู้ GMT หรือที่เรียกว่าเป็นปลานิลสายพันธุ์จิตรลดา 2 (นวลมณีและพุทธรัตน์, 2538)



ภาพ 1 แผนผังแสดงการผลิตปลานิลซูเปอร์เมดและปลานิลเพศผู้ GMT  
ที่มา: นวลมณีและพุทธรัตน์ (2538)



จากการทดลองเลี้ยงปลานิลรวมเพศและปลานิลเพศผู้ GMT อายุ 1 เดือน ในบ่อดินนาน 8 เดือน พบว่าปลานิลเพศผู้ GMT เจริญเติบโตได้เร็วกว่าการเลี้ยงปลารวมเพศ โดยปลานิลเพศผู้ GMT มีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ย 24.6 เซนติเมตร และ 302.06 กรัม ตามลำดับ ส่วนปลานิลรวมเพศมีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ย 22.37 เซนติเมตร และ 228.72 กรัม ตามลำดับ โดยปลานิลเพศผู้ GMT มีความยาวและน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าปลานิลรวมเพศ 9.02 เปอร์เซ็นต์ และ 24.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเลี้ยงปลานิลเพศรวมให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 217.43 กิโลกรัม ส่วนการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT ให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 303.02 กิโลกรัม ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ 28.25 เปอร์เซ็นต์ (นาวลณีและพุทธรัตน์, 2538)

#### 1.4 ความต้องการสารอาหารของปลานิล

ปลาต้องการโปรตีนจากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเยื่อรวมทั้งเป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญด้วย ความต้องการโปรตีนของปลาจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่สำคัญได้แก่ ขนาดหรืออายุ คุณภาพโปรตีนในอาหาร จากรายงานการศึกษา สรุปได้ว่าความต้องการโปรตีนโดยประมาณของปลานิลอยู่ระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของปลานิล ขนาดของปลา เช่นสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงาน (protein / energy ratio) และความแปรผันอื่น ๆ ของการทดลอง จากการศึกษาของ Viola และ Arieli (1982), Viola *et al.*, (1994), Finemen - Kelio และ Camacho (1987) สรุปได้ว่าช่วงของโปรตีนที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในอาหารปลานิล *O. aureus* วัยอ่อนต้องการปริมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ ขนาดนี้วัยมีต้องการปริมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ *O. mossambicus* วัยอ่อนต้องการ 40 เปอร์เซ็นต์ ขนาดนี้วัยมีต้องการปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ความต้องการโปรตีนของปลานิล นอกจากพิจารณาจากระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหารแล้ว ควรจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพของโปรตีน โดยเปรียบเทียบจากปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ปลาต้องการกับปริมาณกรดอะมิโนที่มีอยู่จริงในอาหาร สำหรับการศึกษาค้นคว้าความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สมบูรณ์มากที่สุดที่ปลานิล (*O. niloticus*) ทดลองโดย Santiago และ Lovell (1988) ส่วน Jauncey *et al.*, (1983) ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในปลานิล (*O. mossambicus*) รวมทั้งบทสรุปคุณภาพของโปรตีนตามความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในปลานิลที่ศึกษาโดย Kevin (1997) พบว่าความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักอาหารแห้งคืออาร์จินีน 1.5 ไอโซลูซีน 0.9 ไลซีน 1.6 เฟนิลอะลานีน 1.5 วาลีน 1.2 ฮิสติดีน 0.5 ลูซีน 1.5 เมทไธโอนีน 0.5 ทริพโทเฟน 0.2 และทรีโอนีน 1.0

ในขณะที่โปรตีนจะถูกนำมาใช้ในการเจริญเติบโตเป็นหลักมากกว่าเป็นแหล่งพลังงาน แต่ถ้าปลาได้รับพลังงานจากกลูโคสหรือกรดไขมันน้อยเกินไป จะทำให้กรดอะมิโนถูก

ออกซิโดลีนเป็นพลังงาน (Stickney and Lovelly, 1977) ปลาที่ได้พลังงานต่ำกว่าความต้องการจะมีการเจริญเติบโตลดลง แต่ถ้าได้รับพลังงานพอดีกับความต้องการจะมีการเจริญเติบโตเร็วที่สุด ดังนั้นอาหารที่มีสัดส่วนพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมจะทำให้ปลาเจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงทำให้การผลิตอาหารปลาในปัจจุบันต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของพลังงานที่ย่อยได้ต่อกรัมโปรตีน (digestible energy/gm protein หรือ DE/P) ซึ่งหมายถึง ปลาที่ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการแล้ว ควรจะมีพลังงานที่ย่อยได้จากโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพียงพอแก่ความต้องการด้วย จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า ค่าที่เหมาะสมของระดับโปรตีนต่อค่าพลังงานที่ย่อยได้ (DE/P) สำหรับการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดของปลานิลมีค่าประมาณ 100 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลแคลอรี (Winfrey and Stickney, 1981; Santiago and Laron, 1991; El-Dahlar and Lovell, 1995; Hanley *et al.*, 1997) สำหรับไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุดโดยให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2 เท่า (NRC, 1993) ปลานิลเป็นปลาที่ต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา 6 Kanazawa *et al.*, (1980) พบว่าปลานิล (*T. zillii*) ต้องการกรดไขมันในอาหารที่มีกรดลิโนลีนิก 1 เปอร์เซ็นต์ หรือ กรดอะราคิโดนิก 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เจริญเติบโตดีกว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกรดลิโนลีนิก โอ โคะซะเพนตะอีโนอิก (eicosapentaenoic acid, 20:5n-3) ส่วน Takeuchi *et al.*, (1983 b) รายงานว่าปลานิล *O. niloticus* ต้องการกรดลิโนลีนิก 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา 3 ปลานิลต้องการน้อยหรือไม่ต้องการ เช่น การศึกษาของ Viola *et al.*, (1988) ที่พบว่าการให้อาหารที่มีน้ำมันปลาซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (n-3) สูงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากนั้น Takeuchi *et al.*, (1983a) ทดลองใช้ไขมันหลาย ๆ ชนิดต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*O. niloticus*) พบว่าน้ำมันตับปลาพอลลอค (pollock liver oil) ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ส่วนแหล่งของไขมันที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากทั้งสองชนิดนี้มีกรดไขมันในกลุ่มลิโนลีนิกสูง และยังพบว่าปลานิลสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดี นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งสำรองโปรตีนและไขมันที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทำหน้าที่อื่น ๆ ปลานิลสามารถใช้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น ข้าว ปลายข้าว และมันสำปะหลัง เป็นแหล่งให้พลังงานที่ดี สำหรับอาหารปลานิลมีแป้งในปริมาณสูงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตสำหรับปลานิลขนาดใหญ่ แต่ในอาหารปลานิลขนาดเล็กไม่ควรมีแป้งเกิน 35 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายต่ำ (กรมประมง, 2541) ส่วน Kevin (1997) กล่าวว่าในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลขนาดต่ำกว่า 1 กรัม ไม่ควรมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบอยู่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปลาที่มีขนาด 1 กรัมขึ้นไป สามารถมีคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์

## 2. ไขมัน

ไขมันหรือลิปิดเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกระดับมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ไขมันมีโครงสร้างทางเคมีและหน้าที่ค่อนข้างหลากหลาย เช่น เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์ เป็นสื่อนำวิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามิน เอ อี ดี และเค เป็นแหล่งของฟอสฟอลิปิด เป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น และทำหน้าที่เฉพาะอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ไขมันบางชนิดอาจรวมอยู่กับโปรตีนได้แก่ ไลโปโปรตีน (lipoprotein) ชนิดต่างๆ ในน้ำเลือด บางชนิดรวมอยู่กับคาร์โบไฮเดรตได้แก่ ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) (Hill and Feigl, 1978)

ไขมันและน้ำมันที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สำคัญจากพืชได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น และจากสัตว์ที่สำคัญได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันวัว และน้ำมันปลา เป็นต้น ความแตกต่างด้านคุณสมบัติและคุณภาพของไขมันและน้ำมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบกรดไขมันในไขมัน (Furuichi, 1988)

### 2.1 คุณสมบัติของกรดไขมัน

กรดไขมัน (fatty acid) เป็นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group,  $-COOH$ ) แสดงคุณสมบัติความเป็นกรดต่อกับไฮโดรคาร์บอนสายยาว (long chain hydrocarbon) โดยอาจแตกแขนงหรือไม่แตกแขนงก็ได้ มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 2-24 อะตอม หรืออาจมากกว่านั้น มีโครงสร้างโดยทั่วไป คือ  $R-COOH$  โดย R เรียกว่าหมู่อัลคิล (alkyl group) เป็นตัวแทนของคาร์บอนที่มีจำนวนต่าง ๆ กัน (De Silva and Anderson, 1995) มีแนวโน้มละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ได้มากกว่าในน้ำ โดยพวกที่มีขั้วจะละลายในน้ำ ส่วนพวกไม่มีขั้วจะไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป กรดไขมันที่ละลายน้ำได้ดี จะมีสายคาร์บอนต่อกันสั้นๆ แต่เมื่อความยาวของสายคาร์บอนเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายน้ำจะค่อยลดลงตามความยาวของสายคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น (Lehninger *et al.*, 1993) กรดไขมันที่พบในธรรมชาติ มักมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนเลขคู่ และมักพบในรูปกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เพียงเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่พบในรูปไขมันที่ทำให้เกิดสบู่ได้ (saponifiable lipid) กรดไขมันในพืชและสัตว์ทั่วไปที่มีหมู่คาร์บอกซิลเพียงหมู่เดียว มีจำนวนเป็นเลขคู่ระหว่าง 14-18 อะตอม และไม่แตกแขนงอาจอิมตัวหรือไม่อิมตัวก็ได้ (Hill and Feigl, 1978) ส่วนกรดไขมันที่ไม่เป็นเส้นตรง แต่มีกิ่งก้านแยกออกไป มักมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่และมักพบในพวกจูลินทรีย์ทั่วไป และในเนื้อเยื่อของสัตว์เคี้ยวเอื้องก็พบกรดไขมันประเภทนี้มากเช่นกันเพราะได้รับจากการหมักของจูลินทรีย์ใน

กระเพาะรูเมน แต่ในปลาอาจพบกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากถึง 22 อะตอม (Lovell, 1989; Mathews and Van Holde, 1996)

กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid)
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)

ความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวของกรดไขมันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกรดไขมัน 2 ประการ คือ ความยาวของโซ่คาร์บอน และจำนวนพันธะคู่ (Lehniger *et al.*, 1993) ดังตาราง 1 และ 2 แสดงตัวอย่างชื่อของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่สำคัญหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป ทั้งที่เป็นชื่อสามัญ (common name) ชื่อตามระบบ (systematic name) สัญลักษณ์ (symbol) สูตรโครงสร้าง (structure) และจุดหลอมเหลว (Bronk, 1973) และในไขมันที่มาจากต่างแหล่งกันมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกัน เป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบของกรดไขมัน เช่น ไขมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ จะมีชนิดและปริมาณกรดไขมันแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 3 McDonald *et al.*, (1995 อ้างโดย บุญล้อม, 2541)

ตาราง 1 กรดไขมันอิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป

สัญลักษณ์	ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
2:0	Acetic (อะซีติก)	n-ethanoic (เอทานอิก)	$\text{CH}_3\text{COOH}$	16.7
3:0	Propionic (โพรพิโอนิก)	n-propanoic (โพรพานอิก)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	-2.2
4:0	Butyric (บิวทีริก)	n-butanoic (บิวทานอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-4.7
6:0	Caproic (คาโปรอิก)	n-hexanoic (เฮกซะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-1.5
8:0	Caprylic (คาโปรอิก)	n-octanoic (ออกตะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16
10:0	Capric (คาพลิก)	n-decanoic (เดคะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	32
12:0	Lauric (ลอริก)	n-dodecanoic (โดเดคะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44
14:0	Myristic (ไมริสติก)	n-tetradecanoic (เตตราเดคะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54
16:0	Palmitic (ปาล์มิติก)	n-hexadecanoic (เฮกซะเดคะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63
18:0	Stearic (สเตียริก)	n-octadecanoic (ออกตะเดคะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	70
20:0	Arachidic (อะราซิดิก)	n-eicosanoic (ไอโคซะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75
22:0	Behenic (เบเฮนิก)	n-docosanoic (โดโคซะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80
24:0	Lignoceric (ลิกโนเซอร์ริก)	n-tetracosanoic (เตตระโคซะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	84
26:0	Cerotic (เซโรติก)	n-hexacosanoic (เฮกซะโคซะโนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{COOH}$	88

ที่มา: Bronk (1973)

ตาราง 2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป

สัญลักษณ์	ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
14:1	Myristoleic (ไมริสโตเลอิก)	9-tetradecenoic ( <i>cis</i> ) (9-เตตระเดคีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18.5
16:1	Palmitoleic (ปาลมิโตเลอิก)	9-hexadecenoic ( <i>cis</i> ) (9-เฮกซะเดคีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	0.5
18:1	Oleic (โอเลอิก)	9-octadecenoic ( <i>cis</i> ) (9-ออกตะเดคีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13.4
18:1	Vaccenic (วักเซนิค)	11-octadecenoic ( <i>trans</i> ) (11-ออกตะเดคีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	44
18:2	Linoleic (ลิโนลีนอิก)	9,12-octadecadienoic ( <i>cis, cis</i> ) (9,12-ออกตะเดคไดอีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-5
18:3	Linoleic (ลิโนลีนิก)	9,12,15-octadecatrienoic ( <i>cis, cis, cis</i> ) (9,12,15-ออกตะเดคไตรีนอิก)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-11
20:4	Arachidonic (อะราชิโดนิก)	5,8,11,14-eicosatetraenoic (5,8,11,14-ไอโคซะเตตระอีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49.5
20:5	EPA (อีพีเอ)	5,8,11,14,17-eicosapentaenoic (5,8,11,14,17-ไอโคซะเพนตะอีนอิก)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-54
24:1	Nervonic (เนอร์วันิก)	15-tetracosenoic (15-เตตระโคซีนอิก)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	39

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bronk (1973)

ตาราง 3 ปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิโมลต่อโมล) ของไขมันบางชนิด

กรดไขมัน	เนยเหลว	น้ำมันหมู	ไข่วัว	ไข่ปลาขาว	น้ำมันถั่วลิสง	น้ำมันถั่วเหลือง
กรดไขมันอิ่มตัว						
4:0	90	0	0	0	0	0
6:0	30	0	0	0	0	0
8:0	20	0	0	0	0	0
10:0	40	0	0	0	0	0
12:0	30	0	0	38	0	0
14:0	110	10	70	74	0	0
16:0	230	320	290	94	100	95
18:0	90	80	210	7	97	37
กรดไขมันไม่อิ่มตัว						
18:1 $\omega$ -9	260	480	410	325	511	217
18:2 $\omega$ -6	30	110	20	5	274	571
18:3 $\omega$ -3	3	6	0	98	<1	65

ที่มา: McDonald และคณะ (1995 อ้างโดย บุญล้อม, 2541)

โดยทั่วไปไขมันพืชและสัตว์ทะเลโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลา มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณกรดลิโนลีนิกและกรดลิโนลีนิกสูงนอกจากกรดโอเลอิก (oleic acid, 18:1n-9) ซึ่งมีอยู่มากในไขมันทั่วไป ในขณะที่สัตว์ทั่วไปมีกรดไขมันอิ่มตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดปาลมิติก (palmitic acid, 16:0) และกรดสเตียริก (stearic acid, 18:0) อยู่สูงมาก (Martin *et al.*, 1983)

กรดไขมันอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่ในโมเลกุลมีโซ่คาร์บอนสั้น และไม่มีพันธะคู่คาร์บอนในโมเลกุลจับกับไฮโดรเจนเต็มที่ ไม่สามารถจับเพิ่มได้อีก เมื่อมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นจะมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่สัตว์น้ำย่อยกรดไขมันอิ่มตัวได้ไม่ดี และสัมประสิทธิ์การย่อยมีค่าต่ำลง กรดไขมันอิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่พบในไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันวัว หรือน้ำมันหมู กรดไขมันกลุ่มนี้มีกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) เป็นสารตั้งต้น (Martin *et al.*, 1983)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีโซ่คาร์บอนยาวและมีพันธะคู่ทำให้คาร์บอนในโมเลกุลจับกับไฮโดรเจนเพิ่มได้อีก กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 1 - 6 คู่ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Lehniger *et al.*, 1993) สัตว์น้ำสามารถย่อยกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดี และมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสูงขึ้นเพราะสัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็น มีอุณหภูมิร่างกายเท่ากับอุณหภูมิน้ำ จึงสามารถย่อยกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวได้ดี ซึ่งจุดหลอมเหลวของกรดไขมันแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอม จำนวนพันธะคู่ และตำแหน่งของพันธะคู่ โดยทั่วไปกรดไขมันไม่อิ่มตัวมักอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และบางชนิดยังคงเป็นของเหลวที่จุดเยือกแข็ง กรดไขมันไม่อิ่มตัวมักพบเป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช (ยกเว้นน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันจากสัตว์น้ำ เช่น น้ำมันตับปลา น้ำมันตับปลาหมึก และน้ำมันปลา ได้แก่ น้ำมันปลาสลิด น้ำมันตับปลาคอด (cod liver oil) น้ำมันปลาเมนฮาเดน (menhaden oil) และน้ำมันตับปลาพอลลอด (pollock liver oil) เป็นต้น (Martin *et al.*, 1983)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. Monounsaturated fatty acid เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่ เพียงคู่เดียว กรดไขมันกลุ่มนี้สังเคราะห์จากกรดไขมันอิ่มตัว

2. Polyunsaturated fatty acid (PUFA) เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18, 20 และ 22 อะตอม และจะมีพันธะคู่ตั้งแต่ 2-6 คู่ (Lovell, 1989) กรดไขมันกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่นักโภชนาการอาหารสัตว์น้ำสนใจศึกษามาก กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสัตว์น้ำมี 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มสามารถสร้างหรือสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นได้จากกรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้น โดยการเติมคาร์บอน (elongation) และการเติมพันธะคู่ (desaturation) (Sargent *et al.*,



1989) ประกอบด้วยครอบครัวกรดโอเลอิก (oleic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา9 ครอบครัวกรดลินอเลอิก (linoleic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา6 และครอบครัวกรดลินอเลอิก (linolenic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา3 (Lovell, 1989)

กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา9 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดคือ กรดโอเลอิก (18:1n-9) ซึ่งพบมากในสัตว์บก เช่น น้ำมันหมู น้ำมันวัว ได้แก่ 18:1n-9 , 20:2n-9 , และ 20:3n-9 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 20:3n-9 จัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ผิดปกติ (abnormal polyunsaturated fatty acid) ซึ่งพบเป็นองค์ประกอบอยู่ในฟอสโฟลิปิดของปลาที่ขาดกรดไขมันจำเป็น (Sargent *et al.*, 1989)

กรดไขมันกลุ่มโอเมกา6 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดคือ กรดลินอเลอิก ซึ่งพบเป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช สัตว์บก ปลาน้ำจืด และปลาน้ำกร่อยบางชนิด เช่น ปลานิล (*T. zillii*) (Kanazawa *et al.*, 1980) ปลาในกลุ่มปลาซัลมอน (salmonid) สามารถนำกรดลินอเลอิก สังเคราะห์กรดอะราชิโดนิกได้ (Sargent *et al.*, 1989)

กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา3 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดในกลุ่มคือ กรดลินอเลอิก พบมากในพืชผักน้ำ สาหร่ายน้ำจืด น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันลินสีด (linseed oil) กรดลินอเลอิก ถูกใช้สังเคราะห์กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิก และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่มที่พบเป็นองค์ประกอบในสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์ทะเล ได้แก่ น้ำมันปลา น้ำมันตับปลา น้ำมันตับปลาหมึก เป็นต้น (Kinsella, 1987)

## 2.2 กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid, EFA)

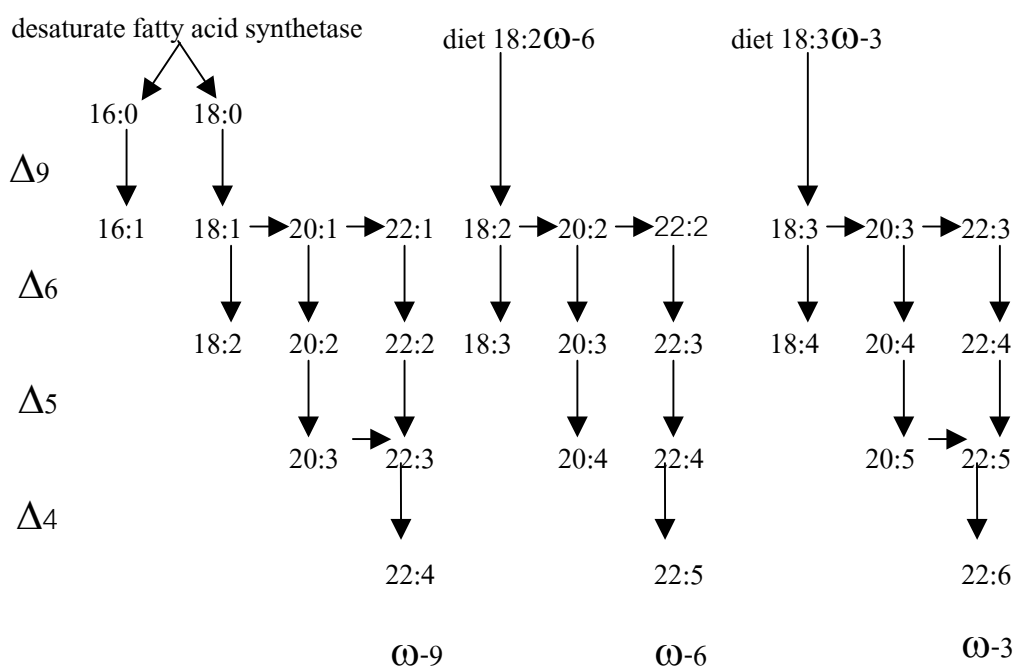
กรดไขมันจำเป็น เป็นกรดไขมันที่ร่างกายสัตว์สร้างไม่ได้ หรือสร้างได้ไม่พอกับความ ต้องการ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรง ถ้าขาดจะทำให้เกิดโรคหรืออาการผิดปกติในสัตว์ชั้นสูงโดยทั่วไปกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา6 คือ กรดลินอเลอิก และกลุ่มโอเมกา3 คือ กรดลินอเลอิกจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น ส่วนกรดอะราชิโดนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่มโอเมกา6 สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดลินอเลอิก (Page, 1981) กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิก และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา3 สามารถสังเคราะห์จากกรดลินอเลอิก (Sargent *et al.*, 1999) กรดไขมันจำเป็นทั้ง 2 กลุ่ม ที่พันธะคู่ระหว่างตำแหน่งคาร์บอนที่ 9 จนถึงปลายเมทิลเป็นพันธะคู่ที่ร่างกายไม่สามารถสร้างได้จึงจำเป็นต้องผสมกรดไขมันกลุ่มดังกล่าวในอาหารสัตว์ กรดไขมันจำเป็นมีความสำคัญต่อร่างกายสัตว์เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรนจึงมีบทบาทสำคัญในการขนส่งลิปิดและเอนไซม์ที่เป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) บางชนิด นอกจากนี้ยังเป็น สารต้นตอในการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน (prostaglandins) และสารคล้ายฮอร์โมนที่เกี่ยวข้อง

ข้องกับการแข็งตัวของเลือด ความดันเลือด และระบบภูมิคุ้มกัน (Sargent *et al.*, 1989; Kinsella, 1987)

ทางด้านอาหารสัตว์น้ำ กรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา 6 และกลุ่มโอเมกา 3 เพราะร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันทั้ง 2 กลุ่มนี้ได้เอง จำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรงเท่านั้น สัตว์น้ำที่ไม่ได้รับกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้จากอาหารจะมีการเจริญเติบโตช้า เบื่ออาหาร (Sargent *et al.*, 1989) ทำให้ในการผลิตอาหารปลาต้องพิจารณาถึงปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกายที่มีในอาหาร ซึ่งในอาหารปลานั้นชนิดและปริมาณของกรดไขมันดังกล่าวขึ้นอยู่กับความต้องการของปลาแต่ละชนิด ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมกา 6 และโอเมกา 3 แต่ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันเพียงกลุ่มเดียว (Alava and Kanazawa, 1996)

กรดลิโนลิอิก และลิโนลิอิก จัดเป็นกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดของกรดไขมันตัวอื่นๆ ในกลุ่มโอเมกา 6 และโอเมกา 3 ตามลำดับ ซึ่งจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์กรดไขมันที่มีความสำคัญต่อร่างกายซึ่งมีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงขึ้น และมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น (ภาพ 2) เช่น การสังเคราะห์กรดอะราชิไดนิก จากกรดลิโนลิอิกหรือการสังเคราะห์กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิก และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก เป็นต้น (Sargent *et al.*, 1989; 1999) ทั้งกรดลิโนลิอิกและกรดลิโนลิอิก จัดเป็นกรดไขมันจำเป็นและสัดส่วนของกรดลิโนลิอิกต่อกรดลิโนลิอิกยังใช้เป็นตัวกำหนดการแสดงผลสัดส่วนของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิกต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิกของตัวปลา แต่ในปลาบางชนิด สัดส่วนของกรดลิโนลิอิกต่อกรดลิโนลิอิกก็ไม่สามารถทำนายสัดส่วนของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิกต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิกในตัวปลาได้ (Sargent *et al.*, 1999) และการนำกรดลิโนลิอิกและกรดลิโนลิอิกไปใช้สังเคราะห์กรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถแตกต่างกัน Sargent *et al.*, (1989) รายงานว่าปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout, *Salmo gairdneri*) และกลุ่มปลาซัลมอนสามารถใช้กรดลิโนลิอิกสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นที่มีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้นได้ Isik *et al.*, (1999) รายงานว่าปลานิล (*T. zilli*) ที่เลี้ยงด้วยโรติเฟอร์ (*Brachionus calyciflorus*) ซึ่งมีองค์ประกอบกรดลิโนลิอิกและกรดลิโนลิอิกสูง สามารถสังเคราะห์กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิกจากกรดลิโนลิอิก และกรดอะราชิไดนิกจากกรดลิโนลิอิกที่ได้รับอาหาร แต่ Stickney และ McGeachin (1984) รายงานว่าปลานิลแดง (*T. aureus*) ที่ได้รับอาหารที่มีกรดสเตียริก (stearic acid, 18:0) 3 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดโอลิอิก (oleic acid, 18:1n-9) 1 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนลิอิก 1 เปอร์เซ็นต์และกรดลิโนลิอิก 1 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตเป็นที่น่าพอใจ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดสเตียริก 4 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดลิโนลิอิก 2 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีกรดสเตียริก 4 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดลิโนลิอิก 2 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่มีการเจริญเติบโตไม่ดีและไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มและเพิ่มจำนวนพันธะคู่ได้ ในขณะที่ปลาไหลญี่ปุ่น (eel, *Anguilla japonica*) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเช่นกัน แต่สามารถสังเคราะห์ได้น้อย และปลาราคีบรีม

(red sea bream, *Pagrus major*) ซึ่งเป็นปลาทะเลสามารถสังเคราะห์ได้น้อยมาก (Sargent *et al.*, 1989) จึงสอดคล้องกับรายงานของ Sargent *et al.*, (1999) ที่รายงานว่าปลาทะเลไม่มีความสามารถในการสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในกลุ่มโอเมกา3 (highly unsaturated fatty acid, n-3 HUFA) จากกรณีโนลิติกเนื่องจากขาดโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่ใช้ในกระบวนการสร้างกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ดังนั้นปลาทะเลจึงต้องการกรดไขมัน n-3 HUFA จากอาหารโดยตรง (Sargent *et al.*, 1989)



ภาพ 2 ขั้นตอนการเพิ่มคาร์บอนและพันธะคู่ของกรดไขมัน (แนวลูกศรแนวนอนแสดงการเพิ่มคาร์บอนทีละ 2 อะตอม และลูกศรแนวตั้งแสดงการเพิ่มพันธะคู่ทีละ 1 พันธะ) ที่มา: Sargent *et al.*, (1989)

### 2.3 การใช้ประโยชน์จากกรดไขมันของปลา

กรดไขมันที่ปลาสังเคราะห์ขึ้นจะไม่เก็บในรูปกรดไขมันอิสระ เพราะละลายน้ำยาก และมีความเป็นกรดซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายทำให้ปลาเก็บสะสมไว้ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglyceride) (Hepher, 1988) กรดไขมันที่ปลาสังเคราะห์ขึ้นมาจะนำไปสะสมไว้ในอวัยวะต่างๆ เช่น เรตินา เส้นประสาท สมอง ตับและกล้ามเนื้อ เป็นต้น เพื่อให้อวัยวะเหล่านี้ทำหน้าที่ได้ตามปกติ โดยสะสมมากที่สุดที่ตับ ที่กล้ามเนื้อหรือเนื้อเยื่อ

ไขมันสะสมมารองลงมา และอาจสะสมบริเวณใต้ชั้นผิวหนังและอวัยวะภายในอื่นๆ ในปริมาณที่ต่ำกว่า ปลาสามารถนำกรดไขมันที่สะสมมาเผาผลาญให้เป็นพลังงานสำรอง ถ้าร่างกายขาดอาหาร (starvation) เป็นเวลานานๆ เช่น ปลาฉลามอน ขณะอพยพว่ายน้ำไปวางไข่เป็นเวลาหลายสัปดาห์ก็จะนำพลังงานที่สะสมในร่างกายมาใช้ ซึ่งปลาแต่ละชนิดอาจเลือกใช้แหล่งพลังงานสำรองแตกต่างกัน เช่น ปลาเรนโบว์เทราท์ ที่อดอาหารนานๆ จะนำกรดไขมันที่สะสมในเนื้อเยื่อไขมันรอบอวัยวะภายในมาใช้มากกว่าที่สะสมในตับ หรือกล้ามเนื้อ ปลาหมอเทศจะนำกรดไขมันจากกล้ามเนื้อมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองมากกว่าบริเวณเนื้อเยื่อไขมันรอบอวัยวะภายใน (Sargent *et al.*, 1989) นอกจากนี้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแล้วกรดไขมันจำเป็นยังมีความสำคัญในการเป็นสารตั้งต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิด และยังช่วยในการป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของเส้นเลือด ปลามีการเจริญเติบโตดีและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Bell *et al.*, 1986)

ปลาแต่ละชนิดมีความต้องการและสามารถใช้ประโยชน์จากกรดไขมันต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยและการดูดซึม Sargent *et al.* (1989) รายงานว่ากรดไขมันที่มีสายคาร์บอนยาวและมีความไม่อิ่มตัวสูง (PUFA) มีประสิทธิภาพและถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่ากรดไขมันที่มีสายคาร์บอนสั้น และการย่อยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีประสิทธิภาพสูงกว่าการย่อยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากัน โดยธรรมชาติของปลาซึ่งเป็นสัตว์เลือดเย็นมีอุณหภูมิร่างกายใกล้เคียงอุณหภูมิน้ำที่อาศัยอยู่ ซึ่งค่อนข้างต่ำ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ปลาไม่สามารถย่อยและนำกรดไขมันไปใช้ได้ดึ้นัก ปลาส่วนใหญ่จึงต้องการกรดไขมันที่มีสายคาร์บอนอะตอมยาวและมีความไม่อิ่มตัวสูงเพื่อการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ รวมทั้งการสืบพันธุ์เช่น ปลาต้องการกรดโอโคซะเพนตะอีโนอิก กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก และ กรดอะราชีโดนิก (Sargent *et al.*, 1999) แต่ปลาบางชนิดสามารถใช้ประโยชน์จากกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 6 -12 อะตอม (medium chain fatty acid, MCFA) มีรายงานการศึกษาการใช้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีโซ่คาร์บอนมีความยาวขนาดกลาง (medium chain triglycerides, MCT) เสริมในอาหารปลา อะยู (ayu, *Plecoglossus altivelis*) ทำให้เนื้อปลามีคุณภาพดีขึ้น ช่วยลดองค์ประกอบไขมันในกล้ามเนื้อ ตับ และช่องท้อง ปลามีอัตราการเจริญเติบโตดี (Mustafa *et al.*, 1991) แต่ในปลาคออเมริกัน (Stickney and Andrew, 1972) ปลานิล (Takeuchi *et al.*, 1983b) ปลาคาร์พ (Shikata *et al.*, 1994) ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) มีค่าลดลง และจากการรายงานของ Nakagawa และ Kusunoki (1990) พบว่า ปลานิลที่ได้รับ MCT และน้ำมันปลาพอลลอกมีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน

## 2.4 ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาชนิดต่างๆ

ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาได้มีการศึกษาทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ ปลาส่วนมากมีความต้องการกรดไขมันจำเป็น 0.5- 2 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลาที่ขาดกรดไขมันจำเป็นจะแสดงอาการคือ ปลาเจริญเติบโตช้าลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูง เบื่ออาหาร อัตราการตายสูง หรือมีอวัยวะบางอย่างผิดปกติ และในปลาบางชนิดอาจมีอาการช็อก (shock syndrome) (Sargent *et al.*, 1989) ส่วนปลาที่ได้รับกรดไขมันดังกล่าวมากเกินไป ก็จะมีการเจริญเติบโตช้าลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (NRC, 1993) Greene (1990) รายงานว่า สิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ ความเค็ม ความสมบูรณ์ของอาหาร และชนิดของอาหารที่ปลาได้รับจากธรรมชาติ มีผลต่อองค์ประกอบไขมันในตัวปลาและมีผลต่อเนื่องถึงความต้องการกรดไขมันของปลาชนิดนั้นๆ เช่น ความแตกต่างระหว่างปลากินพืช กับปลากินเนื้อ ปลาทะเลกับปลาน้ำจืด และปลาเขตหนาวกับปลาในเขตร้อนหรือเขตอบอุ่น มีความต้องการกรดไขมันแตกต่างกัน มีรายงานว่า ปลาทะเลส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-3 HUFA เช่น กรดโอโคซะเพนตะอีโนอิก และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก เป็นหลักสำหรับการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ (Castell *et al.*, 1994; Alava and Kanzawa, 1996; Rodriguez *et al.*, 1998) ขณะที่ปลาน้ำจืดส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอมก็เพียงพอแล้ว (Steffens, 1997) ทั้งนี้เนื่องจากปลาทะเลส่วนใหญ่จัดเป็นปลากินเนื้อ กินแพลงก์ตอน และกินปลาอื่นเป็นอาหาร ซึ่งอาหารเหล่านี้มี n-3 HUFA สูง กรดไขมันชนิดนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และเมื่อแพลงก์ตอนสัตว์กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารก็เป็นการนำ n-3 HUFA เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ปลาทะเลจึงได้รับกรดไขมันกลุ่ม n-3 HUFA โดยตรงจากอาหาร (Sargent *et al.*, 1989) ส่วนในปลาน้ำจืดนั้นเนื่องจากอาหารซึ่งมีพวกพืช แมลง และแพลงก์ตอนพืชน้ำจืด ซึ่งเป็นห่วงโซ่อาหารระดับเบื้องต้นของสัตว์น้ำจืด มีกรดลิโนลีนิกและกรดลิโนลินิกสูง แต่ไขมันในปลาน้ำจืดก็ยังประกอบด้วย n-3 HUFA สูง และในปลาน้ำจืดมีทั้งปลากินเนื้อและปลากินพืช ซึ่งในอาหารมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้องค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกันด้วย และมีผลต่อแนวโน้มความต้องการกรดไขมันในกลุ่ม โอเมกา-3 และ โอเมกา-6 แตกต่างกัน (Greene, 1990)

ปลาแต่ละชนิดทั้งปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็มมีองค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปปลาน้ำเค็มมีระดับของกรดลิโนลีนิกและกรดลิโนลินิกในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับของกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 ที่มีสายคาร์บอนยาวในปริมาณสูง เช่น กรดโอโคซะเพนตะอีโนอิก และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก (ตาราง 4) (Steffens, 1997) และเมื่อเปรียบเทียบกับปลาน้ำจืด พบว่าส่วนใหญ่มีองค์ประกอบกรดไขมันเป็นชนิดกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม (Steffens, 1997) (ตาราง 5)

ตาราง 4 องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำเค็มบางชนิด

ชนิด กรดไขมัน	ชนิดปลา					
	<i>Clupea harengus</i>	<i>Clupea harengus pallasi</i>	<i>Gadus morhua</i>	<i>Sc. scombrus</i>	<i>Brevoortia tyrannus</i>	<i>Oncorhynchus keta</i>
	Whole fish lipid (Akman and Eaton, 1966)	flesh lipid (Gruger <i>et al.</i> , 1964)	liver oil (Jangaard <i>et al.</i> , 1967)	Flesh lipid (Gruger <i>et al.</i> , 1964)	whole fish lipid (Gruger <i>et al.</i> , 1964)	flesh lipid (Gruger <i>et al.</i> , 1964)
14:0	5.1	7.6	3.7	4.9	8.0	2.2
16:0	10.9	18.3	12.6	28.2	28.9	17.0
16:1	12.0	8.3	9.3	5.3	7.9	4.1
18:0	1.2	2.2	2.3	3.9	4.0	3.2
18:1	12.6	16.9	22.7	19.3	13.4	21.4
18:2 $\omega$ -6	0.7	1.6	1.5	1.1	1.1	2.0
18:3 $\omega$ -3	0.3	0.6	0.6	1.3	0.9	1.0
18:4 $\omega$ -3	1.5	2.8	0.6	3.4	1.9	2.0
20:1	16.1	9.4	7.5	3.1	0.9	5.4
20:4 $\omega$ -6	0.4	0.4	1.4	3.9	1.2	0.9
20:4 $\omega$ -3	0.4	-	0.6	-	-	-
20:5 $\omega$ -3	7.4	8.6	12.9	7.1	10.2	6.7
22:1	19.8	11.6	6.2	2.8	1.7	9.4
22:5 $\omega$ -6	0.4	-	0.3	-	0.7	0.6
22:5 $\omega$ -3	1.1	1.3	1.7	1.2	1.6	2.3
22:6 $\omega$ -3	3.9	7.6	12.7	10.8	12.8	16.1
$\Sigma\omega$ -3	14.6	20.9	29.1	23.8	27.4	28.1
$\Sigma\omega$ -6	1.9	2.0	3.7	5.0	3.0	4.2
$\omega$ -3/ $\omega$ -6	7.7	10.5	7.9	4.7	9.1	6.7

ที่มา: คัดแปลงจาก Steffens (1997)

ตาราง 5 องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำจืดบางชนิด

ชนิด กรดไขมัน	ชนิดปลา					
	<i>Oncorhynchus mykiss</i> flesh lipid (Gruger <i>et al.</i> , 1966)	<i>Coregonus artedi</i> whole fish lipid (Akman, 1967)	<i>Ophiocephalus punctatus</i> flesh lipid (Nair and Gopakumar, 1978)	<i>Cyprinus carpio</i> flesh lipid (Kim and Lee, 1986)	<i>Hypophthalmichthys s molitrix</i> flesh lipid (Meith <i>et al.</i> , 1989a)	<i>Aristichthys nobilis</i> flesh lipid (Meith <i>et al.</i> , 1964)
14:0	2.1	4.6	0.7	2.3	4.5	2.4
16:0	11.9	13.8	24.0	19.6	15.4	10.8
16:1	8.2	21.5	5.8	9.4	10.5	9.1
18:0	4.1	2.9	13.9	4.5	3.2	2.5
18:1	19.8	25.2	14.0	23.4	24.8	27.0
18:2 $\omega$ -6	4.6	1.9	3.8	3.9	4.3	3.1
18:3 $\omega$ -3	5.2	2.6	0.5	6.0	7.0	7.8
18:4 $\omega$ -3	1.5	1.5	1.8	0.2	-	-
20:1	3.0	1.3	0.7	0.8	2.5	2.8
20:4 $\omega$ -6	2.2	1.7	6.1	3.5	3.3	3.3
20:4 $\omega$ -3	-	0.8	-	-	-	-
20:5 $\omega$ -3	5.0	6.2	6.0	6.0	6.6	10.7
22:1	1.3	0.3	0.3	-	2.9	3.1
22:5 $\omega$ -6	0.6	0.5	-	-	1.4	1.2
22:5 $\omega$ -3	2.6	1.8	2.2	1.2	2.0	2.1
22:6 $\omega$ -3	19.0	3.8	6.7	5.1	6.0	9.9
$\Sigma\omega$ -3	33.3	17.0	18.2	18.5	21.6	30.5
$\Sigma\omega$ -6	8.0	5.4	11.3	9.4	11.0	9.7
$\omega$ -3/ $\omega$ -6	4.2	3.2	1.6	2.0	2.0	3.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Steffens (1997)

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแหล่งและสัดส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในปลานิลแดงแปลงเพศ
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันปลาต่าง ๆ กัน
3. เพื่อศึกษาค้นทุนการผลิตอาหารปลา