



การศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันจากหัวปลาคีบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ  
Characterization of Oil from Non-precooked and Precooked Skipjack Tuna Heads

นิสิทธิ์ ศรีวิรัตน์

Nisit Sriwiratt

Order Key 28305  
BIB Key 176087

A  
เลขหมู่ TP 64.F5 465  
เลขทะเบียน 2449 10.2  
30 พ.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology

Prince of Songkla University

2543

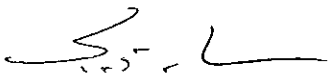
ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาหู  
นำพันธุ์โอแถบ

ผู้เขียน นาย นิสิต ศรีวิรัตน์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

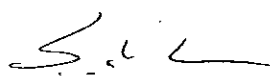
คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ



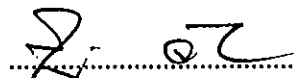
.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทรวัดน์ เบญจกุล)



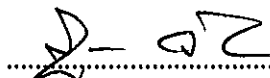
.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทรวัดน์ เบญจกุล)



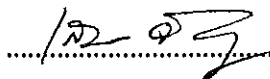
.....กรรมการ

(ดร.สุกัญญา จันทะชุม)



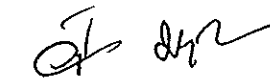
.....กรรมการ

(ดร.สุกัญญา จันทะชุม)



.....กรรมการ

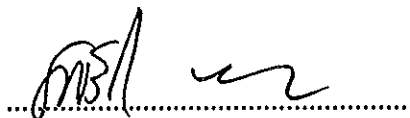
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวัดย์ มหามุขราคุ้ม)

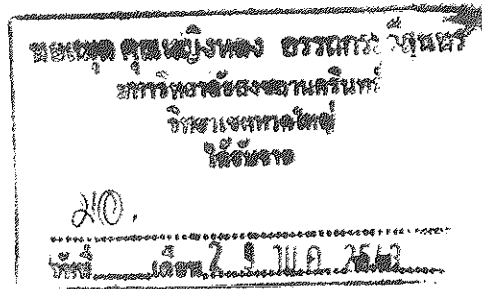
บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร



(รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ บำรุงรักษ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ  
นำพันธุ์โอแถบ  
ผู้เขียน นาย นิสิทธิ์ ศรีวิรัตน์  
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร  
ปีการศึกษา 2542



#### บทคัดย่อ

การแยกน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ โดยวิธี wet reduction พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันคือ การให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และใช้แรงบีบด้วยไฮดรอลิกเพรส 140 ตันต่อตารางเมตร โดยพิจารณาจากผลผลิตและคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันดิบจากหัวปลาดิบมีผลผลิตและคุณภาพดีกว่าน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก น้ำมันดิบประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 48.3-51.2 โดยมีกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 18.8-25.5 ภายหลังจากทำบริสุทธิ์ น้ำมันมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีขึ้น แต่มีผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ร้อยละ 40.3-46.7 ของน้ำมันดิบ น้ำมันบริสุทธิ์ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 49.2-54.0 โดยมีกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 20.3-27.4

การเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยทำน้ำมันเป็นหยดเล็กๆ ด้วยไนโตรเจนเหลว แล้วนำไปแช่ในอะซิโตนด้วยอัตราส่วนน้ำมันต่อตัวละลายเท่ากับ 1:10 (น.น.ต่อปริมาตร) เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน ได้ผลผลิตน้ำมันร้อยละ 38 และ 34 น้ำมันมีค่าไอโอดีนเพิ่มจาก 180 และ 167 เป็น 212 และ 195 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม น้ำมัน สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบมีกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.2 และมีการเปลี่ยนแปลงของกรดดีเอชเอน้อย ส่วนน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกมีกรดดีเอชเอเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.4 แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก

การเก็บรักษาหัวปลาทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) เกิน 4 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเก็บหัวปลาที่อุณหภูมิห้องทำให้ปริมาณฮีตตามีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดในหัวปลาทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ทั้งที่อุณหภูมิห้องและ

อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณดำที่ระเหยได้ทั้งหมดของหัวปลาสุกต่ำกว่าหัวปลาคีบ  
อย่างไรก็ตามผลผลิตและคุณภาพน้ำมันดิบที่แยกจากหัวปลาซึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้องและ  
อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน

การใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตทเป็นสารกันหืน ให้ประสิทธิภาพใน  
การป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคีบและหัวปลา  
สุกสูงสุด เมื่อทดสอบด้วยวิธี accelerated oxidation test โดยมีประสิทธิภาพการเป็นสาร  
กันหืนเท่ากับ 5.14 4.28 3.94 และ 4.01 สำหรับน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบและหัวปลาสุก  
น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคีบและหัวปลาสุก ตามลำดับ การเก็บรักษาน้ำมันดิบและน้ำมัน  
บริสุทธิ์โดยเติมที่บีเอชคิว (200 ส่วนในล้านส่วน) ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท (200  
ส่วนในล้านส่วน) ที่อุณหภูมิ (4 องศาเซลเซียส) สามารถชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ  
มันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis title            Characterization of Oil from Non-precooked and Precooked  
Skipjack Tuna Heads  
Author                 Mr. Nisit Sriwiratt  
Major Program        Food Technology  
Academic Year        1999

### Abstract

Characterization of oil from non-precooked and precooked skipjack tuna heads prepared by wet reduction was carried out. Based on yield, physical and chemical properties of oil, optimum condition for separation of oil involved heating samples at 85 °C for 30 mins, followed by pressing at 140 tons/m<sup>2</sup>. Generally, crude oil and refined oil obtained from non-precooked samples showed remarkably higher yield, physical and chemical qualities than those from precooked sample. Crude oil from non-precooked and precooked samples contained unsaturated fatty acid ranging from 48.3 to 51.2 with DHA content of 18.8-25.5%. After refined, oil possessed the highly improved chemical and physical properties. However, the lower yield (40.3-46.7%) was observed. Refined oil contained a slightly higher unsaturated fatty acid content (49.2-54.0%) with a slightly higher content of DHA (20.3-27.4%).

The enrichment of unsaturated fatty acid in refined oil from non-precooked and precooked samples was performed by solidifying fish oil droplets in liquid nitrogen and kept in acetone at -20 °C at ratio of 1:10 (w/v) for 1 day. The yields of 38 and 34% for refined oil from non-precooked and precooked samples were obtained after enrichment, respectively. Iodine values in refined oil from non-precooked and precooked samples (180 and 167 g.iodine/100 g.oil) were increased to 212 and 195 g.iodine/100 g.oil, respectively. Refined oil from non-precooked samples contained a 23.2% increase in oleic acid but no change in DHA was found. For refined oil from

precooked samples, a 24.4% increase in DHA was observed, whereas no change in oleic acid was obtained.

Non-precooked and precooked samples stored at room temperature more than 4 hrs had a remarkably increased microbial load. The samples stored at room temperature contained a higher histamine content when compared to those stored at 4 °C. Precooked samples rendered a lower TVBN compared to non-precooked sample. However, no differences in yield and quality of crude oil from samples stored at room temperature and 4 °C up to 16 hrs were observed.

As evaluated by accelerated oxidation test, TBHQ in presence of ascorbyl palmitate showed the significant retardation in oxidation rate of crude oil and refined oil from both non-precooked and precooked tuna heads. The antioxidant efficiency values of 5.14, 4.28, 3.94 and 4.01 were obtained for crude oils from non-precooked and precooked samples, refined oils from non-precooked and precooked samples, respectively. Therefore, the use of TBHQ (200 ppm) with ascorbyl palmitate (200 ppm) in crude and refined oil tuna head with low temperature storage ( 4 °C) afforded the best protection against oxidation.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทรวัฒน์ เบญจกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการวิจัย การค้นคว้าและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบพระคุณยิ่ง

ขอขอบคุณ ดร.สุกัญญา จันทะชุม กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิลาวัลย์ มหาบุษราคัม กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณชัยพฤกษ์ มรรคา ที่เป็นกำลังใจ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ บริษัทโชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต จำกัด ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ พี่สาว (คุณสายหยุด สุดาหวัง) ที่ให้โอกาสในการศึกษาให้ทั้งกำลังใจ ความเข้าใจและกำลังใจที่พร้อมมาโดยตลอด

นิสิทธิ์ ศรีวิรัตน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(11)
รายการภาพ	(15)
1. บทที่	
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	30
วัสดุ	30
อุปกรณ์	31
วิธีการทดลอง	32
3. ผลและวิจารณ์	40
4. สรุป	156
เอกสารอ้างอิง	158
ภาคผนวก	173
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี	173
ภาคผนวก ข กระบวนการทำน้ำมันปลาพู่नाให้บริสุทธิ์	193
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	195
ประวัติผู้เขียน	211
	(8)

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาน้ำจืด 8 ชนิด จากประเทศกรีซ	7
2 ปริมาณโอเมก้า-3 ในปลาชนิดต่างๆจากอ่าวเบงกอล มหาสมุทรแปซิฟิก และแอตแลนติก (กรัม/100 กรัม ของกรดไขมันทั้งหมด)	7
3 ปริมาณไขมันของอวัยวะส่วนต่างๆของปลาแมคเคอรอล 2 ชนิด	8
4 องค์ประกอบของไขมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต (ร้อยละของไขมันทั้งหมด)	16
5 ดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์	22
6 ปริมาณแอลฟา-โทโคฟีรอล ของเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลา ของปลาซาร์ดีนและแมคเคอรอล (ไมโครกรัม/กรัม)	26
7 ประสิทธิภาพสารกันหืนของน้ำมันปลาเคลือบที่ใช้สารกันหืนชนิดต่างๆ	28
8 องค์ประกอบทางเคมีของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	41
9 สมบัติทางเคมี กายภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	69
10 สมบัติทางเคมี กายภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	71
11 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	80
12 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันสุกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	82
13 องค์ประกอบของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	86
14 องค์ประกอบของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	87
15 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันดิบจากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	89

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
16	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูนำพันธุ์โอแถบ	90
17	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูนำพันธุ์โอแถบ ก่อนและหลังการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว	96
18	เวลา(ชั่วโมง) ที่ทำให้น้ำหนักน้ำมันเพิ่มร้อยละ 0.6 ของน้ำมันที่เติมสารกัน หืนและหรือสารเสริมฤทธิ์ชนิดต่างๆ โดยปมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	113
19	ประสิทธิภาพของสารกันหืนที่ใช้กับน้ำมันปลาชนิดต่างๆ จากการทดสอบ โดยวิธี accelerated oxidation test ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	114

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	195
2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	195
3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	196
4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	196
5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	197
6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	197
7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	198
8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	198

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะท้อนฟีเคชันของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	199
10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะท้อนฟีเคชันของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	199
11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะท้อนไฟไม่ได้อิงของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	200
12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะท้อนไฟไม่ได้อิงของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	200
13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	201
14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	201
15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	202
16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	202

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	203
18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	203
19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	204
20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	204
21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	205
22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	205
23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	206
24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	206

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	207
26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	207
27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	208
28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน	208
29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว	209
30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว	209
31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว	210
32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว	210

## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1	5
2	12
3	13
4	15
5	18
6	18
7	29
8	30
9	35
10	35
11	37
12	43
13	46
14	48
15	50
16	52

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
17	54
<p>สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ</p>	
18	56
<p>ค่าสีของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ</p>	
19	59
<p>ผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
20	60
<p>ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
21	61
<p>ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
22	62
<p>ค่าสะปอนิฟิเคชัน(มก. โทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
23	63
<p>สารที่สะปอนิฟายไม่ได้(ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
24	64
<p>ค่าสีน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
25	65
<p>ปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ</p>	
26	74
<p>ลักษณะปรากฏของน้ำมันจากหัวปลาดิบของปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งผ่านการทำบริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน</p>	

## รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
27	ลักษณะปรากฏของน้ำมันจากหัวปลาสุกของปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งผ่าน การทำบริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน	76
28	ผลผลิตน้ำมันบริสุทธิ์ซึ่งผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในตัวทำ ละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	92
29	ค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์ซึ่งผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในตัวทำละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	94
30	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่า พันธุ์โอแถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	99
31	ปริมาณฮีสตามีนของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบซึ่ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	101
32	ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่า พันธุ์โอแถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	103
33	ผลผลิตน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	104
34	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลา ทูน่าพันธุ์โอแถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	106
35	ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจาก ปลาทูน่าพันธุ์โอแถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	107
36	ค่าทีบีเอของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอ แถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชม.	108
37	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอ แถบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	115

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
38	116
น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
39	117
น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
40	118
น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
41	121
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
42	122
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
43	123
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
44	124
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
45	126
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
46	127
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
47 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	128
48 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	129
49 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	131
50 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	132
51 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	133
52 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	134
53 ค่าทีบีเอ (มก.มาโลนาลดีไฮด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	137
54 ค่าทีบีเอ (มก.มาโลนาลดีไฮด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	138

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
55	139
ค่าทีบีเอ (มก.มาโลนาลดีฮายด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยปมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
56	140
ค่าทีบีเอ (มก.มาโลนาลดีฮายด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยปมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
57	144
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
58	145
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
59	147
ปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
60	148
ปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
61	150
ปริมาณคอนจูเกตไดอิน(ค่าการดูดกลืนแสงต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	
62	151
ปริมาณคอนจูเกตไดอิน(ค่าการดูดกลืนแสงต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	

## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า	
63	ค่าที่บีเอ (มก.มาโลนาลดีฮายด์ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบจาก ปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	153
64	ค่าที่บีเอ (มก.มาโลนาลดีฮายด์ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุกจาก ปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	154

# บทที่ 1

## บทนำ

### บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่ม โอเมก้า-3 โดยเฉพาะกรดไขมันอีพีเอ (eicosapentaenoic acid ; EPA) และกรดไขมันดีเอชเอ (docosahexaenoic acid ; DHA) เป็นสารอาหารที่กำลังได้รับความสนใจทั้งทางโภชนาการ การแพทย์ และอุตสาหกรรม เนื่องจากกรดไขมันอีพีเอมีผลป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจและระบบการหมุนเวียนของเลือดส่วนกรดไขมันดีเอชเอเป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อสมอง เรตินาและสเปิร์ม ปลาทะเลเป็นแหล่งกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่สำคัญของมนุษย์ จึงมีการแนะนำให้รับประทานปลาทะเลอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 มื้อ เพื่อให้ได้รับกรดไขมันโอเมก้า-3 ครบตามความต้องการของร่างกาย (วินัย คะห์ตัน, 2539)

ในการผลิตปลาทุ่นาบรรจุกระป๋องมีวัสดุเศษเหลือที่เป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นปริมาณมาก การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือเหล่านี้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือตลอดจนลดปัญหาการบำบัดหรือกำจัดของเสีย วัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปลาทุ่นากระป๋องนิยมนำไปทำปลาป่นซึ่งเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ ในกระบวนการผลิตปลาป่นจะต้องทำการบีบแยกน้ำมันออก แต่น้ำมันเหล่านี้ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในประเทศไทย จึงทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดของเสีย อธิยา กัง - สุวรรณ และคณะ (2539) ทำการสกัดน้ำมันจากหัวและไส้ของปลาทุ่นา โดยวิธีของ Folch และคณะ (1957) พบว่าผลผลิตน้ำมันจากลูกตาและส่วนหัวมีค่าสูงประมาณร้อยละ 14-18 ส่วนไส้พุงปลาให้ผลผลิตน้ำมันประมาณร้อยละ 2.8-3.9

ในการผลิตน้ำมันปลาดิบสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมในทางการค้าคือ wet reduction ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการนึ่งด้วยไอน้ำ การบีบอัดและการแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สำหรับการบีบอัดมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมัน นอกจากนี้มีการใช้วิธีอื่น เช่น การใช้เอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของโปรตีนเพื่อให้ปลดปล่อยไขมันออกมามากขึ้นและได้ไฮโดรเสตเป็นผลิตภัณฑ์ และการย่อยสลายด้วย

ต่าง เพื่อไฮโดรไลซ์โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบ มีผลให้มีการปลดปล่อยน้ำมัน ออกมามากเช่นกัน เนื่องจากน้ำมันปลาประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง ดังนั้นน้ำมันปลาจึงสามารถเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืน การใช้สารกันหืนเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว การเลือกใช้สารกันหืนที่เหมาะสม คือใช้แล้วไม่เกิดพิษ ใช้ในปริมาณน้อยแต่ให้ประสิทธิภาพการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง จึงสามารถรักษาคุณภาพของน้ำมันปลาให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

นอกจากนี้ น้ำมันปลาในประเทศไทยสามารถผลิตได้จากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำได้ เช่น อุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง ซึ่งจากรายงานของ สุมาลย์ ศรีกำไลทอง (2538) จากจำนวน 21 โรงงานที่มียอดผลิต 647,000 ตันปลาสดต่อปี พบว่ามีวัสดุเศษเหลือซึ่งประกอบด้วย หัว หาง ก้างและหนังปลาร้อยละ 28-30 ใส้ปลาร้อยละ 5-7 พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) รายงานว่าในหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ผ่านการนึ่งสุกประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 7-8

ดังนั้นการแยกและการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลาตลอดจนศึกษากรรมวิธีการเก็บรักษา น้ำมันปลาดิบหรือน้ำมันปลาบริสุทธิ์จากวัสดุเศษเหลืออุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง เพื่อให้ได้น้ำมันปลาที่มีคุณภาพสูง จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพื่อเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องและช่วยลดปริมาณของเสีย

## ตรวจเอกสาร

### ปลาทูน่า

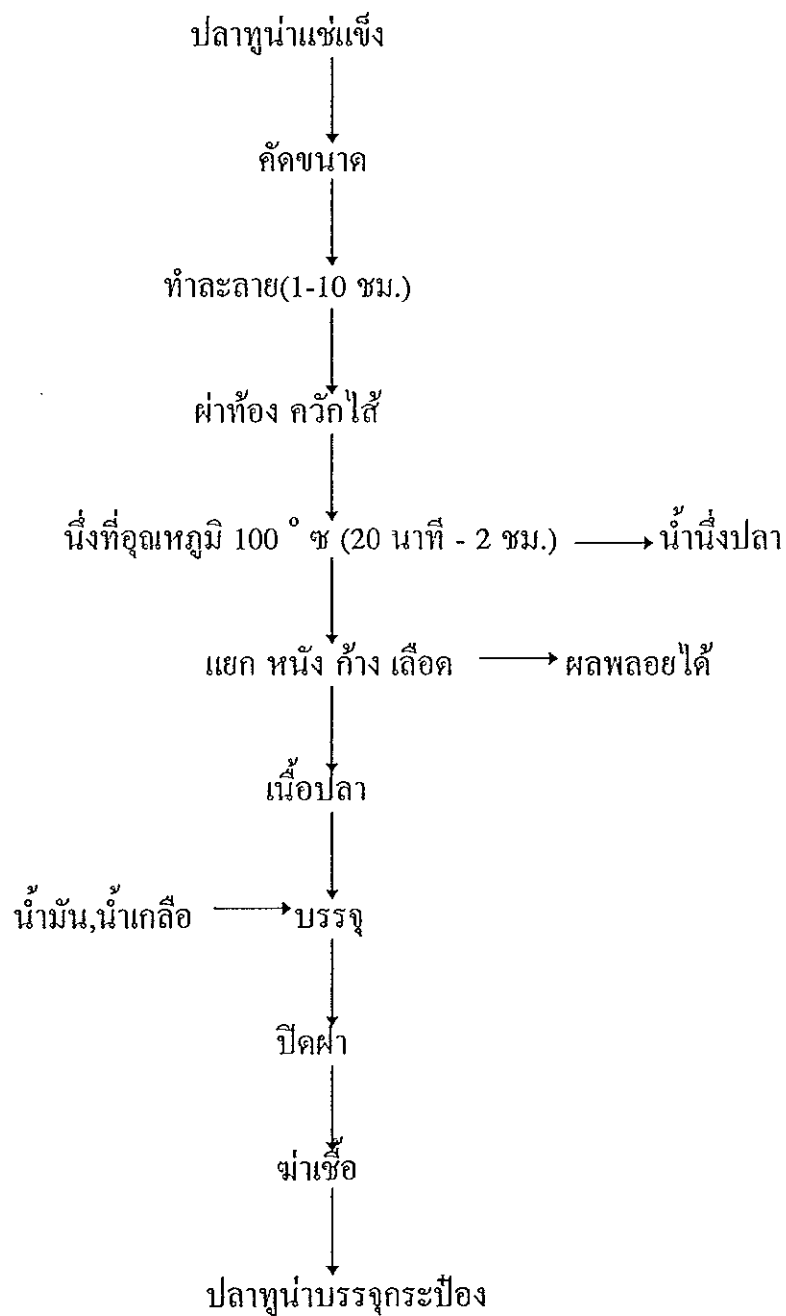
ปลาทูน่าเป็นปลากระดูกแข็งและเป็นปลาผิวหนัง ออกหากินเป็นฝูง การเคลื่อนที่ว่องไว มีกล้ามเนื้อแข็งแรง อาศัยอยู่ตามบริเวณชายฝั่งและเขตน้ำลึก กินอาหารประเภทแพลงตอน บางพันธุ์กินเนื้อ เช่น ปลา ปลาหมึก กุ้ง เป็นอาหาร ปลาทูน่าจัดอยู่ในสกุล Scombroidea วงศ์ Thunnidae ปลาทูน่าที่สำคัญ เช่น ปลาโอแถบ (skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*) ปลาโอดำ (longtail tuna, *Thunnus tonggol*) ปลาโอลาย (kawakawa, *Euthynnus affinis*) ปลาโอเกลบ (frigate tuna, *Auxis thazard*) ปลาโอหลอด (bullet tuna, *Auxis rochei*) ปลาทูน่าครีบลีอง (yellowfin tuna, *Thunnus albacares*) ปลาทูน่าตาโต (bigeye tuna, *Thunnus obesus*) ปลาทูน่าครีบบยาว (albacore tuna, *Thunnus alalunga*) ปลาทูน่าครีบน้ำเงิน (bluefin tuna, *Thunnus thynnus*) (Romer, 1965) องค์ประกอบของปลาชนิดเดียวกันอาจแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆดังนี้ อายุ เพศ ฤดูกาลที่จับ ความแปรปรวนของปลาแต่ละตัว ตำแหน่งทางสรีรวิทยา หรือตำแหน่งของกล้ามเนื้อในตัวปลา (Heen and Kreuzer, 1962)

Vlieg และคณะ (1983) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่จับได้บริเวณเศรษฐกิจจำเพาะของประเทศนิวซีแลนด์และนิวคาลิโดเนียระหว่างฤดูการจับในปี ค.ศ.1982 พบว่าปลาโอแถบทั้งตัวประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 23.4 ความชื้นร้อยละ 63.8 ไขมันร้อยละ 3.9 และไขมันร้อยละ 9.0 Nettleton (1985) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาโอแถบ พบว่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 25.6 ความชื้นร้อยละ 64.7 ไขมันร้อยละ 1.5 ส่วนไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.6-18.7 และในเนื้อปลา 100 กรัม มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 0.9 กรัม กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 0.6 กรัม และกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 0.5 กรัม

### วัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ได้ทำการสำรวจโรงงานผลิตปลาทูน่ากระป๋องในประเทศไทย จำนวน 21 โรงงาน ในปีพ.ศ. 2537 พบว่ามีกำลังผลิตทั้งหมด 647,000 ตันปลาสดต่อปี จากกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง ดังภาพที่ 1 จะให้ผลผลิตเนื้อปลาประมาณร้อยละ 35 ผลพลอยได้อื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย หัว หาง ก้างและหนัง

ปลาร้อยละ 28-30 ไข่ปลาร้อยละ 5-7 เลือดปลาร้อยละ 10-12 และน้ำหนักรที่สูญหายไป ระหว่างการนึ่งปลาร้อยละ 20 วัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตอาจก่อให้เกิด ปัญหาในการกำจัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ จึง เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการกำจัดวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ได้ตลอดจนสามารถใช้ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มชนิดต่างๆ ในอุตสาหกรรม สุนัขเลีย ศรีกำเนิด ไคทอง และคณะ (2538) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันปลาจากน้ำนึ่งปลา พบว่า ในน้ำนึ่งปลา มี น้ำมันผสมอยู่ประมาณร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักปลาสด มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว EPA ร้อยละ 4.4-6.7 และ DHA ร้อยละ 22.5-26.9 อธิยา กังสุวรรณ และคณะ (2537) ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากหัวและไส้ของปลาทูน่าชนิด โอแถบ โอลาย โอคำ และทูน่าครีบล้าง โดยวิธีของ Folch และคณะ (1957) คือใช้คลอโรฟอร์ม และเมธิลแอลกอฮอล์ (2:1) พบว่า ลูกตา และส่วนหัวจากปลาเกือบทุกชนิดให้ผลผลิตน้ำมัน ประมาณร้อยละ 14-18 และ จากไส้ของปลาประมาณร้อยละ 2.8-3.9 พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ศึกษาการแยกน้ำมัน จากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ผ่านการนึ่งสุก ด้วยวิธี wet reduction พบว่าได้ผลผลิตร้อยละ 7-8 ของน้ำหนักหัวปลาไม่รวมกระดูก และน้ำมันที่ได้ มีสีคล้ำและกลิ่นคาว



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

ที่มา : สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538)

### องค์ประกอบและแหล่งน้ำมันปลา

น้ำมันปลามีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง กรดไขมันที่พบมากและมีบทบาทสำคัญในน้ำมันปลาเป็นกรด

ไขมันกลุ่ม โอเมก้า-3 ซึ่งมีประมาณ 10 ชนิด แต่มีเพียง 2 ชนิด ที่มีบทบาทเด่น และสำคัญ คือ กรดไขมันอีพีเอมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากับ 20 มีพันธะคู่ 5 พันธะ และกรดไขมันดีเอชเอมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากับ 22 มีพันธะคู่ 6 พันธะ (Nettleton, 1985) นอกจากนี้ในน้ำมันปลาประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ฟอสโฟไลปิด กลีเซอรอลอีเทอร์ (glyceryl ether) ไฮโดรคาร์บอนและแว็กเอสเทอร์ (wax ester) องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งของน้ำมันและไขมัน ฟอสโฟไลปิดเช่น เลซิทีน และ เซฟาลิน มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงในปริมาณที่สูงกว่าไตรกลีเซอไรด์ โดยทั่วไป เนื้อเยื่อจากส่วนๆต่างของลำตัวและกล้ามเนื้อประกอบด้วยฟอสโฟไลปิดสูงกว่าไตรกลีเซอไรด์ (Stansby, 1990) ปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบของกรดไขมันในปลา จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดปลา ฤดูกาล อายุและเพศของปลา อาหารและอุณหภูมิของน้ำที่ปลา อาศัย (Ackman, 1989)

แหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 ที่สำคัญคือน้ำมันจากปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ ในน้ำมันปลาทูน่ามีกรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ ปริมาณ 1,288 และ 2,877 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในเนื้อไก่พบกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 เล็กน้อยและไม่พบในข้าว เนื้อวัว เนื้อหมู (Suzuki, 1993)

นอกจากนี้สามารถพบกรดไขมันโอเมก้า-3 จากแหล่งต่างๆ โดยมีงานวิจัย ดังนี้ Karahadian และ Linsay (1989) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า-3 ในเนื้อปลาน้ำจืดพวก *Salvelinus* sp. จากอ่าว Great ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอีพีเอร้อยละ 4 และกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 5.9 -9.6 ของกรดไขมันทั้งหมด Aggelousis และ Lazos (1991) วิเคราะห์กรดไขมันโอเมก้า-3 ในเนื้อปลาน้ำจืด 8 ชนิด จากประเทศกรีซ พบว่ามีกรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ ประมาณร้อยละ 6-11.8 และ 4-15.3 ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ องค์ประกอบต่างๆของเนื้อปลา แสดงดังตารางที่ 1 Yusuf และคณะ (1993) ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า-3 จากปลาในอ่าวเบงกอล เปรียบเทียบกับปลาจากเขตมหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติก พบว่าปลาในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรแอตแลนติกมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 สูงกว่าปลาจากอ่าวเบงกอล (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาน้ำจืด 8 ชนิด จากประเทศกรีซ

ปลา	น้ำหนัก กรัม	ความชื้น ร้อยละ	ไขมัน ร้อยละ	BPA กรัม/กก.	DHA กรัม/กก.	ω-3 กรัม/กก.	ω-6 กรัม/กก.
Bream(3) <sup>a</sup>	380±60	78±0.9	1.0±0.48	1.2	1.5	3.2	1.1
Carp(5)	420±80	78±0.6	1.4±0.27	1.0	0.7	2.0	1.8
Chup(5)	300±52	78±0.7	1.3±0.36	0.9	0.8	2.1	1.2
Crucian carp(6)	180±32	79±1.1	1.5±0.28	0.9	0.6	1.9	1.4
Ide(4)	140±25	79±0.9	1.6±0.47	1.5	0.8	2.7	1.9
Nase(5)	300±46	80±1.3	1.3±0.46	0.8	1.2	2.3	1.5
Pike-perch(4)	200±21	78±0.8	0.6±0.21	0.5	0.8	1.5	0.8
Sheatfish(3)	450±95	80±1.2	3.5±0.65	2.8	4.2	8.4	4.4

<sup>a</sup> = Number of fish used in each sample

± = standard deviation

ที่มา : Aggelousis และ Lazos (1991)

ตารางที่ 2 ปริมาณโอเมก้า-3 ในปลาชนิดต่างๆจากอ่าวเบงกอล มหาสมุทรแปซิฟิก และแอตแลนติก (กรัม/100 กรัม ของกรดไขมันทั้งหมด)

ชนิดปลา	อ่าวเบงกอล	มหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติก
halibut dorsal	24	] 54
ventral	29	
mackerel dorsal	23	] 33
ventral	21	
salmon	21	41
tuna dorsal	13	] 28
ventral	15	

ที่มา: Yusuf และคณะ (1993)

Saito และคณะ (1996) วิเคราะห์กรดไขมันของปลาทูน่าครีบลีโง จากน่านน้ำประเทศฟิลิปปินส์และประเทศญี่ปุ่น พบว่าน้ำมันที่สกัดจากอวัยวะส่วนต่างๆ ประกอบด้วยกรดไขมันดีเอชเอมากกว่าร้อยละ 25 Saito และ Ishihara (1996) ได้วิเคราะห์ปริมาณไขมันจากส่วนต่างๆของปลาแมคเคอรอล 2 ชนิด ได้แก่ *Ausix rocheri* และ *Ausix thazard* (ตารางที่ 3) และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันดีเอชเอ พบว่าอวัยวะทุกส่วนยกเว้นกระเพาะของ *A. rocheri* และ *A. thazard* ประกอบด้วยกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 16.6-28.6 และ 23.7-32.3 ตามลำดับ กระเพาะมีกรดไขมันดีเอชเอปริมาณต่ำ คือ ร้อยละ 1.5-13 และ 15.4-16.5 สำหรับ *A. rocheri* และ *A. thazard* ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันของอวัยวะส่วนต่างๆของปลาแมคเคอรอล 2 ชนิด

อวัยวะ	ปริมาณไขมัน(ร้อยละ)	
	<i>Ausix rocheri</i>	<i>Ausix thazard</i>
dorsal ordinary muscle	4.8 ± 2.1	5.1 ± 3.4
ventral ordinary muscle	21.6 ± 9.1	15.7 ± 10.8
dark muscle	7.0 ± 1.1	3.6 ± 0.4
liver	18.2 ± 6.5	16.6 ± 11.9
orbital	14.8 ± 3.5	14.8 ± 2.4
pyrolic cecum	5.6 ± 3.4	10.4 ± 6.0
heart	4.1 ± 0.4	5.6 ± 3.1
stomach	14.2 ± 2.3	5.1 ± 3.3

ที่มา: Saito และ Ishihara (1996 )

Ustun และคณะ (1996) ได้ทำการวิเคราะห์ชนิดกรดไขมันของน้ำมันปลา แองโฆวีเรนโบว์เทรนท์ และ ซาลมอล จากน่านน้ำประเทศต่างๆ พบว่าปริมาณและชนิดของกรดไขมันมีความแตกต่างกันตามชนิดและแหล่งที่อาศัย น้ำมันจากปลาแองโฆวีเรนโบว์เทรนท์จากอเมริกาใต้ และเปรู ประกอบด้วยกรดไขมันอีพีเอร้อยละ 7.4 24.6 และ 10.7 ตามลำดับ กรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 12.3 9.8 และ 4.37 ตามลำดับ ปลาเรนโบว์เทรนท์จากตรุกี อิตาลี และ สหรัฐอเมริกา มีกรดไขมันอีพีเอร้อยละ 3.9 1.97 และ 5.1 ตามลำดับ กรดไขมัน

มันดีเอชเอร้อยละ 5.0 10.28 และ 21.0 ตามลำดับ ปลาซาลมอลจากตรุกี แคนาดา สหรัฐอเมริกา มีกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 3.1 4.7 และ 4.5 ตามลำดับ กรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 16.7 11.1 และ 17.0 ตามลำดับ

นอกจากนี้กรดไขมันโอเมก้า-3 อาจได้จากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่จากปลาหรือสัตว์ทะเล Akimoto (1990) พบว่าเซลล์แบคทีเรีย *Pneumatophorus japonicus* ที่เลี้ยงในน้ำทะเลเทียมที่มีเปปโตไนร้อยละ 1 และยีสต์สกัดร้อยละ 0.5 ประกอบด้วยกรดไขมันอีพีเอ 16.8 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง Wichien (1992) รายงานว่าสาหร่าย *Phaeodactylum tricorutum* ประกอบด้วยกรดไขมันอีพีเอสูงถึงร้อยละ 35 ของกรดไขมันทั้งหมด นอกจากนี้ *Pneumatophorus japonicus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้เล็กของปลาแมคเคอรอลสามารถผลิต กรดไขมันอีพีเอได้ Grima และคณะ (1994) พบว่า microalgae จากทะเลบางชนิด เช่น *Porphyridium cruentum* สามารถผลิตกรดไขมันอีพีเอได้ 47.8 มิลลิกรัมต่อวันต่อลิตร เมื่อเลี้ยงใน tubular photobioreactor Nakahara และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการผลิตกรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ โดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากทะเลบริเวณหมู่เกาะ Yap ในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ *Schizochytrium* sp. โดยทำการเลี้ยงด้วย กลูโคส 60 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พีเอช 4 พบว่าสามารถสกัดน้ำมันจากเซลล์ได้ร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้งและประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 93 และให้ผลผลิตกรดไขมันดีเอชเอและกรดไขมันอีพีเอ ในปริมาณ 2.0 และ 0.4 กรัมต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ

### ประโยชน์ของน้ำมันปลา

Dyerberg และ Bang (1979) พบว่าชาวเอสกีโมมีอัตราการเป็นโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบริโภคอาหารทะเล อาหารทะเลประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ในปริมาณสูง กรดไขมันโอเมก้า-3 สามารถใช้บำบัดรักษาโรคและบำรุงสุขภาพมนุษย์ โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอีพีเอและดีเอชเอ และได้กลายเป็นสารอาหารที่กำลังได้รับความนิยมทั้งทางโภชนาการ การแพทย์และอุตสาหกรรม (วินัย ะห์ลิ้น, 2539) กรดไขมันอีพีเอสามารถใช้เป็นยารักษาและป้องกันโรคที่เกี่ยวกับหัวใจ และระบบการหมุนเวียนของเลือด (Kramhout et al., 1985) สำหรับกรดไขมันดีเอชเอ

จะเป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อสมอง เรตินาและสเปิร์ม (Singh and Chandra, 1988)

ไขมันจากปลาทะเลมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกรดอะราชิไดนิค(arachidonic acid) ในผนังของเม็ดเลือดแดงทำให้ลดความหนืดของเลือด(whole blood viscosity) กรดไขมันโอเมก้า-3 สามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ cyclooxygenase และ lipoxygenase ส่งผลให้การสร้าง prostacycline thromboxane และ leukotriene เปลี่ยนไป ดังนั้นการหดตัวของเส้นเลือดจะลดลงและความดันจะต่ำลง นอกจากนี้เกิดการจับตัวกัน (aggregation) ของเกล็ดเลือดน้อยลง ดังนั้นกรดไขมันโอเมก้า-3 จึงมีฤทธิ์เป็น anticoagulant และ antiinflammatory นอกจากนี้ยังมีผลต่อระดับไขมัน ทำให้ระดับไขมันในเลือดลดลง (สมชาย พัฒนาอาจกุล และคณะ, 2539)

ในประเทศแคนาดาได้กำหนดค่าความต้องการของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 ขึ้นเป็นประเทศแรก สำหรับ Canadian Nutrition Recommendation (1990) ระบุความต้องการในทารกอายุ 6-12 เดือน วันละ 0.5 กรัมต่อวัน ผู้ชายและผู้หญิงทั่วไปวันละ 1.4-1.7 และ 1.0-1.2 กรัมต่อวัน ตามลำดับ (จงจิตร อังควานิช, 2538)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 จัดได้ว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับร่างกายเพราะร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ โดยจะได้จากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันเหล่านี้เข้าไปเท่านั้น กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-6 ที่ได้รับจากอาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดไขมันลิโนเลอิกซึ่งมี 18 คาร์บอน ร่างกายสามารถที่จะเปลี่ยนกรดไขมันลิโนเลอิกให้เป็นกรดไขมันที่จำเป็นตัวอื่น ๆ ในกลุ่มโอเมก้า-6 ได้ กรดไขมันลิโนเลอิกจากอาหารส่วนใหญ่จะได้น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น น้ำมันงา น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง สำหรับกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีแพร่หลายในธรรมชาติแต่น้อยกว่าไขมันในกลุ่มโอเมก้า-6 กรดไขมันโอเมก้า-3 หรือ กรดไขมันลิโนเลนิกพบมากในน้ำมันลินสีด(linseed) อย่างไรก็ตามร่างกายมนุษย์ไม่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันลิโนเลนิกให้เป็นกรดไขมันโอเมก้า-3 ชนิดอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สามารถได้รับโดยตรงจากการบริโภคไขมันจากสัตว์ทะเล (พัชนี จันทรโรทัย, 2536) กรดไขมันลิโนเลนิก ซึ่งพบมากในน้ำมันปลาทะเลเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายอีกชนิดหนึ่งเพราะเป็นสารตั้งต้นเพื่อสังเคราะห์กรดไขมันจำเป็นในกลุ่มโอเมก้า-3 ตัวอื่น ๆ ได้แก่กรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ โดยเอนไซม์ภายในตับสามารถ

เปลี่ยนกรดไขมันลิโนเลนิก ให้เป็นกรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ ในร่างกายมนุษย์ได้ แต่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ ฉะนั้นร่างกายจึงควรได้รับกรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอ โดยตรงจากอาหาร กรดไขมันอีพีเอและกรดไขมันดีเอชเอจะพบมากในสาหร่ายทะเลและสัตว์ทะเลโดยเฉพาะปลาทะเล เนื่องจากปลาได้รับสารชนิดนี้จากการกินสาหร่ายทะเลและสะสมในร่างกาย(พัฒน์ จันทโรทัย, 2536) การใช้กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในการป้องกันโรคอาจก่อให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน ดังเช่น ในกรณีการใช้กรดไขมันโอเมก้า-3 ในการบำบัดผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดไม่พึ่งอินซูลินพบว่า อาจสร้างปัญหาทำให้การควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดเกิดขึ้นไม่ได้ จึงได้มีการห้ามใช้กรดไขมันโอเมก้า-3 และน้ำมันปลาในผู้ป่วยเบาหวาน สาเหตุของปัญหาเชื่อว่าเกิดจากกลีเซอรอลจากการย่อยสลายน้ำมันปลาผ่านเข้าสู่กระบวนการสร้างกลูโคสมากขึ้น ระดับกลูโคสจึงสูงขึ้นจนกระทั่งควบคุมไม่ได้ (วินัย คะห์ลัน, 2539)

## การผลิตน้ำมันดิบ

### 1. Wet reduction

เทคนิคนี้ใช้ในการผลิตน้ำมันในทางการค้าซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ(cooking) การบีบอัด(pressing) และ การแยกน้ำมันออกจากน้ำ(separation) (Bimbo, 1990) แสดงดังภาพที่ 2

ขั้นตอนการให้ความร้อน เริ่มจากวัตถุดิบถูกป้อนผ่านตามเกลียวเข้าไปในหม้อให้ความร้อนแบบแจ็กเก็ต ซึ่งเป็นการให้ความร้อนทางอ้อม การให้ความร้อนก่อนทำการบีบอัดมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และจะช่วยให้ของเหลวแยกออกจากวัตถุดิบได้ดีขึ้น โดยเซลล์ไขมันจะถูกทำให้แตกออก และปลดปล่อยน้ำมันออกมาใน ส่วนที่เป็นของเหลว (Bimbo, 1990)

ขั้นตอนการบีบอัด ปลาที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับประเภทวัตถุดิบและปริมาณไอน้ำที่ผ่านเข้าหม้อนี้ให้ความร้อน อุณหภูมิช่วงนี้เหมาะแก่การบีบอัดเพื่อให้เหลือปริมาณน้ำมันในกากน้อยที่สุด ถ้าปลาได้รับความร้อนต่ำเกินไป จะทำให้การบีบน้ำมันมีประสิทธิภาพน้อยลง แต่ถ้าให้ความร้อนมากเกินไป ก็อาจทำให้โปรตีนเกิดการเกาะตัวกันแน่นไป มีผลต่อการไหลออกของน้ำมัน (พรทิตย์ แซ่เตีย, 2537) เครื่องอัดแบบสกรูที่ใช้ในปัจจุบันมีทั้งแบบสกรูเดี่ยวและสกรู

คู่ การบีบอัดด้วยสกรูคู่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสกรูเดี่ยว เพราะสกรูเดี่ยวจะมีเศษปลาหลุดออกมาจากเครื่องอัดมากกว่าแบบสกรูคู่ จากการบีบอัดจะต้องประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลว (press liquor) และส่วนที่เป็นของแข็ง (press solid) (Bimbo, 1990)

ขั้นตอนการแยกน้ำมัน เป็นการแยกน้ำมันออกจากส่วนของเหลวที่ได้จากการบีบอัด ซึ่งประกอบด้วยน้ำและน้ำมัน รวมทั้งเศษเนื้อและกระดูกปลาชิ้นเล็กๆ เศษเนื้อและกระดูกชิ้นเล็กๆเหล่านี้ จะถูกแยกด้วยเครื่อง decanter ของแข็งที่แยกได้ จะนำไปทำแห้งร่วมกับของแข็งที่ผ่านการบีบอัดข้างต้น ของเหลวที่ได้จากเครื่อง decanter ประกอบด้วยน้ำและน้ำมันรวมทั้งเศษเนื้อปริมาณเล็กน้อย การแยกน้ำมันสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ การตั้งทิ้งไว้ น้ำซึ่งมีความหนาแน่นมากจะอยู่ด้านล่าง ส่วนน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะอยู่ด้านบน ทำการแยกน้ำมันส่วนบนออก การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อของเหลวถูกเหวี่ยงอย่างรวดเร็ว น้ำมันจะแยกชั้นและอยู่ในส่วนบนสุด ส่วนน้ำและกากเศษเนื้อจะอยู่ในส่วนล่าง น้ำมันจะผ่านเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันปลาดิบ

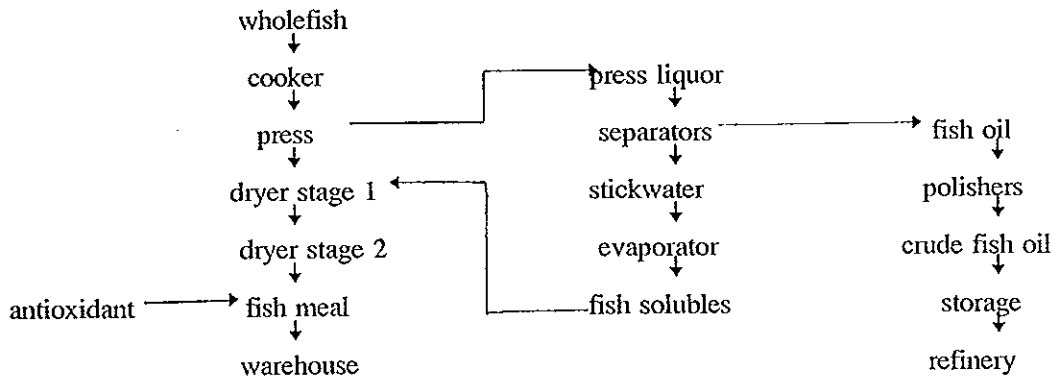
พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ทำการแยกน้ำมันปลาดิบด้วยวิธี wet reduction จากหัวปลาโอแถบที่ผ่านการนึ่งสุก ซึ่งเป็นเศษเหลือของกระบวนการผลิตปลาขุน่าบรรจุกระป๋องที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 7-8 ของน้ำหนักหัวปลาไม่รวมกระดูก ซึ่งสูงพอที่จะนำมาผลิตน้ำมันเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันในปลาอื่นเช่น แองโชวี(ร้อยละ 4.8) ปลาซาร์ดีน(ร้อยละ 6.8) ซึ่งมีการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันปลาดิบโดยทั่วไป (Stansby, 1990) น้ำมันปลาดิบจากหัวปลาโอแถบที่ได้มีสีคล้ำและกลิ่นคาว

## 2. Dry Rendering

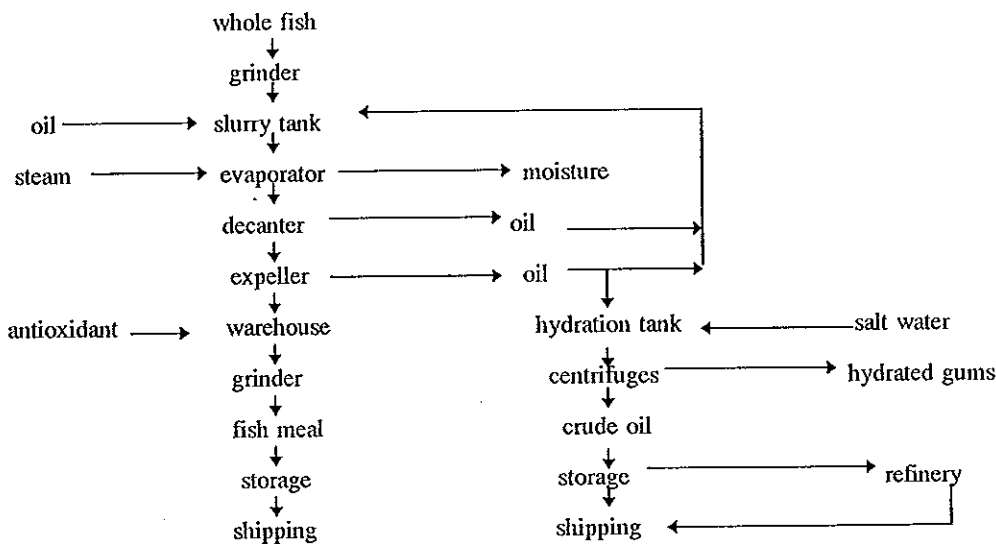
กระบวนการนี้เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีไขมันต่ำและมักทำการผลิตแบบกะ โดยประกอบด้วยขั้นตอนการให้ความร้อนและการทำแห้ง การให้ความร้อนกระทำโดยการใช้หม้อให้ความร้อนแบบแจ๊คเก็ตที่มีใบพัดคววนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำแห้ง บางครั้งจะทำในสถานะสูญญากาศ จากนั้นนำไปบีบอัดโดยใช้เครื่องบีบอัดชนิด hydraulic press วิธีนี้ไม่นิยมใช้ในการผลิตปลาป่นหรือการแยกน้ำมัน แต่นิยมใช้ในการผลิตอาหารสัตว์จากเนื้อและกระดูก (Bimbo, 1990)

มีการนำวิธีนี้มาปรับปรุงใช้ทางการค้า เรียกว่า Carver-Greenfield dry-rendering process (ภาพที่ 3) ซึ่งจะทำการแยกน้ำมัน โดยนำปลาทั้งตัวมาบดแล้วเติมน้ำมันปลา

ไปด้วยเพื่อช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น แยกน้ำมันออกบางส่วนโดยใช้ decanter จากนั้นจึงทำการบีบอัดด้วย expeller press เติมน้ำเกลือลงในน้ำมันที่แยกได้ แล้วนำไปเหวี่ยงแยก เพื่อแยกน้ำมันปลาดิบออกมา (Bimbo, 1990)



ภาพที่ 2 การผลิตน้ำมันปลาดิบโดยวิธี wet reduction  
ที่มา : Bimbo (1990)



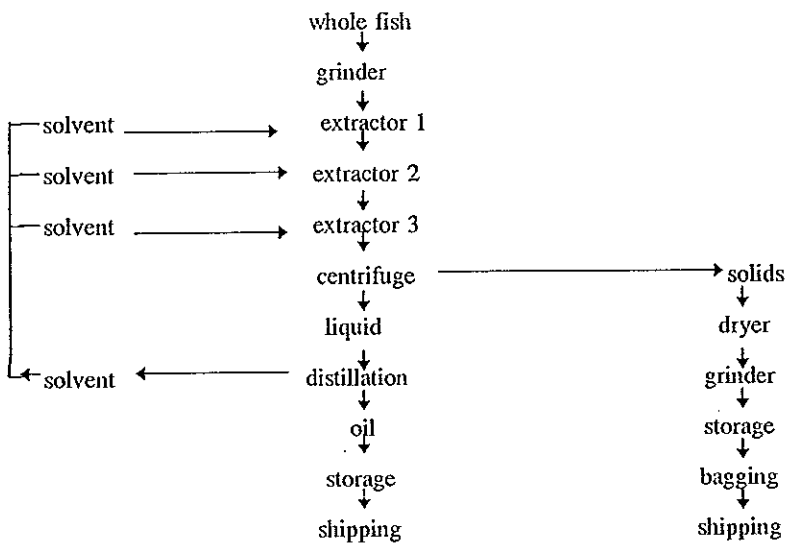
ภาพที่ 3 การผลิตน้ำมันปลาดิบโดยวิธี Carver-Green Field dry-rendering  
ที่มา : Bimbo (1990)

### 3. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมักใช้ในการผลิต โปรตีนเข้มข้นจากปลา (fish protein concentrate) และได้น้ำมันปลาเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการนี้ กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายแสดงดังภาพที่ 4 ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ เอทานอล เฮกเซน ไอโซโพรพานอลและเอซิลีนไดคลอไรด์ การเก็บเกี่ยวน้ำมันสามารถทำได้โดยการแยกน้ำมันออกจาก น้ำ ตัวทำละลายและสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (Bimbo, 1990) นอกจากนี้ ยังมี การศึกษาการแยกน้ำมันจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

อัยยา กังสุวรรณ และคณะ (2539) ศึกษาการสกัดน้ำมันโดยใช้วิธีของ Folch และคณะ (1957) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ปลาทูน่าพันธุ์โอลาย ปลาทูน่าพันธุ์โอดำ และปลาทูน่าพันธุ์กริบเหลืองมีปริมาณร้อยละ 3.93 2.8 3.05 และ 2.88 ของน้ำหนักสดตามลำดับ Koning และคณะ (1985) ได้ทดลองสกัดน้ำมันจากปลาป่น ซึ่งผลิตจากปลาเรคอาย โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายและใช้วัตถุดิบต่อตัวทำละลายในอัตราส่วน 1:40 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ก่อนการสกัดทำการผสมวัตถุดิบกับ โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสในอัตราส่วน 5:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) แล้วทำการสกัดเป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 10.59 และเมื่อสกัดด้วยวิธี Bligh and Dyer (1959) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับร้อยละ 12.45 Lee และคณะ (1985) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดไขมันจากปลาซาร์ดีน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น อัตราการกวน ระยะเวลาสกัดและชนิดตัวทำละลาย (เบนซิน อะซิโตน ไอโซโพรพิลอัลกอฮอล์ และเฮกเซน) พบว่าประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการสกัดของตัวทำละลายเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ ไอโซโพรพิลอัลกอฮอล์ อะซิโตน เบนซิน และเฮกเซน Takahashi และ Takeuchi (1989) ทดลองสกัดน้ำมันจากปลาซาร์ดีน โดยใช้ตัวทำละลาย คือ 1-โพรพานอล และ 2-โพรพานอล และใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับร้อยละ 18 และ 20 ตามลำดับ Gunnlaugsdottir และ Ackman (1993) สกัดน้ำมันจากปลาป่น ซึ่งผลิตจากปลาเมนฮาเดน โดยใช้วิธีของ Smith-Ambrose-Knobl (1964) ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมของคลอโรฟอร์ม เมทานอล และน้ำ ในอัตราส่วน 1.5:1:0.4 โดยปริมาตร และใช้วิธีของ Bligh และ Dyer (1959) ซึ่งใช้ตัวทำ

ละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์ม เมทานอล และน้ำ ในอัตราส่วน 1:2:0.8 โดยปริมาตร และใช้วิธีของ Hara และ Radin (1978) ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยสกัดน้ำมันทั้ง 3 วิธีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสูญญากาศ พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยวิธี Smith Ambrose-Knobl (1964) Bligh และ Dyer (1959) และ Hara และ Radin (1978) มีปริมาณเท่ากับ 126.8 122.5 และ 103.8 กรัมต่อกิโลกรัมปลาป่น ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การสกัดน้ำมันปลาดิบโดยใช้ตัวทำละลาย

ที่มา : Bimbo (1990)

#### 4. การสกัดด้วยของเหลวเหนือวิกฤต (Supercritical Fluids)

ของเหลวเหนือวิกฤต คือ สารบางชนิดเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ ที่อยู่ในสภาวะกึ่งของเหลวและแก๊ส ภายใต้ความดันและอุณหภูมิต่างๆตามชนิดและคุณสมบัติของสาร ของเหลวดังกล่าวมีคุณสมบัติในการเป็นตัวทำละลายและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ของเหลวเหนือวิกฤตในการสกัด การแยกส่วน และการกำจัดกลิ่น ตลอดจนสามารถนำมาสกัดน้ำมันปลา (Rizui *et al.*, 1986)

Temelli และคณะ (1995) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันปลาแมคเคอรอลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยใช้อุณหภูมิ 35-55 องศาเซลเซียส และความดัน 20.7 ถึง 34.5 MPa พบว่าที่ความดัน 34.5 MPa อุณหภูมิ 35

องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุด และเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน เทียบกับน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต ประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า-3 ร้อยละ 17.73 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน(ร้อยละ 14.65 ของกรดไขมันทั้งหมด)

Dunford และคณะ (1997) ศึกษาผลของปริมาณความชื้นในปลาแมคเคอรอลที่มีต่อการสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต ที่ความดัน 34.5 MPa อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดจากปลาแมคเคอรอลที่มีความชื้นร้อยละ 26.0 10.2 และ 3.8 ไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 2.5 - 2.7) แต่มีปริมาณสูงกว่าการใช้ปลาแมคเคอรอลที่มีความชื้นร้อยละ 64.0 (ร้อยละ 0.3) น้ำมันที่สกัดได้จากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤตมีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4 น้ำมันที่สกัดจากปลาแมคเคอรอลที่มีความชื้นร้อยละ 26.0 10.2 และ 3.8 ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 96.7 98.3 และ 96.9 ของไขมันทั้งหมด ตามลำดับ และมีปริมาณฟอสโฟไลปิดต่ำ กากที่เหลือจากการสกัดจึงประกอบด้วยฟอสโฟไลปิดปริมาณสูง ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤตสามารถสกัดไตรกลีเซอไรด์ได้ดีกว่าการสกัดฟอสโฟไลปิด

##### 5. การสกัดด้วยต่าง

กระบวนการนี้นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันจากตับปลา โดยใช้ต่างช่วยให้เกิดการย่อยโปรตีนในระดับที่ผ่านการบดส่งผลให้มีการปลดปล่อยน้ำมันออกมา กระบวนการผลิตเริ่มจากการเติมน้ำ 0.5 - 1 เท่าของน้ำหนักวัตถุดิบ แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1-2 หรือ โซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 2-5 แล้วให้ความร้อนพร้อมการกวนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 82-88 องศาเซลเซียส จนกระทั่งของผสมอยู่ในสถานะของเหลวกึ่งคอลลอยด์ (semi-colloidal liquid state) (Aure, 1967) เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายขึ้นกับ ชนิดหรือแหล่งวัตถุดิบ ขนาดวัตถุดิบ ระดับการกวนและพีเอช จากนั้นทำการแยกน้ำมันออกโดยการปรับพีเอชให้เป็นกลางแล้วทำการเหวี่ยงแยก การใช้ต่างที่ความเข้มข้นสูงเกินไป ทำให้น้ำมันที่ได้มีปริมาณน้อยลง อันเป็นผลจากต่างสามารถสะปอนิฟายน้ำมันเกิดเป็นสบู่ (Aure, 1967)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของไขมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต  
(ร้อยละของไขมันทั้งหมด)

ความชื้นของวัตถุดิบ(ร้อยละ)	ตัวอย่าง	ไตรกลีเซอไรด์	กรดไขมันอิสระ	ฟอสโฟไลปิด
64.0	oil in feed <sup>a</sup>	97.9	0.3	1.5
	oil in meal <sup>b</sup>	95.6	0.5	3.2
	SC-CO <sub>2</sub> extract <sup>c</sup>	98.6	0.5	0.6
26.0	oil in feed	96.9	0.6	1.7
	oil in meal	92.2	0.9	0.6
	SC-CO <sub>2</sub> extract	96.7	1.5	0.9
10.2	oil in feed	96.5	0.5	2.3
	oil in meal	92.9	0.6	5.7
	SC-CO <sub>2</sub> extract	98.3	1.0	0.3
3.8	oil in feed	96.1	0.6	2.7
	oil in meal	95.2	0.5	3.6
	SC-CO <sub>2</sub> extract	96.9	1.9	0.3

<sup>a</sup> น้ำมันจากวัตถุดิบปลาแมกเคอรอล

<sup>b</sup> น้ำมันจากปลาป่น(fish meal)ที่ได้ภายหลังการสกัดน้ำมัน

<sup>c</sup> น้ำมันจากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต

ที่มา : Dunford และคณะ (1997)

นอกจากนี้ไขมันปลาสามารถเก็บเกี่ยวได้ในลักษณะผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆจากปลาหรือสัตว์น้ำอื่นๆ ดังต่อไปนี้

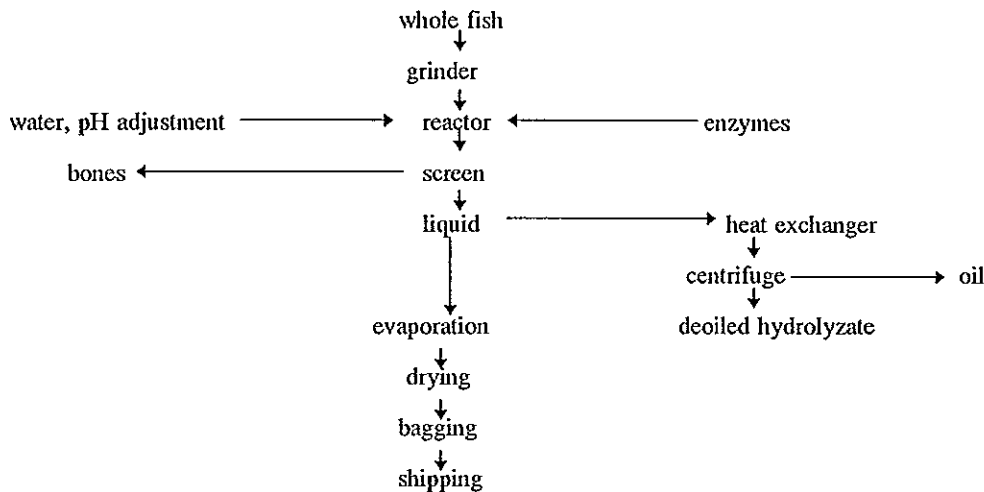
#### 1. การไฮโดรไลซิส

โปรตีนในปลาสามารถย่อยสลายโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีนชนิดต่างๆ ได้แก่เอนไซม์ภายในตัวปลา เอนไซม์จากสัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ นอกจากนี้การย่อยสลายโปรตีนสามารถทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การย่อยสลายด้วยกรดหรือด่าง การย่อยสลายโดยวิธีทางเคมีโดยทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงและไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพดังนั้นจึงมีการพัฒนาการใช้เอนไซม์ ซึ่งสามารถกำหนดระดับการย่อยโปรตีนได้ ในกระบวนการการย่อยสลายโปรตีน น้ำมันที่เกาะยึดติดอยู่กับโปรตีนจะถูกปลดปล่อยออกมาและสามารถเก็บเกี่ยวได้ภายหลังการเหวี่ยงแยก ดังภาพที่ 5

เนื่องจากน้ำมันจับตัวอยู่กับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของตับ (Brody, 1965) การสกัดน้ำมันจากตับปลาจำเป็นต้องทำการย่อยสลายโปรตีนในตับก่อนที่จะทำการสกัดน้ำมัน

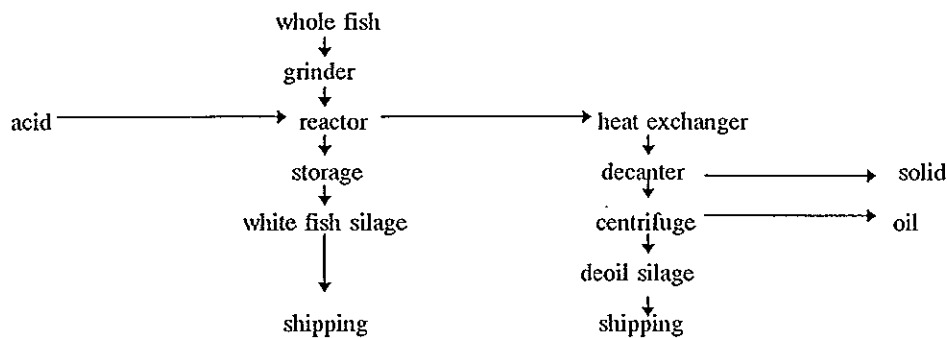
## 2 การผลิตไซเลจ

ไซเลจปลา(fish silage) เป็นผลิตภัณฑ์จากปลาที่สามารถเก็บรักษาเป็นเวลานานโดยใช้กรดเป็นสารป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ กระบวนการนี้ประกอบด้วยการบดปลาแล้วเติมกรด เอนไซม์ในตับปลาซึ่งทำงานได้ดีที่พีเอชต่ำทำหน้าที่ตัดสายโมเลกุลของโปรตีนให้เป็นหน่วยเล็กลง นอกจากนี้กรดสามารถช่วยป้องกันการเสื่อมเสียจากแบคทีเรียกรดที่ใช้ ได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดโพรไพโอนิก กรดซัลฟูริกและกรดฟอสฟอริก โดยปกติจะใช้กรดร้อยละ 3-4 ทำให้ได้พีเอชประมาณ 4.0 ไขมันในปลาเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและก่อให้เกิดกลิ่นหืนของน้ำมันในไซเลจ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันออก (ภาพที่ 6) น้ำมันจึงเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไซเลจจากปลา (Bimbo, 1990)



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตไฮโดรไลเสต

ที่มา : Bimbo (1990)



ภาพที่ 6 กระบวนการผลิตไซเลจ

ที่มา : Bimbo (1990)

### กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

ปกติในน้ำมันดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์ ประกอบด้วยสารปนเปื้อนที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์อยู่ในปริมาณมากได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ฟอสฟาไทด์ สเตอรอล วิตามิน ไฮโดรคาร์บอน รงควัตถุ ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารแขวนลอยอื่นๆ สารปนเปื้อนเหล่านี้มีผลต่อสีและกลิ่นรสของน้ำมัน นอกจากนี้สารบางชนิดเป็นอันตรายต่อระบบเมตาบอลิซึมของร่างกาย (Chang, 1967) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านี้ ออกโดยผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ได้แก่ การกำจัดสารเหนียว การใช้ด่าง การฟอกสี การกำจัดกลิ่น รวมทั้งการแยกส่วนไขมันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวให้เพิ่มสูงขึ้น (Stanby, 1990)

Stansby (1990) สรุปขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ไว้ดังนี้

1. การกำจัดสารเหนียว เพื่อกำจัดสารฟอสฟาไทด์ น้ำตาล เรซิน สารในกลุ่มโปรตีน โลหะหนักและสารประกอบอื่นๆ
2. การใช้ด่างสำหรับทำบริสุทธิ์ เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ รงควัตถุ ฟอสฟาไทด์ สารที่ไม่ละลายในน้ำมัน โลหะหนักและสารอื่นๆ
3. การล้างน้ำและการทำแห้ง เพื่อกำจัดสบู่และความชื้น
4. การฟอกสี เพื่อกำจัดรงควัตถุ สารที่ถูกออกซิไดซ์ โลหะหนัก สารประกอบซัลเฟอร์ และสบู่ที่เหลืออยู่

5. การแยกส่วนไขมัน เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวให้สูงขึ้น
6. การกำจัดกลิ่น เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ อัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน
7. การแยกกรดไขมันที่อิ่มตัวออกจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เพื่อกำจัดไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงและเพิ่มปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว
8. การไฮโดรจิเนชันเพื่อลดระดับของพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพื่อเพิ่มความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
9. การอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อปรับโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ให้มีการกระจายของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างเหมาะสม และเพิ่มความคงตัวของน้ำมัน

#### การเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์

Kokubu และคณะ (1984) ได้ทำการแยกส่วนไขมันในน้ำมันปลาที่มีโคเลสเตอรอล วิตามินเอและปริมาณกรดไขมันอิสระสูง โดยทำการตกผลึกที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ในตัวทำละลายอะซิโตนหลังจากแยกสแตยรีนออก ในตัวทำละลายประกอบด้วยกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 โคเลสเตอรอล และวิตามินเอปริมาณสูง และสามารถกำจัดโคเลสเตอรอลและวิตามินเอ โดยนำไปสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 97 เป็นเวลา 45 นาที โดยโคเลสเตอรอลและวิตามินเอจะละลายในสารละลายเอทานอล Noguchi และ Hibine (1982) ใช้ตัวทำละลายอะซิโตน คีโตนไฮโดรคาร์บอน โดยเติมตัวทำละลาย 2-10 เท่าของน้ำหนักน้ำมัน และลดอุณหภูมิให้ได้เท่ากับ -90 ถึง -20 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเพิ่มกรดไขมันชนิดอีพีเอและดีเอชเอได้ 2 เท่าของปริมาณที่พบในน้ำมันเริ่มต้น Sano (1984) ทำการแยกส่วนของไขมันของน้ำมันปลาซาดีน โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้ข้ามคืน พบว่าสามารถเพิ่มกรดไขมันชนิดอีพีเอและดีเอชเอได้สูงขึ้นในโอเลอินและได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 70 จากนั้นนำส่วนโอเลอินที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมาแช่เย็นในตัวทำละลายเฮกเซนและผสมกับกรดซิลิก แล้วเติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 25 และดีเอชเอร้อยละ 13

Letan และ Koslowsky (1975) ได้ใช้ไอโซโพรพานอลผสมกับน้ำมันในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าไอโซโพรพานอลสามารถละลายน้ำมันได้ดีเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง จะทำให้ไอโซโพรพานอลแยกชั้นกับน้ำมัน ส่วนสเตียรีนจะจับตัวลอย

อยู่ชั้นบน และทำการแยกส่วนโอเลอิน แต่วิธีการนี้สามารถทำได้ดีในน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว แต่ยังไม่มียางงานวิจัยที่เกี่ยวกับน้ำมันปลา Revankar และคณะ (1975) พบว่าตัวทำละลายอะซิโตนมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสัดส่วนพันธะคู่สูง โดยเพิ่มค่าไอโอดีนจาก 164 เป็น 217

#### สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันสำหรับบริโภคควรมีลักษณะที่ดีดังนี้ (Codex, 1981 และมอก. 47-2516)

1. น้ำมันสำหรับบริโภค ต้องใสปราศจากตะกอนขุ่นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีกลิ่นรสหืนและไม่เติมสิ่งปรุงแต่งหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นใด
2. น้ำและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ค่าของกรดไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมไปตัส เข็มไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัม น้ำมัน ค่าเปอร์ออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 1 กิโลกรัม น้ำมัน ปริมาณสบู่ ไม่เกินร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก

#### การควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของน้ำมันปลา

ในปี ค.ศ. 1979 The International Association of Fish Meal Manufacturers ได้กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปลาที่ใช้สำหรับการบริโภค โดยมีดัชนีบ่งบอกคุณภาพซึ่งประกอบด้วย ความชื้น ของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำมัน กรดไขมันอิสระ และค่าไอโอดีน นอกจากนี้มีการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ เพื่อบ่งชี้ปริมาณสารปนเปื้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมทั้งกำหนดค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตเพื่อเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการฟอกสีและ/หรือมีการใช้ความร้อนสูงเกินไปในการผลิตน้ำมัน นอกจากนี้ได้กำหนดปริมาณโลหะปนเปื้อน เช่น เหล็ก ทองแดง ซึ่งเป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันปลาวริสุทธิ แสดงดังตารางที่ 5 (Kinsella, 1987)

ตารางที่ 5 ดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

องค์ประกอบกรดไขมัน	ค่าสูงสุดที่ยอมรับ
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	4.0
ความชื้น (ร้อยละ)	0.3
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)	6.0
อนิสิติน นัมเบอร์	12.0
ของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)	0.1
ค่าการดูดกลืนแสง UV E 1%;lcm; 233 nm	10.0
E 1%;lcm; 269 nm	4.0
ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้านส่วน)	200
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	1.5
ทองแดง (ส่วนในล้านส่วน)	0.2

ที่มา : Kinsella (1987)

### การเสื่อมเสียของน้ำมันปลา

การเสื่อมเสียของน้ำมันปลาสามารถเกิดขึ้นโดย ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Buck, 1990) ส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกลีเซอรอล โมโนกลีเซอไรด์หรือไดกลีเซอไรด์ ในสถานะที่มีน้ำอยู่ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีประสิทธิภาพสูง ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงและมีน้ำปริมาณมาก ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อให้เกิดผลเสียแก่น้ำมัน คือ ทำให้น้ำมันมีจุดเกิดควันต่ำ ทำให้เกิดควันขณะทอด เกิดการกัดกร่อนภาชนะที่ใช้โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้น ให้อาหารรสขมและมีกลิ่นสบู่ซึ่งมีลักษณะคล้ายกลิ่นหืนจึงเรียกว่า hydrolytic rancidity (Stansby, 1990)

นอกจากนี้การเสื่อมเสียของน้ำมันปลาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสและแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำมัน ซึ่งสามารถไฮโดรไลซ์น้ำมันก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระปริมาณมาก การเก็บรักษาน้ำมันให้มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 0.3 สามารถชะลอการเจริญ

ของแบคทีเรีย และทำให้กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ไลเปสลดลง การให้ความร้อน 80-100 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปส (Ockman, 1992)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยานี้เป็นปัญหาที่พบทั่วไปในน้ำมันและไขมันทุกชนิด ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของไขมันทั้งด้านกลิ่นรสที่ไม่ดี(กลิ่นหืน) และคุณภาพของน้ำมันที่ต่ำลง การออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการหรืออาจก่อให้เกิดสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย แสง ความร้อน และ โลหะหนักเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว (Stansby, 1990)

### ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เกิดขึ้นเมื่ออาหารหรือสารที่มีไขมันสัมผัสกับอากาศโดยตรง อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของไขมันและสภาพการเก็บรักษา กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มี 3 ระยะ คือ (Angelo, 1996)

1. ระยะเหนี่ยวนำ (initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยมีแสง อุณหภูมิหรือ โลหะเป็นตัวเร่ง
2. ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) และอนุมูลเปอร์ออกซีที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นลูกโซ่ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ
3. ระยะสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น รวมทั้งอนุมูลเปอร์ออกซี รวมตัวกันในรูปแบบต่างๆ

### ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

1. องค์ประกอบของกรดไขมัน จำนวนและตำแหน่งของพันธะคู่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่พันธะคู่มีโครงสร้างแบบซิส (cis) สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่ากรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบทรานส์ (trans) พันธะคู่แบบคอนจูเกตจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าพันธะคู่ชนิดอื่น (Nawar, 1996)
2. โปรออกซิแดนซ์ (pro-oxidant) โลหะทรานซิชันที่มีวาเลนซ์ 2-3 มีสมบัติเป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น โคบอลต์ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น กลไกการ

ทำงานของโลหะที่เป็นตัวเร่งมีหลายแบบ เช่น เร่งการแตกตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารตั้งต้นหรือกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนให้เกิดเป็น singlet oxygen และอนุมูลเปอร์ออกซี (Nawar, 1996)

3. ปัจจัยอื่นๆ ได้แก่

-ปริมาณออกซิเจน ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนร่วมด้วย

-อุณหภูมิ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วที่อุณหภูมิสูง (Nawar, 1996)

-พื้นที่ผิว อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสกับอากาศ (Nawar, 1996)

-ความชื้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity,  $A_w$ ) ของอาหาร โดยอาหารที่มี  $A_w$  น้อยกว่า 0.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อ  $A_w$  มีค่าประมาณ 0.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง แต่เมื่อค่า  $A_w$  เพิ่มขึ้นในช่วง 0.55-0.85 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วขึ้น (Nawar, 1996)

- เปอร์ออกไซด์ (peroxide) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันในระยะเนิ่นยวนำของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเติมส่วนผสมของอาหารที่มีเปอร์ออกไซด์ลงในอาหาร จะมีผลเร่งให้เปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวมากขึ้น (Bannatyne, 1968)

### สารกันหืน

USDA Code of Federal Regulation ได้ให้คำนิยามของสารกันหืนว่า คือสารที่เติมลงในไขมันหรือสารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบแล้วสามารถป้องกันหรือยับยั้งการเสื่อมเสีย การเกิดกลิ่นหืนหรือการเปลี่ยนสี ซึ่งมีสาเหตุจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Shahidi *et al.*, 1992)

### ประเภทของสารกันหืน

สารกันหืนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (Sherwin, 1990)

1. สารกันหืนปฐมภูมิ (primary antioxidants) เป็นสารที่สามารถขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาโดยตรง โดยการให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระของกรดไขมัน ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่หยุดชะงัก สารกันหืนกลุ่มนี้ได้แก่ บีเอชเอ บีเอชที ทีบีเอชคิว โทโคฟีรอล เป็นต้น

2. สารเสริมฤทธิ์ (synergist) สารประกอบเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนโดยตรง แต่สามารถช่วยให้การทำงานของสารกันหืนปฐมภูมิดีขึ้น สารกันหืนกลุ่มนี้เป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่มักมีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก เลซิธิน กรดฟอสฟอริกและกรดอะมิโนบางชนิด

### หน้าที่ของสารกันหืน

สารกันหืนมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยมีรูปแบบและกลไกในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้ (Namiki, 1990; Osawa, 1994)

1. กำจัดอนุมูลอิสระ (Radical scavenger) โดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดชะงัก
2. ทำลายสารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide decomposer)
3. ยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen (Singlet oxygen quencher)
4. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor) เอนไซม์บางชนิดมีความสามารถเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัว เช่น ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) สารกันหืนทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยแข่งขันกับเอนไซม์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น
5. เสริมฤทธิ์ (Synergist) โดยทำหน้าที่ได้ 2 แบบ คือ
  - 5.1 จับกับโลหะ (metal chelating agent) ที่มีความสามารถในการเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เหล็ก ทองแดง
  - 5.2 เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agents) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับ การถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอมและอิเล็กตรอนให้กับอนุมูลอิสระ

### การใช้สารกันหืนในการเก็บรักษาน้ำมันปลา

น้ำมันปลาเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายและรวดเร็วกว่าไขมันหรือน้ำมันชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปการเสื่อมเสียของน้ำมันปลาเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน ดังนั้นน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดที่มีพันธะคู่สูง เช่น กรดไขมันอีพีเอหรือดี

เอชเอ จึงสามารถเกิดการเสื่อมเสียมากขึ้น มีผลให้เกิดกลิ่นหืนของน้ำมัน (Gunstone and Norris, 1983) การชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถกระทำได้โดยการกำจัดออกซิเจนหรือใช้สารจับโลหะตลอดจนใช้สารกันหืน สารกันหืนซึ่งมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและอนุญาตให้ใช้ในน้ำมันปลาโดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐ ได้แก่ บีเอชเอ (butylated hydroxyanisole, BHA) บีเอชที (butylated hydroxytoluene, BHT) อีทอกซิควิน (ethoxyquin หรือ dehydroacetic acid) ทีบีเอชคิว (tertiary butylhydroquinone, TBHQ) และ ทีเอชบีพี (2,4,5-trihydroxybutyro phenone, THBP) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเสริมฤทธิ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก แอสคอร์บิลพาร์มิเตท เลซิทีน กรดซิตริก ไอโซโพรพิลซิลิเตรท และ กรดฟอสฟอริก

โดยทั่วไปกลิ่นหืนและน้ำมันปลาประกอบด้วยสารกันหืนตามธรรมชาติ เช่น โทโคฟีรอล (Stanby, 1990) Ohshima และคณะ (1993) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณ แอลฟา-โทโคฟีรอล ในกล้ามเนื้อขาว กล้ามเนื้อแดง อวัยวะภายใน และหนัง ของปลาซาร์ดีนและแมคเคอรอล ดังตารางที่ 6 พบว่า ในอวัยวะภายในมีปริมาณแอลฟา-โทโคฟีรอล ในระดับต่ำสุด

ตารางที่ 6 ปริมาณแอลฟา-โทโคฟีรอล ของเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลา ของปลาซาร์ดีน และแมคเคอรอล ( $\mu\text{g/g}$ )

เนื้อเยื่อ	ซาร์ดีน	แมคเคอรอล
กล้ามเนื้อขาว	173	-
กล้ามเนื้อแดง	199	167
อวัยวะภายใน	ND	34.9
หนัง	ND	88.4

ND not detected ; - not determined

ที่มา: Ohshima และคณะ (1993)

การใช้สารกันหืนในน้ำมันนิยมใช้สารกันหืนหลายชนิดร่วมกันหรือการใช้สารกันหืนร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ โดยจะมีประสิทธิภาพสูงมากกว่าการใช้สารกันหืนชนิดเดียว เช่น การใช้โทโคฟีรอลร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ซึ่งกรดแอสคอร์บิกไม่เพียงแต่เป็นสารกัน

ห็น แต่ยังทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลโทโคฟีรอล (tocopherol radicals) (Niki *et al.*, 1984)

Cort (1974) พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.02 ในน้ำมันถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ BHT หรือ BHA ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ปกติกรดแอสคอร์บิกไม่ละลายในน้ำมันจึงมีการใช้ในรูปแบบแอสคอร์บิลพารเมิเตทแทน (Coppen, 1993) ปกติสารกันหืนที่นิยมใช้ในน้ำมันปลาได้แก่ การใช้บีเอชทีร่วมกับบีเอชเอ แต่ปัจจุบันได้ลดระดับการใช้ลงและสารกันหืนจากธรรมชาติได้รับความสนใจมากขึ้น Han และคณะ (1990) ได้ศึกษาการใช้สารสกัดจากโรสแมรี่ ชิคม่า-โทโคฟีรอล ( $\alpha$ -tocopherol) และ กรดแอสคอร์บิก (โดยใช้ phosphatidyl choline เป็นสารลดแรงตึงผิว) ต่อความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปลา พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกผสมกับ ชิคม่า-โทโคฟีรอล ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียวหรือการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับสารสกัดจากโรสแมรี่

โทโคฟีรอลเป็นสารกันหืนที่นิยมใช้ในน้ำมันปลาสำหรับบริโภคเพราะปลอดภัย แต่อนุมูลโลหะต่างๆ เช่น  $Fe^{2+}$   $Cu^{2+}$  สามารถขัดขวางการทำงานของโทโคฟีรอล เนื่องจากฟลาโวนอยด์มีความสามารถจับโลหะ อนุมูลอิสระและละลายในไขมันได้ จึงนำฟลาโวนอยด์ มาใช้เป็นสารกันหืน Nieto และคณะ (1993) ศึกษาการใช้ฟลาโวนอยด์ทางการค้า 6 ชนิด และฟลาโวนอยด์ที่สกัดจากพืช 5 ชนิด เป็นสารกันหืนในน้ำมันจากปลาซาร์ดีนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานปลาป่น พบว่าสารฟลาโวนอยด์จากทางการค้า คือ quercetin และสาร ฟลาโวนอยด์ที่สกัดจากพืชคือ PT-2 มีประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนได้ดีที่สุด การใช้ PT-2 ร่วมกับ quercetin ให้ประสิทธิภาพสูงกว่า การใช้ PT-2 ร่วมกับโทโคฟีรอลหรือ quercetin ร่วมกับโทโคฟีรอล นอกจากนี้ Han และคณะ (1991) ได้ศึกษาการใช้กรดแอสคอร์บิกและชิคม่า-โทโคฟีรอล ในน้ำมันจากปลาซาร์ดีน พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.02 ร่วมกับชิคม่าโทโคฟีรอลร้อยละ 0.4 มีผลให้ระยะเหนี่ยวนำ(induction period) เพิ่มขึ้น Kaitaranta (1992) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของสาร 7 ชนิด คือ อัลฟา-โทโคฟีรอลอะซิเตท แอสคอร์บิลอะซิเตท อะโนโซเมอร์ อิทอกซิกวิน บีเอชเอ บีเอชที และ ทีบีเอชคิว กับน้ำมันปลาแคปลิน (*Mallotus villosus*) โดยใช้วิธี accelerated oxidation test ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ทีบีเอชคิวและ

อะโนโซเมอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุด

#### การทดสอบการหืนของน้ำมันโดยวิธี accelerated oxidation test

การตรวจสอบประสิทธิภาพของสารกันหืนมีหลายวิธี เช่น การตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าทีบีเอ การตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดออกซิเดชันในระดับที่กำหนดไว้ (induction period) และ การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดออกซิเดชัน(% oxidation uptake) วิธี accelerated oxidation test(Kaitaranta, 1992) เป็นวิธีการทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทดสอบประสิทธิภาพของสารกันหืน โดยนำน้ำมันที่เติมสารกันหืนมาบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการดูดซับออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตรวจสอบจำนวนชั่วโมงที่ทำให้น้ำหนักของน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม เวลาเริ่มต้นจะนับหลังจากบ่มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้แอลกอฮอล์ที่อยู่ในสารละลายของสารกันหืนระเหยออกไปจนหมด

Kaitaranta (1992) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารกันหืนชนิดต่างๆ ในน้ำมันปลาเคปลิน โดยวิธี accelerated oxidation test (ตารางที่ 7) พบว่าการใช้ TBHQ ร้อยละ 0.1 ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพสารกันหืนของน้ำมันปลาเคปลินที่ใช้สารกันหืนชนิดต่างๆ

สารกันหืน	Duration of the test (hr.)	antioxidant efficiency
ชุดควบคุม	30	1
ascorbyl palmitate, 0.02%	42	1.4
BHT, 0.02%	55	1.8
etohoxyquin, 0.02%	56	1.9
BHA, 0.02%	67	2.2
TBHQ, 0.01%	119	4.0

ที่มา: คัดแปลงจาก Kaitaranta (1992)

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการแยกน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยวิธี wet reduction เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง
2. ศึกษากระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลา และการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลาย
3. ศึกษาการเก็บหัวปลาทูน่าในสถานะที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพและผลผลิตสูง
4. ศึกษาการใช้สารกันหืนเพื่อเพิ่มความคงตัวของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ ในระหว่างการเก็บรักษา

## บทที่ 2

### วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

#### วัสดุ

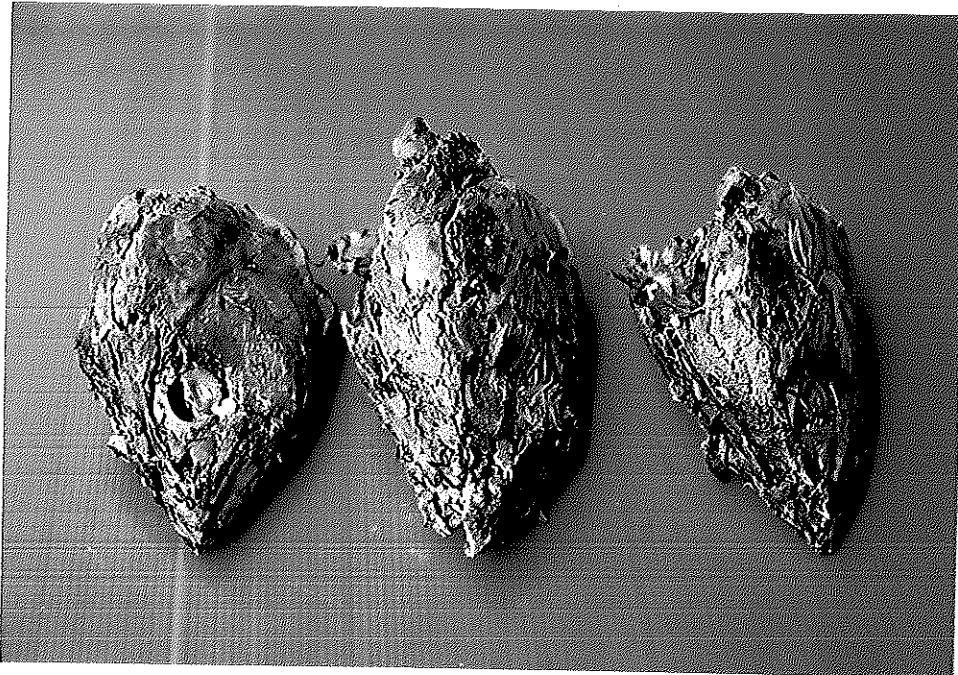
##### 1. วัสดุคิบ ประกอบด้วย

- หัวปลาคิบ จากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและนำมาทำละลายจนมีอุณหภูมิ 2 - 3 องศาเซลเซียส แล้วนำมาตัดหัว แสดงดังภาพที่ 7
- หัวปลาสุก จากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

หัวปลาทั้ง 2 ชนิดได้จากบริษัท โชติวิวัฒนะอุตสาหกรรมการผลิต จำกัด อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โดยได้จากปลาทูน่าขนาดน้ำหนัก 1.5 - 2.4 กิโลกรัมต่อตัว ซึ่งจับจากแถบมหาสมุทรอินเดียในช่วงเดือนตุลาคม 2540 ถึง พฤศจิกายน 2540 เก็บรักษาตัวอย่างหัวปลาทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และนำมาทดลองแยกน้ำมันภายในเวลา 3 เดือน



ภาพที่ 7 ตัวอย่างหัวปลาคิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ



ภาพที่ 8 ตัวอย่างหัวปลาสุกจากปลาหูน้ำพันธุ์โอแถบ

## 2. สารเคมี

-สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

-สารกันหืน มีดังนี้ บีเอชที ทีบีเอชคิว โทโคฟีรอล อิทอกซิควินและแอสคอร์บิลพาร์มิ-  
เตท จากบริษัท Fluka ประเทศสหรัฐอเมริกา

## อุปกรณ์

1. เครื่องระเหยตัวทำละลาย ยี่ห้อ Brinkman รุ่น CH-9230 ประเทศสวีตซ์เซอร์แลนด์
2. เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิยี่ห้อ Hitachi รุ่น SCB ZOB ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องไฮโมจิโนส ยี่ห้อ Nissei รุ่น AM-8 ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่องไฮโดรลิกเพรส ยี่ห้อ CARVER MODEL รุ่น W142 ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวัดดัชนีหักเห (Abbe Refractometer) ยี่ห้อ Bausch&Comb ประเทศสหรัฐ

อเมริกา

6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1601 ประเทศญี่ปุ่น
7. เครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์

8. ตู้อบชนิดอากาศร้อน ยี่ห้อ Memmert ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์
7. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ค่าไอโอดีนแบบวิจส์ ค่าสะปอนิฟิเคชัน สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ความชื้น ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด ค่าทีบีเอ ปริมาณฮีสตามีน ปริมาณฟอสโฟไลปิด ค่าสีและดัชนีหักเหของแสง

## วิธีการทดลอง

### 1. ศึกษาองค์ประกอบของหัวปลาพุน้ำดิบและสุกจากกระบวนการผลิตปลาพุน้ำกระป๋อง

วิเคราะห์ปริมาณไขมันของตัวอย่างโดยใช้วิธี Bligh and Dyer (Bligh and Dyer, 1959) ความชื้นและปริมาณโปรตีนโดยวิธี AOAC (1990)

### 2. ศึกษากรรมวิธีการแยกน้ำมันจากหัวปลาพุน้ำ

แยกน้ำมันปลาดิบจากวัตถุดิบโดยตัดแปลงวิธี wet reduction (Bimbo, 1990) ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมันดังนี้ คือ

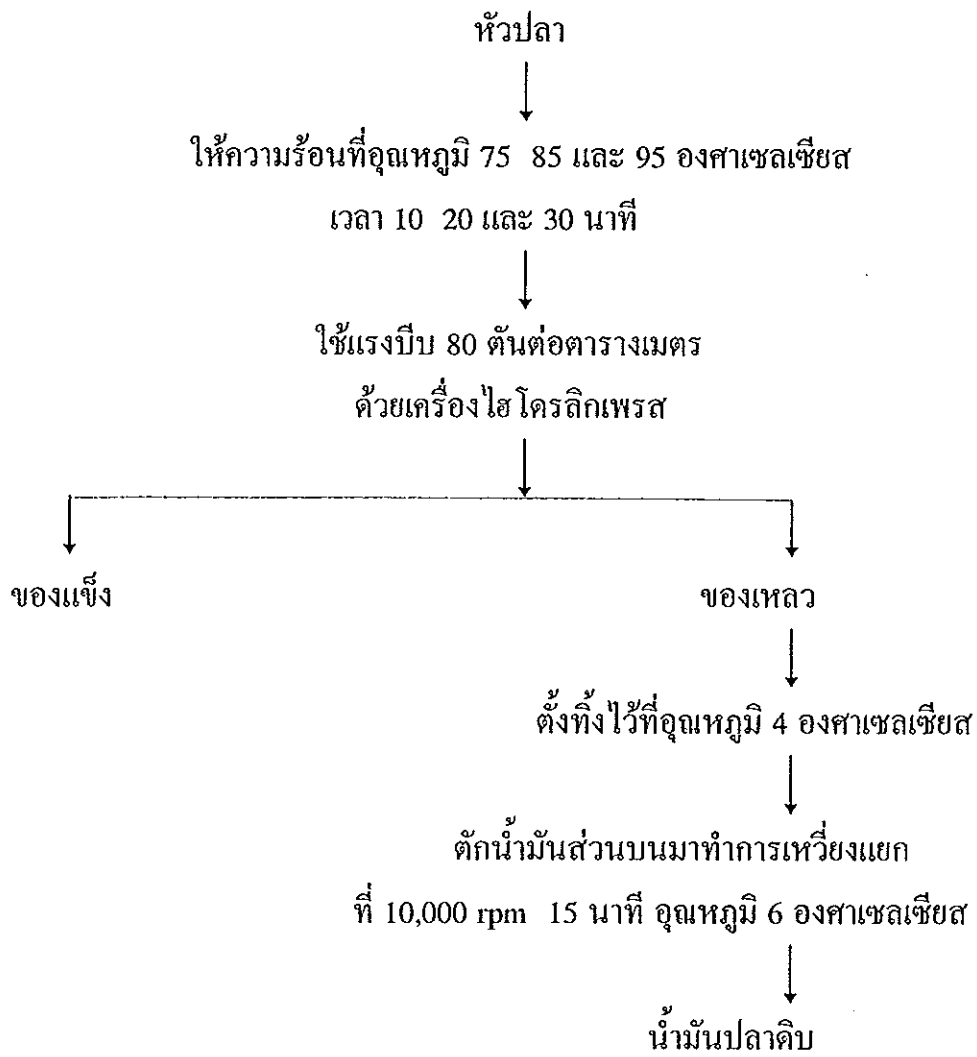
#### 2.1. อุณหภูมิและเวลา

ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยใช้อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที และบีบด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรสด้วยแรง 80 ตันต่อตารางเมตร ดังภาพที่ 9 โดยวางแผนการทดลองแบบ 3X3 factorial in RCBD แต่ละสิ่งทดลองทำสามซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) วัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ในแต่ละชุดการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ ค่าสะปอนิฟิเคชัน โดยวิธี IUPAC (1986) และค่าสีโดยวิธี AOCS (1990) คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม ในการแยกน้ำมันจากวัสดุเศษเหลือแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด

## 2.2. แรงบีบ

ศึกษาการใช้แรงบีบที่เหมาะสม ( 20 80 และ 140 ตันต่อตารางเมตร ) ภายใต้สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม(ข้อ 1) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD แต่ละสิ่งทดลองทำสามซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance และ วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan' s multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) วัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ในแต่ละชุดการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน สารที่สะaponifyไม่ได้ ค่าสะaponิฟิเคชัน โดยวิธี IUPAC (1986) และค่าสีโดยวิธี AOCS (1990)

คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกในสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และแรงบีบที่เหมาะสม โดยคัดเลือกสภาวะการแยกน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่แยกได้ ดังรายละเอียดในการทดลองข้อ 4. (ศึกษาสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่า)

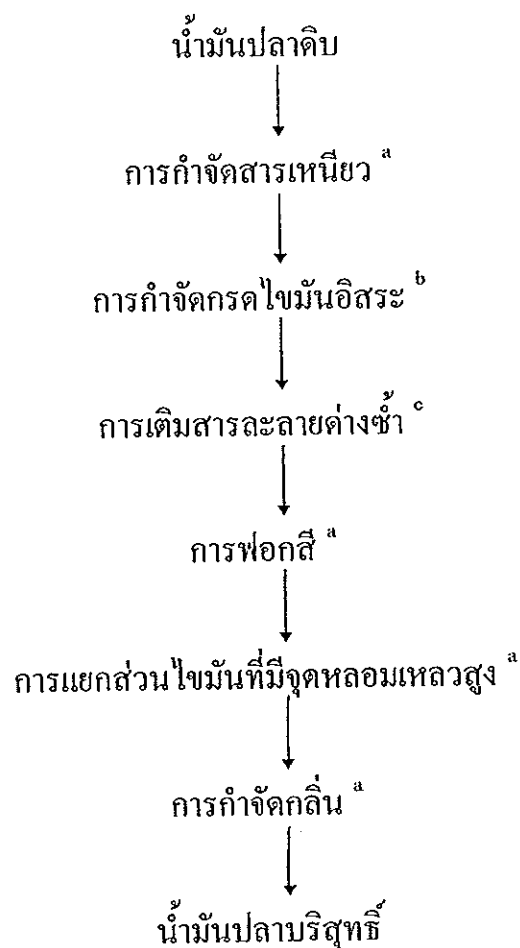


ภาพที่ 9 กรรมวิธีการแยกน้ำมันจากห้วปลาทูน่า

ที่มา : คัดแปลงจาก Bimbo (1990)

### 3. ศึกษาการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาทูน่า

ทำบริสุทธิ์น้ำมันปลาดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ ซึ่งแยกได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในข้อ 2. ดังภาพที่ 10 (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน โดยวิธี IUPAC (1986) ค่าสีโดยวิธี AOCS (1990) และร้อยละของผลผลิตน้ำมันปลาที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ ในแต่ละขั้นตอนของการทำบริสุทธิ์ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ของน้ำมันจากหัวปลาทูน่าที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ ดังรายละเอียดในวิธีการทดลองข้อ 4.



ภาพที่ 10 กระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาทูน่า

ที่มา : <sup>a</sup> ดัดแปลงจาก Stanby (1990)

<sup>b</sup> ดัดแปลงจาก AOCS (1986)

<sup>c</sup> ดัดแปลงจาก Norris (1982)

#### 4. ศึกษาสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่า

4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลาดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ดังนี้

-สมบัติทางเคมีประกอบด้วย

-ค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (IUPAC, 1979)

-ค่าสะปอนนิฟิเคชัน (IUPAC, 1979)

-สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (IUPAC, 1979)

-ค่ากรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)

-ค่าเปอร์ออกไซด์ (IUPAC, 1979)

-ความชื้น (AOCS, 1990)

-สมบัติทางกายภาพประกอบด้วย

-ค่าสี (AOCS, 1990)

-ดัชนีหักเหของแสง (AOAC, 1990)

4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปลาดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ดังนี้

-ฟอสโฟไลปิดและไตรกลีเซอไรด์ (Low and Ng, 1987)

-ปริมาณเหล็ก อาร์เซนิก ทองแดง ตะกั่ว และฟอสฟอรัส ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

-กรดไขมันของน้ำมันโดยวิธี gas liquid chromatography ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่

สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

#### 5. ศึกษาการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่า

ศึกษาการเพิ่มสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยดัดแปลงจากวิธีของ Moffat และคณะ (1993) ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

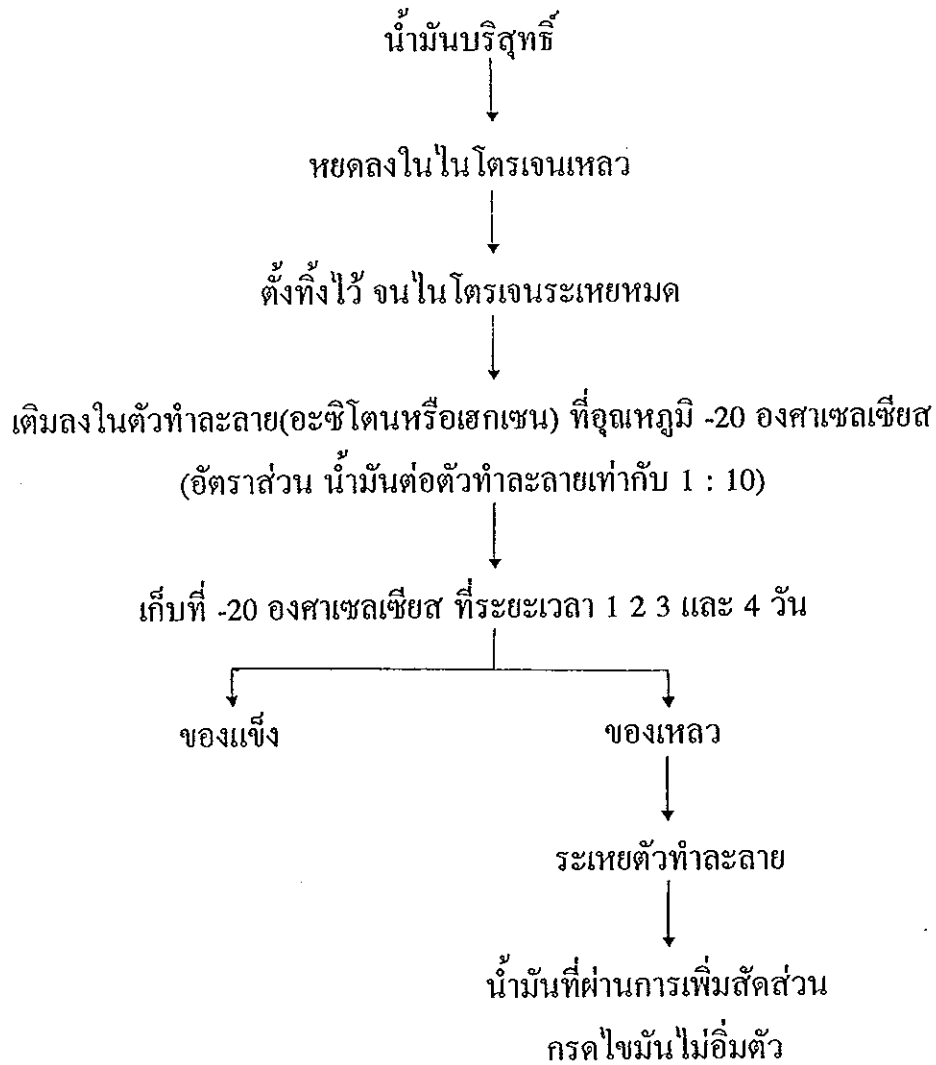
-ชนิดของตัวทำละลาย ( อะซิโตน และเฮกเซน)

-ระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ( 1 2 3 และ 4 วัน)

ตรวจวัดปริมาณน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวและวิเคราะห์ค่า

ไอโอดีน โดยวิธีของ AOAC (1990) โดยวางแผนการทดลองแบบ 2X4 factorial in

RCBD แต่ละสิ่งทดลองทำสามซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531)



ภาพที่ 11 การเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันจากหัวปลาทูน่าที่ผ่านการทำบริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลาย

ที่มา : ดัดแปลงจาก Moffat และคณะ (1993)

## 6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหัวปลาคุณภาพต่อคุณภาพและผลผลิตน้ำมันปลา

6.1 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 4 8 12 และ 16 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ ดังนี้

- ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (Hasegawa, 1987)
- ปริมาณฮีสตามีน (AOAC, 1990)
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Hasegawa, 1987)

6.2 วิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพน้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 4 8 12 และ 16 ชั่วโมง โดยใช้สภาวะการแยกที่เหมาะสมในข้อ 2 ทำการตรวจวัดปริมาณน้ำมันและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ดังนี้

- ปริมาณน้ำมัน
- ค่ากรด (AOAC, 1990)
- ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOAC, 1990)
- ค่าทีบีเอ (Esterbavar and Cheseman, 1990)

## 7. ศึกษาการเพิ่มความคงตัวของน้ำมันปลาดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ระหว่างการเก็บรักษา

7.1 การคัดเลือกชนิดของสารกันหืน ในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยใช้สารกันหืน ดังนี้

- ไม่เติมสารกันหืน
- เติมสารบีเอชที 200 ppm
- เติมสารทีบีเอชคิว 200 ppm
- เติมสารโทโคฟีรอล 200 ppm
- เติมสารอโทกซิกวิน 200 ppm
- เติมสารแอสคอร์บิลพาร์มีเตท 200 ppm
- เติมสารบีเอชที 200 ppm ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท 200 ppm
- เติมสารทีบีเอชคิว 200 ppm ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท 200 ppm

-เติมสารโทโคฟีรอล 200 ppm ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท 200 ppm

-เติมสารอิทอกซิกวิน 200 ppm ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท 200 ppm

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน โดยดัดแปลงจากวิธี accelerated oxidation test (Kaitaranta, 1992)

1. เตรียมสารกันหืนโดยละลายในอัลกอฮอล์ อัตราส่วน 1:10 (กรัม/มล.) และเติมลงในน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ ปริมาณ 2 กรัม ซึ่งบรรจุใน petri plate ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ในปริมาณตามที่กำหนด(โดยคือน้ำหนักเทียบจากน้ำหนักสารกันหืนเทียบกับน้ำหนักน้ำมัน)

2. บ่มในตู้อบชนิดอากาศร้อนที่อุณหภูมิ  $60 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชม. เพื่อให้อัลกอฮอล์ระเหยไปจนหมด แล้วนับเป็นเวลาเริ่มต้น

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 ชั่วโมง และสามารถทราบเวลาที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเริ่มต้น

ตรวจวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 ชั่วโมง และวิเคราะห์ค่าที่บีเอโดยวิธีของ Esterbavar และ Cheseman(1990) ปริมาณคอนจูเกตไดอิน โดยวิธีของ Frankel และ Huang (1996) ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์โดยวิธีของ IUPAC (1979) ทุกๆ 5 ชั่วโมง จนครบ 60 ชั่วโมง คำนวณวัดประสิทธิภาพของสารกันหืน ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของสารกันหืน} = \frac{\text{เวลาบ่มที่ทำให้น้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6}}{\text{เวลาบ่มที่ทำให้น้ำหนักชุดควบคุมเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6}}$$

4. คัดเลือกชนิดของสารกันหืนที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการทดลองข้อ 7.2 ต่อไป

## 7.2 ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์

เก็บตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ ซึ่งไม่เติมสารกันหืนและเติมสารกันหืนซึ่งให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันสูงสุด (จากข้อ 7.1) ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ ค่าที่บีเอโดยวิธีของ Esterbavar และ Cheseman (1990) ปริมาณคอนจูเกตไดอิน โดยวิธีของ Frankel และ Huang (1996) ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ โดยวิธีของ IUPAC (1979) ทุกๆสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์

#### 1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวปลาดิบและหัวปลาสุก แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าหัวปลาดิบมี ความชื้น โปรตีน และไขมันโดยน้ำหนัก ร้อยละ 68.10 21.04 และ 7.81 ตามลำดับ หัวปลาสุกมี ความชื้น โปรตีนและไขมันโดยน้ำหนักภายหลังการนึ่งร้อยละ 57.36 29.44 และ 7.67 ตามลำดับ หัวปลาสุกมีความชื้นน้อยกว่าหัวปลาดิบอย่างเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการนึ่งมีผลให้มีการสูญเสียน้ำออกจากกล้ามเนื้อหรือเซลล์ต่างๆ โปรตีนในหัวปลาสุกมีปริมาณมากกว่าหัวปลาดิบ เนื่องจากคิดเทียบน้ำหนักเป็นร้อยละจากน้ำหนักวัตถุดิบต่างชนิดกัน ความร้อนที่ใช้ในการนึ่งปลาอาจมีผลทำให้โปรตีนบางส่วนสูญเสียไปกับน้ำที่ออกจากตัวปลาในระหว่างการนึ่งด้วยเช่นกัน ในปลาชนิดเดียวกันพบว่าปัจจัยที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เช่น อายุ เพศ ฤดูกาลที่จับ ความแปรปรวนของปลา แต่ลำตัวตำแหน่งทางสรีรวิทยาหรือตำแหน่งของกล้ามเนื้อในตัวปลา (Heen and Kreuzer, 1962) ดังนั้นหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันปลาดิบหรือน้ำมันปลาริสุทธิ์ พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยตัดแปลงจากวิธี AOAC (1984) โดยการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ในหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมี ปริมาณร้อยละ 7-8 อธิยา กังสุวรรณ และคณะ (2537) พบว่าปริมาณไขมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยวิธีของ Folch คือใช้คลอโรฟอร์มต่อเมทานอล (2:1 ปริมาตรต่อปริมาตร) มีร้อยละ 8.55

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	หัวปลาดิบ <sup>a</sup>	หัวปลาสุก <sup>b</sup>
ความชื้น	68.10 ± 2.55 <sup>*</sup>	57.36 ± 1.89
โปรตีน	21.04 ± 1.30	29.44 ± 2.02
ไขมัน	7.81 ± 0.62	7.67 ± 0.57

หมายเหตุ \* - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

<sup>a</sup> - เทียบน้ำหนักจากหัวปลาดิบ (ก่อนการนึ่งในกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง)

<sup>b</sup> - เทียบน้ำหนักจากหัวปลาสุก (ภายหลังการนึ่งในกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง)

## 2. ศึกษากรรมวิธีการแยกน้ำมันปลาดิบโดยวิธี wet reduction

### 2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนก่อนการบีบอัด

ทำการแยกน้ำมันดิบ จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยใช้อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เวลา 10 20 และ 30 นาที แล้วบีบด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรสที่ 80 ตันต่อตารางเมตร น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ ปริมาณผลผลิต และคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้ผลดังต่อไปนี้

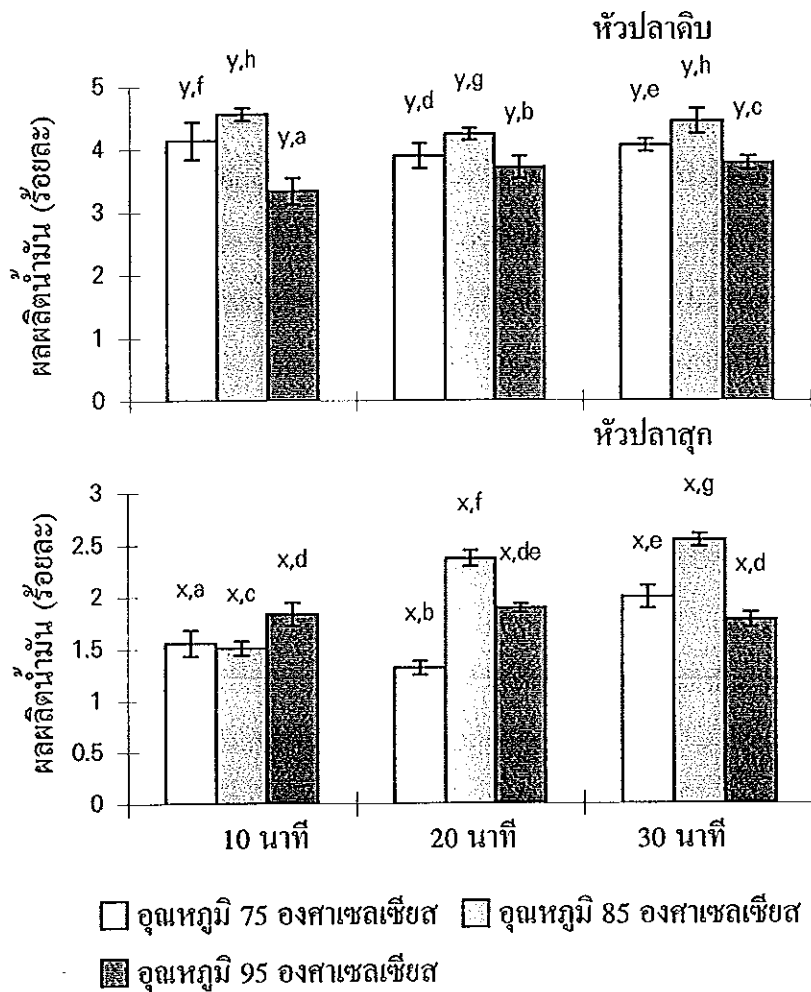
#### 2.1.1 ผลผลิตน้ำมัน

ผลผลิตน้ำมันที่แยกได้ภายใต้สภาวะการแยกน้ำมันต่างๆ แสดงดังภาพที่ 12 อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งมีผลต่อผลผลิตน้ำมันที่แยกได้แตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) การใช้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุด ( $P < 0.05$ ) และการใช้อุณหภูมิ 75 และ 95 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตน้ำมันต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) ในหัวปลาดิบความร้อนมีผลให้โปรตีนตกตะกอน และทำให้เซลล์ไขมันมันแตกและปลดปล่อยน้ำมันออกมา (Stansby, 1990) จากการทดลองการใช้อุณหภูมิในการนึ่งสูงขึ้น มีผลให้ผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่จากการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (95 องศาเซลเซียส) ทำให้ผลผลิตน้ำมันต่ำลง เนื่องจากโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติและรวมตัวกันแน่น ส่งผลให้การกักน้ำมันไว้ใน ดังนั้นผลผลิตน้ำมันจึงลดลง สำหรับในหัวปลาสุกผลการทดลองเป็น

ไปในทางเดียวกับหัวปลาดิบ การให้ความร้อนซ้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว และปลดปล่อยน้ำมันออกมาได้ดีที่สุด ( $P < 0.05$ )

การใช้เวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น ทำให้ผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากเซลล์ไขมันได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นสภาวะเหมาะสมในการแยกน้ำมัน คือ การให้ความร้อนโดยการนึ่งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้แรงบีบ 80 ตันต่อตารางเมตร

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก พบว่าให้ผลผลิตน้ำมันที่แตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) โดยหัวปลาดิบให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าหัวปลาสุก กล่าวคือ สภาวะการแยกน้ำมันที่เหมาะสม ได้ผลผลิตน้ำมัน ร้อยละ 4.76 และ ร้อยละ 2.80 สำหรับหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ ถึงแม้ว่าปริมาณไขมันเริ่มต้นในวัตถุดิบทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อหัวปลาผ่านการนึ่งอาจมีผลให้โปรตีนแปลงสภาพ การให้ความร้อนอีกครั้งจึงไม่มีผลให้เซลล์ไขมันแตกกระจายออกจากชั้นหรือโมเลกุลของโปรตีนที่จับเรียงตัวกันแน่น แรกจากนี้การให้ความร้อนในครั้งแรกอาจมีผลเร่งการปลดปล่อยโปรออกซิแดนซ์ ซึ่งสามารถเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่กระจายภายนอกเซลล์เมื่อผ่านการให้ความร้อนในครั้งที่สองส่งผลให้เกิดสารประกอบที่โมเลกุลต่ำที่สามารถระเหยได้ ดังนั้นผลผลิตจึงลดลง



ภาพที่ 12 ผลผลิตน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาดุกจากปลาทุ่นำพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาดิบและหัวปลาดุกที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

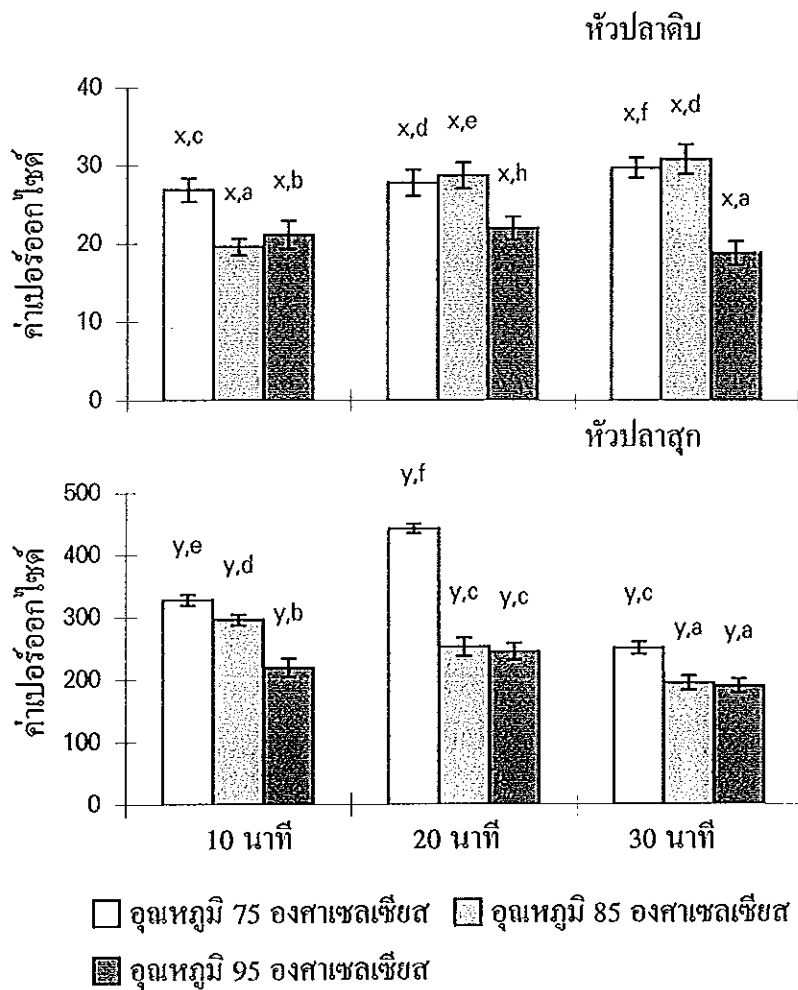
- a, b, c, ..., h อักษรต่างกันในหัวปลาดิบชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2.1.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

น้ำมันที่ได้จากหัวปลาสุกมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าหัวปลาดิบ ภายใต้ทุกสภาวะของการแยกน้ำมัน ( $P < 0.05$ ) ดังภาพที่ 13 โดยทั่วไปการให้ความร้อนต่อกล้ามเนื้อหรือเซลล์ต่างๆ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยอนุมูลโลหะ โดยเฉพาะอนุมูลเหล็กจากฮีโมโพรตีน Decker และ Xu (1998) รายงานว่าฮีโมโพรตีนและเอนไซม์เป็นองค์ประกอบที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในชั้นเมมเบรนได้ การให้ความร้อนมีผลให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปเหล็กอิสระไมโอโกลบินเป็นแหล่งสำคัญของอนุมูลเหล็กดังกล่าว โดยเฉพาะภายหลังการได้รับความร้อน (Decker and Welch, 1990) เหล็กสามารถจับตัวกับไขมันที่อยู่ในชั้นเมมเบรนและทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดออกซิเดชันของไขมัน (Decker and Xu, 1998) ในการให้ความร้อนแก่หัวปลาสุกเป็นการให้ความร้อนซ้ำซ้อน ทำให้เกิดการปลดปล่อยเหล็กอิสระได้มากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจึงเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิในการนึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าเปอร์ออกไซด์ (ภาพที่ 13) ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทั้งนี้อาจเกิดจากสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน (Nawar, 1990) สำหรับในหัวปลาดิบ น้ำมันที่สกัดได้โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซิจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในปลาหรือสัตว์น้ำ (Hultin, 1994) Hsieh และ Kinsella (1986) รายงานว่ามีเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสในผิวหนังของปลา trout German และ Kinsella (1985) พบเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสที่อยู่ในหนังสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในกล้ามเนื้อได้เนื่องจากหัวปลาหุ่น่าประกอบด้วยหนังในปริมาณมากซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนส ดังนั้นจึงอาจเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงขึ้น นอกจากนี้ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำลงอาจเกิดจากการเสื่อมสลายของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูง (95 องศาเซลเซียส) สำหรับหัวปลาที่สุก น้ำมันแยกได้โดยใช้อุณหภูมิสูง (85 และ 95 องศาเซลเซียส) ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ (75 องศาเซลเซียส) ( $P < 0.05$ ) อาจเกิดจากการเสื่อมสลายของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ในสภาวะที่ให้ความร้อนสูง

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนในการสกัดน้ำมันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าในห้วปลาดิบ การใช้ระยะเวลานานขึ้น (20 และ 30 นาที) ในการให้ความร้อนมีผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลง ( $P < 0.05$ ) เมื่อใช้อุณหภูมิสูง 95 องศาเซลเซียส และใช้เวลาให้ความร้อน 30 นาที ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นสามารถเพิ่มการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นสำหรับห้วปลาสุก พบว่ามีผลใกล้เคียงกับห้วปลาดิบ คือการใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ ( $P < 0.05$ )



ภาพที่ 13 ค่าเปอร์ออกไซด์(มก.สมมูลย์ต่ออกก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบ และหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบจากการแยกน้ำมันโดยตัดแปลง จากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

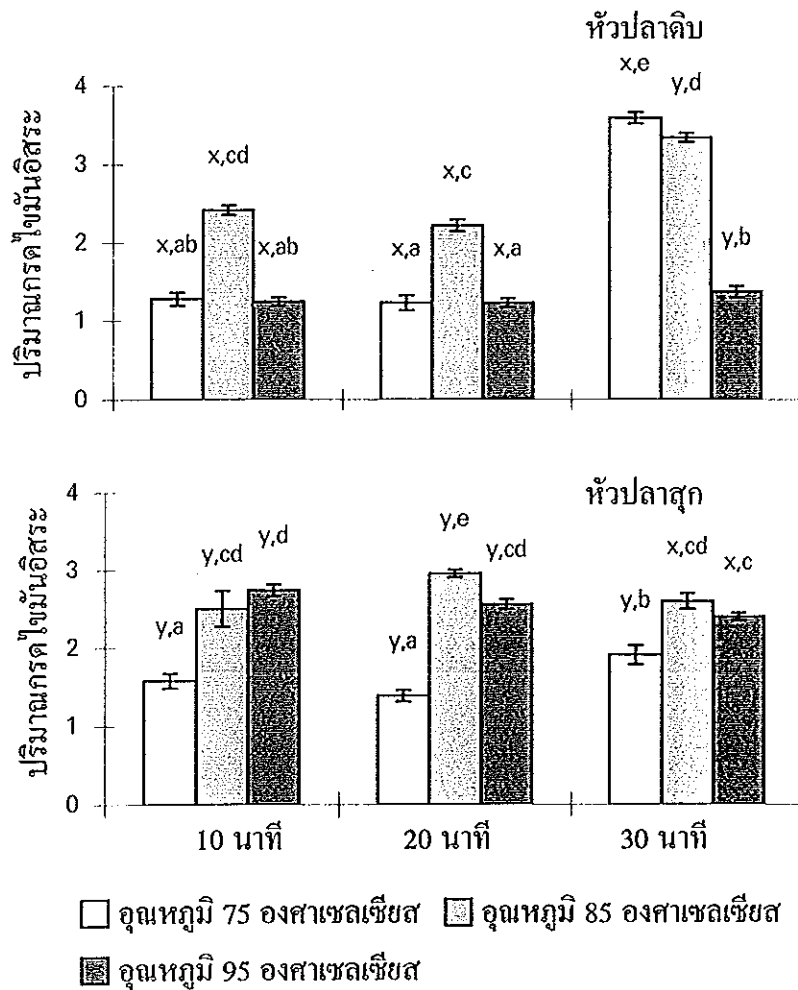
หมายเหตุ - x, y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาคีบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและ เวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

- a, b, c, ..., h อักษรต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิ ให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2.1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่แยกภายใต้สภาวะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 14 น้ำมันที่ได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกประกอบด้วยกรดไขมันอิสระต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงสุด ( $P < 0.05$ ) ทั้งในน้ำมันที่ได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอิสระในหัวปลาดิบมีปริมาณต่ำเมื่อใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อน 95 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุกและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าการใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากในหัวปลาที่ไม่ผ่านการนึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ไลเปส ซึ่งสามารถไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์และปลดปล่อยกรดไขมันอิสระได้เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ไลเปสอาจสูญเสียกิจกรรมที่อุณหภูมิสูง (95 องศาเซลเซียส) การให้ความร้อน 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปสและป้องกันปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Ockerman, 1992) ดังนั้นเอนไซม์ไลเปสจึงมีบทบาทน้อยลงในการปลดปล่อยกรดไขมันอิสระ สำหรับน้ำมันที่แยกจากหัวปลาสุก เอนไซม์ไลเปสอาจถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ในขั้นตอนการนึ่งครั้งแรกและไม่มีบทบาทสำหรับตัวการปลดปล่อยกรดไขมันอิสระ อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและความชื้น น้ำมันสามารถสลายตัวเกิดเป็นกรดไขมันอิสระได้ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสตรงพันธะเอสเทอร์ของไขมัน อาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ หรือโดยการให้ความร้อนและความชื้นทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้น (Nawar, 1990)

เวลาในการนึ่งมีบทบาทต่อปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน การใช้เวลานานขึ้นทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาทำให้น้ำมันสัมผัสความร้อนและความชื้นจากไอน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้เกิดการสลายพันธะเอสเทอร์ได้มากขึ้นดังนั้นจึงเกิดกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น

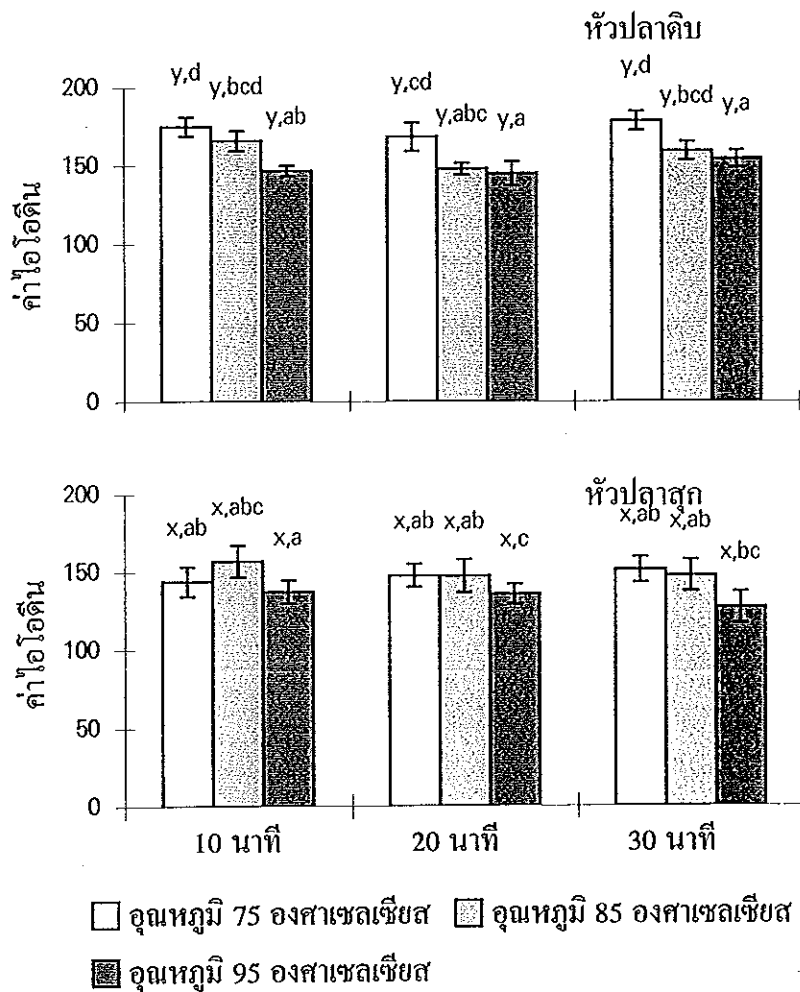


ภาพที่ 14 ปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมัน โดยตัดแปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )  
 - a, b, c, d อักษรต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 2.1.4 ค่าไอโอดีน

น้ำมันจากหัวปลาดิบ มีค่าไอโอดีนสูงกว่าหัวปลาสุก ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 15) ซึ่งบ่งถึงพันธะคู่ของกรดไขมันในน้ำมันจากหัวปลาดิบมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาสุก ปริมาณไอโอดีนที่ต่ำในน้ำมันจากหัวปลาสุกสัมพันธ์กับค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงอย่างเด่นชัด น้ำมันจากหัวปลาดิบและจากหัวปลาสุกซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนต่ำสุด ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่สูงเกินไป (95 องศาเซลเซียส) มีผลต่อการลดลงของปริมาณพันธะคู่ อันเป็นผลจากอุณหภูมิสูงมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ค่าไอโอดีนที่ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสสอดคล้องกับการลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ (ภาพที่ 15) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิสามารถเร่งการเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ แต่สารดังกล่าวไม่เสถียรและเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่น



ภาพที่ 15 ค่าไอโอดีน(กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลา  
 ดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมัน โดยคัด  
 แปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

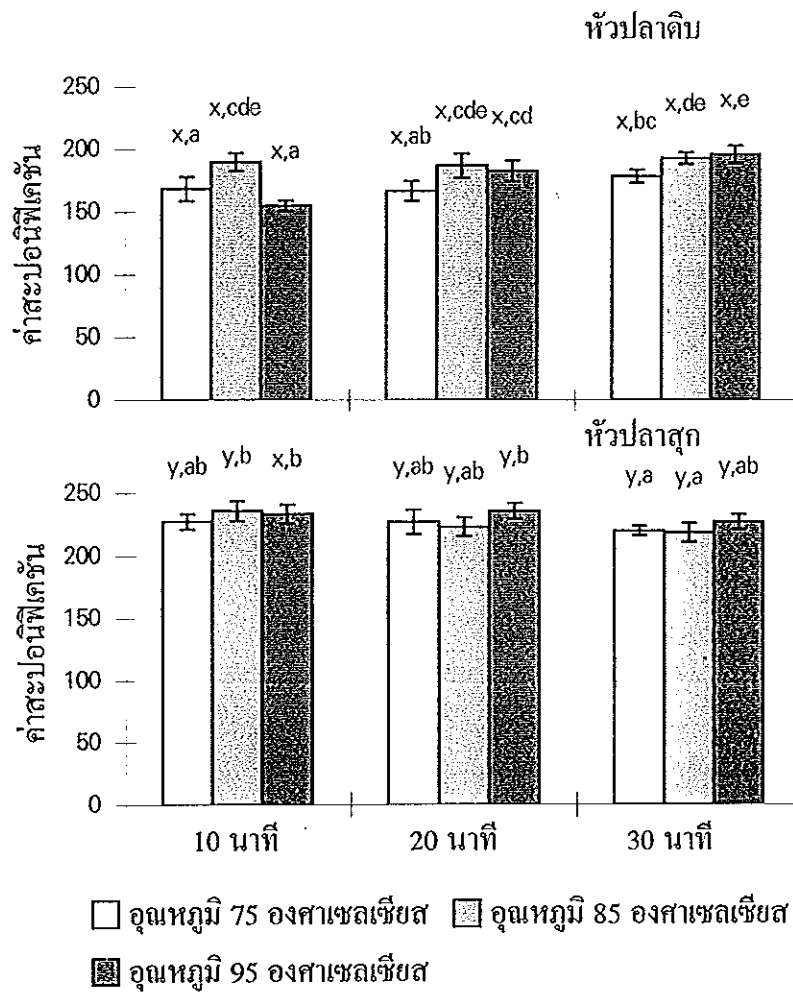
หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและ  
 เวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

- a, b, c, d อักษรต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิ  
 ให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2.1.5 ค่าสะปอนิฟิเคชัน

จากการวิเคราะห์ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน (ภาพที่16) เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันจากหัวปลาดิบสูงขึ้น ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความร้อนสามารถทำลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ตลอดจนกรดไขมันให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงสำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุก พบว่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อแยกน้ำมันไม่มีผลต่อค่าสะปอนิฟิเคชัน ( $P > 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการให้ความร้อนจากการนึ่งปลาในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องสามารถทำลายโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมันมันในระดับสูง การให้ความร้อนซ้ำจึงไม่มีผลกระทบ นอกจากนี้พบว่าค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันจากหัวปลาดิบน้อยกว่าน้ำมันจากหัวปลาสุก ดังนั้นความร้อนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำลายไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมัน

เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนพบว่า สำหรับหัวปลาดิบเมื่อใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ระดับเดียวกันพบว่า เวลาไม่มีผลต่อค่าสะปอนิฟิเคชัน ( $P > 0.05$ ) เมื่อใช้อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส แต่ค่าสะปอนิฟิเคชันมีค่าเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้นส่วนหัวปลาทูน่าสุกพบว่า ระยะเวลาไม่มีผลต่อค่าสะปอนิฟิเคชัน ( $P > 0.05$ ) ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันดิบอยู่ในช่วง 188-223 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันที่แยกจากน้ำนึ่งปลาโดย สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2537) มีค่า 189.44 - 193.46 ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบโดย อธิยา กังสุวรรณ และคณะ (2537) มีค่า 185.54 แต่ Codex (1981) ไม่ได้กำหนดค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันปลาดิบไว้



ภาพที่ 16 ค่าสะปอนิฟิเคชัน(มก. โพลีแซตเทอริซึมไฮดรอกไซด์ต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมัน โดยคัดแปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

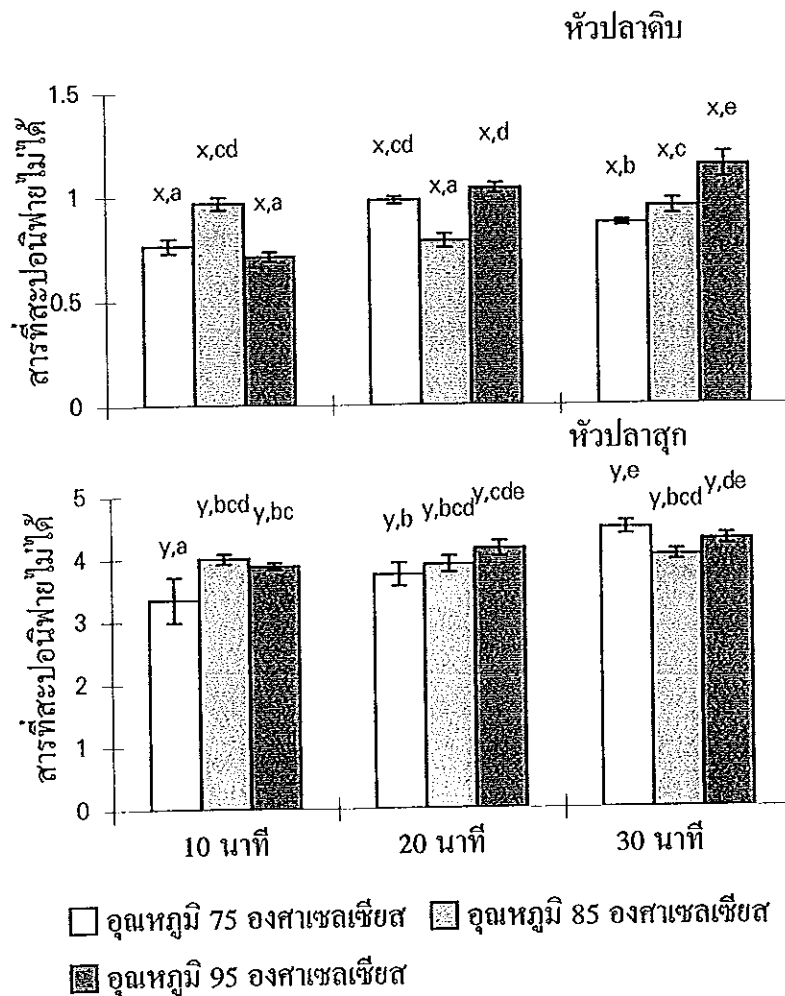
หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

- a, b, c, d, e อักษรต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2.1.6 สารที่สะปอนิฟายไม่ได้

จากการวิเคราะห์สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกดังภาพที่ 17 พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน ส่งผลต่อปริมาณสารที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันที่ได้แตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนมีเพิ่มขึ้นส่งผลให้สารที่สะปอนิฟายไม่ได้เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกพบว่าปริมาณสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ในน้ำมันจากหัวปลาสุกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการทำลายเซลล์ไขมันในเนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลให้ปลดปล่อยองค์ประกอบที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ เช่น สารพวกไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตียรอยด์รวมทั้งฟอสโฟไลปิด ดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการนึ่งปลาทูน่าเพื่อบรรจุกระป๋องสามารถปลดปล่อยสารต่างๆเหล่านี้ออกมาได้มากกว่าความร้อนที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อแยกน้ำมัน

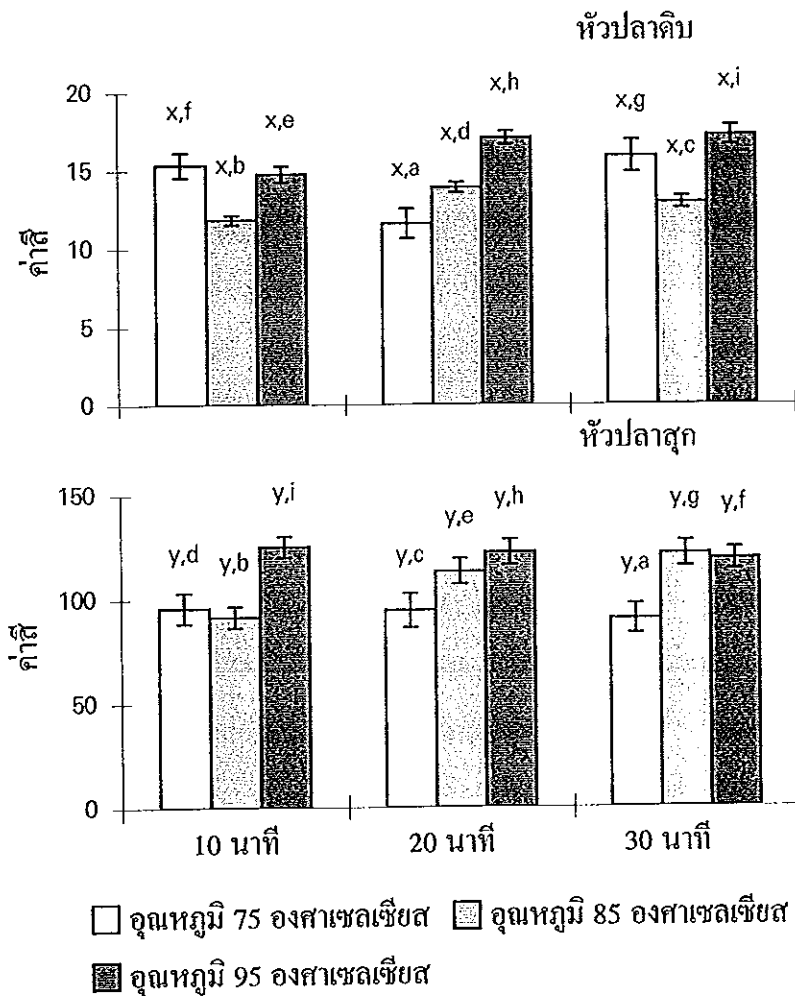


ภาพที่ 17 สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )  
 - a, b, c, d, e อักษรต่างกันในตัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2.1.7 ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันที่แยกได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ดังภาพที่ 18 พบว่าการใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นมีผลทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น ( $P < 0.05$ ) และน้ำมันจากหัวปลาสุกสีเข้มกว่าหัวปลาดิบ ( $P < 0.05$ ) เพราะหัวปลาสุกได้ผ่านความร้อนที่ใช้ในการนึ่งปลาทูน่าเพื่อบรรจุกระป๋อง โดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) พบว่าน้ำมันจากน้ำนึ่งปลาทูน่ามีสีน้ำตาลดำ ไม่สามารถวัดค่าสีได้เพราะน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง การนึ่งโดยใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานอาจทำให้ออกไซด์ประกอบในน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีสีเข้มขึ้น ในระหว่างกระบวนการนึ่งสำหรับการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอาจเกิดการสลายตัวปะปนกับน้ำมันในระหว่างการบีบอัด ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น (Swern, 1964) ปฏิกิริยามิลลาร์ทที่เกิดขึ้นในระหว่างการนึ่งอาจมีผลทำให้ออกไซด์ของน้ำมันเข้มขึ้นได้เช่นกัน



ภาพที่ 18 ค่าสีของน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแล  
 จากการแยกน้ำมันโดยคัดแปลงจากวิธี wet reduction ที่สภาวะต่างๆ  
 หมายเหตุ - x,y อักษรต่างกัน (โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวปลาคีบและหัวปลาสุกที่ใช้อุณหภูมิและ  
 เวลาในการให้ความร้อนเหมือนกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )  
 - a, b, c, ..., i อักษรต่างกันในหัวปลาชนิดเดียวกัน (โดยเปรียบเทียบเวลาและ/หรืออุณหภูมิ  
 ให้ความร้อน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ดังนั้นชนิดของหัวปลาทูน่า (หัวปลาดิบและหัวปลาสุก) ตลอดจนอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ใช้สำหรับการแยกน้ำมันดิบจากหัวปลาทูน่า จึงมีบทบาทต่อผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันดังนี้

1. หัวปลาดิบ ให้ผลผลิตของน้ำมันสูงกว่าหัวปลาสุก (เทียบกับน้ำหนักก่อนนำมาแยกน้ำมัน) และเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตสูงขึ้นจากหัวปลาทั้งสองชนิด การใช้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุดจากหัวปลาทั้งสองชนิด

2. ค่าไอโอดีน ค่าสะปอนิฟิเคชัน สารที่สะปอนิฟายไม่ได้และค่าสีของน้ำมันจากหัวปลาชนิดเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่น้ำมันจากหัวปลาดิบมีค่าสะปอนิฟิเคชัน สารที่สะปอนิฟายไม่ได้และค่าสีที่ต่ำกว่าหัวปลาสุก แต่มีค่าไอโอดีนที่สูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาสุก ซึ่งเป็นคุณภาพที่ดีของน้ำมันปลา

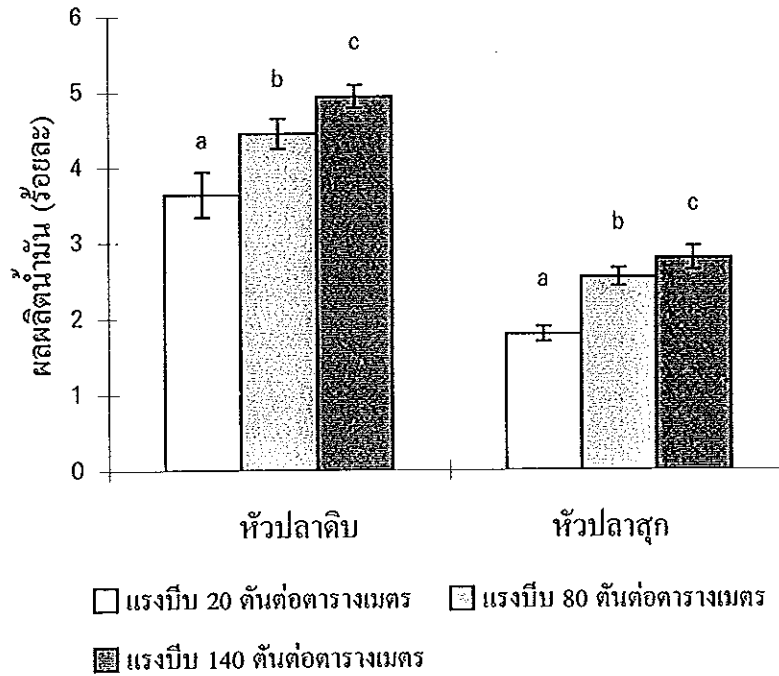
3. ค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน มีค่าแตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากหัวปลาดิบมีค่าสูงสุดเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เท่ากับร้อยละ 3.5 ของกรดโอเลอิก ปริมาณกรดไขมันอิสระของหัวปลาสุกมีค่าสูงสุดเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าร้อยละ 2.85 ของกรดโอเลอิก ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบจากหัวปลาทั้งสองชนิดยังอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันปลาดิบซึ่งกำหนดปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 2-5 ของกรดโอเลอิก (Bimbo, 1990) พรทิพย์ แซ่เตีย และวรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ (2539) แยกน้ำมันปลาดิบจากหัวปลาที่ไม่ผ่านการนึ่งโดยวิธี wet reduction แต่ใช้เครื่องบีบแบบสกรูคู่ น้ำมันที่ได้มีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 64.67 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 3.5 ของกรดโอเลอิก แต่จากการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องบีบแบบไฮโดรลิกเพรส ซึ่งอาจให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันตลอดจนน้ำมันที่ได้อาจมีองค์ประกอบและสมบัติที่แตกต่างกัน ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกเท่ากับ 19.5-31.2 และ 200-450 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามกรดไขมันอิสระและสารเปอร์ออกไซด์ตลอดจนผลิตภัณฑ์จากกระบวนการออกซิเดชันอื่นๆ สามารถกำจัดหรือลดปริมาณลงในระหว่างกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลา

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันจากหัวปลาทั้งหัวปลาดิบและหัวปลาสุกคือ การใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

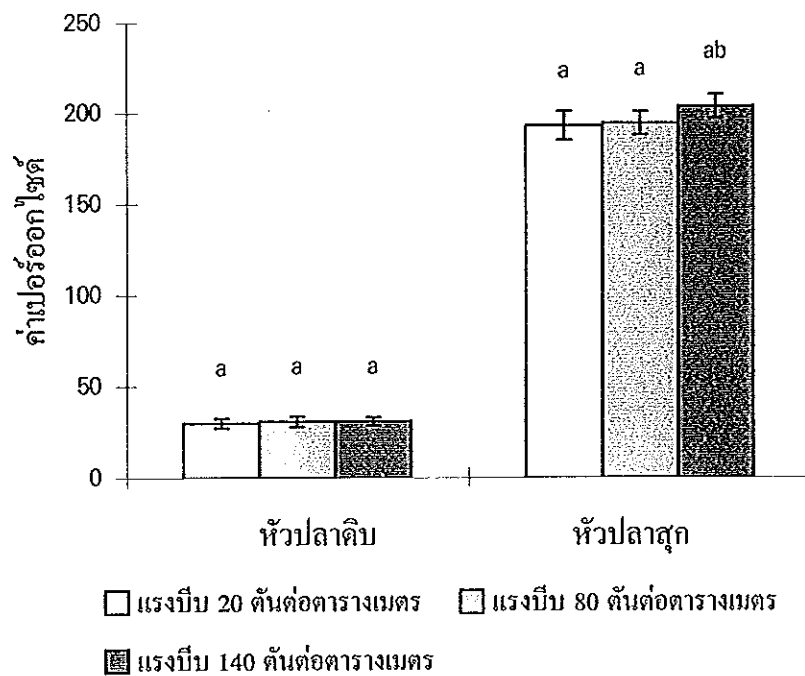
## 2.2 ผลของแรงบีบที่ใช้ในการบีบอัด

จากการศึกษาแรงบีบ 20 80 และ 140 ตันต่อตารางเมตร ในการแยกน้ำมันดิบโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าแรงบีบมีผลต่อผลผลิตของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 19) สำหรับหัวปลาชนิดเดียวกันแรงบีบต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน ค่าสะปอนิฟายไม่ได้ สารที่สะปอนิฟายไม่ได้และค่าสี ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 20-24) ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสะปอนิฟายไม่ได้ สารที่สะปอนิฟายไม่ได้และค่าสีของน้ำมันจากหัวปลาสุกสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันจากหัวปลาสุกต่ำกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ (ภาพที่ 21) อย่างไรก็ตามแรงบีบมีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ได้ (ภาพที่ 25) สำหรับหัวปลาดิบ พบว่าการใช้แรงบีบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) แต่การใช้แรงบีบที่เพิ่มขึ้นมีผลให้น้ำมันจากหัวปลาสุกมีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในหัวปลาดิบ เมื่อใช้แรงบีบมากขึ้น มีผลให้เอนไซม์ไลเปสที่หลงเหลืออยู่ สามารถถูกปลดปล่อยและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น แต่สำหรับหัวปลาสุกนั้น เอนไซม์ไลเปสได้ถูกทำลายโดยความร้อนสูงในช่วงการแปรรูป ดังนั้นการใช้แรงบีบอัดจึงไม่มีผลในการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลในการเจือจางปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนการให้ความร้อน ดังนั้นแรงบีบไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพในหัวปลาชนิดเดียวกัน

อย่างไรก็ตามหัวปลาต่างชนิดกันให้น้ำมันที่มีคุณภาพทางเคมีและกายภาพต่างกัน ทั้งนี้เกิดจากคุณภาพเริ่มต้นของหัวปลาทั้ง 2 ชนิดไม่เหมือนกัน หัวปลาได้รับความร้อนในการนึ่งปลาพูน่าเพื่อบรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (ข้อมูลจากบริษัท โชติวิวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต จำกัด) ผลที่เกิดขึ้นได้อธิบายในข้อ 2.1 สำหรับหัวปลาชนิดเดียวกัน แรงบีบต่างกันให้ปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) โดยเมื่อแรงบีบเพิ่มขึ้นจะให้ปริมาณน้ำมันที่ได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแรงบีบมีผลให้ของเหลวซึ่งประกอบด้วยน้ำและน้ำมันแยกออกมาจากหัวปลา การใช้แรงบีบ 140 ตันต่อตารางเมตรให้ผลผลิตเป็นร้อยละ 3.64 และ 1.89 เมื่อใช้แรงบีบ 20 ตันต่อตารางเมตร และร้อยละ 4.45 และ 2.74 เมื่อใช้แรงบีบ 80 ตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ

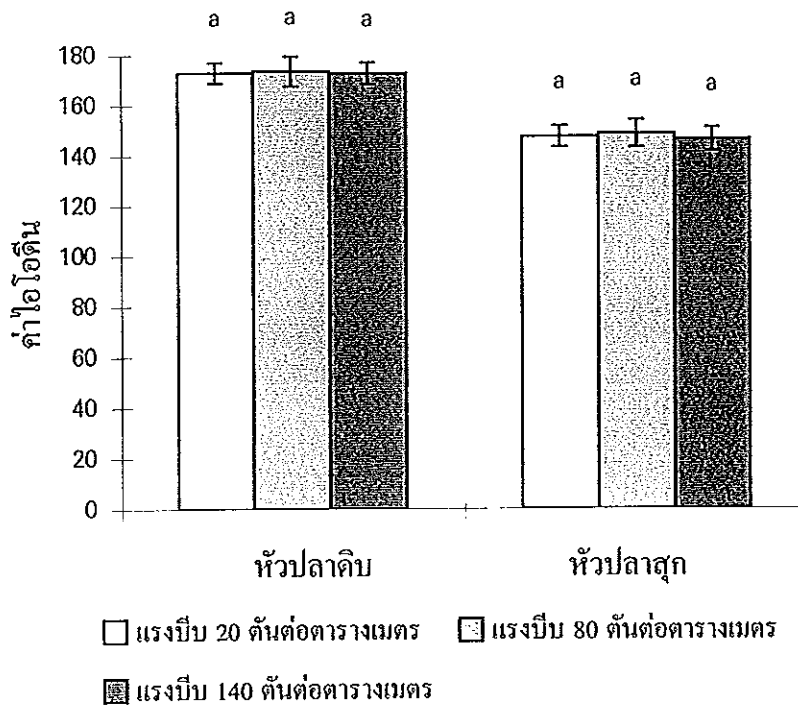


ภาพที่ 19 ผลผลิตน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ จากการแยกน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยแรงบีบต่างๆ  
 หมายเหตุ - a, b อักษรต่างกัน (ในหัวปลาชนิดเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)



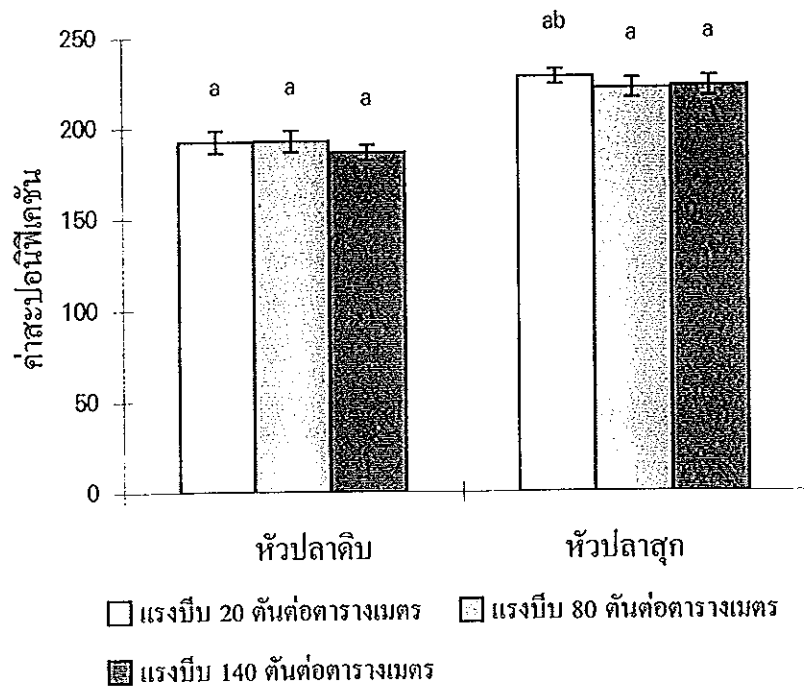
ภาพที่ 20 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันคีบจากหัวปลาคีบและหัวปลาสุกจากปลาหูกนำพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมัน โดยตัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยแรงบีบต่างๆ

หมายเหตุ - a, b อักษรต่างกัน (ในหัวปลาชนิดเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

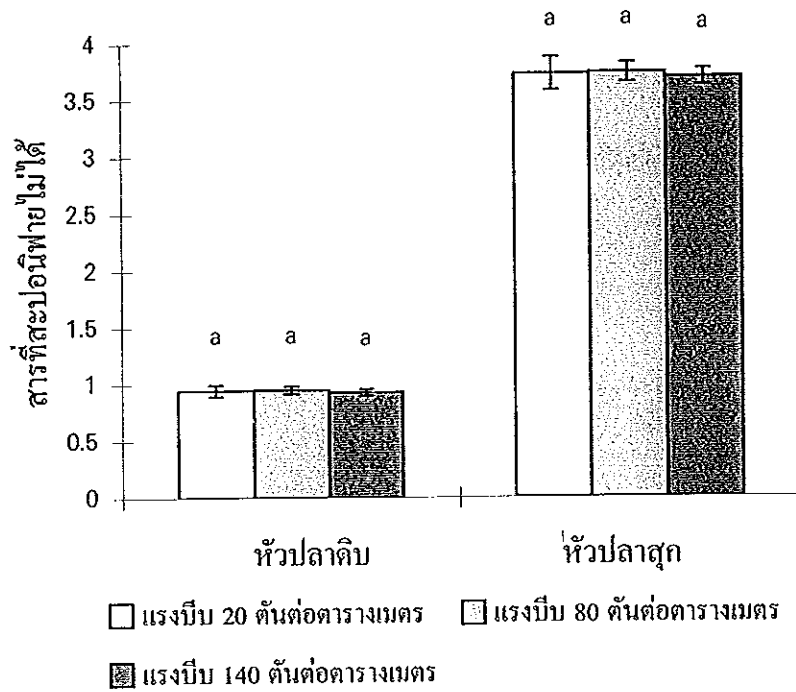


ภาพที่ 21 ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยแรงบีบต่างๆ

หมายเหตุ - a, b อักษรต่างกัน (ในหัวปลาดิบเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

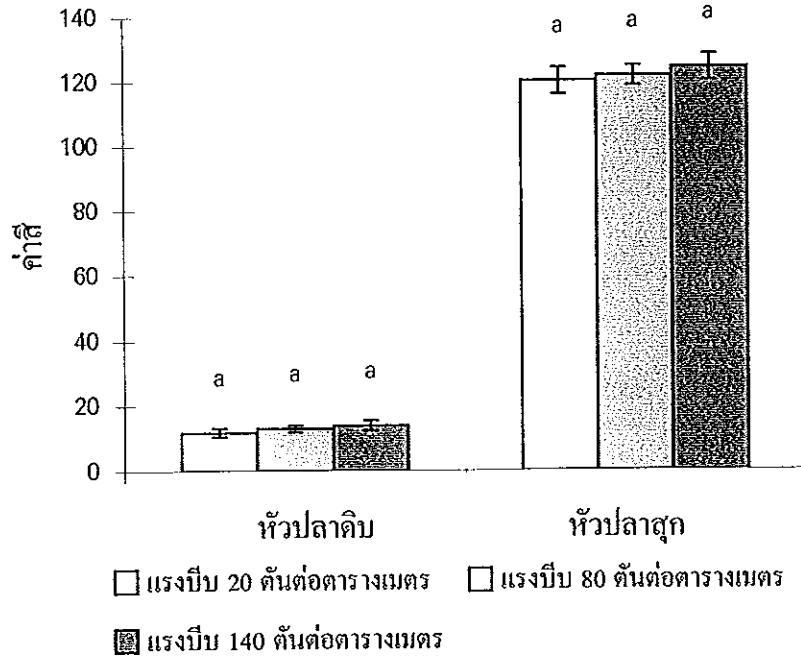


ภาพที่ 22 ค่าสะปอนิฟิเคชัน (มก.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลานู่น้ำพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมัน โดยตัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยแรงบีบต่างๆ  
 หมายเหตุ - a, b อักษรต่างกัน (ในหัวปลาชนิดเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



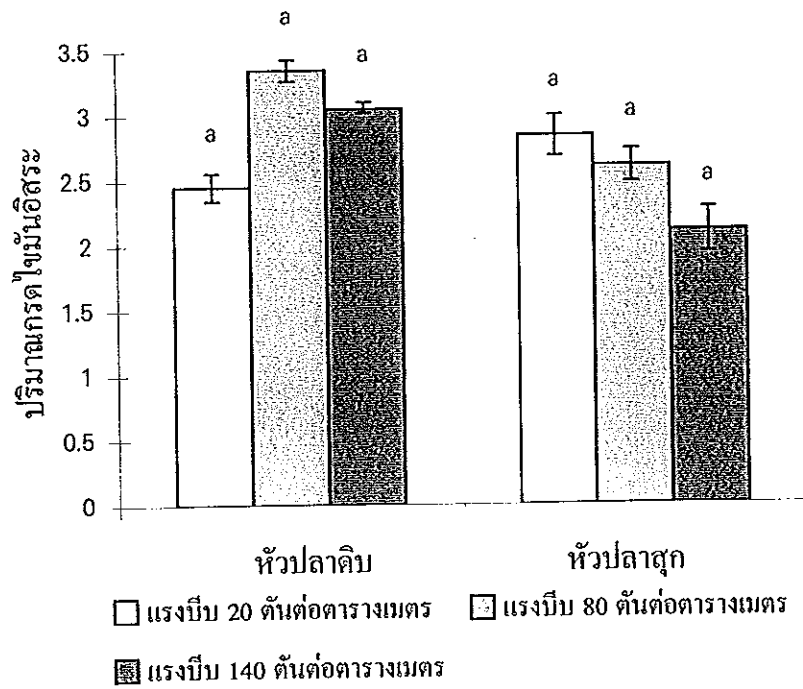
ภาพที่ 23 สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน) ของน้ำมันดิบจากห้วปลาดิบและห้วปลาสุกจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบจากการแยกน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยแรงบีบต่างๆ

หมายเหตุ - a อักษรเหมือนกัน (ในห้วปลาชนิดเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



ภาพที่ 24 ค่าสีของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาพุงหน้าพันธุ์โอแลบ จากการแยกน้ำมัน โดยดัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ

หมายเหตุ - a อักษรเหมือนกัน (ในหัวปลาสุกเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



ภาพที่ 25 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบจาก หัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ จากการแยกน้ำมัน โดยตัดแปลงจากวิธี wet reduction โดยใช้แรงบีบต่างๆ

หมายเหตุ - a, b, c อักษรต่างกัน (ในหัวปลาชนิดเดียวกัน ที่ใช้แรงบีบต่างกัน) มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 3. ศึกษาการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาทูน่า

การทำบริสุทธิ์น้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้สภาวะการแยกที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2 (อุณหภูมิในการให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที แรงบีบ 140 ตันต่อตารางเมตร) พบว่ามีผลต่อองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีตลอดจนสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปลา (ตารางที่ 9 และ 10) ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสี ลดลงอย่างเด่นชัดภายหลังกการทำบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามค่าไอโอดีน ไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังกการทำบริสุทธิ์ และผลผลิตน้ำมันปลามีค่าลดลงตามลำดับขั้นตอนการทำบริสุทธิ์ โดยในการเก็บรักษาเพื่อให้องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี การเก็บรักษาน้ำมันดิบในสภาวะที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ การเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงของสีของน้ำมัน และเกิดสิ่งปลอมปนที่ไม่ละลายในน้ำมัน การเก็บที่เหมาะสมต้องให้ท่อส่งน้ำมันส่งถึงกันถึงเพื่อป้องกันสัมผัสกับอากาศ และป้องกันการสัมผัสกับเหล็ก ทองแดง ซึ่งเป็นโปรออกซิแดนท์ ในถังที่เก็บน้ำมันควรมีความชื้นต่ำสุดและสามารถกำจัดสิ่งปลอมปนที่ไม่ละลายน้ำมันได้อย่างดีและควรมีใบพัดกวน นอกจากนี้ควรมีการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการเกิดสเตอริน (Young, 1980) สำหรับการเก็บรักษาน้ำมันดิบที่ได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ในการศึกษาครั้งนี้กระทำโดยการเก็บน้ำมันในขวดพลาสติกทึบแสงและไม่มีช่องว่างอากาศ โดยเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำบริสุทธิ์ เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ขั้นตอนการกำจัดสารเหนียว ขั้นตอนการกำจัดสารเหนียวมีผลต่อองค์ประกอบและสมบัติของน้ำมัน (ตารางที่ 9 และ 10) กล่าวคือ ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกลดลงทั้งนี้อาจเกิดจากความร้อนที่ใช้ในขั้นตอนการกำจัดสารเหนียว (80 องศาเซลเซียส) ทำให้สารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์ระเหยหรือสลายตัวเป็นองค์ประกอบที่มีโมเลกุลต่ำอื่นๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งในน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งอาจเกิดจากความร้อน มีผลให้เกิดไฮโดรไลซ์ของน้ำมันเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกที่เติมลงในน้ำมัน อาจมีผลต่อการเพิ่มค่ากรดอิสระในน้ำมัน สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) ทดลองใช้กรดซิตริกและกรดฟอสฟอริกในการกำจัดสารเหนียว พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกมีผลให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระ

สูงกว่าการใช้กรดซิดริก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำหนักโมเลกุลของกรดซิดริกที่สูงกว่ากรดฟอสฟอริก จึงทำให้เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเทียบต่อน้ำหนักแล้ว มีจำนวนโมลของกรดฟอสฟอริกปริมาณมากกว่าจำนวนโมลของกรดซิดริก นอกจากนี้ยังมีวิธีการกำจัดสารเหนียวแบบอื่น เช่น Carr (1988) กล่าวว่าวิธีการกำจัดสารเหนียวสามารถใช้ น้ำ สารละลายเกลือและกรดอ่อน เช่น กรดฟอสฟอริก เพื่อกำจัดฟอสฟาไทด์ แวกซ์ และสิ่งปลอมปนอื่นๆ การกำจัดสารเหนียวควรทำตั้งแต่การเก็บรักษาน้ำมันไว้เพื่อรอทำบริสุทธิ์ ทั้งนี้เนื่องจากถ้ามีความชื้นจะทำให้เกิดการตกตะกอน (Norris, 1982) การกำจัดสารเหนียวควรทำก่อนการทำบริสุทธิ์ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วแยกตะกอนออก การกำจัดสารเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริก ยังสามารถตกตะกอน แคลเซียม แมกนีเซียม (Bimbo, 1990) นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกสามารถเปลี่ยนฟอร์มของเหล็กให้อยู่ในรูปที่สามารถแยกออกไปในขั้นตอนการฟอกสีได้ (Brekke, 1980) นอกจากนี้ Dijkstra และ Opstal (1989) พบว่าสามารถใช้ น้ำ ในการกำจัดสารเหนียว ซึ่งจะทำให้ปริมาณเหล็กและฟอสฟอรัสลดลง Elson และ Ackman (1978) พบว่าการกำจัดสารเหนียวในน้ำมันปลาเมนฮาเดน สามารถลดปริมาณตะกั่ว ทองแดง สารหนูและสังกะสีได้ดี แต่ลดปริมาณแคลเซียมได้น้อย Elson และคณะ (1981) พบว่าในน้ำมันปลาเฮอริงที่ไม่ได้มีการกำจัดสารเหนียวสามารถลดปริมาณโลหะภายหลังการทำบริสุทธิ์

ปกติวิธีการแยกน้ำมันปลาดิบแบบ wet reduction สามารถแยกสารฟอสฟาไทด์ออกไป พร้อมกับส่วนของเหลวที่แยกได้ (stick water) โดยการเหวี่ยงแยก แต่ในการทดลองนี้ทำการแยกน้ำมันโดยตักน้ำมันที่ลอยบริเวณชั้นบนของของเหลวที่ได้จากการบีบแยกน้ำมัน แล้วนำไปเหวี่ยงแยกอีกครั้ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสารเหนียวในน้ำมัน ในขั้นตอนการกำจัดสารเหนียวพบว่าน้ำมันจากหัวปลาที่ดิบและหัวปลาสุกมีค่าสีที่เข้มมากไม่สามารถวัดค่าได้ Bimbo (1990) กล่าวว่าน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนพวกสิ่งปนเปื้อนต่างๆ จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสีคล้ำดำขึ้นในน้ำมัน ดังนั้นจากการทดลองนี้สีคล้ำที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากสาเหตุที่กรดฟอสฟอริกสามารถละลายสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ได้ดีทำให้สามารถรับความร้อนจากการกวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้น้ำมันเกิดสีเข้มมากขึ้น

ขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจากร้อยละ 2.97 เหลือร้อยละ 0.12 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบ และจากร้อยละ 2.48 เหลือร้อยละ 0.27 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุก (ตารางที่ 9 และ 10) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20 องศาโบเม จำนวนมากเกินไปร้อยละ 0.5 สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระและกรดที่เหลือจากการกำจัดสารเหนียวเกิดเป็นสบู่ และสามารถลดสีของน้ำมันได้ นอกจากนี้ขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์สามารถถูกดูดซับโดยสบู่ที่เกิดขึ้น (Bimbo, 1990) โดยปกติการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลามักนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้มากกว่าการใช้ด่างอ่อน แต่การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะระคายเคืองน้ำมันได้ทำให้มีการสูญเสียผลผลิตน้ำมัน (Bimbo, 1990)

ค่าสีของน้ำมันทั้งสองชนิดในขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระลดลงอย่างเด่นชัดจากที่ไม่สามารถวัดค่าสีได้ จนลดลงเหลือ 13.43 และ 102 ในน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำบริสุทธิ์ สามารถช่วยกำจัดรงควัตถุโดยจับตัวกับสารเหนียว แล้วตกตะกอนพร้อมกัน (Bimbo, 1990) ดังนั้นจึงทำให้ผลผลิตของน้ำมันในขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระลดลงร้อยละ 6.11 และ 3.93 จากขั้นตอนการกำจัดสารเหนียว สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ Norris (1982) กล่าวว่า การสูญเสียน้ำมันในกระบวนการทำบริสุทธิ์ด้วยด่าง อาจขึ้นกับชนิดและปริมาณของสิ่งปนเปื้อนเริ่มต้นในน้ำมัน และ Bimbo (1990) พบว่าในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เกิดการตกตะกอนสารที่ไม่ละลายในน้ำมัน รวมทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็นสบู่ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ผลผลิตน้ำมันลดลงในขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ผลการทดลองสอดคล้องกับ สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2539) กำจัดกรดไขมันอิสระน้ำมันที่ได้จากบ่อพักน้ำนิ่งปลาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณที่มากเกินไป ร้อยละ 0.5 เดิมในน้ำมันอุณหภูมิตั้ง 40 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 10 นาที ให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส แยกสบู่ในกรวยแยก ล้างน้ำหลายครั้งจนเป็นกลาง พบว่ากรดไขมันอิสระลดลงจาก 1.88 เป็น 0.14 ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงจาก 85.0 เป็น 28.0 มก.สมมูลย์/กก.น้ำมัน

ขั้นตอนการเติมต่างซ้ำ การเติมต่างซ้ำหลังจากการกำจัดกรดไขมันอิสระมีผลทำให้สีของน้ำมันลดลง (ตารางที่ 9 และ 10) ค่าสีในน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกลดลงจาก 13.40 และ 102 เหลือ 8.46 และ 65 ตามลำดับ โดยทั่วไปการเติมต่างซ้ำหลังจากการกำจัดกรดไขมันอิสระมีจุดประสงค์เพื่อลดสีของน้ำมัน (Bimbo, 1990) สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) ศึกษาการลดค่าสีโดยการเติมต่างซ้ำ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาตรร้อยละ 3 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที พบว่าให้ค่าสีลดลงจาก 17.43 เหลือ 7.46 Norris (1964) ได้กำหนดให้ใช้ค่าความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาตรร้อยละ 1.0-1.5 ในกระบวนการเติมต่างซ้ำของน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่มีสีเข้ม พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ทำการเติมต่างซ้ำในน้ำมันปลาจากหัวปลาพ่น้ำพันธุ์โอแลบ โดยใช้ค่าเข้มข้น 40 องศาโบเม จำนวนร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักน้ำมันพบว่าค่าสีในระบบการ์ดเนอร์ ลดลงเล็กน้อย (จาก 13 ลดเหลือ 11) นอกจากนี้การเติมต่างซ้ำทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระและผลผลิตของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ลดลงเช่นกัน

ขั้นตอนการฟอกสี ขั้นตอนการฟอกสีมีผลต่อความเข้มของสีน้ำมันจากวัตถุดิบทั้งสองชนิด โดยพบว่า ค่าสีที่วัดได้จะลดลงจาก 8.46 เหลือ 4.89 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบ และจาก 65 เหลือ 31 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุก (ตารางที่ 9 และ 10) Petterson (1976) กล่าวว่าการศึกษาประสิทธิภาพดินฟอกสี สามารถเปรียบเทียบจากการใช้ในปริมาณที่ต่ำสุดแต่สามารถลดปริมาณสารตกค้าง เช่น รงควัตถุ สบู่ สารเหนียว และสารปนเปื้อน ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ระดับที่ใช้ต่ำสุดประมาณร้อยละ 0.2-0.4 สำหรับระดับสูงสุดใช้ประมาณร้อยละ 1.5-2.0 ปริมาณที่ใช้ขึ้นกับคุณภาพของน้ำมัน และประสิทธิภาพของดินฟอกสี ในการทดลองใช้การฟอกสีภายใต้สุญญากาศซึ่งมีข้อดีคือช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันกับออกซิเจน และช่วยลดระยะเวลาการฟอกสี (Bimbo, 1990) พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ใช้ดินฟอกสีร้อยละ 4 ของน้ำหนักน้ำมันและถ่านฟอกสีร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินฟอกสี ฟอกสีภายใต้สุญญากาศ กวนที่อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าสามารถลดสีในหน่วยการ์ดเนอร์ จาก 11 (ก่อนฟอกสี) เหลือ 9 (หลังฟอกสี) สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) ฟอกสีน้ำมันปลาโดยใช้ดินฟอกสีแอคติเวทเทอร์ พบว่าสามารถลดค่าสีโฟโตเมตริกจาก 14.66 เหลือ 4.99 นอกจากนี้ดินฟอกสีทำหน้าที่ดูดสารที่ให้สีแล้วยังสามารถดูดซับ เหล็ก และฟอสฟอรัสได้อีกด้วย (สุมาลัย ศรี

กำไลทอง และคณะ, 2538) การใช้ดินฟอกสีแอกติเวทเทอริทสามารถลดค่าเปอร์ ออกไซด์ได้เป็นอย่างดีเพราะเป็นดินฟอกสีที่ได้จากธรรมชาติและผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ด้วยการเติมกรด ทำให้ผิวหน้าของดินฟอกสีมีคุณสมบัติในการดูดซับสารได้ดีขึ้น (Hodgson, 1996) โดยทั่วไปดินฟอกสีที่เติมลงไปในน้ำมันจะดูดซับรังควัตถุ ก่อนที่จะดูดซับผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดินฟอกสีสูญเสียความสามารถในการฟอกสีเมื่อใช้เป็นเวลานานขึ้นเพราะการดูดซับรังควัตถุเป็นแบบไม่ย้อนกลับ อีกทั้งขั้นตอนการฟอกสีสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปลาทั้ง 2 ชนิด ถ้าน้ำมันมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันตกค้างต่ำ ความสามารถในการฟอกสีของดินฟอกสีจะเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้นในขั้นตอนการฟอกสี ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิในการฟอกสี (ประมาณ 90-100 องศาเซลเซียส) ทำให้เศษสบู่ที่ตกค้างในน้ำมันปลดปล่อยกรดไขมันอิสระออกมา และเมื่อสบู่สัมผัสกับดินฟอกสีแอกติเวทเทอริท มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันสูงขึ้น (Gunstone and Norris, 1983)

ผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาทั้ง 2 ชนิด ลดลงในขั้นตอนการฟอกสีโดยมีการสูญเสียร้อยละ 2.74 และ 3.03 ของน้ำหนักน้ำมันก่อนการฟอกสี สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากดินฟอกสีชนิดแอกติเวทเทอริท สามารถดูดซับน้ำมันได้สูงถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักดินฟอกสี (Patterson, 1976) ผลการทดลองครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับกับการทดลองของ อัยยา กังสุวรรณ และคณะ (2537) ซึ่งได้ใช้ดินฟอกสีและถ่านฟอกสีในการฟอกสีน้ำมันจากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ผ่านการนึ่ง พบว่ามีการสูญเสียน้ำมันจากขั้นตอนการฟอกสีร้อยละ 2.8 - 3.5

ขั้นตอนการแยกส่วนของไขมัน ขั้นตอนการแยกส่วนของไขมันสามารถแยกส่วนที่เป็นโอเลอินและสเตอรินจากน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี ส่งผลให้ค่าไอโอดีนในส่วนของโอเลอินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ในน้ำมันจากหัวปลาที่ดิบ (ค่าไอโอดีนเริ่มต้น 173.29) สามารถแยกส่วนที่เป็นโอเลอินได้ร้อยละ 63.98 วัดค่าไอโอดีนได้เท่ากับ 182.40 และส่วนสเตอรินได้ร้อยละ 33.38 วัดค่าไอโอดีนได้เท่ากับ 158.24 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุก (ค่าไอโอดีนเริ่มต้น 154.15) สามารถแยกส่วนโอเลอินได้ร้อยละ 55 วัดค่าไอโอดีนได้ 168.24 และ

ส่วนที่เป็นสเตอรินได้ร้อยละ 38.23 วัดค่าไอโอดีนได้เท่ากับ 139.80 การแยกส่วนไขมันเป็นการตกผลึกส่วนของแข็งสเตอรินออกจากส่วนของเหลวโอเลอินของน้ำมัน (Young, 1978) การแยกส่วนไขมันมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดแว็กซ์และสารที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์รวมทั้งช่วยแยกสารไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงที่พบในน้ำมันให้แยกออกจากน้ำมัน (Bimbo, 1990) จากการทดลองใช้ความเย็น 2 ขั้นตอนคือ การลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องลงเหลือ 12.7 องศาเซลเซียส และเก็บเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ไขมันเกิดผลึกจากนั้นลดเหลือ 7 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ผลึกน้ำมันคงตัวแล้วทำการแยกไขมันส่วนของเหลวและส่วนของแข็งแยกออกจากกัน อธิยา กังสุวรรณ และคณะ (2537) ได้แยกส่วนของไขมันจากน้ำมันห้วปลาสุกจากปลาช่อนำพันธุ์โอแถบ โดยใช้ความเย็น 2 ขั้นตอน คือ 12.7 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง และ 7 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง จะได้สเตอรินร้อยละ 33-35 โอเลอินซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการมีปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์และค่าสีลดลงเล็กน้อย โอเลอินจากน้ำมันจากห้วปลาดิบและห้วปลาสุก ให้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 48.27 และ 41.06 เมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น

ขั้นตอนการกำจัดกลิ่น ขั้นตอนการกำจัดกลิ่นมีผลต่อคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมัน กล่าวคือน้ำมันจากห้วปลาดิบ มีค่าสีลดลงจาก 3.94 เหลือ 2.84 ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงจาก 5.61 เหลือ 2.39 มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจากร้อยละ 0.12 เหลือ 0.10 น้ำมันจากห้วปลาสุกมีค่าสีลดลงจาก 27.40 เหลือ 13.41 ค่าเปอร์ออกไซด์ ลดลงจาก 13.42 เหลือ 8.34 มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจากร้อยละ 0.22 เหลือ ร้อยละ 0.17 น้ำมันมีค่าสีลดลงภายหลังจากการกำจัดกลิ่นเป็นผลเนื่องจากการให้ความร้อนในสภาพสุญญากาศมีผลต่อการฟอกสีน้ำมัน (Cowan, 1976) นอกจากนี้มีการให้อุณหภูมิร้อยละ 3 ของน้ำมันต่อชั่วโมงเพื่อป้องกันการเกิดสีเข้มขึ้นของน้ำมัน ระดับความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นมีผลต่อรงควัตถุบางชนิดเช่น สารกลุ่มคาโรทีนอยด์สามารถสลายตัวได้ดีเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้การใช้ความร้อนสูงร่วมกับปรับสภาวะของการกำจัดกลิ่นให้เหมาะสม สามารถกำจัดสารระเหยที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมัน โดยสารระเหยดังกล่าวต้องมีความดันย่อยเท่ากับหรือมากกว่าความดันไอของกรดไขมันพอลิเมติกและโอเลอิก ซึ่งจะถูกระบายออกไปควบคู่กับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน (Mounta, 1981) โดยทั่วไปการกำจัดกลิ่นสามารถลดกรดไขมันอิสระได้ถึง

ร้อยละ 0.01-0.03 แต่ไม่สามารถทำให้กรดไขมันอิสระมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.005 ได้ เนื่องจากเมื่อถึงจุดนี้ จะเกิดการไฮโดรไลซิสของน้ำมัน จากการปนไอน้ำเข้าไป (Gunstone and Normis, 1983) Maza และคณะ (1992) พบว่าการกำจัดกลิ่นที่ความดัน 0.1-0.5 มิลลิเมตรปรอท ถ้าใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส อัตราการปนไอน้ำร้อยละ 0.5 ต่อชั่วโมง จะให้ผลิตภัณฑ์ ที่มีกรดไขมันอิสระตกค้างมาก และถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (260 องศาเซลเซียส) อัตราการปนไอน้ำสูงขึ้น (ร้อยละ 2 ต่อชั่วโมง) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกรดไขมันอิสระต่ำสุด โดยทั่วไปภายหลังจากการกำจัดกลิ่นน้ำมันควรมีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0 มก.สมมูลต่อ กก. น้ำมัน (Mounts, 1981) ส่วน Pelura (1987) พบว่า การกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดอัลดีไฮด์และไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ และการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดสารพวกอะโรมาติกและไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่สลายจากสารคาร์โรทีนอยด์ ในการกำจัดกลิ่นในการศึกษาครั้งนี้ใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีข้อจำกัดของประสิทธิภาพของอุปกรณ์กำจัดกลิ่น จึงไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูง และระบบการปนไอน้ำยังไม่ดีพอ ส่งผลให้มีออกซิเจนหลงเหลือในระบบ ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เท่ากับ 0 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน Linsay (1989) พบว่าการกำจัดกลิ่นในสภาวะสูญญากาศ โดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และได้รับแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่อุณหภูมิห้อง สามารถกำจัด hexanal 2,4-heptadienals และ 2,4-decadienale น้ำมันปลา มีสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรตีนเชื่อมโยงกับ mercaptanes และเป็นส่วนประกอบของกรดไขมันที่ซัลเฟอร์ การที่มีองค์ประกอบซัลเฟอร์ดังกล่าวจึงทำให้น้ำมันมีกลิ่น ซึ่งจากการกำจัดกลิ่นน้ำมันปลาโดย สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ไม่พบสารซัลเฟอร์ภายหลังกระบวนการกำจัดกลิ่นน้ำมัน

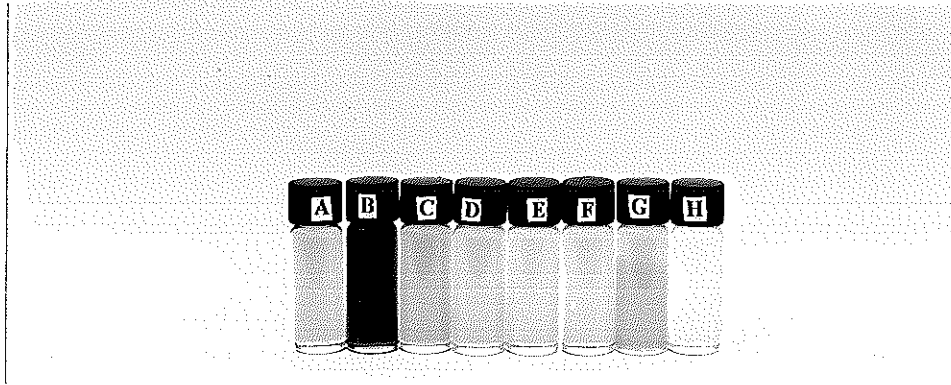
น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น ควรมีกรดไขมันอิสระเพียงร้อยละ 0.02-0.05 (Mounts, 1981) จากการทดลองพบว่าน้ำมันที่ได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.10-0.17 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันบางส่วนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยไอน้ำ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระระหว่างการกำจัดกลิ่น และชุดกำจัดกลิ่นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะระเหยกรดไขมันให้กลายเป็นไอทั้งหมด

ผลผลิตน้ำมันบริสุทธิ์เท่ากับร้อยละ 46.72 และ 40.34 ของน้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ ลักษณะปรากฏของน้ำมันดิบจากปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งผ่านการทำบริสุทธิ์ตามขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 26 และ 27

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมี กายภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากชั้นตอนต่างๆ ใน  
กระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ

ชั้นตอน	ปริมาณกรด ไขมันอิสระ (ร้อยละของกรด โอเลอิก)	ค่าเปอร์ ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน)	ค่าสี	ค่าไอโอดีน (ก.ไอโอดีนต่อ กก.น้ำมัน)	ผลผลิต (ร้อยละ)
น้ำมันดิบ	2.84 ± 0.17 *	35.39 ± 2.55	15 ± 1.02	175.19 ± 4.57	100
การกำจัดสาร เหนียว	2.97 ± 0.20	32.43 ± 2.11	วัดไม่ได้	-	95.87 ± 2.12
การกำจัดกรด ไขมันอิสระ	0.12 ± 0.02	9.48 ± 1.02	13.43 ± 1.07	-	89.76 ± 1.74
การเติมด่างซ้ำ	0.10 ± 0.015	7.58 ± 0.78	8.46 ± 1.77	-	77.57 ± 1.33
การฟอกสี	0.15 ± 0.017	5.63 ± 0.15	4.89 ± 1.18	173.29 ± 3.75	75.44 ± 2.74
การแยกส่วน ของไขมัน					
- โอเลอีน	0.12 ± 0.012	5.61 ± 0.17	3.94 ± 0.89	182.40 ± 4.06	48.27 ± 1.56
- สเตียรีน	0.10 ± 0.009	5.47 ± 0.14	4.79 ± 0.53	158.24 ± 3.18	25.18 ± 1.32
การกำจัดกลิ่น	0.10 ± 0.015	2.39 ± 0.07	2.84 ± 0.37	180.49 ± 3.06	46.72 ± 1.19

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ



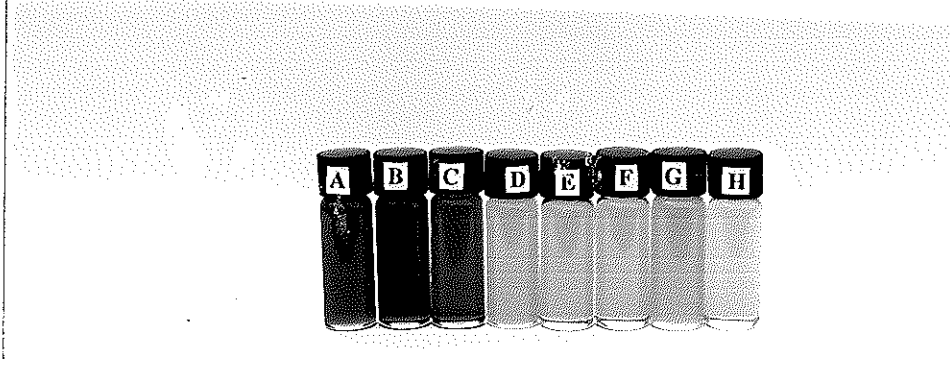
ภาพที่ 26 ลักษณะปรากฏของน้ำมันจากหัวปลาดิบจากปลาช่อนำพันธุ์โอแถบ ซึ่งผ่าน  
การทำบริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน

หมายเหตุ A = น้ำมันดิบ  
B = น้ำมันผ่านการกำจัดสารเหนียว  
C = น้ำมันผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ  
D = น้ำมันผ่านการเติมด่างซ้ำ  
E = น้ำมันผ่านการฟอกสี  
F = น้ำมันโอเลอิน  
G = น้ำมันสเตียริน  
H = น้ำมันผ่านการกำจัดกลิ่น

ตารางที่ 10 สมบัติทางเคมี ภายภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำมันจากชั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาช่อนนำพันธุ์โอแถบ

ชั้นตอน	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดไขมันอิสระ)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน)	ค่าสี	ค่าไอโอดีน (ก.ไอโอดีนต่อ กก.น้ำมัน)	ผลผลิต (ร้อยละ)
น้ำมันดิบ	2.27 ± 0.12	213.40 ± 7.10	120 ± 1.49	161.27 ± 3.51	100
การกำจัดสารเหนียว	2.48 ± 0.15	197.13 ± 6.93	วัดไม่ได้	-	90.21 ± 2.09
การกำจัดกรดไขมันอิสระ	0.27 ± 0.01	89.26 ± 4.75	102 ± 1.37	-	86.28 ± 1.82
การเติมด่างซ้ำ	0.24 ± 0.017	36.87 ± 1.45	65.00 ± 2.23	-	76.98 ± 1.28
การฟอกสี	0.28 ± 0.012	13.92 ± 1.26	31.00 ± 0.87	154.15 ± 2.61	74.65 ± 1.78
การแยกส่วนของไขมัน					
- ไอโอดีน	0.25 ± 0.014	13.42 ± 1.75	27.40 ± 0.85	168.24 ± 1.25	41.06 ± 2.19
- สเตียริน	0.22 ± 0.008	12.67 ± 1.27	30.15 ± 1.49	139.80 ± 1.95	28.54 ± 2.17
การกำจัดกลิ่น	0.17 ± 0.007	8.34 ± 0.85	13.41 ± 0.90	167.72 ± 2.08	40.34 ± 1.04

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏของน้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งผ่านการ  
ทำบริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน

หมายเหตุ A = น้ำมันดิบ B = น้ำมันผ่านการกำจัดสารเหนียว  
C = น้ำมันผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ D = น้ำมันผ่านการเติมด่างซ้ำ  
E = น้ำมันผ่านการฟอกสี F = น้ำมันโอเลอิน  
G = น้ำมันสเตียริน H = น้ำมันผ่านการกำจัดกลิ่น

#### 4. ศึกษาสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่า

น้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ที่ผ่านการแยกด้วยวิธีที่เหมาะสมในข้อ 2 และน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ในข้อ 3 มีสมบัติทางเคมีและกายภาพและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

##### 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลา

สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก แสดงดังตารางที่ 11 และ 12 ค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์สูงกว่าน้ำมันดิบ เพราะการทำบริสุทธิ์ผ่านกระบวนการแยกส่วนของไขมัน แยกน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกไปและมักเป็นพวกที่มีค่าไอโอดีนต่ำ ค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบมีค่าเท่ากับ 174.64 และ 180.52 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก มีค่าเท่ากับ 161.19 และ 167.72 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน ในมาตรฐานสำหรับน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ มักไม่กำหนดค่าไอโอดีน เพราะเป็นคุณสมบัติเฉพาะชนิดปลาต่างๆ เช่น น้ำมันดิบของปลาเมนฮาเดน ปลาซาร์ดีนและปลาแองโชวี มีค่าไอโอดีน 150-200 160-200 และ 180-200 ตามลำดับ

ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันจากหัวปลาดิบมีค่าสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาสุก เพราะหัวปลาสุก ผ่านความร้อนสูงในการนึ่งปลา ทำให้ความยาวโซ่ของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์มีสายสั้นลง ทำให้มีค่าสะปอนิฟิเคชันสูงขึ้น (Hadziyer, 1987) และความร้อนอาจทำให้มีการปลดปล่อยฟอสโฟไลปิดจากเมมเบรนในปริมาณสูงขึ้น ซึ่งสารฟอสโฟไลปิดสามารถทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีค่าสะปอนิฟิเคชันสูงขึ้น (Hadziyer, 1987) ค่าสะปอนิฟิเคชันจากน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบ มีค่า 188.17 และ 186.42 มก. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน ตามลำดับ ค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาสุก มีค่า 223.21 และ 220.15 มก. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันปลาทั้ง 4 ชนิด พบว่าน้ำมันดิบมีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้สูงกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ และน้ำมันจากหัวปลาสุกมีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้สูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ โดยสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบจากหัว

ปลาดิบและหัวปลาสุก น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก มีค่าร้อยละ 0.97 4.05 0.08 และ 0.14 ของน้ำหนักน้ำมัน ตามลำดับ น้ำมันดิบจากตับปลาพุงนำพันธุ์โอแถบมีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ร้อยละ 2.72 เมื่อสกัดโดยวิธีซอกเทลโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย และร้อยละ 2.45 เมื่อสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer (ถาวร จันทโชติ, 2540) สำหรับสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบจากน้ำนิ่งปลาพุงนำมีค่าร้อยละ 0.95 (สมบัติ รุ่งศิลป์, 2541) และร้อยละ 0.84 (สุมาลัย ศรีกำไลทอง, 2538) สำหรับน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาพุงนำพันธุ์โอแถบ มีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ร้อยละ 1.85 ของน้ำหนักน้ำมัน จากการแยกน้ำมันโดยใช้สกรูเพรสในการบีบอัด (พรทิพย์ แซ่เตี๋ย, 2537) สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์ จะมีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ลดลง เนื่องจากกระบวนการต่างๆในการทำบริสุทธิ์มีผลในการกำจัดสารดังกล่าว

ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก และน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก มีค่าร้อยละ 2.84 2.27 0.10 และ 0.17 ของกรดโอเลอิกตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวไม่ได้เกินมาตรฐานที่กำหนดสำหรับน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์และมีค่าต่ำกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกซึ่งทำการแยกโดย พรทิพย์ แซ่เตี๋ย (2537) (ร้อยละ 3.51 ของกรดโอเลอิก)

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำมันปลาดิบ ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 3-20 มก.สมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน (Bimbo, 1990) ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการแยกน้ำมันโดยบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส ของเหลวที่ได้ตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติประมาณ 15 นาที แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อตั้งทิ้งไว้ให้น้ำมันแยกชั้น ก่อนนำไปเหวี่ยงแยกน้ำมัน ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูง ถึง 35.62 และ 213.40 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน สำหรับน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน โดยน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 2.04 และ 8.34 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันบริโภคได้ โดยไม่สูงกว่า 10 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมันค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากหัวปลาสุกสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ อันเป็นผลจากการได้รับความร้อนซ้ำในกระบวนการนี้ในโรงงานแปรรูปปลาพุงนำกระป๋อง เมื่อมาผ่านความร้อนซ้ำในการแยกน้ำมันส่งผลให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากโปรออกซิแดนซ์ซึ่งถูกปลดปล่อยจากการให้ความร้อนในครั้งแรกทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นมาก

ความชื้นของน้ำมันดิบมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (ร้อยละ 0.5-1.0) โดยน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก มีความชื้นร้อยละ 0.068 และ 0.501 ตามลำดับ เนื่องจากการแยกน้ำมันดิบใช้การเหวี่ยงแยกน้ำมันด้วยความเร็วรอบสูงถึง 10,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที ทำให้น้ำแยกออกจากร้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความชื้นมีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน ทั้งนี้เพราะความชื้นสามารถเร่งให้เกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Mouts and List, 1996)

น้ำมันดิบจากหัวปลาดิบ มีสีอ่อนกว่าน้ำมันจากหัวปลาสุก และกระบวนการทำบริสุทธิ์สามารถลดค่าสีน้ำมันได้ โดยพบว่าสามารถลดค่าสีได้ร้อยละ 81.1 และ 88.8 สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ ค่าสีเป็นการวัดความเข้มขุ่นของสีของน้ำมัน ปกติจะใช้วัดสีน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน แต่สามารถนำมาดัดแปลงใช้กับน้ำมันปลาได้ โดยมีสหสัมพันธ์กับค่าที่วัดโดยระบบโลวิบอนส์ถึง 0.993 (AOCS, 1987)

ดัชนีหักเหของแสงของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีค่า 1.4840 1.4825 1.4849 และ 1.4832 ตามลำดับ โดยทำการวัดที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ค่าดัชนีหักเหของแสงที่สูงแสดงว่าน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลสูง ถาวร จันทโชติ (2540) วิเคราะห์ดัชนีหักเหของแสงของน้ำมันดิบจากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่แยกโดยวิธี Bligh and Dyer ได้เท่ากับ 1.4771

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

สมบัติ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันปลา โดย Bimbo (1990)	น้ำมันจากน้ำมัน ปลา(สมบัติ รุ่ง ศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำมัน ปลา(สุมาลัย ศรี กำไลทอง, 2538)	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ(พรทิพย์ แซ่เตีย, 2537)
<b>สมบัติทางเคมี</b>						
-ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน)	174.67	161.19	160-200 (ปลาซาร์ดีน)	191.63	184.44	173.95
-ค่าสะปอนิฟิเคชัน (มก. โพลีเอทเธนไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน)	188.17	223.21	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	193.69	185.54
-สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน)	0.97	4.05	ไม่รายงาน	0.95	0.84	1.58
-ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก)	2.84	2.27	2-5	1.51	1.03	3.51
-ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก. สมมูลต่อกก.น้ำมัน)	35.62	213.40	3-20	16.29	89.18	64.67
-ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน)	0.068	0.501	0.5-1.0	1.8	0.21	0.88

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ (ต่อ)

สมบัติ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันปลา โดย Bimbo (1990)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สมบัติ รุ่ง ศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สุมาลัย ศรี คำไลทอง, 2538)	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ(พรทิพย์ แซ่เตีย, 2537)
สมบัติทางกายภาพ						
-ค่าสีโฟโตเมตริก	15.01	120.00	12-14 (หน่วยคาร์ดินอร์)	วัดค่าไม่ได้	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-ดัชนีหักเหของแสง (ที่ อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส)	1.4840	1.4825	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน

ตารางที่ 12 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูลำพันธุ์โอแถบ

สมบัติ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันบริโภคนอก.-2516	น้ำมันจากน้ำนิ่งปลา(สมบัติ รุ่ง ศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำนิ่งปลา(สุมาลัย ศรี คำไลทอง, 2538)	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ(พรทิพย์ แซ่เตี้ย, 2537)
<b>สมบัติทางเคมี</b>						
-ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมไขมัน)	180.52	167.72	ไม่กำหนด	187.81	185.00	184.18
-ค่าสะปอนิฟิเคชัน (มก. โพลีแซตเทอริซึมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน)	186.42	220.15	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	193	184.53
-สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน)	0.08	0.114	<0.005	0.39	0.73	1.26
-ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก)	0.10	0.17	<0.60	0.09	0.13	0.27
-ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก. สมมูลย์ต่อกก.ไขมัน)	2.04	8.34	<10.00	0.29	5.00	3.56
-ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน)	0.016	0.043	<0.2	0.05	0.03	0.056

ตารางที่ 12 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (ต่อ)

สมบัติ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันบริโกล มอก.-2516	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สมบัติ รุ่ง ศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สุมาลัย ศรี กำไลทอง, 2538)	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ(พรทิพย์ แซ่เตีย, 2537)
<b>สมบัติทางกายภาพ</b>						
-ค่าสีโฟโตเมตริก	2.83	13.41	ไม่รายงาน	5.82	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-ดัชนีหักเหของแสง (ที่ อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส)	1.4849	1.4832	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน

#### 4.2 องค์ประกอบของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์

น้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคีบและหัวปลาสุกมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบด้วย นิวทรัลไลปิด ฟอสโฟไลปิด โลหะต่างๆ เช่น เหล็ก อาร์เซนิก ทองแดง ตะกั่วฟอสฟอรัส ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 13 และ 14

นิวทรัลไลปิดเป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ (ร้อยละ 95.01-95.26) นิวทรัลไลปิดส่วนใหญ่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมัน นิวทรัลไลปิดมีปริมาณสูงขึ้นในน้ำมันบริสุทธิ์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบอื่นๆ โดยเฉพาะ ฟอสโฟไลปิดถึงกำจัดในกระบวนการทำบริสุทธิ์ ส่งผลให้สัดส่วนของนิวทรัลไลปิดสูงขึ้น (ร้อยละ 99.50-99.71) ค่าดังกล่าวสามารถบ่งบอกความบริสุทธิ์ของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นภายหลังกระบวนการทำบริสุทธิ์

ปริมาณฟอสโฟไลปิดในน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบ มีค่าสูงกว่าปริมาณฟอสโฟไลปิดในน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก การให้ความร้อนซ้ำซ้อนมีผลเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์เมมเบรน ส่งผลให้มีการปลดปล่อยฟอสโฟไลปิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรนที่สำคัญ ฟอสโฟไลปิดเป็นสารประกอบจำพวกไขมันที่มีหมู่ฟอสเฟตในโมเลกุลและเชื่อมต่อกับหมู่ที่มีองค์ประกอบไนโตรเจน เช่น ฟอสโฟติคิลโคลีน ฟอสฟาติคิลอินโนซิทอล (Stanby, 1990) กระบวนการกำจัดสารเหนียว สามารถกำจัดฟอสโฟไลปิดได้น้ำมันบริสุทธิ์ที่ได้จากหัวปลาคีบและหัวปลาสุก มีปริมาณฟอสโฟไลปิดร้อยละ 0.18 และ 0.37 ของน้ำหนักน้ำมัน ตามลำดับ ปริมาณฟอสโฟไลปิดที่เหลืออาจเกิดจากการกำจัดสารฟอสฟาไทด์โดยกระบวนการกำจัดสารเหนียวไม่สมบูรณ์หรืออาจเนื่องจากการหาฟอสโฟไลปิด โดยวิธี Low และ Ng (1987) ใช้หลักความแตกต่างของความมีขี้ของสาร ปกติน้ำมันไม่มีขี้ ยกเว้นฟอสโฟไลปิด แต่ถ้าน้ำมันเกิดออกซิเดชัน สามารถเปลี่ยนเป็นรูปมีขี้ได้เช่นกัน (Nawar, 1992) ส่งผลให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

เหล็กในน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบและหัวปลาสุกมีปริมาณสูงถึง 0.918 และ 0.964 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐานของน้ำมันดิบที่กำหนดเท่ากับ 0.5-0.7 ส่วนในล้านส่วน (Bimbo, 1990) เหล็กเป็นโลหะที่มีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยเป็นสารโปรออกซิเดนท์ที่เร่งการสร้างอนุมูลอิสระเริ่มต้นของสารกลุ่มอัลคีน ทำให้เกิดการเหนียว นำปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน (Gunstone and Norris, 1983) ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบจากหัวปลาคีบต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และในน้ำมันดิบไม่พบอาร์เซนิกและตะกั่ว

เมื่อทำบริสุทธิ์น้ำมันพบว่าปริมาณโลหะต่างๆมีค่าลดลงหรือเข้าใกล้เกณฑ์มาตรฐานมากขึ้น สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) พบว่า กระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมัน ในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง สามารถลดปริมาณเหล็ก จาก 17.48 เหลือ 2.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขั้นตอนการฟอกสี โดยใช้แอกติเวทเตทเอิร์ทสามารถลดปริมาณโลหะในน้ำมันได้ (Bimbo, 1990)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

องค์ประกอบ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันปลา โดย Bimbo (1990)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สมบัติ รุ่งศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สุมาลัย ศรี คำไลทอง, 2538)
-นิวทรัลไลปิด (ร้อยละ ของน้ำหนักน้ำมัน)	95.26	95.01	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-ฟอสโฟไลปิด (ร้อยละ ของน้ำหนักน้ำมัน)	4.72	4.98	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	0.918	0.964	0.5-0.7	5.19	4.41
-อาร์เซนิก (ส่วนในล้าน ส่วน)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	0.83
-ทองแดง (ส่วนในล้าน ส่วน)	0.024	0.018	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	<0.001
-ตะกั่ว (ส่วนในล้านส่วน)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่รายงาน	<0.05	0.40
-ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้าน ส่วน)	1.081	1.249	5-100	30.39	ไม่รายงาน

ตารางที่ 14 องค์ประกอบของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

องค์ประกอบ	น้ำมันจากหัวปลา ดิบ	น้ำมันจากหัวปลา สุก	น้ำมันปลา โดย Bimbo (1990)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สมบัติ รุ่งศิลป์, 2541)	น้ำมันจากน้ำนิ่ง ปลา(สุมาลัย ศรี คำไลทอง, 2538)
-นิวทรัลไลปิด (ร้อยละ ของน้ำหนักน้ำมัน)	99.71	99.50	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-ฟอสโฟไลปิด (ร้อยละ ของน้ำหนักน้ำมัน)	0.18	0.37	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
-เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	0.378	0.835	<2.5	1.59	0.73
-อาร์เซนิก (ส่วนในล้าน ส่วน)	ไม่พบ	ไม่พบ	<0.1	ไม่รายงาน	ไม่พบ
-ทองแดง (ส่วนในล้าน ส่วน)	0.009	0.014	<0.1	ไม่รายงาน	0.002
-ตะกั่ว (ส่วนในล้านส่วน)	ไม่พบ	ไม่พบ	<0.1	ไม่รายงาน	<0.07
-ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้าน ส่วน)	0.447	0.503	ไม่กำหนด	37.78	ไม่รายงาน

#### 4.3 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันจากหัวปลาทูน่า

ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบ และหัวปลาสุกแสดงดังตารางที่ 15 และ 16 เมื่อพิจารณากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบว่าน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่ามีปริมาณกรดพาล์มิติก (C 16:0) สูงสุด คือร้อยละ 27.9-30.3 และ 26.10-29.4 ตามลำดับ กรดไขมันอีเอชเอ (C 22:6) เป็นองค์ประกอบสำคัญรองลงมา ตามด้วยกรดโอเลอิก (C 18:1) น้ำมันจากหัวปลาทูน่าประกอบด้วยกรดลิโนเลนิก (C 18:3) ในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0.5-0.6) และไม่พบกรดไขมันที่มีความยาวคาร์บอนน้อยกว่า 12 น้ำมันบริสุทธิ์มีองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงชัน เนื่องจากขั้นตอนการแยกส่วนไขมันในกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลา มีผลให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูงขึ้นอย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอีพีเอของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีค่าร้อยละ 0.1 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณกรดไขมันอีพีเอของน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบจากการศึกษาของ พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ซึ่งมีอีพีเอร้อยละ 6.9 ของกรดไขมันทั้งหมดแต่กรดไขมันชนิดซีเอเอของน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีค่าร้อยละ 18.8 และ 25.5 ส่วนน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีอีพีเอร้อยละ 0.1 และ 0.3 และ ซีเอเอร้อยละ 20.3 และ 27.4 ตามลำดับ โดยน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งรายงานโดย พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) มีอีพีเอร้อยละ 7.7 และซีเอเอร้อยละ 26.6 ปริมาณกรดไขมันที่พบในน้ำมันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น อายุปลา ชนิดปลา และตำแหน่งของกล้ามเนื้อ เป็นต้น

กรดไขมันอีเอชเอเป็นกรดไขมันที่พบมากในปลาทูน่าชนิด *Euthynnus Thunnus* และ *Auxis* ซึ่งพบในกล้ามเนื้อและอวัยวะของปลาทูน่าดังกล่าว โดยมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 20 ของกรดไขมันทั้งหมด (Saito, 1997) ถาวร จันทโชติ (2540) วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (สกัดน้ำมันโดยวิธี Bligh and Dyer) โดยกรดไขมันที่พบมากได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดพาล์มิติก ร้อยละ 48.06 กรดสเตียริกร้อยละ 11.37 และพบกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดไขมันอีพีเอร้อยละ 0.86 แต่ไม่พบกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดซีเอเอ สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) พบว่าในน้ำมันดิบจากน้ำนิ่งปลาทูน่า มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 36.4 เช่น กรดอีพีเอร้อยละ 7.7 กรดไขมันอีเอชเอร้อยละ 28.4 และในน้ำมันบริสุทธิ์จากน้ำนิ่งปลาทูน่า มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 37.8 เช่น กรดอีพีเอร้อยละ 7.7 กรดไขมันอีเอชเอร้อยละ 27.9

ตารางที่ 16 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

องค์ประกอบกรดไขมัน	น้ำมันจาก หัวปลาดิบ <sup>a</sup>	น้ำมันจาก หัวปลาสุก <sup>a</sup>	น้ำมันจาก หัวปลาทูน่า สุก (พรทิมย์ แซ่ต้อย, 2537)	น้ำมันจาก น้ำนิ่งปลา (สุมาลัย ศรีคำไล ทอง, 2538)	น้ำมันจาก น้ำนิ่งปลา (สมบัติ รุ่งศิลป์, 2541)
Caproic C6:0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Caprylic C8:0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Capric C10:0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Lauric C12:0	0.2	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Myristic C14:0	5.9	4.8	3.2	3.3-4.4	4.3
Pentadecanoic C15:0	1.9	1.5	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Palmitic C16:0	29.4	26.1	18.9	21.5-23.2	24.9
Palmitoleic C16:1	6.4	5.1	6.2	5.4-6.1	4.4
Steric C18:0	7.4	6.8	5.2	5.5-6.7	7.1
Oleic C18:1	15.9	14.5	17.1	12.5-5.5	14.1
Linoleic C18:2	2	2	2.6	2.4-2.8	2.7
Linolenic C18:3	0.6	0.5	0.6	0.3-0.6	ไม่รายงาน
Octadecatetraenoic C18:4	2.1	2.2	ไม่รายงาน	0.6-0.8	ไม่รายงาน
Arachidic C20:0	0.5	0.4	1.1	0.3-0.5	ไม่รายงาน
Gadoleic C20:1	1.8	1.9	1.9	0.7-2.0	ไม่รายงาน
Eicosapentaenoic C20:5	0.1	0.3	7.7	3.7-5.4	7.7
Behenic C22:0	5.5	6.4	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Erucic C22:1	0	0.1	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Docosahexaenoic C22:6	20.3	27.4	26.6	19.7-22.4	27.9
Lignoceric C24:0	0	0	ไม่รายงาน	0.1-0.40.1- 0.4	ไม่รายงาน

หมายเหตุ <sup>a</sup> - ส่องวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

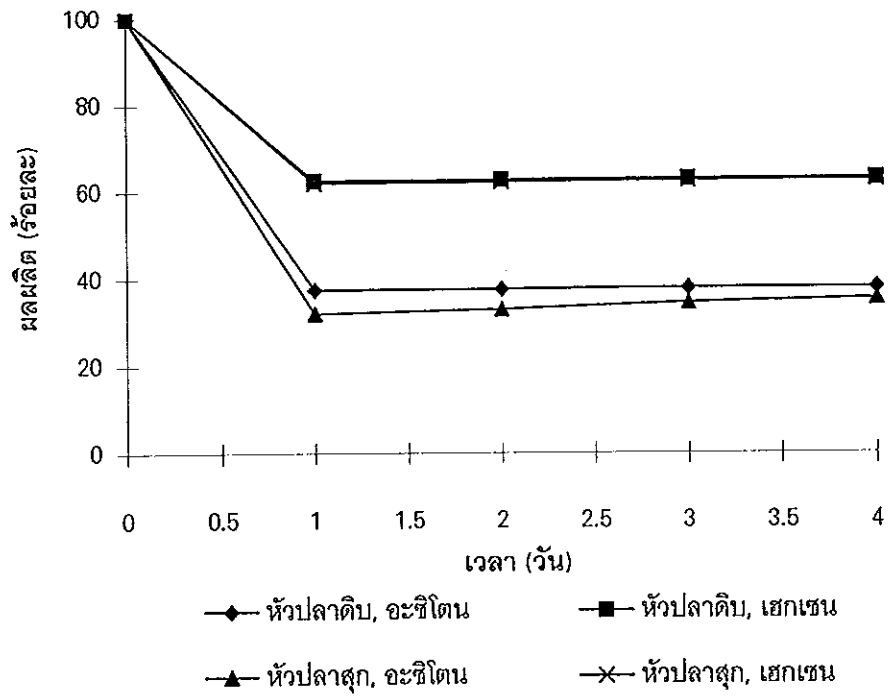
## 5. ศึกษาการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่า

### 5.1 ผลของตัวทำละลายและระยะเวลาต่อการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

การเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก(ในการทดลองข้อ 3) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีผลต่อผลผลิตที่ได้และค่าไอโอดีน ดังภาพที่ 28 และ 29 ตามลำดับ

#### ผลผลิตน้ำมัน

ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันบริสุทธิ์เริ่มต้น แต่ผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกซึ่งทำการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในตัวทำละลายชนิดเดียวกันไม่แตกต่างตลอดการเก็บ 1 2 3 และ 4 วัน ( $P>0.05$ ) อย่างไรก็ตามการเพิ่มสัดส่วนโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตนให้ผลผลิตน้ำมันน้อยกว่าการใช้เฮกเซน ( $P<0.05$ ) อะซิโตนสามารถละลายไตรกลีเซอไรด์ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดีกว่าเฮกเซน และเฮกเซนจะละลายพวกไขมันอิ่มตัวได้ดีกว่าอะซิโตน (Young *et al.*, 1992) เนื่องจากน้ำมันปลาที่มีกรดไขมันอิ่มตัว เช่น ปาล์มติก ไมริสติก สเตียริก ในปริมาณสูง ทำให้เฮกเซนสามารถละลายองค์ประกอบดังกล่าวได้สูง ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้อะซิโตน เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน พบว่าน้ำมันปลาบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบจะให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก โดยพิจารณาจากค่าไอโอดีนเริ่มต้น ส่งผลให้กรดไขมันอิสระดังกล่าวออกมามากขึ้น ผลผลิตจึงเพิ่มขึ้น Moffat และคณะ (1993) พบว่า การใช้อะซิโตนที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียสสามารถละลายพวกกรดไขมันลิโนเลอิกและลิโนเลนิกได้ดี การละลายของพวกไขมันซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว เช่น ไตรคาพริน(tricaprin) ไตรลอรีน(trilaurin) และไตรไมริสทิน(trimyristin) ในอะซิโตนจะลดลงเมื่อความยาวโซ่กรดไขมันเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีพันธะคู่อยู่ 1 พันธะ เช่น ไตรโอเลอีน(triolein) จะทำให้การละลายในอะซิโตนเพิ่มขึ้น เมื่อกรดไขมันมีระดับความไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น เช่น ไตรโอเลนิน(trilinolenin) จะทำให้การละลายในอะซิโตนดีขึ้น

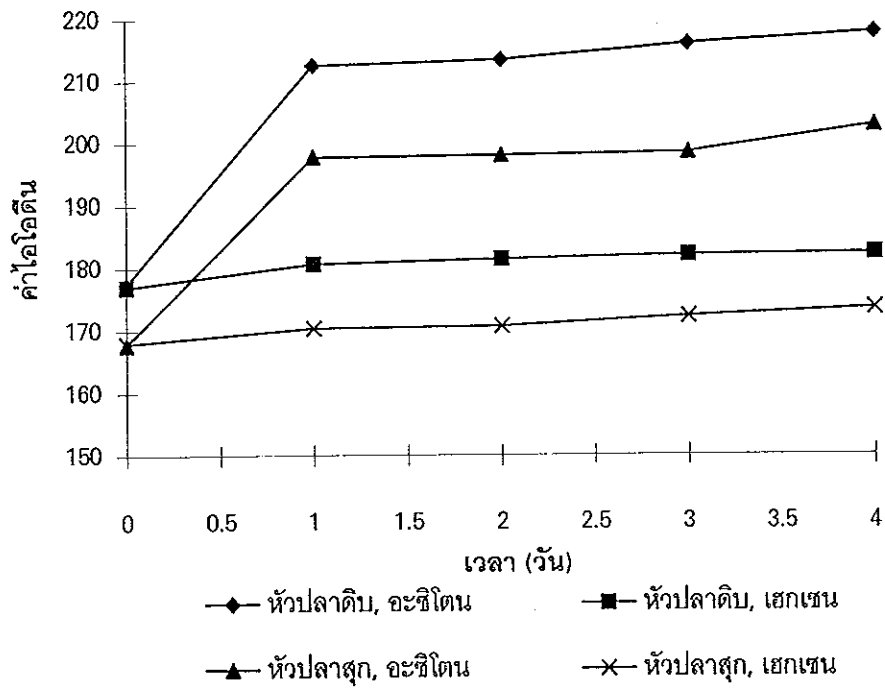


ภาพที่ 28 ผลผลิตน้ำมันบริสุทธิ์ซึ่งผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ค่าไอโอดีน

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนจากภาพที่ 29 พบว่าน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตนและเฮกเซน มีค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้นในวันแรก ( $P < 0.05$ ) แต่ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นเวลา 1 ถึง 4 วันไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในตัวทำละลายอะซิโตนสูงกว่าน้ำมันที่เพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นอะซิโตนมีความสามารถในการละลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดีกว่าเฮกเซน นอกจากนี้อะซิโตนสามารถสกัดกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอีพีเอและดีเอชเอซึ่งเป็นไขมันที่มีขี้ได้ดี จากรายงานของ Yang และคณะ (1992) พบว่าอะซิโตนมีประสิทธิภาพในการสกัดกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอีพีเอและดีเอชเอ จากสเคียรินของน้ำมันจากเครื่องในปลาหมึกสูงกว่าเฮกเซน เนื่องจากอะซิโตนที่ใช้ในการสกัดมีความเป็นขี้สูง ประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดมีความเป็นขี้ที่แตกต่างกัน อะซิโตนมีขี้สูงและสามารถสกัดได้ (Christie, 1982)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายอะซิโตนในการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้ผลผลิตต่ำกว่าการใช้ตัวทำละลายเฮกเซน แต่การใช้ตัวทำละลายอะซิโตนให้ค่าไอโอดีนสูงกว่า จึงเลือกตัวทำละลายอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม และใช้เวลาในการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นเวลา 1 วัน



ภาพที่ 29 ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน)ของน้ำมันบริสุทธิ์ซึ่งผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

## 5.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

จากการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน (เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน) แสดงดังตารางที่ 17 พบว่าน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก เมื่อเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน มีผลให้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีปริมาณลดลงในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ยกเว้นกรดเบเฮนิก (C22:0) ของน้ำมันจากหัวปลาสุก เพิ่มขึ้น 1.33 เท่า สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้เพิ่มปริมาณขึ้นหลังจากที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปลาทั้ง 2 ชนิด อย่างไรก็ตามเมื่อกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นมากกว่าหรือเท่ากับ 20 อะตอม พบว่าปริมาณกรดไขมันเพิ่มน้อยมาก ยกเว้นกรดดีเอชเอของน้ำมันจากหัวปลาสุกได้เพิ่มขึ้น 1.24 เท่าของน้ำมันก่อนเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบ พบว่าไม่มีการเพิ่มของกรดดีเอชเอ แต่จะมีการเพิ่มของกรดโอเลอิก (C 18:1) เท่ากับ 1.23 เท่า ดังนั้นการใช้สารละลายอะซิโตนจึงไม่มีความจำเพาะในการละลายกรดไขมันแต่ละชนิด แต่อาจขึ้นกับโครงสร้างของไขมันและกรดไขมันซึ่งมีผลต่อการละลาย Moffat และคณะ (1993) ทำการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปลาชาร์ดิน และน้ำมันปลาไวท์ (white fish oil) ทำเป็นหยดเล็กๆ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว แล้วแช่ในตัวทำละลายอะซิโตนที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 ชั่วโมง พบว่า ให้ผลผลิต ร้อยละ 26 และ 9.2 ตามลำดับ และปริมาณกรดอีพีเอและดีเอชเอ เพิ่มขึ้น 1.54 และ 2.14 เท่า ของน้ำมันก่อนเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันที่ได้มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าหรือเท่ากับ 2 คู่

ตารางที่ 17 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูนำพันธุ์โอแลบก่อนและหลังการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

องค์ประกอบกรดไขมัน	น้ำมันจากหัวปลาดิบ		น้ำมันจากหัวปลาสุก		น้ำมันปลาซาร์ดีน <sup>a</sup>		น้ำมันปลาไวท์	
	ก่อนเพิ่ม <sup>b</sup>	หลังเพิ่ม <sup>c</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>b</sup>	หลังเพิ่ม <sup>c</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>b</sup>	หลังเพิ่ม <sup>c</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>b</sup>	หลังเพิ่ม <sup>c</sup>
Caproic C6:0	0	0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Caprylic C8:0	0	0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Capric C10:0	0	0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Lauric C12:0	0.2	0.3	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Myristic C14:0	5.9	5.3	4.8	3.9	6.7	2.6	6.1	1.4
Pentadecanoic C15:0	1.9	1.7	1.5	1.2	0	0	0	0
Palmitic C16:0	29.4	26.2	26.1	18.6	19.0	1.8	13.6	1.2
Palmitoleic C16:1	6.4	7.9	5.1	6.3	8.8	10.8	5.3	5.3
Steric C18:0	7.4	6.4	6.8	4.6	3.4	0	2.3	0
Oleic C18:1	15.9	19.6	14.5	14.9	17.1	16.7	16.6	16.2
Linoleic C18:2	2.0	2.2	2.0	2.2	1.1	1.4	1.8	1.9
Linolenic C18:3	0.6	0.6	0.5	0.8	0.1	0.9	1.1	1.3
Octadecatetraenoic C18:4	2.1	2.2	2.2	2.8	2.6	4.4	3.6	6.6
Arachidic C20:0	0.5	0.4	0.4	0.3	0	0	0	0
Gadoleic C20:1	1.8	2.2	1.9	1.5	2.5	1.8	7.8	3.2

ตารางที่ 17 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบก่อนและหลังการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว(ต่อ)

องค์ประกอบกรดไขมัน	น้ำมันจากหัวปลาดิบ		น้ำมันจากหัวปลาสุก		น้ำมันปลาซาร์ดีน <sup>ก</sup>		น้ำมันปลาไวท์ <sup>ก</sup>	
	ก่อนเพิ่ม <sup>ข</sup>	หลังเพิ่ม <sup>ค</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>ข</sup>	หลังเพิ่ม <sup>ค</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>ข</sup>	หลังเพิ่ม <sup>ค</sup>	ก่อนเพิ่ม <sup>ข</sup>	หลังเพิ่ม <sup>ค</sup>
Eicosapentaenoic C20:5	0.1	0.1	0.3	0.3	19.0	29.0	9.4	19.4
Behenic C22:0	5.5	5.4	6.4	8.5	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
Erucic C22:1	0	0.1	0.1	0	1.0	1.2	14.3	3.4
Docosahexaenoic C22:6	20.3	19.4	27.4	34.1	11.0	17.2	14.9	32.6
Lignoceric C24:0	0	0	0	0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน

หมายเหตุ <sup>ก</sup> จากการทดลองของ Moffat และคณะ (1993) ทำน้ำมันเป็นหยดเล็ก และแช่ในตัวทำละลายอะซิโตน อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 ชั่วโมง

ก่อนเพิ่ม<sup>ข</sup> = ก่อนการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

หลังเพิ่ม<sup>ค</sup> = หลังการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

## 6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหัวปลาต่อผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันปลา

### 6.1 การเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของหัวปลา

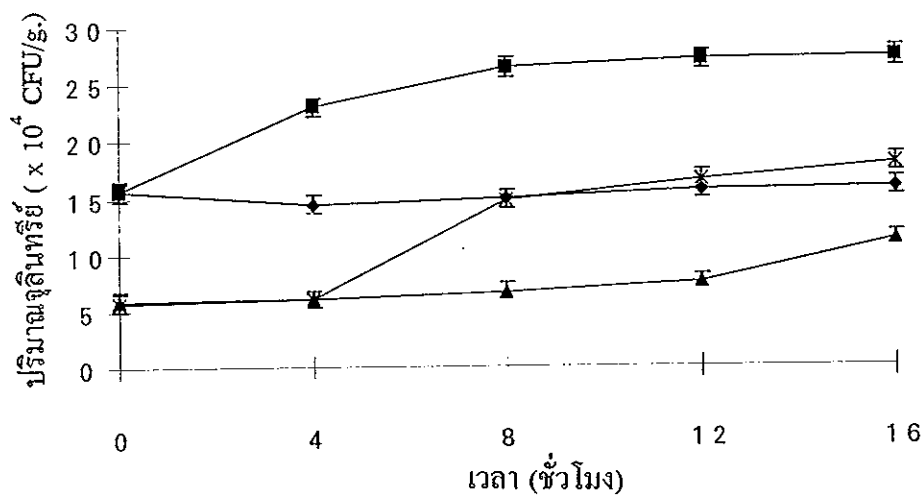
#### 6.1.1 ปริมาณจุลินทรีย์

หัวปลาซึ่งทำการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) ในระหว่างการเก็บเป็นเวลา 16 ชั่วโมง แต่การเก็บรักษาหัวปลาที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก  $15.67 \times 10^4$  CFU/g ในเวลาเริ่มต้นเป็น  $27.3 \times 10^4$  CFU/g ภาย หลังการเก็บที่ 16 ชั่วโมง (ภาพที่30) นอกจากนี้พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ เริ่มต้นของหัวปลา สุกต่ำกว่าหัวปลาดิบ ( $P<0.05$ ) เนื่องจากจุลินทรีย์ถูกทำลายระหว่างการนึ่งปลาในกระบวนการ ผลิตทูน่ากระป๋อง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ปริมาณจุลินทรีย์ของหัว ปลาสุกเพิ่มขึ้น ทั้งการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง โดยหัวปลาซึ่งเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่า ( $P<0.05$ )

Lerhe และคณะ (1965) พบว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้ปลาเน่าเสีย ได้แก่ *Pseudomonas*, *Acromobacter*, *Micrococci* และ *Flavobacterium* ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องต้องผ่าน การนึ่งเพื่อทำให้เนื้อปลาสุกพบว่าจุลินทรีย์ที่หลุดรอดจากการนึ่ง คือ *Clostridium welchii* (Hersom and Hulland, 1969) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าหัวปลาสุกมีจำนวนจุ ลินทรีย์ต่ำกว่าหัวปลาดิบ ( $P<0.05$ ) เมื่อนำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากการ นึ่งปลาในการผลิตทูน่ากระป๋องสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้

ชนิดและปริมาณแบคทีเรียที่พบในสัตว์น้ำจะขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่อาศัยมากกว่า ชนิดของปลา โดยปลาที่จับในน้ำเย็นจะมีแบคทีเรียน้อยกว่าปลาที่จับในน้ำอุ่นซึ่งอาจมีสูง ถึง 10 CFU/g ชนิดแบคทีเรียที่พบจะขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งมีทั้งพวก psychrotrophs และ psychrophile (Shewan, 1977) การเสื่อมเสียของปลาจะมาจากเอนไซม์และจุลินทรีย์ แต่ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-25 องศาเซลเซียส มักเกิดจากจุลินทรีย์มากกว่า และที่อุณหภูมิน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส จะมีจุลินทรีย์เจริญได้น้อย แม้ว่าพวก psychrotrophic สามารถ เจริญได้ แต่มีปริมาณที่ต่ำมาก (Huss, 1995) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทดลองการเก็บ รักษาหัวปลาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สำหรับการเก็บที่ อุณหภูมิห้องระหว่าง 4-8 ชั่วโมง เป็นช่วงที่เหมาะสมทำให้จุลินทรีย์เจริญอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเก็บหัวปลาที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาบีบน้ำมันไม่ควรเก็บรักษาเกิน 4 ชั่วโมง เช่น

เกี่ยวกับการทดลองของ พรทิพย์ แซ่เตี๋ย (2537) ซึ่งทำการเก็บรักษาหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการเสื่อมเสียอย่างชัดเจน ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิห้องพบว่าปริมาณเชื้อเพิ่มจาก  $2.1 \times 10^5$  CFU/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เป็น  $2.7 \times 10^5$  CFU/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง การตรวจสอบการเสื่อมเสียของปลา ไม่สามารถที่จะใช้จุลินทรีย์ เป็นตัววัดเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องใช้การตรวจสอบทางประสาทสัมผัสและทางเคมี (Dalgaard, 1993)



- ◆ หัวปลาดิบเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส    ■ หัวปลาดิบเก็บที่อุณหภูมิห้อง  
▲ หัวปลาสุกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส    × หัวปลาสุกเก็บที่อุณหภูมิห้อง

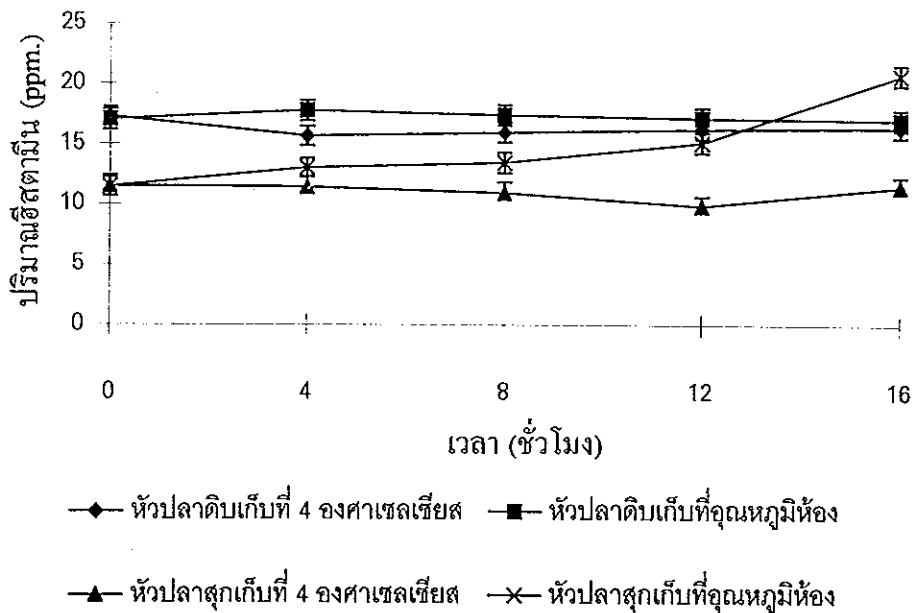
ภาพที่ 30 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

### 6.1.2 ปริมาณฮีสตามีน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฮีสตามีนในการเก็บรักษาหัวปลาดิบและหัวปลาสุก แสดงดังภาพที่ 31 พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้องปริมาณฮีสตามีนในหัวปลาทั้งสองชนิด สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) ปลาทูน่าอยู่ในกลุ่ม scombroid ซึ่งประกอบด้วยสารฮีสติดีนปริมาณสูง ในระหว่างการเสื่อมเสียแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส สามารถเปลี่ยนฮีสติดีนเป็นฮีสตามีน ซึ่งฮีสตามีนมีความเป็นพิษต่อผู้บริโภค ดังนั้นปลาทูน่ามีโอกาสสะสมสารพิษนี้สูงขึ้น ถ้าเก็บปลาในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียดังกล่าว (Eitenmiller *et al.*, 1982) องค์การ FDA ของประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดฮีสตามีนในหัวปลาทูน่าไม่ควรเกิน 5 มก. ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (FDA, 1996) Celia และ คณะ (1998) พบว่าปริมาณฮีสตามีนในเนื้อปลาทูน่าพันธุ์โอแลบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 6 วัน โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน มีปริมาณฮีสตามีนเท่ากับการเก็บที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ถึงแม้ว่าแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลสสามารถเจริญที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมินี้แบคทีเรียไม่สามารถสร้างฮีสตามีน มีการศึกษาหลายงานวิจัยเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อปริมาณฮีสตามีนในปลา แต่ผลการทดลองยังไม่เด่นชัด ทั้งนี้ยังขึ้นกับความแตกต่างทั้งชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในปลาตามธรรมชาติซึ่งจะมีแบคทีเรียที่ผลิตฮีสตามีนได้แตกต่างกันขึ้นกับสภาวะแวดล้อมของน้ำที่ปลาอาศัยแต่ละแหล่ง และปริมาณฮีสตามีนที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณฮีสติดีนเริ่มต้นที่มีในหัวปลา (Celia *et al.*, 1998) ปริมาณฮีสตามีนของหัวปลาสุกต่ำกว่าหัวปลาดิบ ( $P < 0.05$ ) หัวปลาสุกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ประกอบด้วยฮีสตามีนในปริมาณสูง

Celia และคณะ (1998) ศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในกลุ่ม mesophilic และ psychrophilic และปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส ในปลาทูน่าพันธุ์โอแลบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 10 และ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งสองพวกเป็นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณฮีสตามีน มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน คือหัวปลาทั้งสองชนิดซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฮีสตามีนซึ่งมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ตลอดระยะเวลา

การเก็บรักษา 16 ชั่วโมง สำหรับการเก็บหัวปลาที่อุณหภูมิห้อง หัวปลาดิบมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นแต่อาจมีแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลสปริมาณน้อย ส่งผลให้ปริมาณฮีสตามีนไม่เปลี่ยนแปลงภายใน 16 ชั่วโมง ของการเก็บรักษา แต่หัวปลาสุก จำนวนจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดหลังการเก็บ 4 ชั่วโมง และ ปริมาณฮีสตามีน ได้เพิ่มอย่างเด่นชัดในการเก็บรักษามากกว่า 10 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตฮีสตามีนได้เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณฮีสตามีนสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

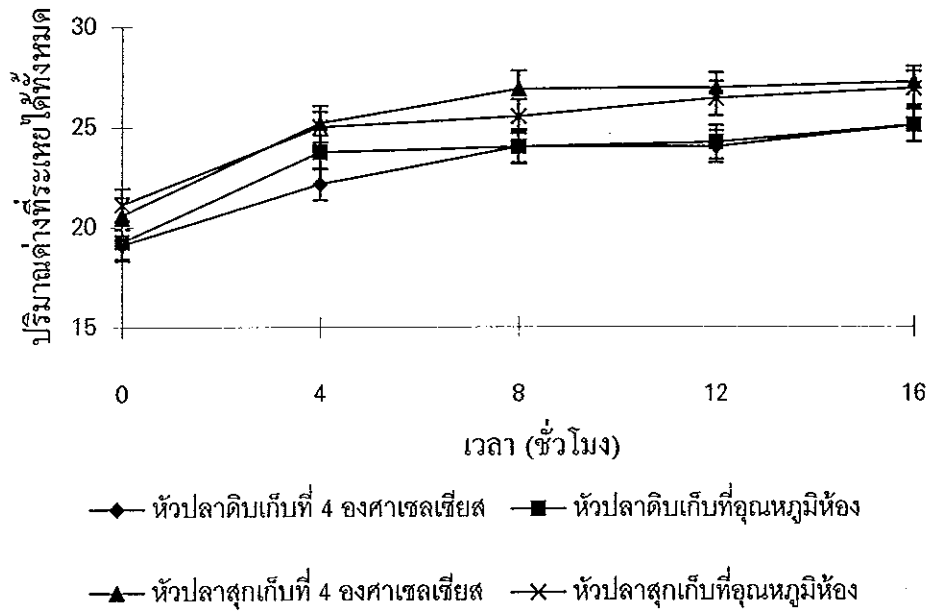


ภาพที่ 31 ปริมาณฮีสตามีนของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

### 6.1.3 ปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 32 ปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมดในหัวปลาดิบและหัวปลาสุกสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ( $P < 0.05$ ) และปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมดของหัวปลาดิบมีค่าสูงกว่าหัวปลาสุก ( $P < 0.05$ ) ปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมดของหัวปลาสุกต่ำกว่า เพราะอาจมีจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีนถูกทำลายในระหว่างกระบวนการหนึ่งปลาของการผลิตปลาพ่นากระป๋อง และความร้อนอาจทำให้สารประกอบที่ระเหยง่ายสูญหายไป Celia และคณะ (1998) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ของปลาโอแถบ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 22 องศาเซลเซียส พบว่าจะเกิดสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้อย่างรวดเร็ว และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส จะมีสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส Lopez-Sabater และคณะ (1996) พบว่าการเก็บรักษาปลาพ่นาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าการสร้างฮีสตามีน แต่การเก็บที่อุณหภูมิต่ำมีสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และพบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน มีสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้เท่ากับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 วัน

Ferber (1963) กล่าวว่าปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด ซึ่งใช้บ่งชี้การเน่าเสียในปลาชนิดต่างๆ จะแตกต่างกัน เช่น ปลาแซลมอนสด พบว่าปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมดมากกว่า 30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แสดงถึงการเน่าเสีย หรือปลาคอด ถ้ามีปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด 30-40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จึงแสดงถึงการเน่าเสีย พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด ในหัวปลาสุกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 10 ชั่วโมง พบว่าปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และหัวปลาดิบและหัวปลาสุกยังไม่มีกลิ่นเน่าเสีย

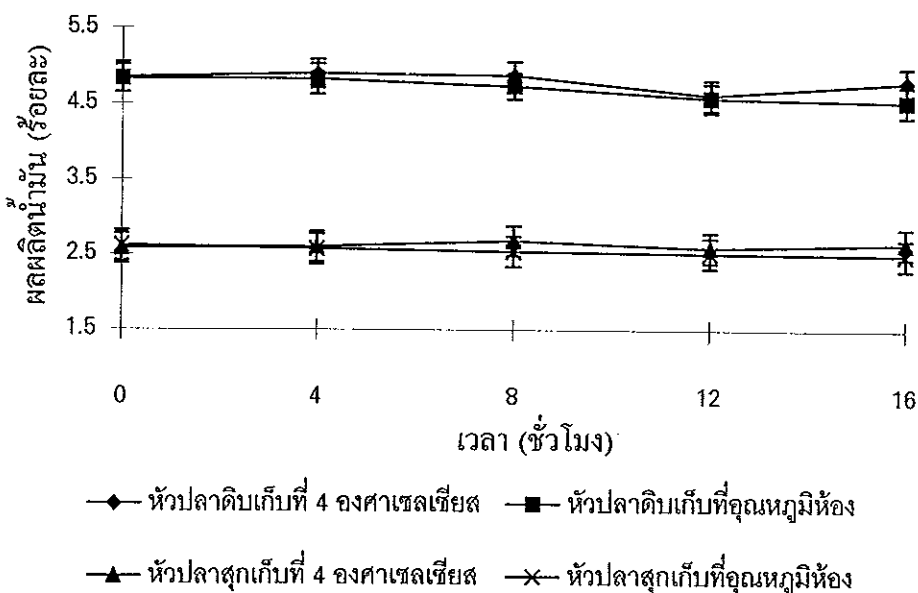


ภาพที่ 32 ปริมาณต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (มก.ไนโตรเจน/กรัมตัวอย่าง) ของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

## 6.2 ผลผลิตและคุณภาพน้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาที่ผ่านการเก็บรักษาภายใต้สภาวะต่างๆ

### 6.2.1 ผลผลิตน้ำมัน

ผลผลิตน้ำมันที่แยกได้จากวัตถุดิบที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิและเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 33 โดยน้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาดิบมีปริมาณสูงกว่าหัวปลาสุก ( $P < 0.05$ ) สำหรับหัวปลาชนิดเดียวกันซึ่งเก็บรักษาทั้งที่ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าผลผลิตน้ำมันไม่เปลี่ยนแปลง ( $P > 0.05$ ) ดังนั้นแสดงว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาวัตถุดิบไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันที่แยกได้ เมื่อเก็บรักษาภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ในหัวปลาทั้งสองชนิดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง การเพิ่มขึ้นของฮีสตามีนในหัวปลาสุกที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดในหัวปลาทั้งสองชนิด ในการเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันที่ได้ อย่างไรก็ตามไม่สามารถทราบแน่ชัดถึงผลของการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณจุลินทรีย์ ค่าฮีสตามีน และปริมาณที่ระเหยได้ทั้งหมด ต่อสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันปลาดิบ แต่การเก็บรักษาหัวปลาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส น่าจะให้อาจทำให้คุณภาพน้ำมันดิบที่ได้ มีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่าการเก็บรักษาหัวปลาที่อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้การทำบริสุทธิ์ง่ายขึ้น

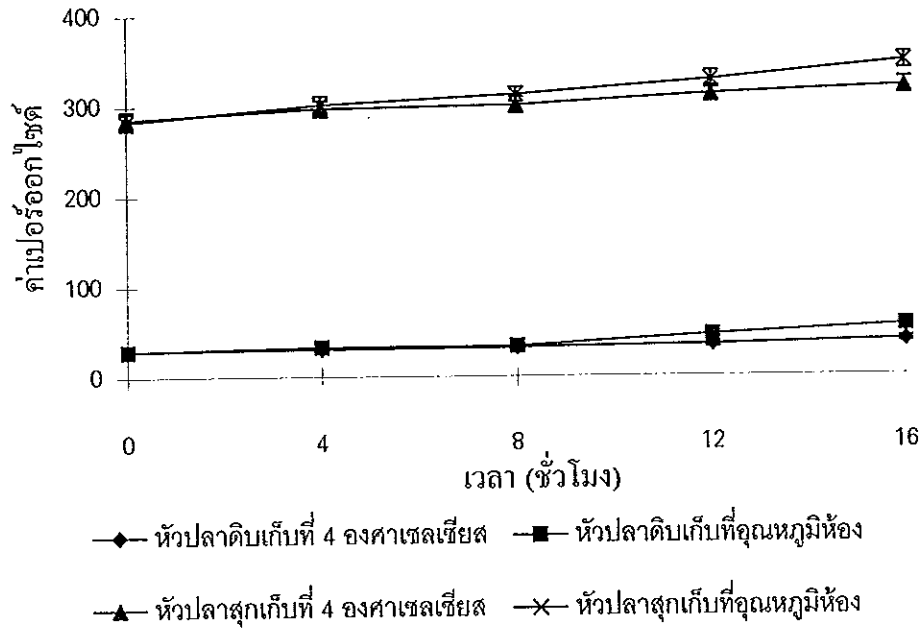


ภาพที่ 33 ผลผลิตน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

### 6.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

น้ำมันที่แยกได้จากหัวปลาที่เก็บรักษาที่เวลาต่างๆ ทั้งการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีค่าเปอร์ออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 34 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ จากหัวปลาสูงสูงกว่าหัวปลาดิบ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งให้ผลการทดลองเหมือนกับการทดลองข้อ 2 การเก็บรักษาหัวปลาเป็นเวลา 16 ชั่วโมง มีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่แยกได้ โดยการเก็บรักษาหัวปลาที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันสูงกว่าการเก็บรักษาหัวปลาที่ 4 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากการให้ความร้อนซ้ำซ้อนกับหัวปลามีผลเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันอันเป็นผลจากการปลดปล่อย โปรออกซิแดนซ์ที่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง สามารถเห็นผลของความแตกต่างของอุณหภูมิเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยน้ำมันจากหัวปลาดิบและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 34.59 และ 54.4 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ตามลำดับ ส่วนน้ำมันจากหัวปลาสุกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 311.59 และ 327.23 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ตามลำดับ สารเปอร์ออกไซด์รวมทั้งสารที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันชั้นต่างๆ สามารถปะปนในน้ำมันที่สกัดได้ และสามารถกำจัดออกไปในขั้นตอนการทำบริสุทธิ์ ดังนั้นการเก็บรักษาหัวปลาดิบและหัวปลาสุกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่แยกได้เพิ่มขึ้น

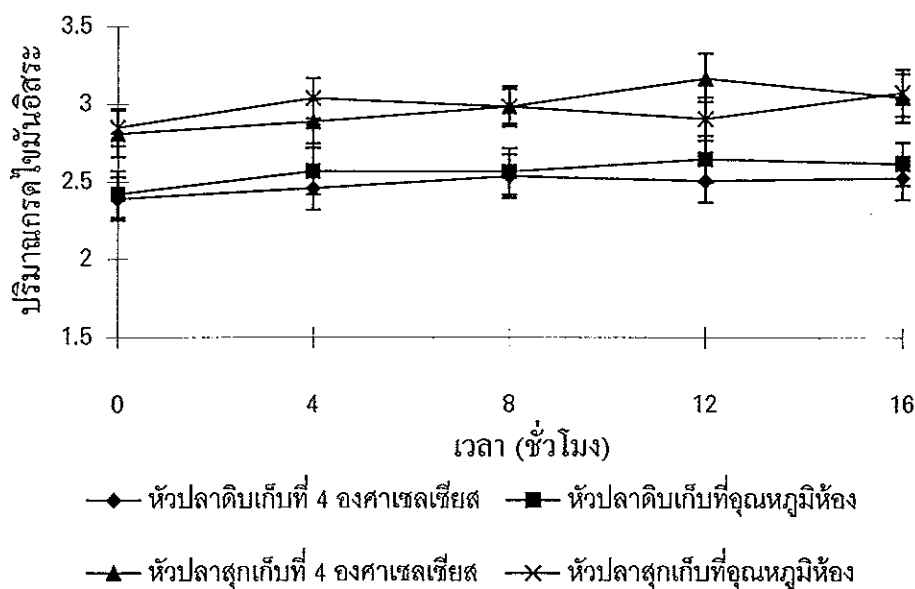
ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ซึ่งพบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 25.72 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ในเวลาเริ่มต้น จนถึง 56.81 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ที่เวลาการเก็บตัวอย่าง 10 ชั่วโมง และการเก็บที่อุณหภูมิห้องค่าเปอร์ออกไซด์มีอัตราการเพิ่มสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น อย่างไรก็ตามถ้าวัตถุดิบมีคุณภาพต่ำ ทำให้สูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น ตลอดจนมีผลให้ผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ลดลง



ภาพที่ 34 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน) ของหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

### 6.2.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

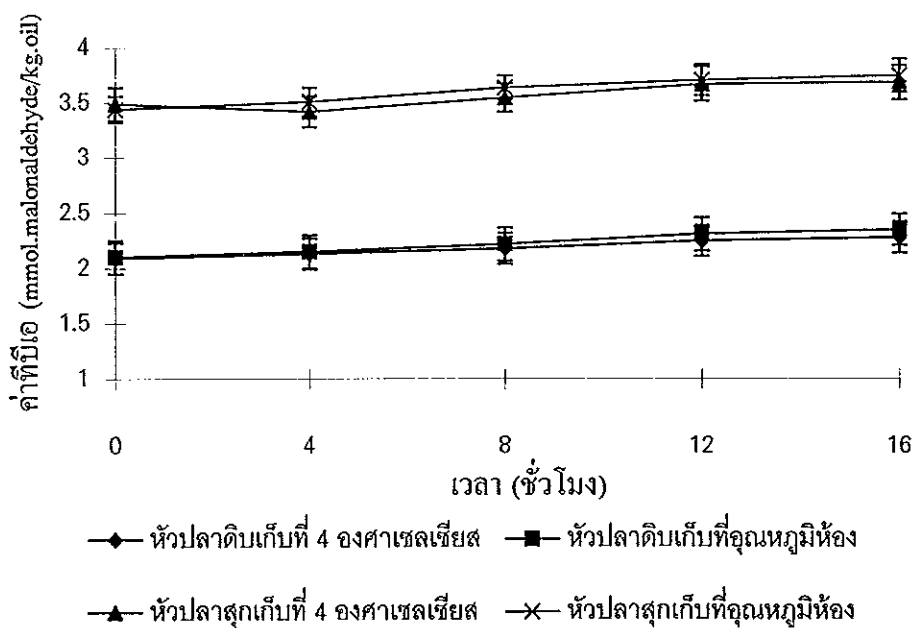
ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 35 ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษา 16 ชั่วโมง ในหัวปลาทุกชนิด ( $P > 0.05$ ) และอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ ( $P > 0.05$ ) แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากหัวปลาสุกสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการหนึ่งของการผลิตปลานำกระป๋อง ก่อให้เกิดการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น โดยเฉพาะในสถานะที่มีน้ำและอากาศ ดังนั้นสถานะในการเก็บรักษาหัวปลาไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่แยกได้เมื่อเก็บรักษาหัวปลาภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) รายงานว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของหัวปลาทูน่าพันธุ์โอแถบซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็นให้ค่าไม่ต่างกัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ไม่ได้ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Huss (1995) ได้แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระของปลาเฮอริง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 6 และ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 6 17 และ 28 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลานูน่าพันธุ์โอแถบที่ไม่ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

#### 6.2.4 ค่าที่บีเอ

ค่าที่บีเอของน้ำมันดิบที่แยกได้จากหัวปลาที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 36 พบว่าสภาวะในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อค่าที่บีเอ ( $P>0.05$ ) แต่ค่าที่บีเอของน้ำมันจากหัวปลาสุกสูงกว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ ( $P<0.05$ ) และจากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์จากข้อ 6.2.2 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ จะเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บเป็นเวลา 12 ชั่วโมงแสดงว่า ในช่วงเวลา 12-16 ชั่วโมง น้ำมันในหัวปลาเกิดการเปลี่ยนในชั้นโพรพาเกชัน (propagation) และได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงหรือการสลายตัวของสารดังกล่าวนี้ค่อนข้างน้อย ผลทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าที่บีเอ ดังนั้นค่าที่บีเอที่สูงในน้ำมันจากหัวปลาสุกบ่งชี้ถึงสารอัลดีไฮด์หรือสารจากปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆเกิดขึ้นในช่วงการนิ่งและ/หรือหลังการนิ่งภายในโรงงานแปรรูป



ภาพที่ 36 ค่าที่บีเอของน้ำมันที่แยกจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพวัตถุดิบในการเก็บรักษาเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ต่อคุณภาพของน้ำมันปลาที่แยกได้ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ จุลินทรีย์ ฮิสตามีน ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 16 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาหัวปลาเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันที่แยกได้ ในหัวปลาทั้ง 2 ชนิด และไม่ผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าทีบีเอ แต่ในการเก็บรักษามากกว่า 12 ชั่วโมง มีผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการสูญเสียผลผลิตในขั้นตอนการทำน้ำมันบริสุทธิ์ ดังนั้นการเสื่อมเสียของหัวปลาทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพน้ำมันที่แยกได้ ภายหลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง แต่อาจมีสิ่งปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นในน้ำมันตลอดจนองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ต้องการ

## 7. ศึกษาความคงตัวของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคูน่าระหว่างการเก็บรักษา

### 7.1 ชนิดของสารกันหืนในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน

นำน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาคูน่าและหัวปลาสุก เติมสารกันหืน บีเอชที โทโคฟีรอล อิทอกซิกวิน ทีบีเอชคิว และแอสคอร์บิลพาลมิเตท ที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน และการใช้แอสคอร์บิลพาลมิเตท ที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ร่วมกับ บีเอชที โทโคฟีรอล อิทอกซิกวิน หรือทีบีเอชคิว ที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน คัดเลือกสารกันหืนที่เหมาะสม โดยวิธี accelerated oxidation test (Kaitaranta, 1992)

#### 7.1.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืน

จากการศึกษาผลของสารกันหืนต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคูน่าและหัวปลาสุก พบว่าน้ำหนักน้ำมันเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน แสดงถึงภาพที่ 37-40 การใช้สารกันหืนร่วมกับแอสคอร์บิลพาลมิเตท สามารถลดอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักน้ำมันที่ได้ดีกว่าการใช้สารกันหืนเพียงอย่างเดียว ซึ่งให้ผลสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18) ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนที่สูงกว่า (ตารางที่ 19) การใช้ทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาลมิเตท ในน้ำมันปลาคูน่าชนิดสามารถลดอัตราการเพิ่มของน้ำหนักน้ำมันเทียบกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งบ่งถึงความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด ดังนั้นการใช้ทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาลมิเตทให้ประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนสูงที่สุด (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 18 แสดงระยะเวลาที่ทำให้น้ำมันมีน้ำหนักเพิ่มร้อยละ 0.6 ส่วนตารางที่ 19 แสดงประสิทธิภาพของสารกันหืนแต่ละชนิด สำหรับน้ำมันดิบจากหัวปลาคูน่า น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาคูน่า น้ำมันจากหัวปลาสุก และน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก ใช้เวลา 9.02 15.02 11.67 และ 13.71 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 ในการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากการทดลอง การใช้สารกันหืนชนิดเดียวกันต่อเวลาที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มร้อยละ 0.6 ของน้ำมันแต่ละชนิดพบว่า น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาใช้เวลาสูงสุด ( $P < 0.05$ ) รองลง

มาได้แก่น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก น้ำมันดิบจากหัวปลาสุก และน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันปลาที่ผ่านการทำบริสุทธิ์มีความคงตัวต่อการดูดซับออกซิเจนหรือคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าน้ำมันดิบ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันปลาสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระค่าเปอร์ออกไซด์ ความชื้น สารสะปอนิฟายไม่ได้ ปริมาณโพลาไรไลปิด เหล็กและทองแดง (Stanby, 1990) ปัจจัยต่างๆเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันเกิดจาก การดูดซับออกซิเจน ทำให้สามารถนำไปพิจารณาความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจยับยั้งด้วยการใช้สารกันหืน (Kaitaranta, 1981) และวิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประเมินความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปลา การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการบ่มเพื่อเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้นเมื่อน้ำหนักน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น 0.6 ของน้ำมันเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างที่เติมสารกันหืนเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืน เป็นประสิทธิภาพของสารกันหืนชนิดนั้นๆ (Kaitaranta, 1992) ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 0.6 บ่งถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเป็นรูปที่มีขี้ (Polar artifact) จำนวนร้อยละ 27 ของน้ำมันทั้งหมด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ต้องการของน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำมันที่ใช้ทอด (frying oil) (Kaitaranta, 1981) ดังนั้นจึงใช้เวลาที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มร้อยละ 0.6 เป็นการวัดประสิทธิภาพความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ประสิทธิภาพของสารกันหืนชนิดเดียวกันในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบสูงกว่า น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก ทั้งนี้เพราะในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก มีปริมาณเหล็ก คอปเปอร์ กรดไขมันอิสระ เปอร์ออกไซด์ ที่สูงกว่า จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่า สำหรับน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก การใช้สารกันหืนทุกชนิดส่งผลให้น้ำมันมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบ ถึงแม้ว่าน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก มีเหล็ก คอปเปอร์ กรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ มากกว่าน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบ ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำมันดิบจากหัวปลาสุกมีสารที่สะปอนิฟายไม่ได้สูงกว่า ซึ่งอาจมีโทโคฟีรอลและฟอสโฟไลปิดที่สูงกว่า โทโคฟีรอลและฟอสโฟไลปิดมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนในน้ำมันได้เช่นกัน Bimbo (1990) พบว่าโทโคฟีรอลในปลาเมนฮาเดน ปลาทูน่า และปลาเฮอริงมีปริมาณเท่ากับ 70 160 และ 140 ไมโครกรัม/กรัมน้ำมัน

Ohshima และคณะ (1993) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันปลาชาร์ดินและแมคเคอรอล พบว่าในน้ำมันปลาประกอบด้วย กลุ่มฟอสโฟไลปิดและโทโคฟีรอล ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้น้ำมันเสื่อมเสียช้าลง ทั้งโทโคฟีรอลและฟอสโฟไลปิดถึงกำจัดไปในระหว่างกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมัน (Namiki, 1990) King และคณะ (1993) พบว่าการใช้ฟอสโฟไลปิดที่สกัดจากกล้ามเนื้อดำ กล้ามเนื้อขาวของปลา bluefish มีประสิทธิภาพเป็นสารกันหืนในน้ำมันปลาชาร์ดินบริสุทธิ์เมื่ออบที่อุณหภูมิ 55 และ 180 องศาเซลเซียส

การใช้แอสคอร์บิลพาร์มิเตทร่วมกับสารกันหืน ทำให้น้ำมันปลาทุกชนิดมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แอสคอร์บิลพาร์มิเตทมักใช้เป็นสารกันหืน ซึ่งมีหน้าที่เป็นรีดิวซึ่งเอเจนท์หรือทำหน้าที่ดูดจับออกซิเจน (Namiki, 1990) ในการทดลองหาน้ำมันที่เพิ่มขึ้น โดยวิธี accelerated oxidation test ซึ่งเป็นระบบเปิดมีปริมาณออกซิเจนมากเกินไป ดังนั้นประสิทธิภาพของแอสคอร์บิลพาร์มิเตทในระบบนี้จึงต่ำลง Han และคณะ (1990) ได้ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารกันหืนในน้ำมันปลา พบว่าถ้าอยู่ในระบบเปิด กรดแอสคอร์บิก ไม่สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่จะทำงานได้ดีในระบบปิดเพราะกรดแอสคอร์บิกสามารถดูดจับออกซิเจนได้ดี

ในน้ำมันปลาชนิดเดียวกัน ประสิทธิภาพของสารกันหืนชนิดต่างๆ จะไม่เท่ากัน โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้คือ ทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท ทีบีเอชคิวอิทอกซิควินร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท บีเอชทีร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท โทโคฟีรอลร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท อิทอกซิควิน บีเอชที แอสคอร์บิลพาร์มิเตท โทโคฟีรอล ตามลำดับ แต่ในน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก บีเอชทีมีประสิทธิภาพสูงกว่าอิทอกซิควิน ส่วนโทโคฟีรอลมีประสิทธิภาพสูงกว่าแอสคอร์บิลพาร์มิเตท ทั้งนี้เนื่องจาก อาจเกิดการเสริมฤทธิ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพระหว่างบีเอชทีหรือโทโคฟีรอลที่ใช้เป็นสารกันหืนกับโทโคฟีรอลหรือฟอสโฟไลปิดที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ Hudson และ Mahgoub (1981) พบว่าการใช้ฟอสโฟไลปิดร่วมกับโทโคฟีรอล สามารถทำหน้าที่เป็นสารกันหืนได้ดีในน้ำมันหมูนอกจากนี้ Segawa และคณะ (1994) พบว่า phosphatidylethanolamine กับ phosphatidylcholine สามารถเสริมฤทธิ์ได้ดีกับโทโคฟีรอลในน้ำมันปลา

ตารางที่ 18 เวลา(ชั่วโมง) ที่ทำให้น้ำหนักน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 ของน้ำมันที่เติมสาร  
กันหืนชนิดต่างๆ โดยปัมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สารกันหืน	น้ำมันดิบจาก หัวปลาดิบ	น้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาดิบ	น้ำมันดิบจาก หัวปลาสุก	น้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาสุก
-ไม่เติมสารกันหืน	9.02w,a	15.02z,a	11.67x,a	13.71y,a
-บีเอชที	17.14w,e	21.06z,d	19.44x,e	19.61y,d
-ทีบีเอชคิว	31.09w,i	43.00z,i	34.72x,i	39.43y,i
-โทโคฟีรอล	13.00w,c	18.11z,b	15.55x,c	16.52y,b
-อิทอกซิควิน	15.07w,d	22.16z,e	18.91x,d	21.67y,e
-แอสคอร์บิลพาร์มีเตท	11.66w,b	18.32z,c	13.89x,b	17.43y,c
-บีเอชที + แอสคอร์บิล พาร์มีเตท	23.15w,g	29.04z,g	23.89x,g	27.38y,g
-ทีบีเอชคิว + แอสคอร์ บิลพาร์มีเตท	46.37w,j	59.15z,j	49.93x,j	55.00y,j
-โทโคฟีรอล + แอส คอร์บิลพาร์มีเตท	20.28w,f	25.00z,f	21.08x,f	23.05y,f
-อิทอกซิควิน + แอส คอร์บิลพาร์มีเตท	26.51w,h	29.14z,h	26.69x,h	25.20y,h

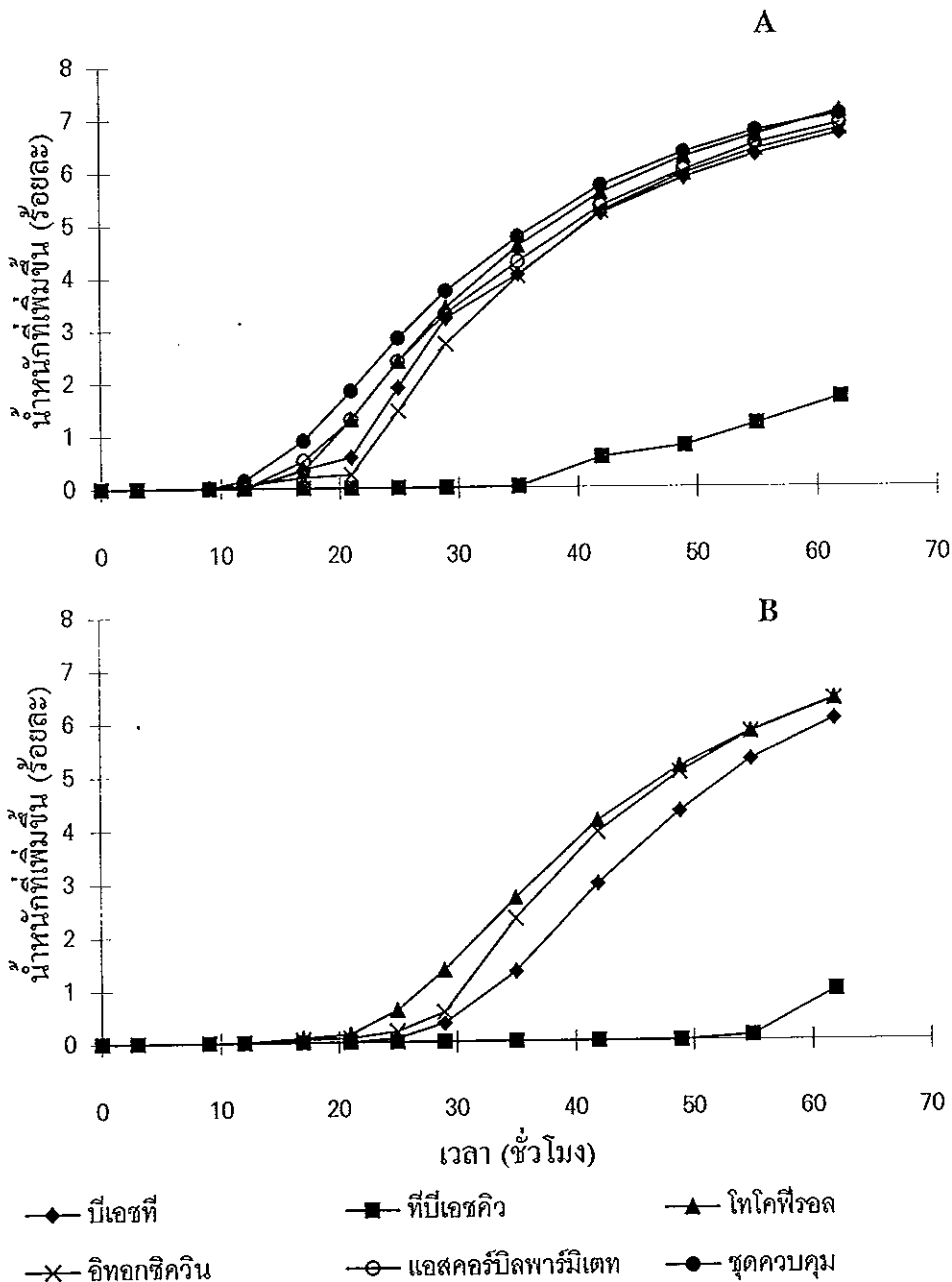
หมายเหตุ - a b c,..., j อักษรที่ต่างกันใมน้ำมันปลาชนิดเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

- w x y z อักษรที่ต่างกันในสารกันหืนชนิดเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

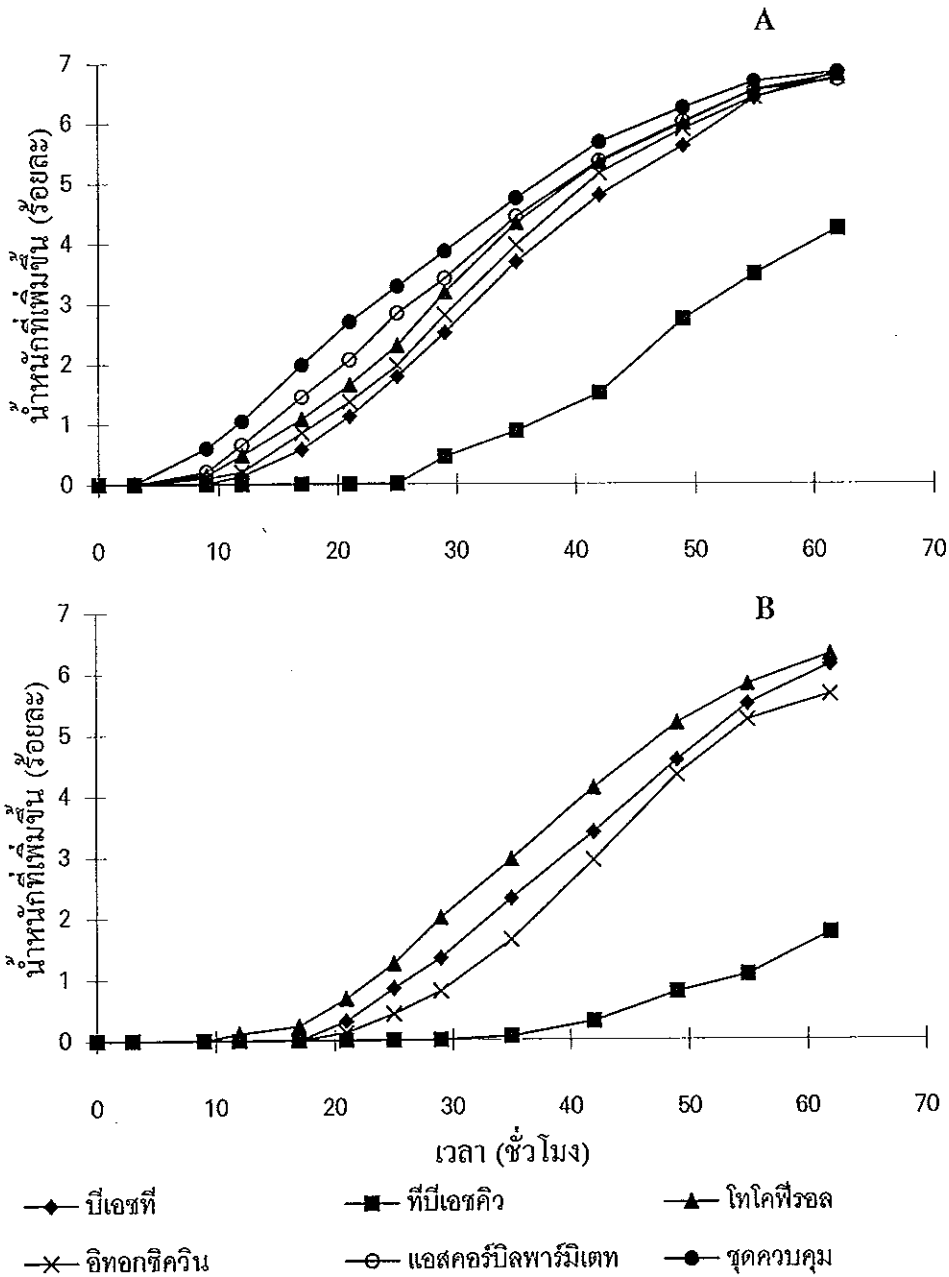
ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพของสารกันหืนใช้กับน้ำมันปลาชนิดต่างๆ จากการทดสอบโดยวิธี accelerated oxidation test โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สารกันหืน	น้ำมันดิบจาก หัวปลาดิบ	น้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาดิบ	น้ำมันดิบจาก หัวปลาสุก	น้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาสุก
-ไม่เติมสารกันหืน	1.00a	1.00a	1.00a	1.00a
-บีเอชที	1.90e	1.40d	1.67e	1.43d
-ทีบีเอชคิว	3.45i	2.86i	2.67i	2.88i
-โทโลไฟรอล	1.44c	1.21b	1.33c	1.20b
-อิทอกซิกวิน	1.67d	1.48e	1.62d	1.58e
-แอสคอร์บิลพาร์มีเตท	1.29b	1.27c	1.19b	1.27c
-บีเอชที + แอสคอร์บิล พาร์มีเตท	2.57g	1.90g	2.05g	2.00g
-ทีบีเอชคิว + แอสคอร์ บิลพาร์มีเตท	5.14j	3.94j	4.28j	4.01j
-โทโลไฟรอล + แอส คอร์บิลพาร์มีเตท	2.25f	1.66f	1.81f	1.68f
-อิทอกซิกวิน + แอส คอร์บิลพาร์มีเตท	2.94h	1.94h	2.29h	2.06h

หมายเหตุ - a b c, ..., j อักษรที่ต่างกันในน้ำมันปลาชนิดเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



ภาพที่ 37 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาติบจากปลาช่อนำพันธุ์โอดาบ โดยปมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน  
 A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท  
 B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

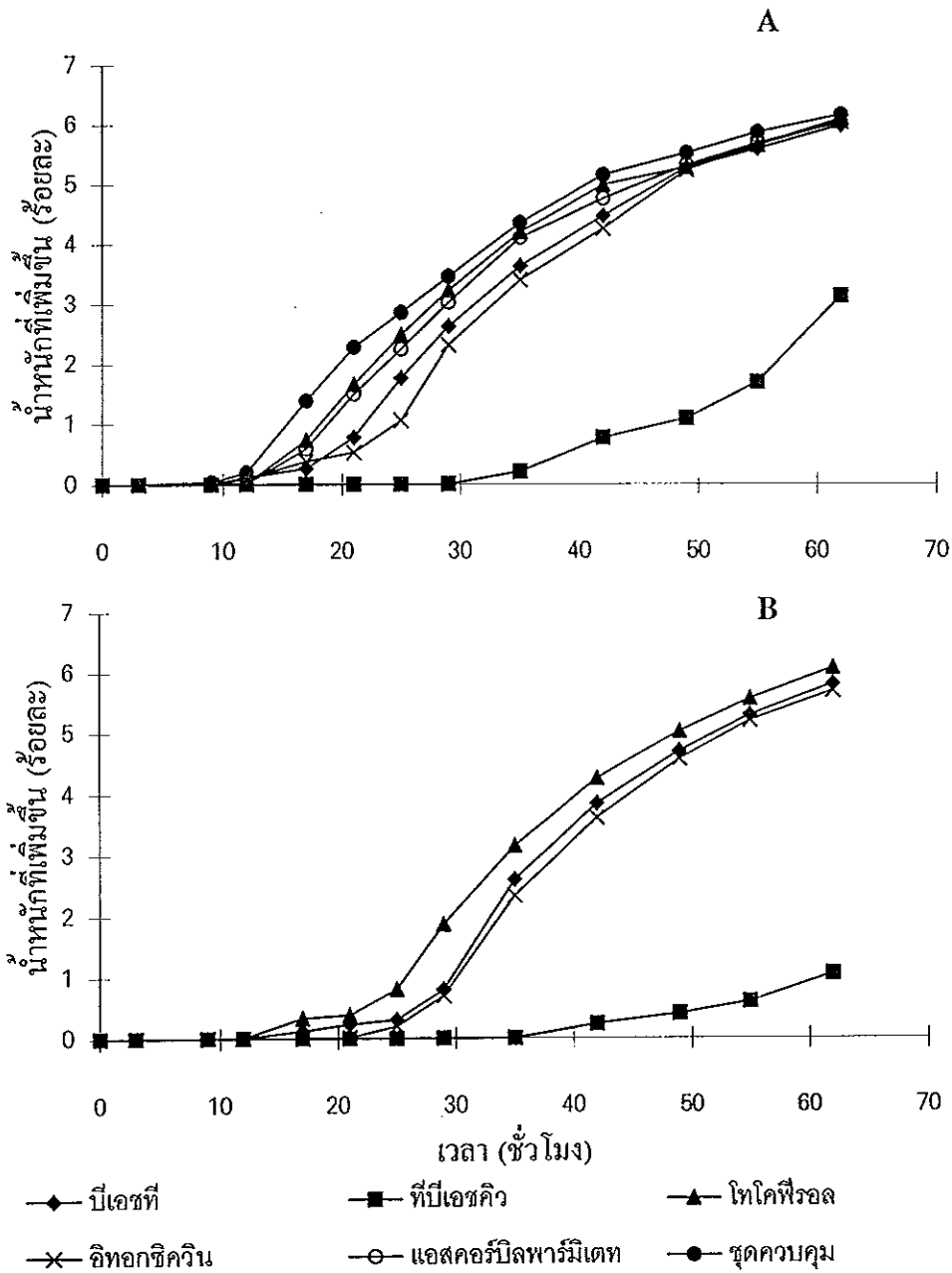


ภาพที่ 38 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดิบของหัวปลาติบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

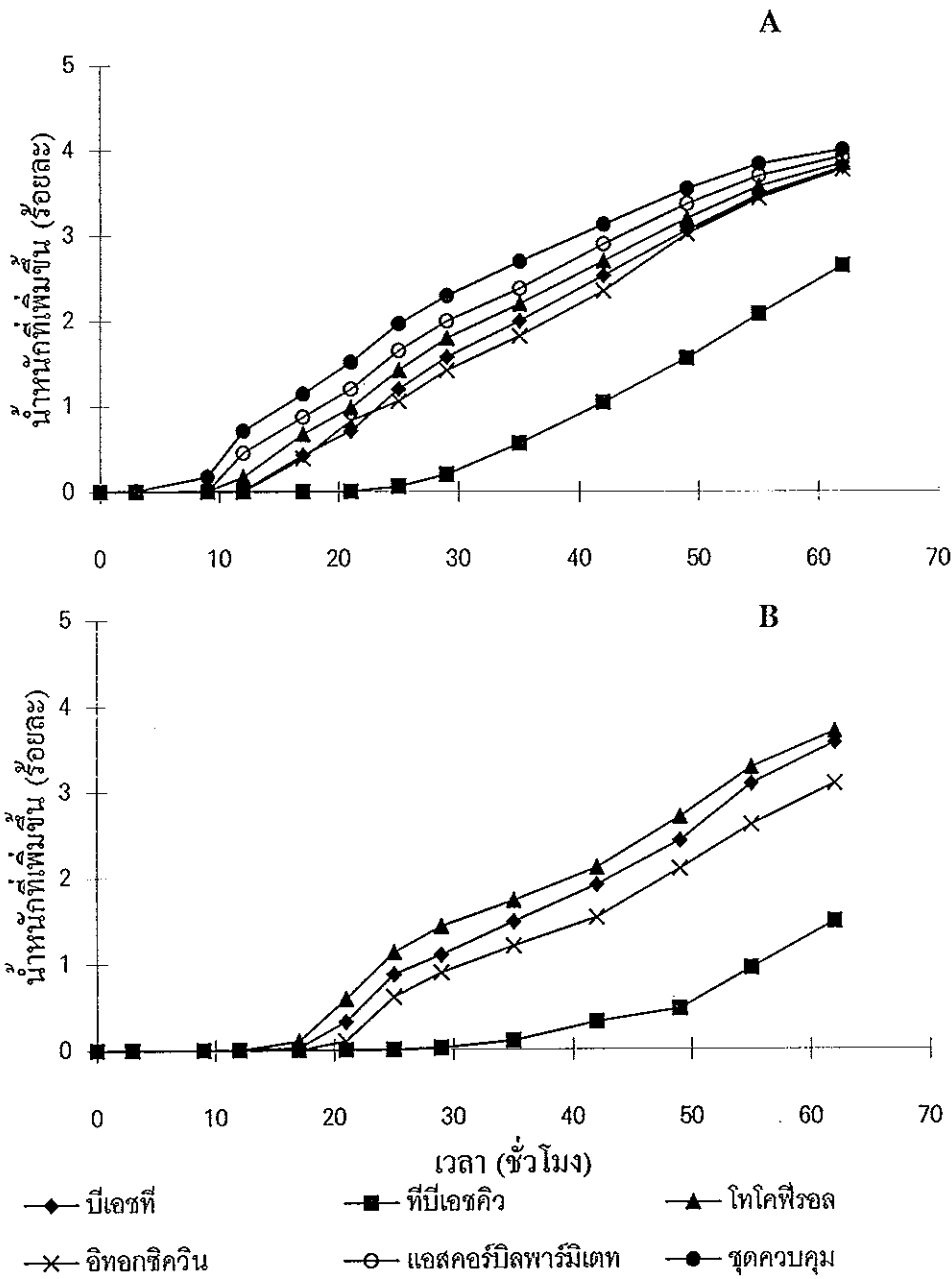
โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



ภาพที่ 39 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาทูนำพันธุ์โอแลบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน  
 A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท  
 B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



ภาพที่ 40 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท

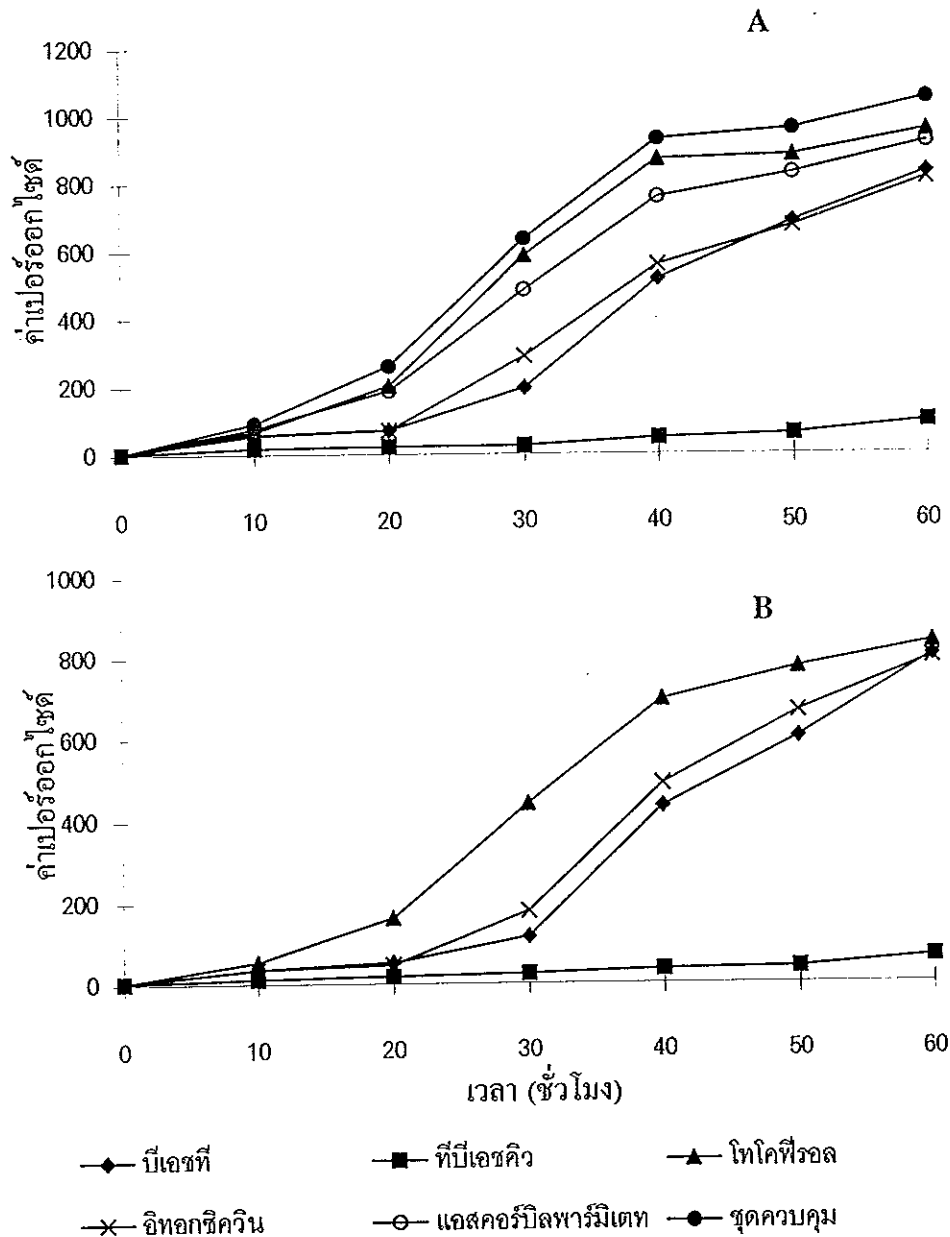
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท

### 7.1.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากการศึกษาผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ และน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 41-44 พบว่าในน้ำมันปลาทั้ง 4 ชนิด การใช้ที่บีเอชคิว หรือการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท ทำให้อัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำตลอดการเก็บ 60 ชั่วโมง ปริมาณเปอร์ออกไซด์เป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในชั้นโพรพอกแซน Miyashita และ Tadkagi (1986) ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในที่มีด พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลนิก สูงกว่ากรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิก ตามลำดับ และกรดไขมันลิโนเลนิกให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าเมทิลลิโนเลนท Han และคณะ (1990) ทดสอบประสิทธิภาพของกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำมันปลาซาร์ดีนบริสุทธิ์โดยใช้ฟอสฟาติลโคลีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์และทดสอบการเสริมฤทธิ์กับซิกมา-โทโคฟีรอล โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในจานแก้วระบบเปิดเป็นเวลา 40 วัน พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิก ให้ผลดีว่าการใช้โทโคฟีรอล แต่เมื่อใช้เสริมฤทธิ์กันจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยให้ค่าเปอร์ออกไซด์ 3 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ภายหลัง 40 วัน ในขณะที่การใช้โทโคฟีรอลเพียงอย่างเดียว ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ 25 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ภายหลัง 5 วัน Han และคณะ (1991) ได้ทดสอบการเสริมฤทธิ์ระหว่างกรดแอสคอร์บิกกับซิกมา-โทโคฟีรอล โดยใช้เลซิทินเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เนื่องจากเลซิทินมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืน หาง่ายและราคาถูก โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในที่มีดและทำการวัดการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าการเสริมฤทธิ์กันช่วยยับยั้งการเกิดสารประกอบคาร์บอนิลและสารประกอบที่ระเหยได้นอกจากนี้ Yoshida และคณะ (1993) ใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ในการทดสอบประสิทธิภาพของโทโคฟีรอลชนิดต่างๆ ในเอทิลลิโนเลอธ โดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟความถี่ 2,450 MHz เป็นเวลา 20 นาที พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของโทโคฟีรอลชนิดซิกมาสูงกว่าชนิดเบต้า ชนิดแกมมาและชนิดแอลฟา ตามลำดับ Nieto และคณะ (1993) ทำการทดสอบการใช้ฟลาโวนอยด์ในน้ำมันปลาซาร์ดีนบริสุทธิ์ และใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ในการวัดประสิทธิภาพความคงตัว ตลอดระยะเวลาการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. Topallar และคณะ(1997) ทดสอบการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันทานตะวันที่ผ่านและ

ไม่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน ในภาชนะต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยแก้ว พลาสติกและโลหะพบว่า การผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันทำให้น้ำมันคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันมีความคงตัวปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน เนื่องจากภาชนะที่บรรจุน้ำมันสามารถส่งผ่านความร้อนได้แตกต่างกัน Lee และคณะ (1997) ทดสอบการเกิดโฟโตออกซิเดชันที่ความเข้มแสง 330 ลักซ์ของกรดลิโนเลอิก โดยใช้แอสคอร์บิลพาร์มิเตทและแอลฟา-โทโคฟีรอลเป็นสารกันหืน โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าการใช้แอสคอร์บิลพาร์มิเตทให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าการใช้แอลฟา-โทโคฟีรอล ตลอดการเก็บรักษา 5 วัน

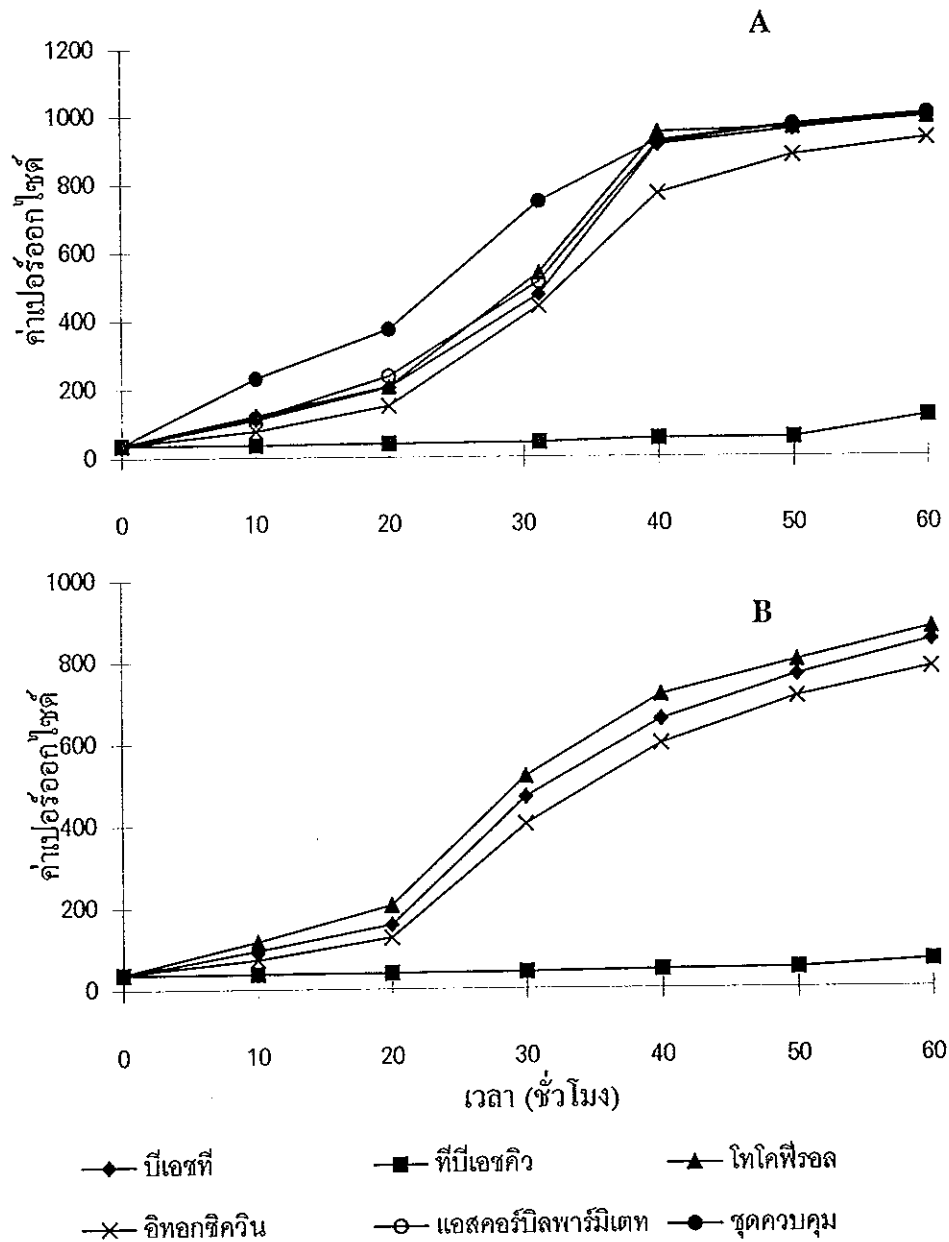
จากการทดลองแสดงว่าการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท สามารถลดอัตราการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับสารกันหืนชนิดอื่นๆ ภายใต้สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 ชั่วโมง ดังนั้นที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตทสามารถยับยั้งการเกิดสารเปอร์ออกไซด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 41 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่อออกก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาติบจากปลาหูฉลามพันธุ์โอแลบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

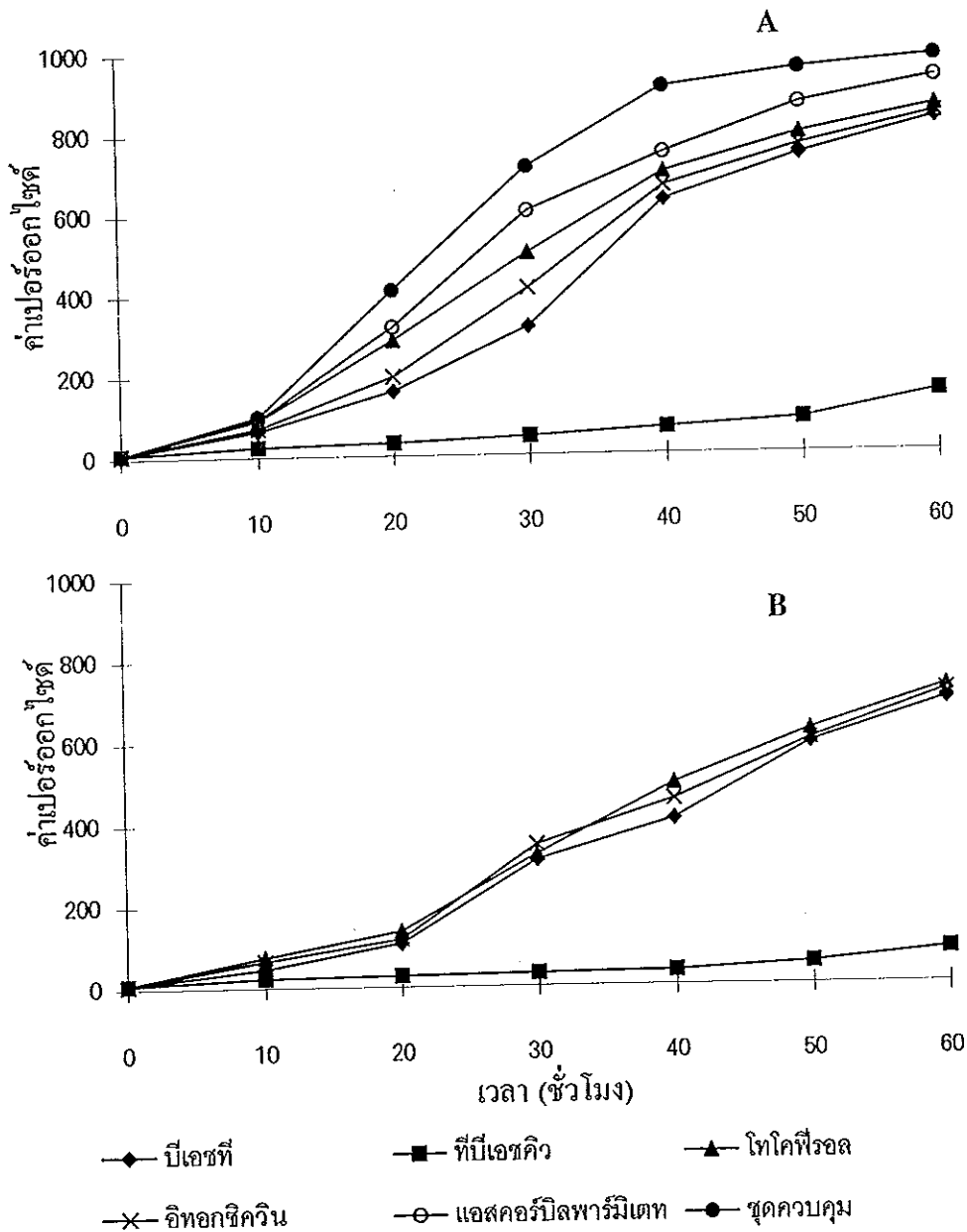
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



ภาพที่ 42 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลต่ออก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบของหัวปลา  
 ดิบจากปลาหูฉลามพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส  
 เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

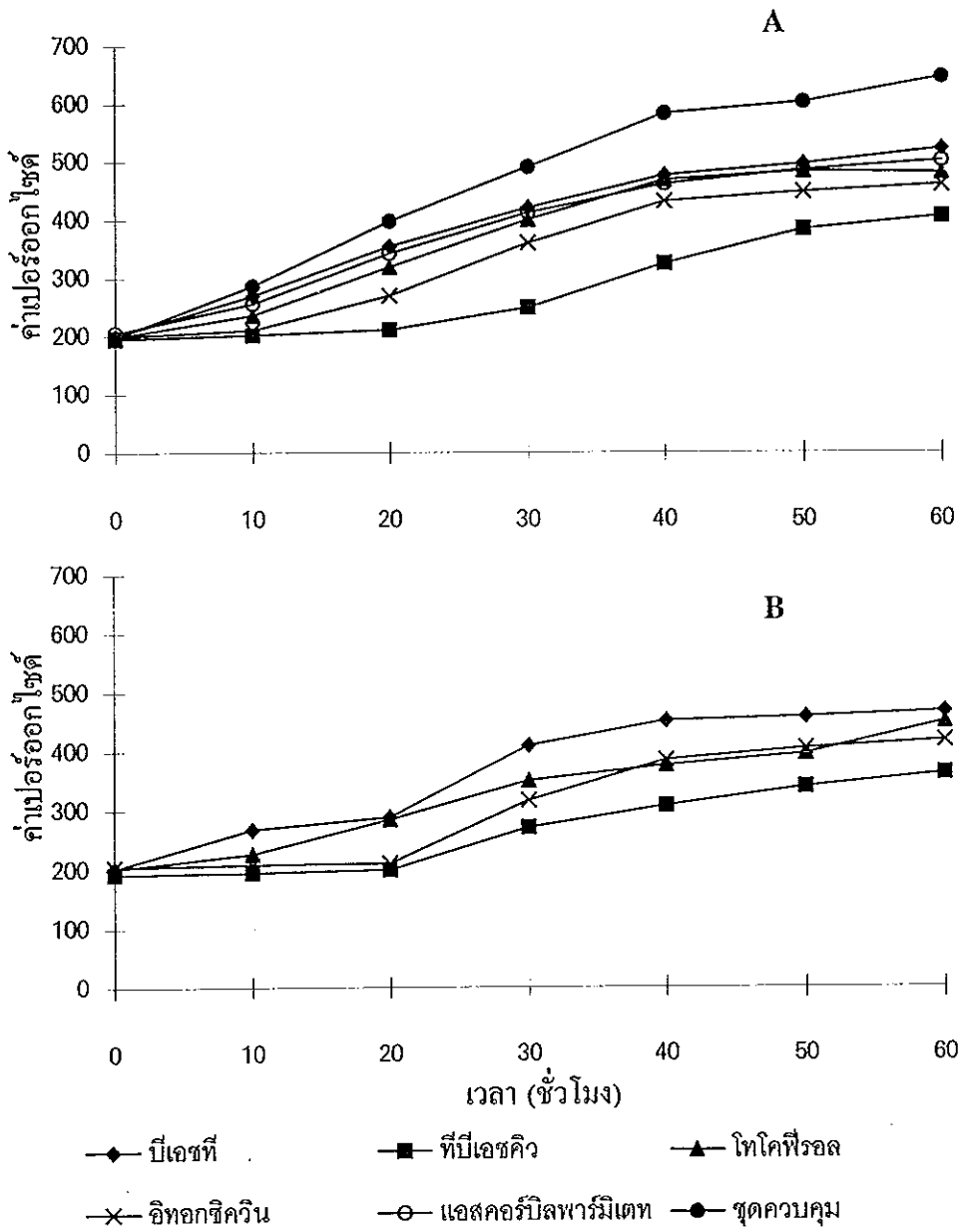
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



ภาพที่ 43 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาพู่หน้าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



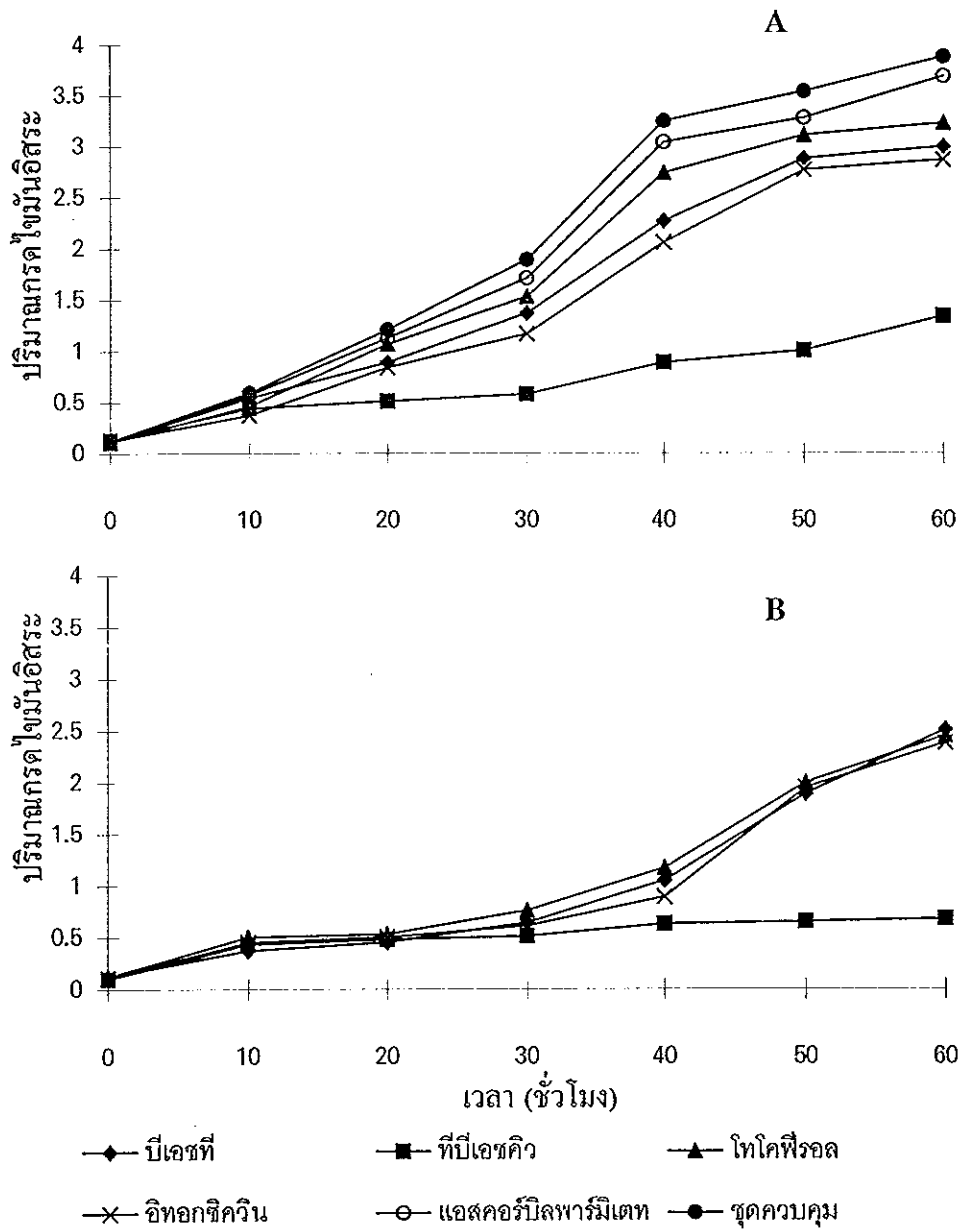
ภาพที่ 44 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่ออกก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบของหัวปลา  
 สุกจากปลาหูฉลามพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส  
 เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

### 7.1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

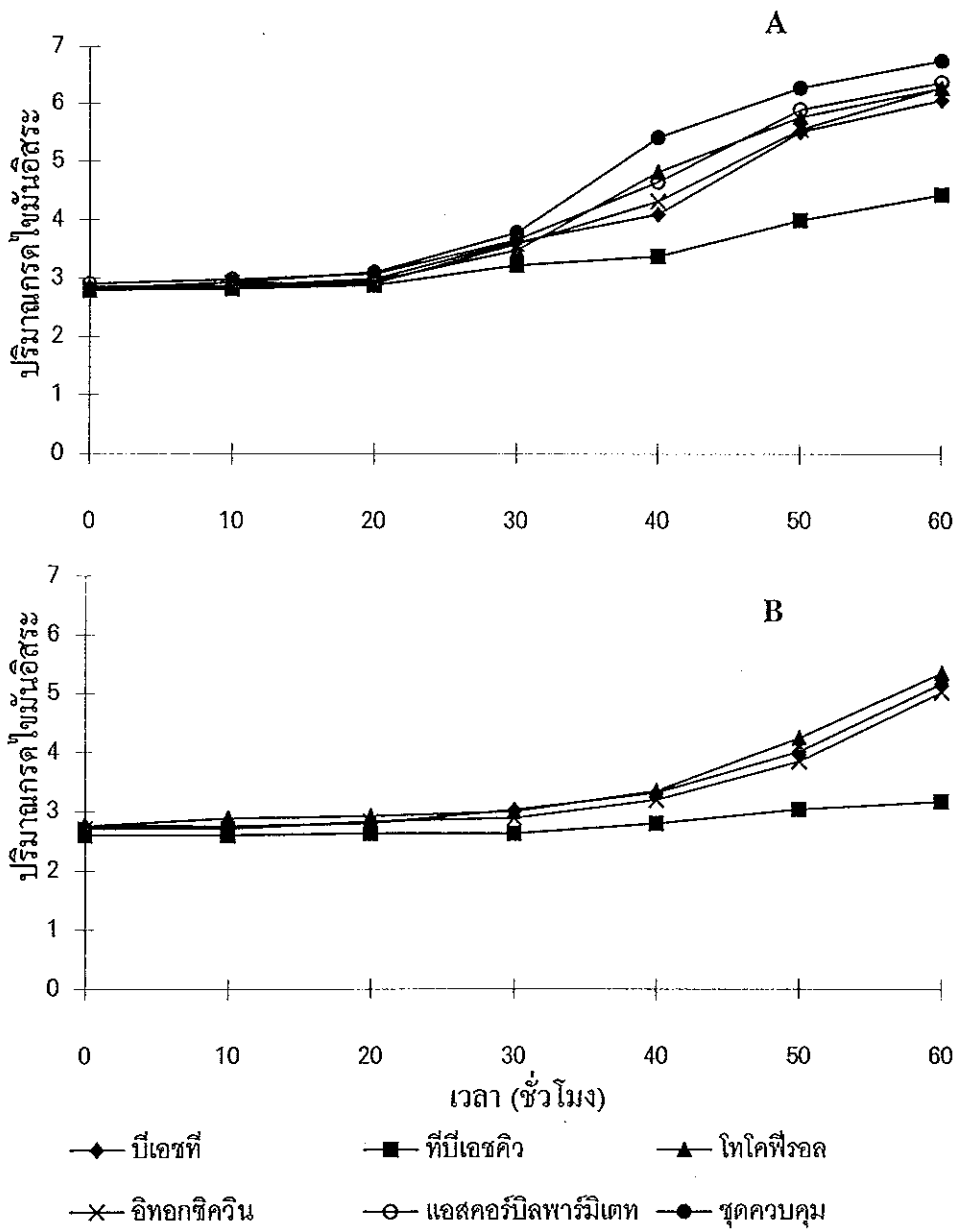
จากการศึกษาผลของสารกันหืนต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ภายใต้สภาวะการป่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง (ภาพที่ 45-46) พบว่าน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงการสลายพันธะเอสเทอร์ในไขมันเพิ่มขึ้น การใช้สารกันหืนสามารถทำให้น้ำมันมีความคงตัวเพิ่มขึ้น และ การใช้สารกันหืนต่างชนิดกันมีผลให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน ความร้อนสามารถเร่งการทำลายพันธะเอสเทอร์ในไขมันดังกล่าวได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในสภาวะที่มีน้ำปะปน และกรดไขมันอิสระที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระสัมพันธ์กับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น (ข้อ 7.1.2) Miyashita และ Takagi (1986) กล่าวว่ากรดไขมันอิสระจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอัตราที่สูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเหล่านั้น จากผลการทดลองเมื่อกรดไขมันอิสระสูงขึ้นและสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น



ภาพที่ 45 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาติบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

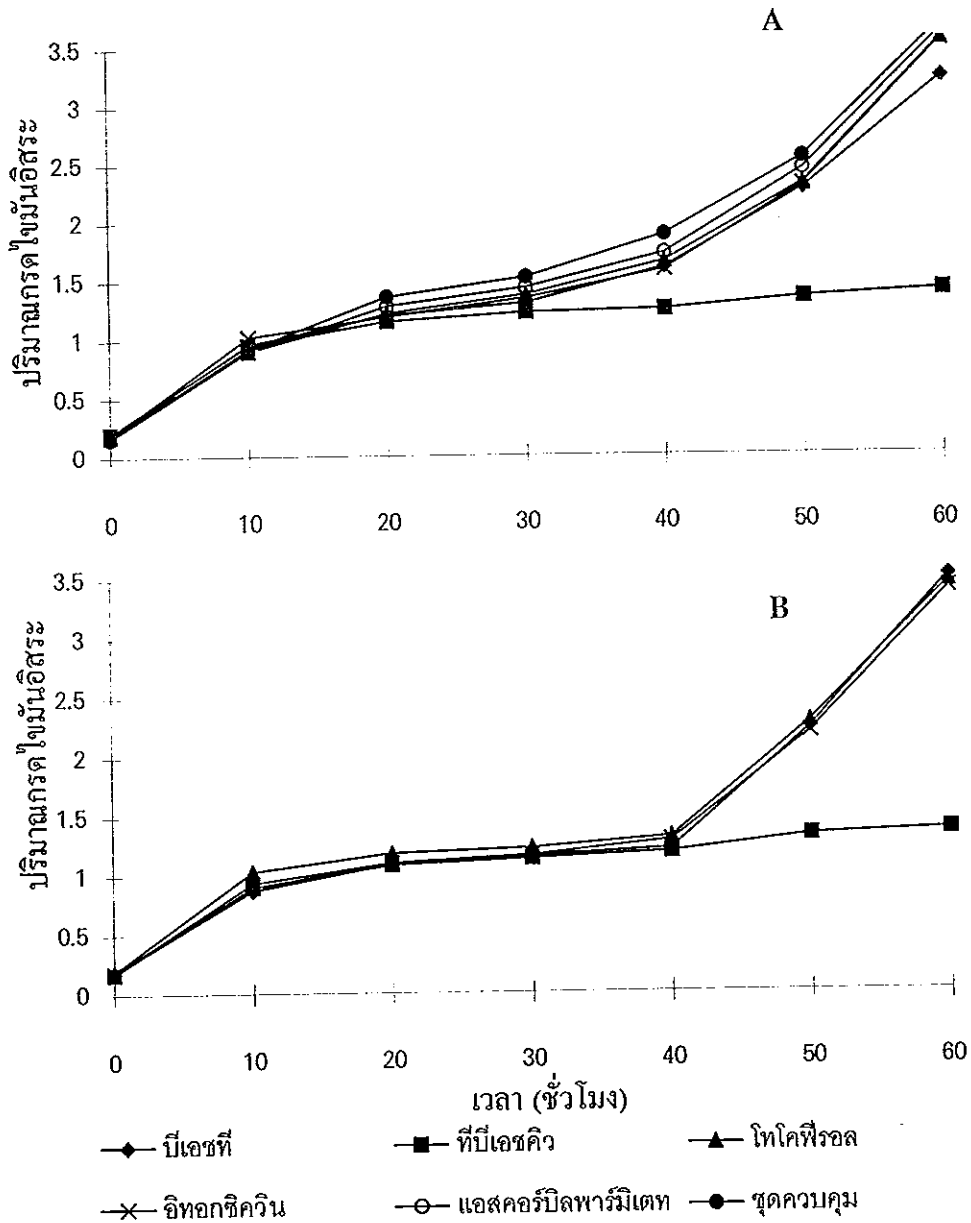
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท



ภาพที่ 46 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบ ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยปัมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

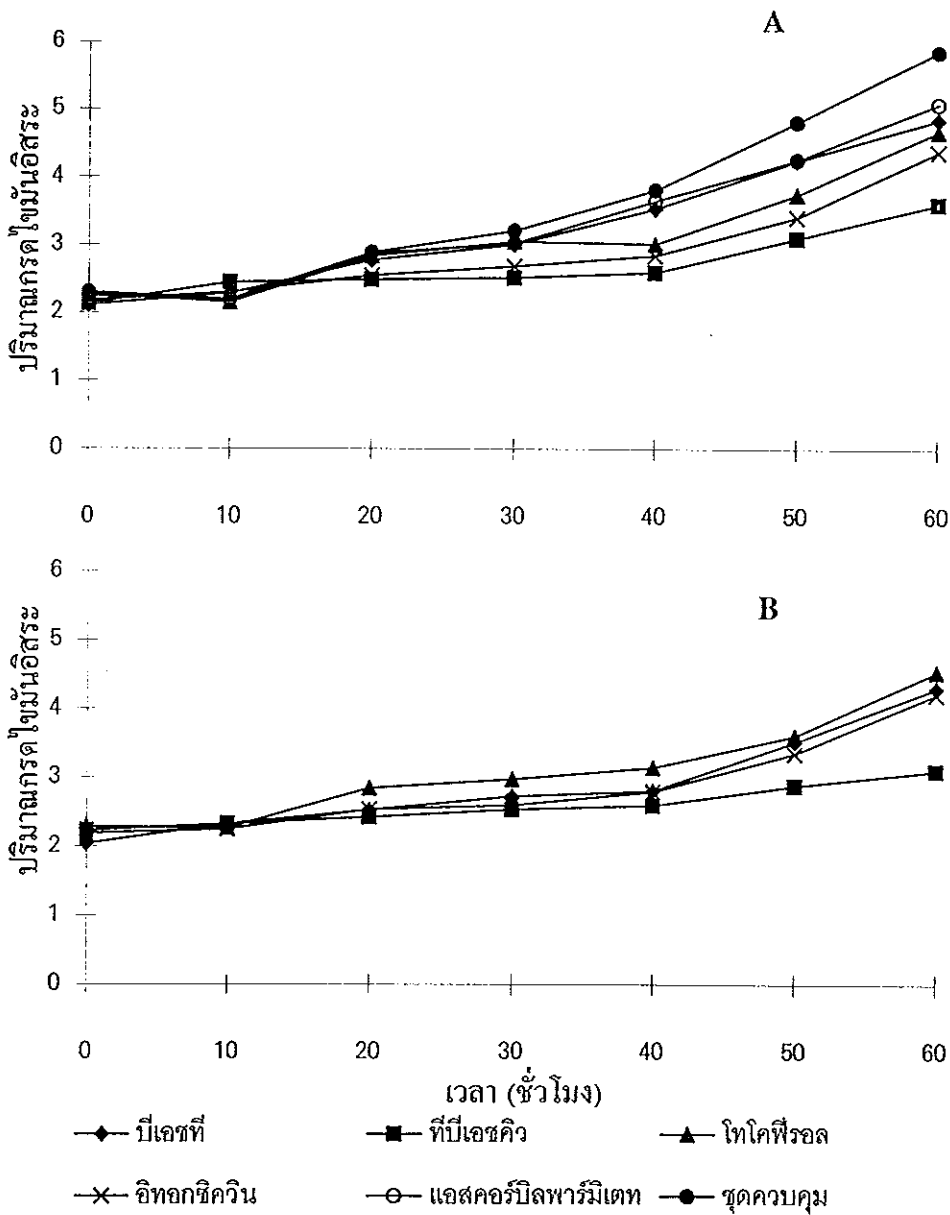
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท



ภาพที่ 47 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาหูน้ำพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท



ภาพที่ 48 ปริมาณกรดไนโตรเจน (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันดิบ ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

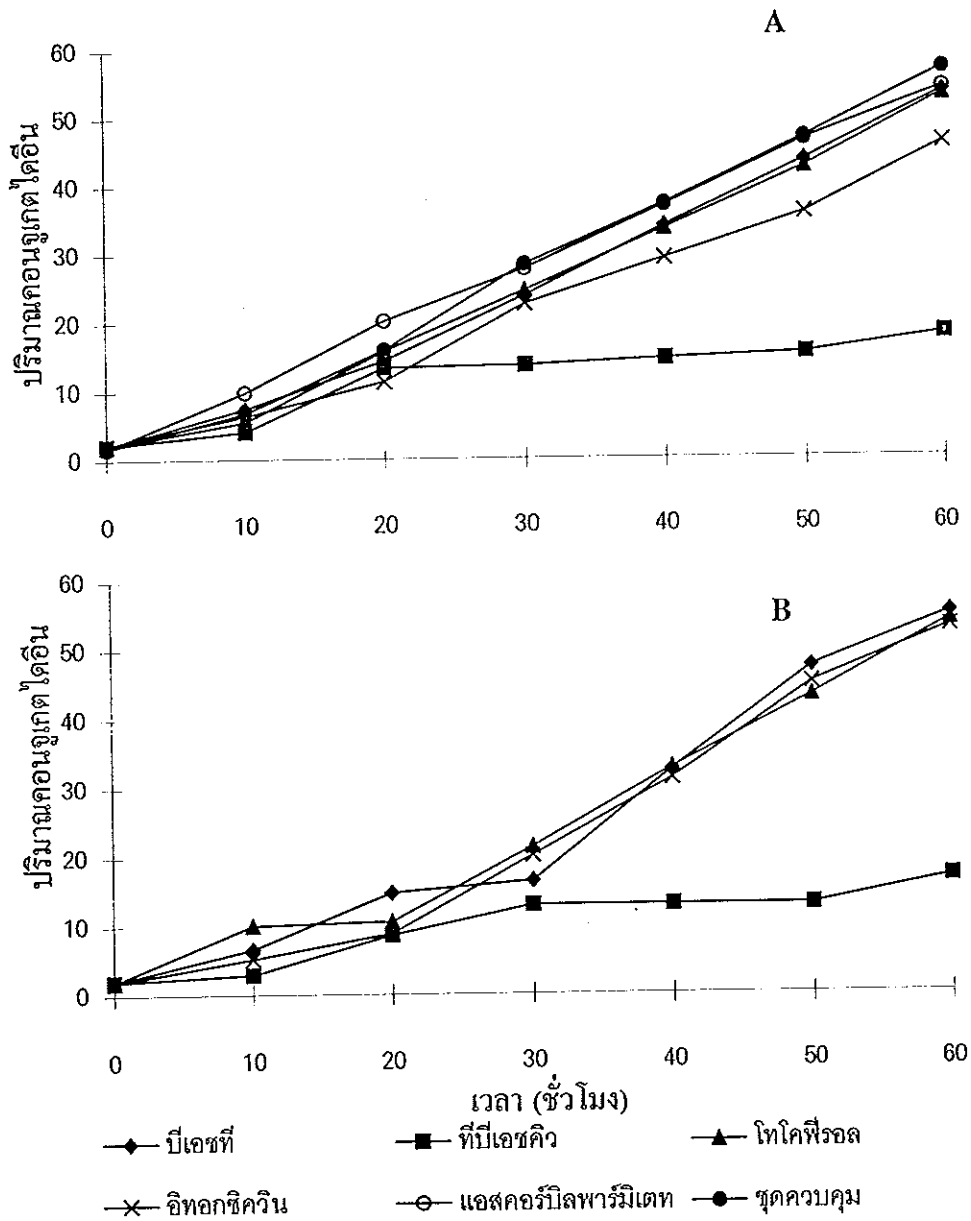
A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

#### 7.1.4 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน

จากการศึกษาผลของการใช้สารกันหืนต่อปริมาณคอนจูเกตไดอินในน้ำมัน ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 49-52) พบว่าจากการใช้สารกันหืนชนิดต่างๆ ในน้ำมันปลาทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่อปริมาณคอนจูเกตไดอิน อย่างไรก็ตามหลังจากชั่วโมงที่ 30 การใช้ที่บีเอชคิวทำให้คอนจูเกตไดอินในน้ำมัน มีปริมาณเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการใช้สารกันหืนชนิดอื่นๆ ปริมาณคอนจูเกตไดอินเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าหรือเท่ากับ 2 พันธะ มีผลให้พันธะคู่ซึ่งจัดเรียงตัวแบบ 1,4-pentadiene เปลี่ยนโครงสร้างอยู่ในรูปคอนจูเกตไดอิน (conjugated diene) ซึ่งสามารถนำไปเป็นดัชนีในการเกิดออกซิเดชันได้ Zhang และ Chen (1997) พบว่ากรดคอนจูเกตลิโนเลอิก (conjugated linoleic acid) ทั้งในรูปกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์จะเกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่ากรดลิโนเลอิก ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับ Frankel และ Huang (1996) ซึ่งได้ใช้กรดคาร์โนสิก (cornosic acid) ซึ่งเป็นสารกันหืนที่สกัดจากโรสแมรี่กับน้ำมันปลาที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดดีเอชเอ (กรดดีเอชเอ 281.90 มก.ต่อกรัมไขมัน) โดยปรมที่อุณหภูมิ เป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าคอนจูเกตไดอินของน้ำมันที่ไม่เติมสารกันหืน เติมกรดคาร์โนสิก 30 และ 50 ส่วนในล้านส่วน มีค่า 17.5 12.6 และ 9.5

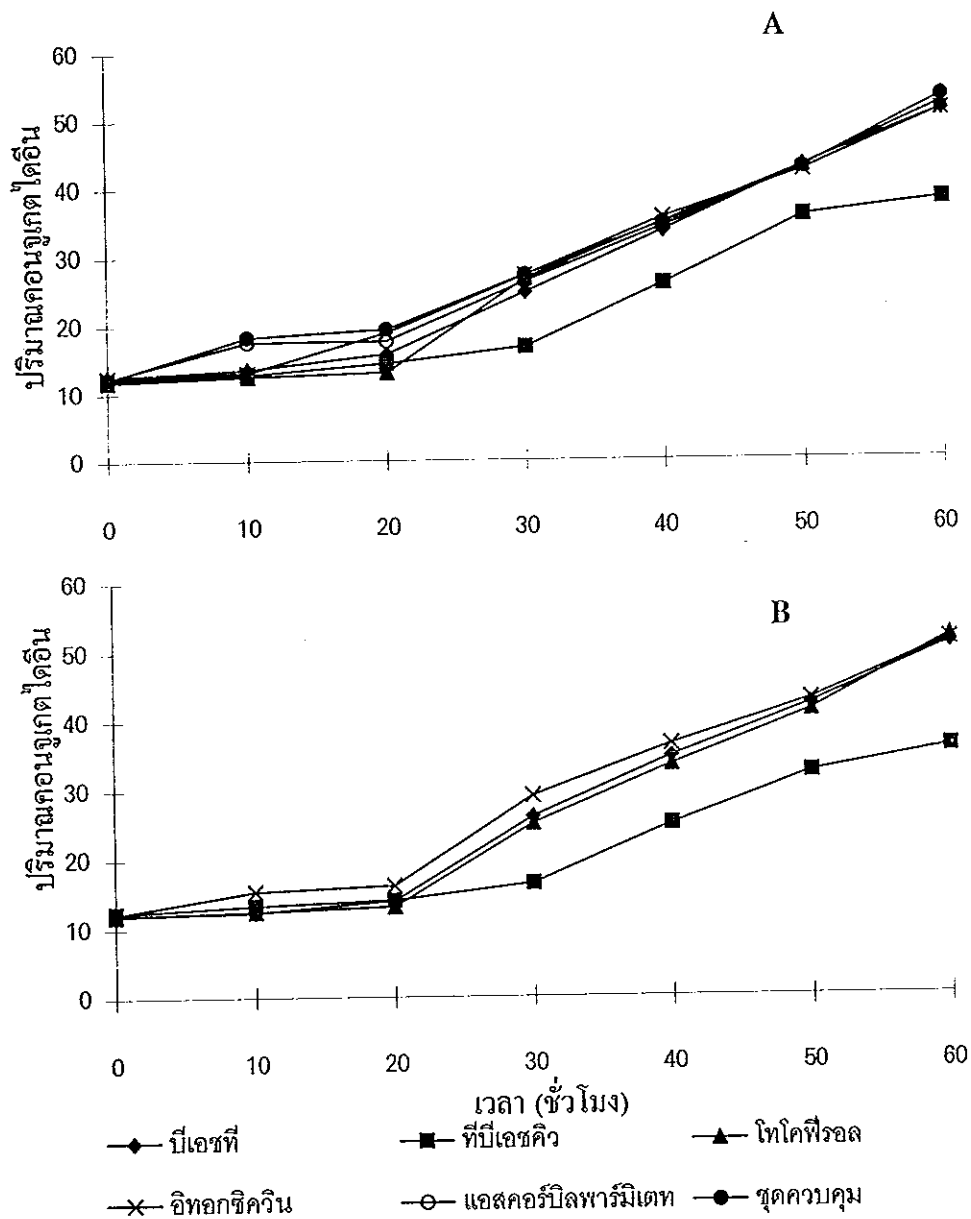
ดังนั้นจากการทดลองในน้ำมันทั้ง 4 ชนิด การใช้สารกันหืนที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท มีผลให้ปริมาณคอนจูเกตไดอินในน้ำมันต่ำสุด แสดงว่าสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้สารกันหืนชนิดอื่น



ภาพที่ 49 ปริมาณคอเลสเตอรอล (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสิบจากปลาช่อนพันธุ์โอแลบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอรือบิลฟารือมิเตท

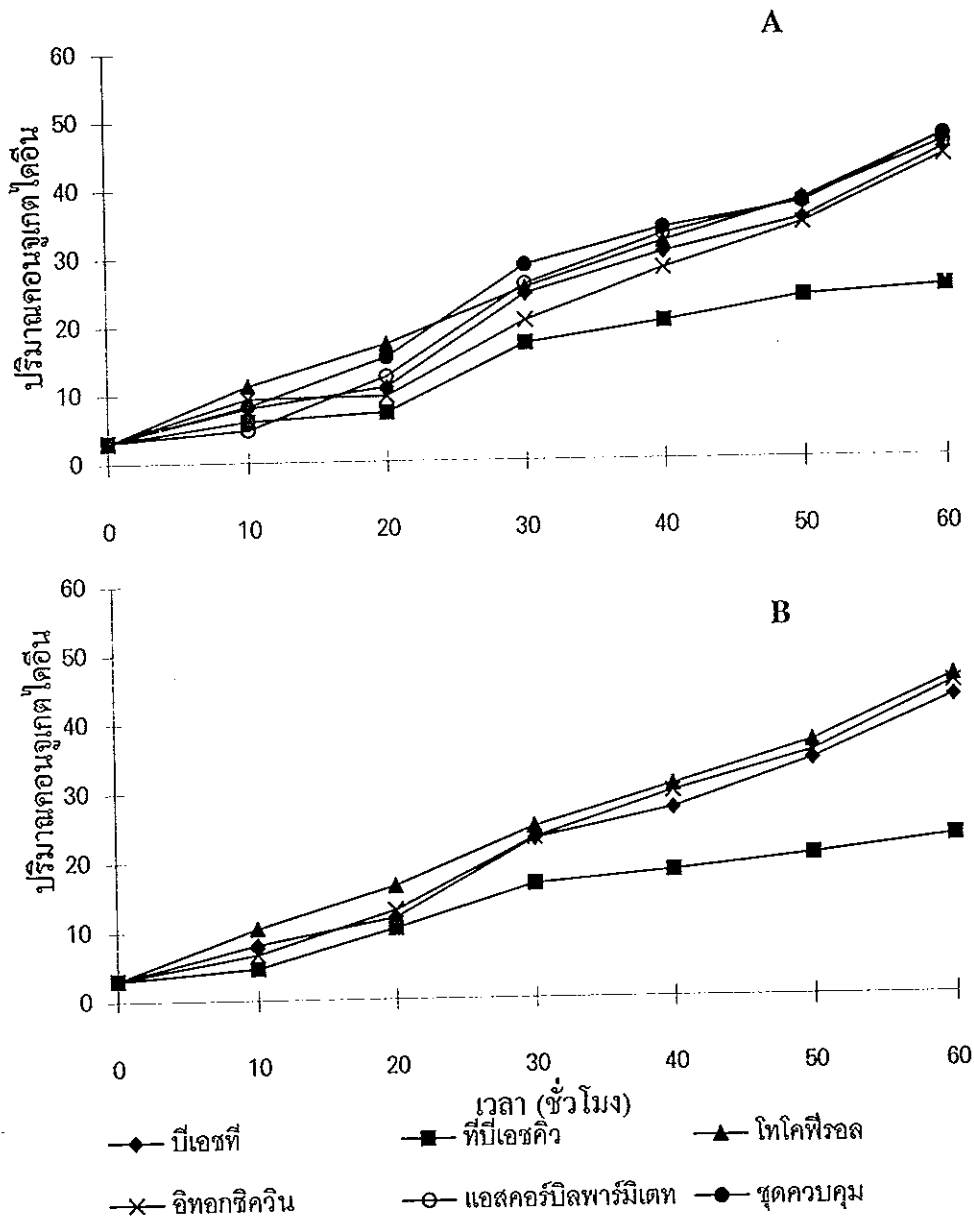
B ใช้ร่วมกับแอสคอรือบิลฟารือมิเตท



ภาพที่ 50 ปริมาณคอเลสเตอรอลที่ได้อิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาหูช้างโอแลบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมิเตท

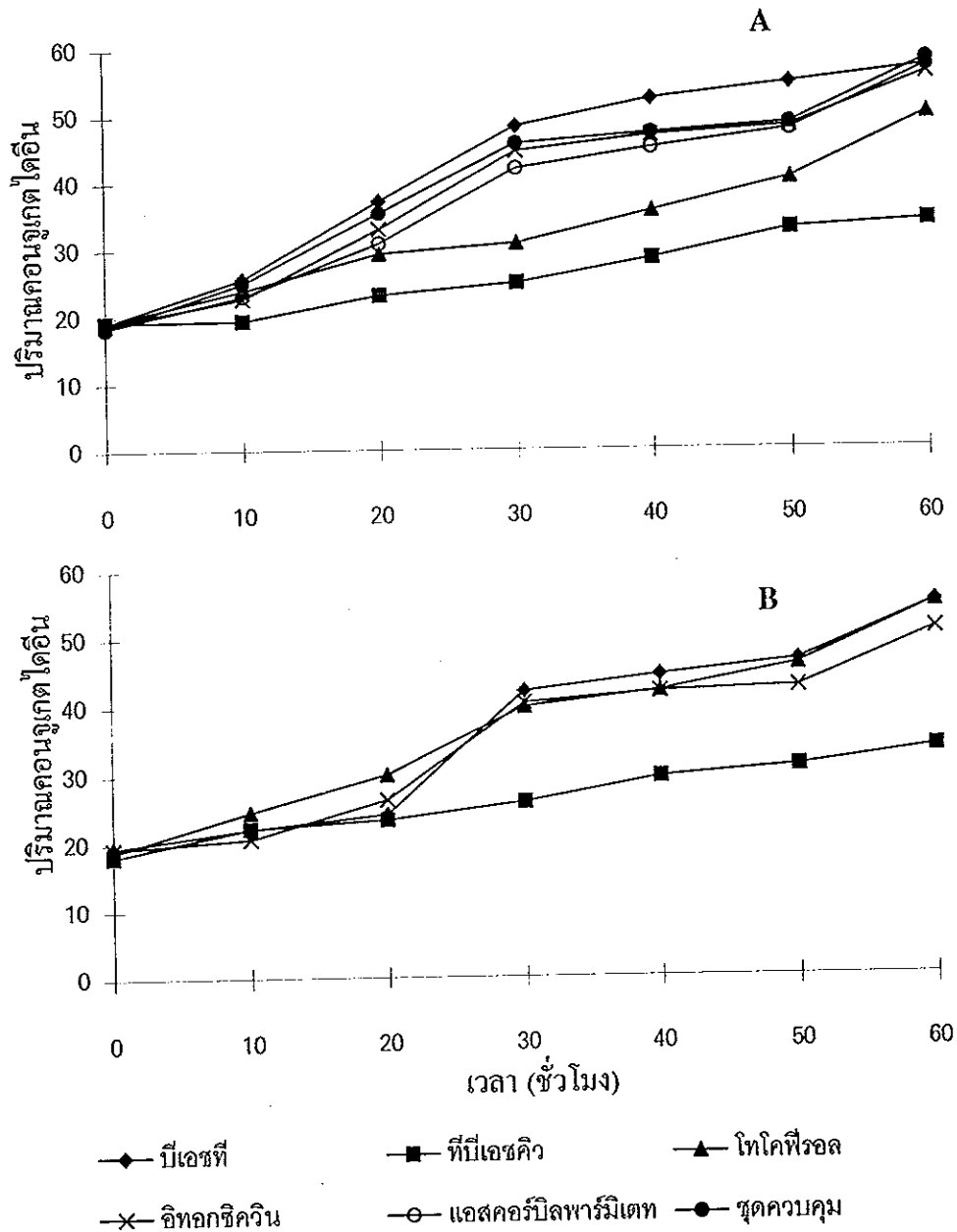
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมิเตท



ภาพที่ 51 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาหูน้ำพันธุ์โอแลบ โดยป๋มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท



ภาพที่ 52 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสง ต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาช่อนน้ำจืด โดยปรมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

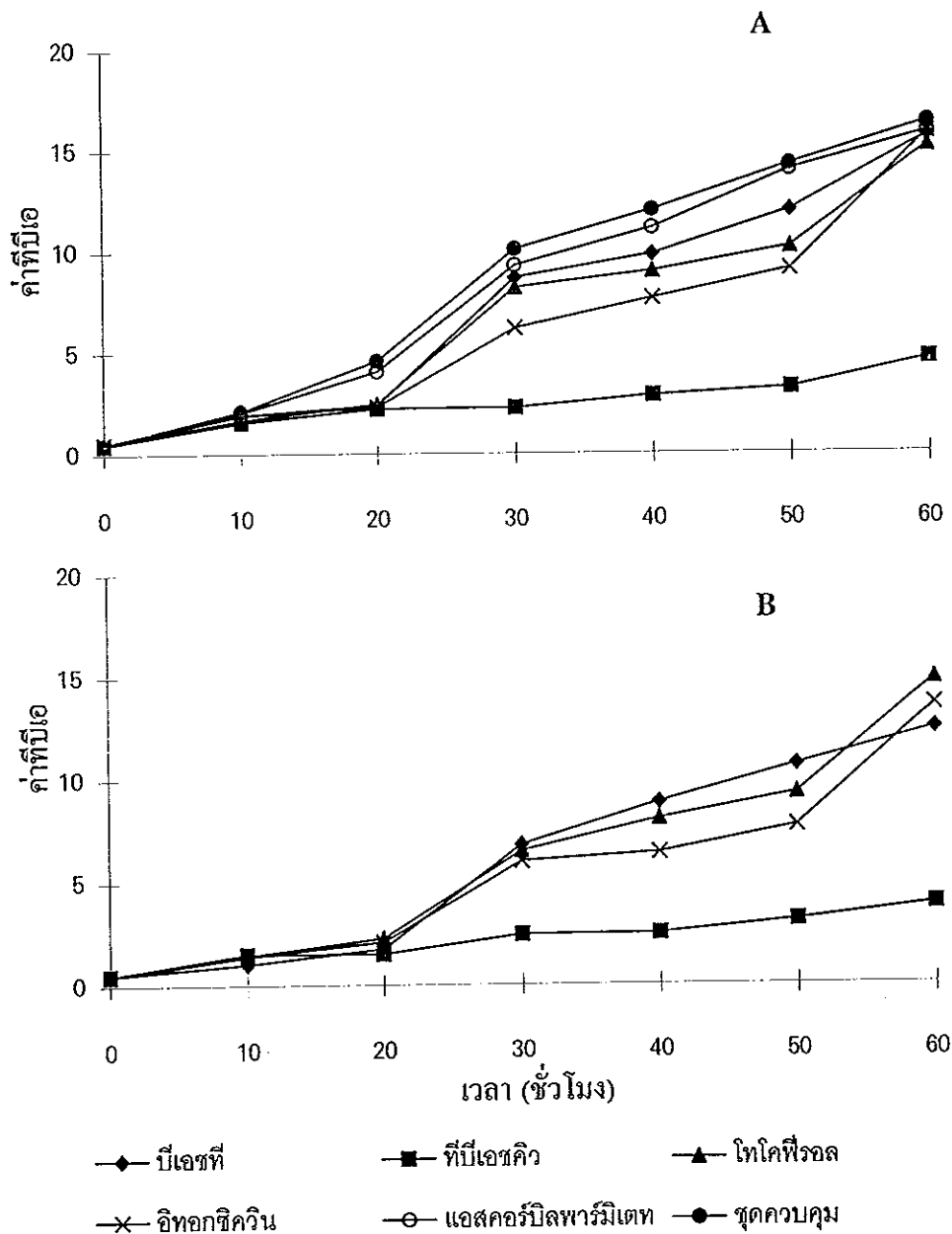
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

### 7.1.5 ค่าที่บีเอ

ผลของการใช้สารกันหืนต่อค่าที่บีเอของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลา  
 ดิบและหัวปลาสุก แสดงดังภาพที่ 53-56 การเสื่อมเสียของไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดจาก  
 ออกซิเจน ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์และจะเสื่อมสลายอย่างรวดเร็วเป็น อัลดีไฮด์  
 คีโตน อัลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีน้ำหนัก  
 โมเลกุลต่ำระเหยง่าย ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ (Boyd et al., 1992) ค่าที่บีเอสามารถ  
 เป็นดัชนีบอกกลิ่นที่ไม่ต้องการของน้ำมันได้ (Kaitaranta, 1981) จากการทดลองพบว่าการ  
 เติมทีบีเอชคิวทำให้ค่าที่บีเอของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ต่ำสุด ในการเก็บน้ำมันเป็นเวลา 60 ชั่วโมง  
 ( $P < 0.05$ ) และน้ำมันที่เติมทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทให้ค่าที่บีเอต่ำกว่า  
 น้ำมันที่ไม่เติมแอสคอร์บิลพาร์มีเตท ( $P < 0.05$ ) ในช่วงเวลา 40-60 ชั่วโมง ค่าที่บีเอของน้ำ  
 มันบริสุทธิ์ต่ำกว่าน้ำมันดิบทั้งน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก การเพิ่มขึ้นของค่าที่บี  
 เอในน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ซึ่งเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ มีรูปแบบเหมือนกับการเพิ่มขึ้นของ  
 น้ำหนักน้ำมัน King และคณะ (1992) ตรวจสอบค่าที่บีเอของน้ำมันปลาซาลมอนที่  
 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าค่าที่บีเอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหมือนกับการบ่มที่อุณหภูมิ  
 55 องศาเซลเซียส แต่การใช้อุณหภูมิสูงสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เร็วกว่า Boyd และ  
 คณะ (1992) พบว่าค่าที่บีเอของกรดดีเอชเอสูงกว่ากรดอีทีเอและกรดลินอเลอิก ตามลำดับ  
 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และภายในเวลา 65 นาที มีการสูญเสียของ  
 กรดดีเอชเอ อีทีเอและลินอเลอิก ร้อยละ 95 60 และ 22 ตามลำดับ และพบว่ากรดไขมัน  
 โอเมก้า-3 ที่ลดลงสัมพันธ์กับปริมาณอะซีทาลดีไฮด์ โพรพานอลและเฮกซานอลที่เกิดขึ้น  
 ซึ่งสัมพันธ์กับค่าที่บีเอที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน Kaitaranta (1992) ได้ทดสอบค่าที่บีเอของน้ำ  
 มันปลาเคปลินซึ่งเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์  
 ปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและปริมาณโพลาไรไลปิดพบว่าความเข้มข้นของสารกันหืนที่เพิ่ม  
 ขึ้นมีผลทำให้ค่าที่บีเอลดลง ค่าโพลาไรไลปิดมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นแบบเส้น  
 ตรง ส่วนค่าที่บีเอสัมพันธ์กับปริมาณโพลาไรไลปิดแบบไฮเปอร์โบลิก (hyperbolic) ค่าที่บี  
 เอจะแสดงถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ไม่สามารถแสดงคุณภาพ  
 ทั้งหมดของน้ำมันได้ Mehta และ Zayaz (1995) ใช้ค่าที่บีเอในการทดสอบประสิทธิภาพ  
 สารกันหืนจากสารสกัดจากเมล็ด ajowan ที่ใช้เมธานอลเป็นสารสกัด เปรียบเทียบกับการ  
 ใช้บีเอชที ในกรดลินอเลอิกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สารสกัดในปริมาณ

ต่ำทำให้ค่าที่บีเอเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้สารสกัดในปริมาณสูง และการใช้สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน มีผลให้ได้ค่าที่บีเอใกล้เคียงกับการใช้บีเอชที่ที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน

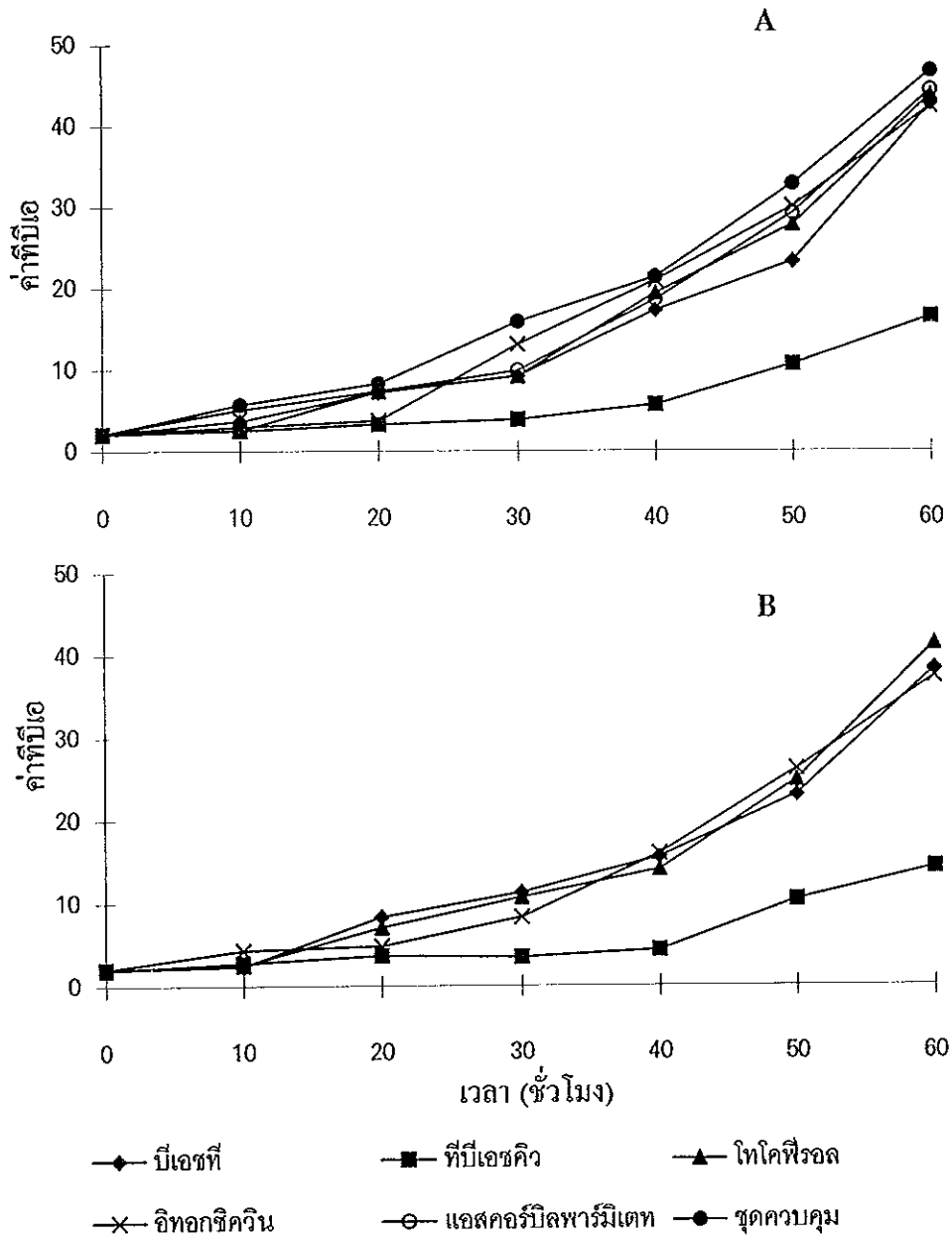
ดังนั้นการใช้ที่บีเอชควรร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท สามารถชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงสุดซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณคอนจูเกตไดอิน เป็นดัชนีบ่งชี้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 53 ค่าที่บิเอ (มก.มาโลนาลดีไฮด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ ของหัวปลาดีบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท

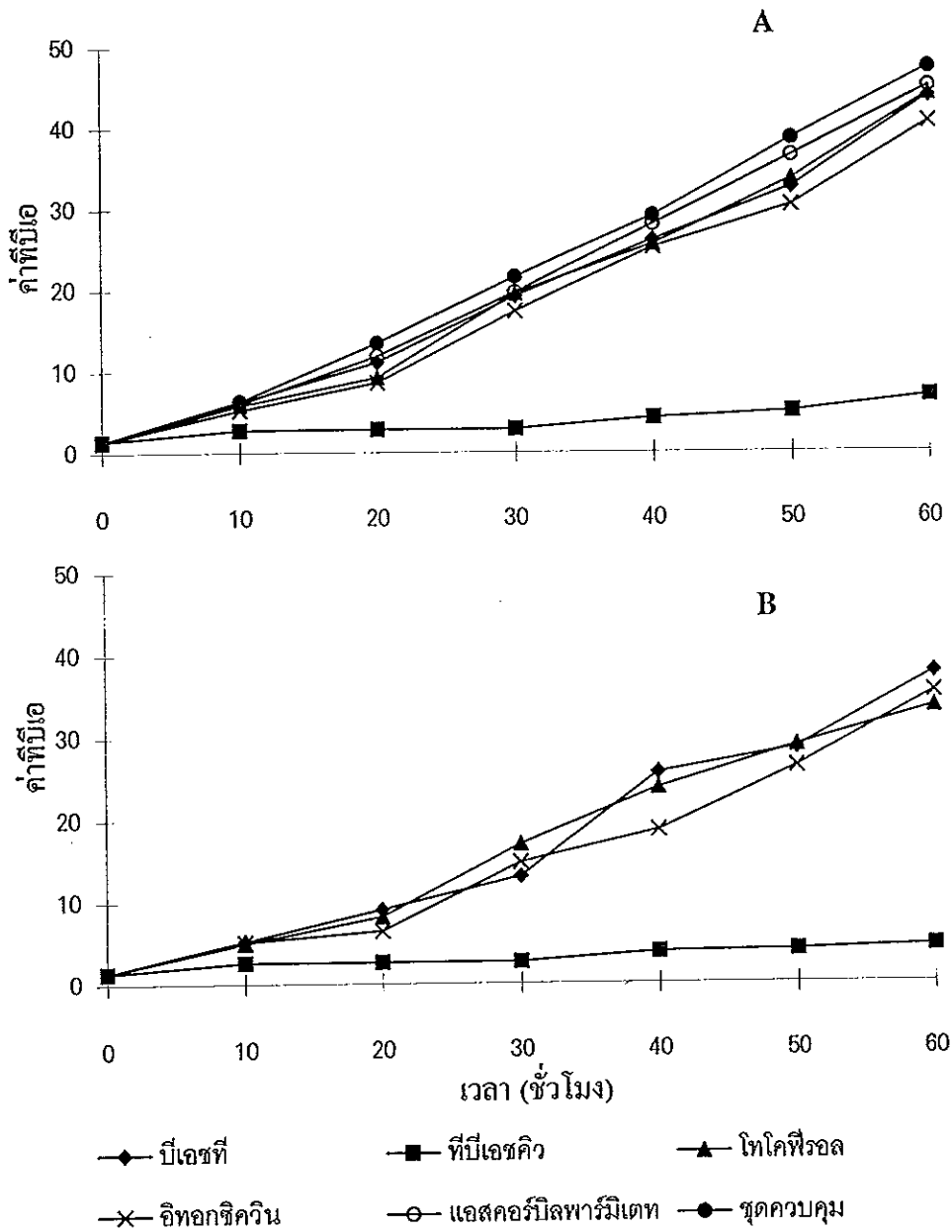
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท



ภาพที่ 54 ค่าที่บีเอ (มก.มาโลนาลดีฮายด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบ ของหัวปลาดิบจากปลาหูน้ำพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท

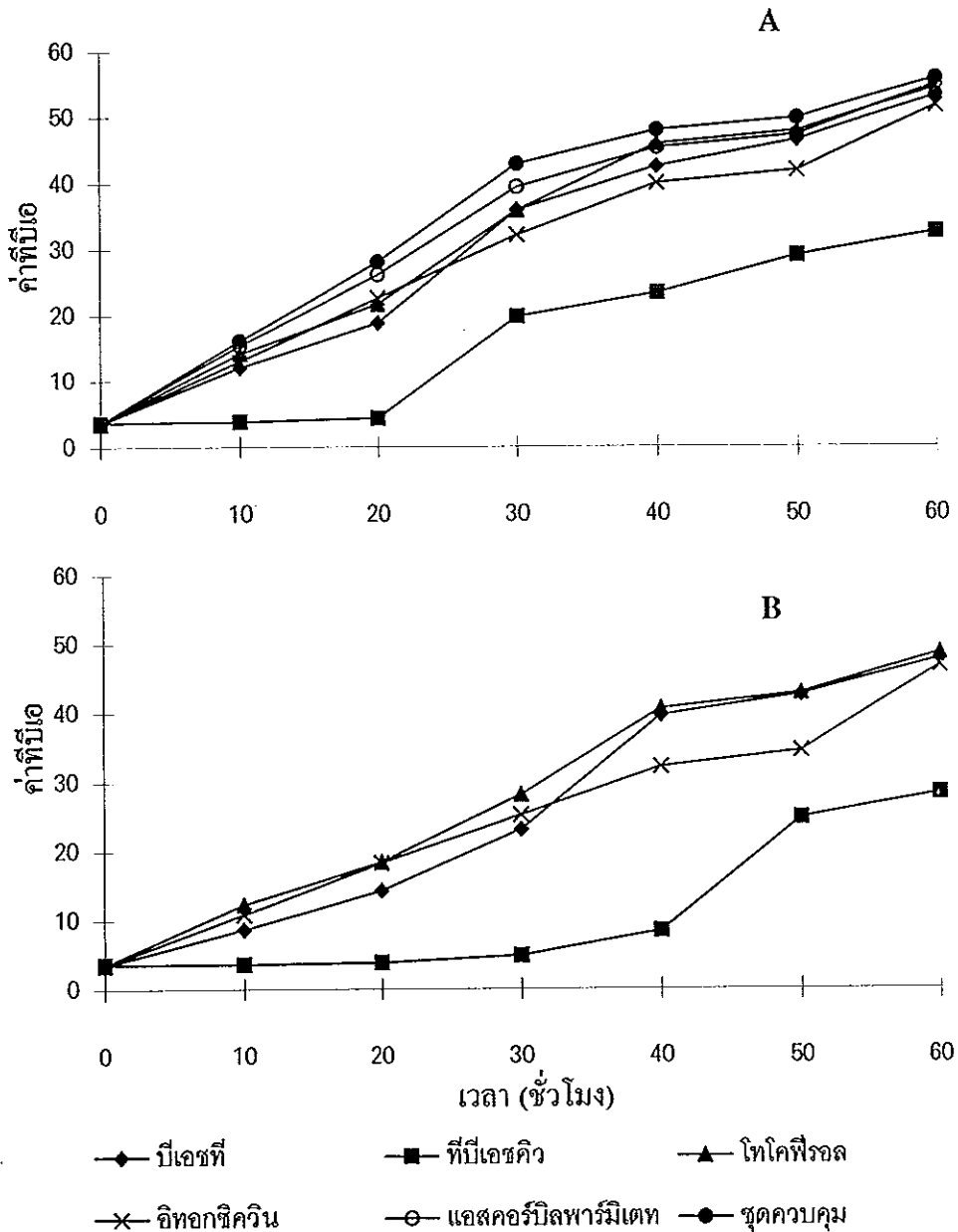
B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท



ภาพที่ 55 ค่าที่บีเอ(มก.มาโลนาตีสายด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาหูหน่าพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท

B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพารมีเตท



ภาพที่ 56 ค่าที่บีเอ(มก.มาโลนาลดีไฮด์ ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันดิบของหัวปลา  
 สุกจากปลาหูช้างพันธุ์โอแถบ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส  
 เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน  
 A ไม่ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท  
 B ใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท

จากการคัดเลือกชนิดของสารกันหืนในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก โดยวิธี accelerated oxidation test นั้น พบว่าการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท สามารถชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสภาวะการคัดเลือกสารกันหืนเป็นสภาวะเร่ง ซึ่งอาศัยความร้อนและออกซิเจนในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวแตกต่างกับสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกสารกันหืนที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดจาก accelerated oxidation test จำนวน 2 ชนิด (การใช้ที่บีเอชคิว และการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท) และเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่เติมสารกันหืน มาศึกษาถึงประสิทธิภาพการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์

## 7.2 ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ทำการเติมสารกันหืนที่บีเอชคิว และการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท เก็บในขวดแก้วสีชาเต็มขวด ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าน้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณคอนจูเกต ไดอิน และค่าที่บีเอแตกต่างกัน

### 7.2.1 ค่าเปอร์ออกไซด์

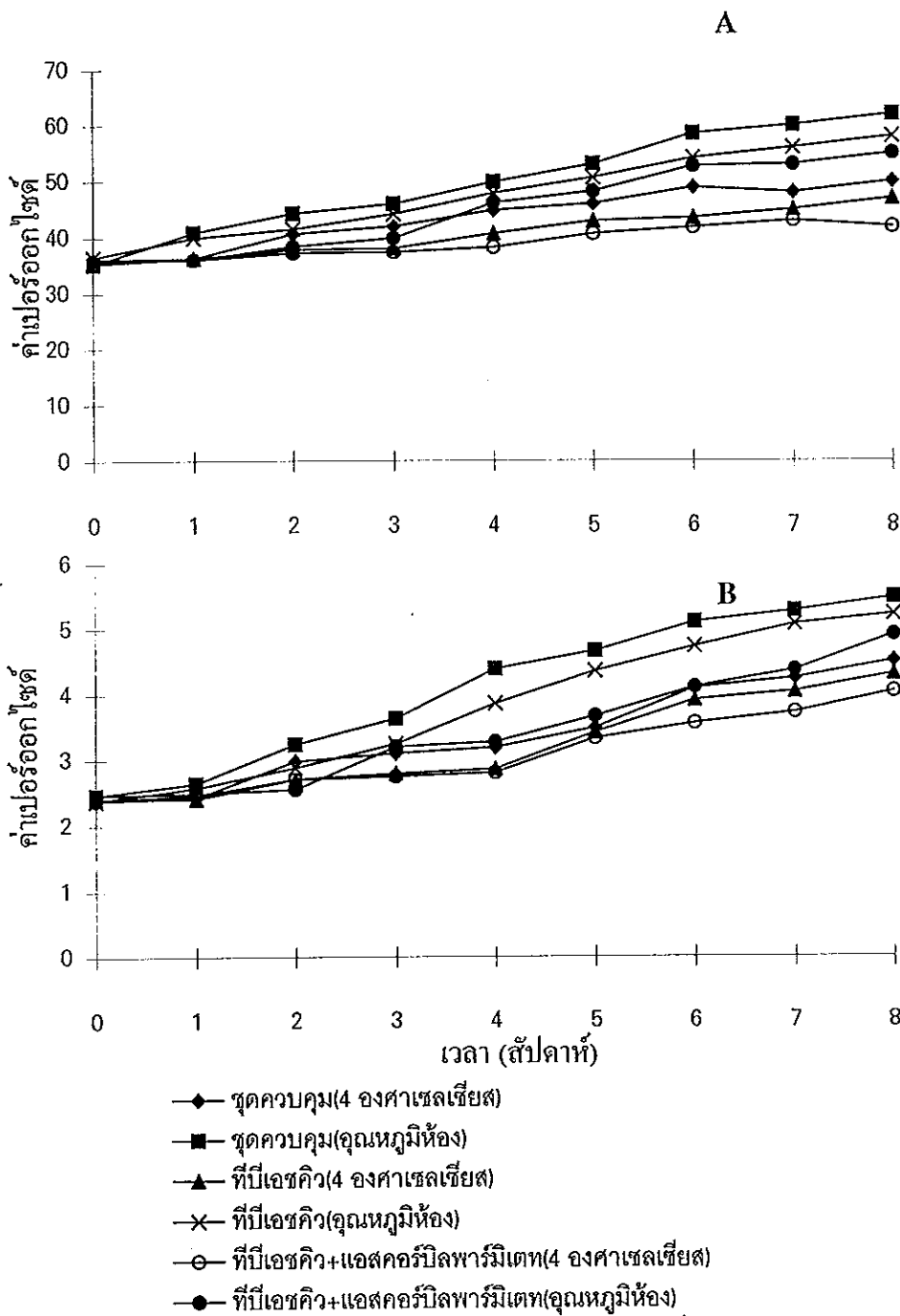
การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปลาจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก แสดงดังภาพที่ 57-58 น้ำมันจากหัวปลาดิบ ทั้งน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เติมสารกันหืน มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดในทุกๆ สัปดาห์ เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้สารกันหืนชนิดเดียวกันในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษา ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เติมที่บีเอชคิว และที่เติมที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากใน 3 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ดังนั้นการใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท สามารถชะลอการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปลาจากหัวปลาดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดควบคุมและน้ำมันที่เติมที่บีเอชคิวเพียงอย่างเดียว

สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุก การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส น้ำมันที่เติมที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันปลาที่ไม่เติมกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษาน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นน้อยมากภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์

จากข้อกำหนด มาตรฐานค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันปลาดิบเท่ากับ 3-20 มก.สมมูลต่อกก.น้ำมัน ดังนั้นน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นสูงกว่ามาตรฐาน ส่วนข้อกำหนดมาตรฐานค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันบริสุทธิ์นั้นกำหนดให้ มีค่าน้อยกว่า 10 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบ การเก็บที่

อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วงที่กำหนด โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและเติมทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุด Ackman (1988) ศึกษาการเก็บน้ำมันปลาที่บรรจุอยู่ในแคปซูลเจลลาตินที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏจากแสงเป็นเวลา 4 ปี พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลง โดยมีค่า 1.9 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมันและค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.29 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกซึ่งเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ในสัปดาห์ที่ 8 ของน้ำมันที่เติมสารกันหืนทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท มีค่า 14.32 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น เท่ากับ 8.25 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) เก็บรักษาน้ำมันบริสุทธิ์จากน้ำนิ่งปลาทูน่า ที่อุณหภูมิห้อง 4 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น 0.29 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน เพิ่มขึ้นเป็น 2.2-2.9 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ภายหลังจากเก็บรักษา 4 เดือน สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันบริสุทธิ์จากน้ำนิ่งปลาทูน่าโดยใช้โทโคฟีรอลเป็นสารกันหืน โดยบรรจุน้ำมันในขวดแก้วรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 เดือน ปรากฏว่าการเติมโทโคฟีรอลร้อยละ 0.1-6.0 ไม่สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นถึง 60 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมันภายใน 1 เดือน พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) เก็บรักษาน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากทูน่าพันธุ์โอแถบ เป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น โดยใช้สารกันหืนทีบีเอชคิวร่วมกับกรดซิตริก พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นให้ผลดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ยของน้ำมันเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นนาน 1 เดือน อยู่ที่ 3 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมันส่วนน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ย 3.7 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน Hsice และ Regenstein (1991) เก็บรักษาน้ำมันปลาที่อุณหภูมิ 2 และ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ทีบีเอชคิวเป็นสารกันหืน พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตลอดการเก็บรักษา 14 สัปดาห์

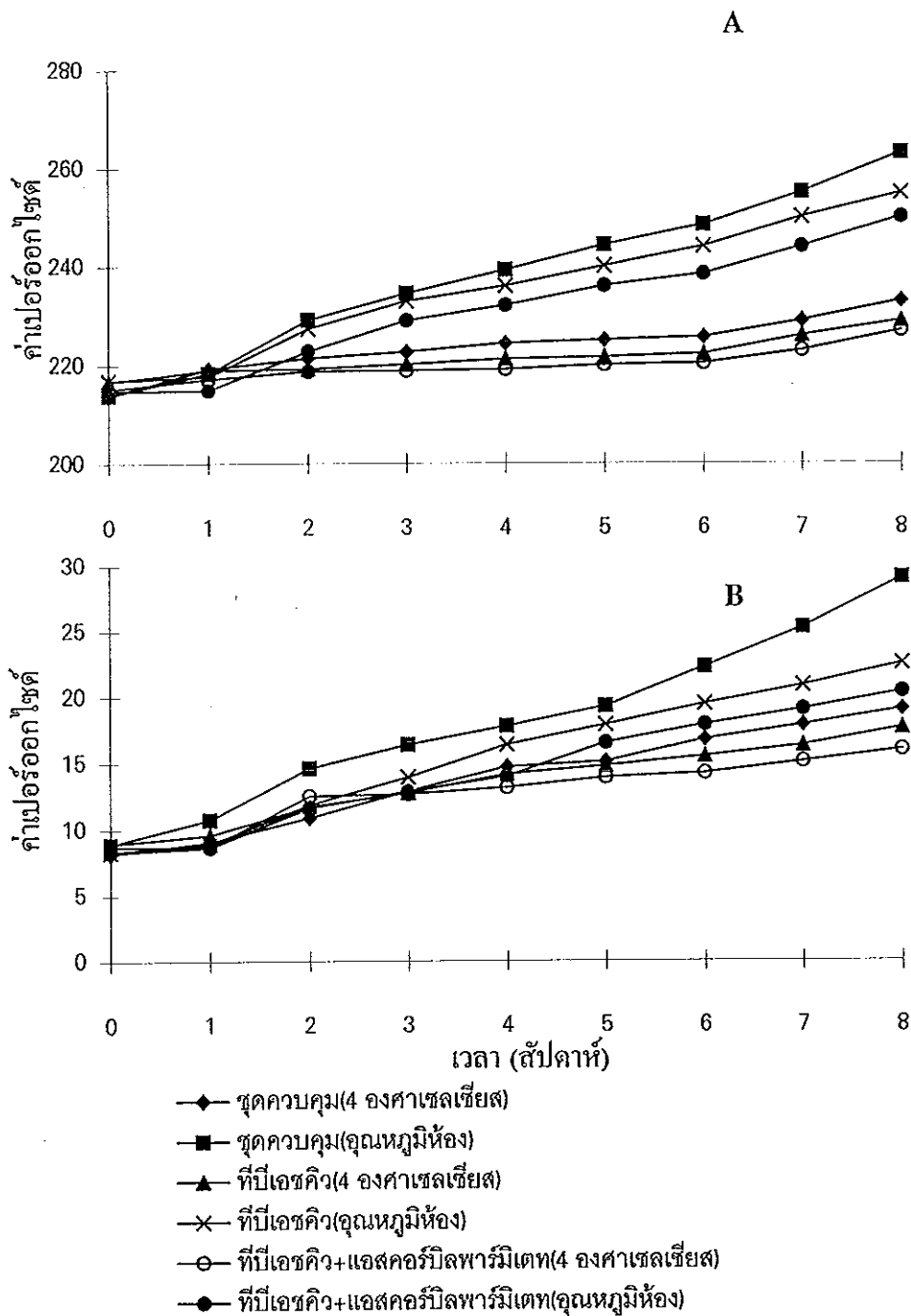
ดังนั้นการใช้ทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท ในน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากทั้งหัวปลาดิบและหัวปลาสุก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงสุด



ภาพที่ 57 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A น้ำมันดิบ

B น้ำมันบริสุทธิ์



ภาพที่ 58 ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อกก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

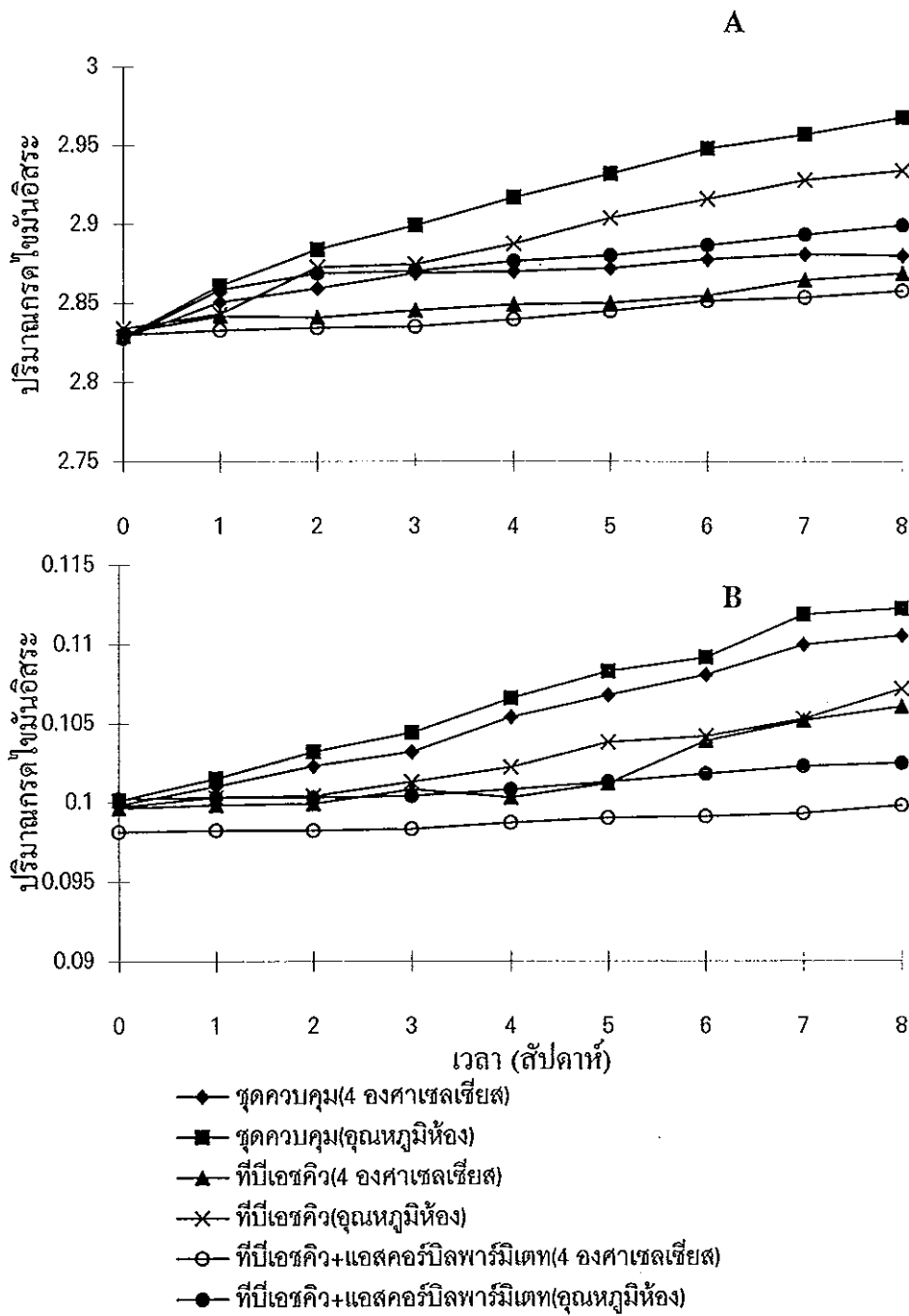
A น้ำมันดิบ

B น้ำมันบริสุทธิ์

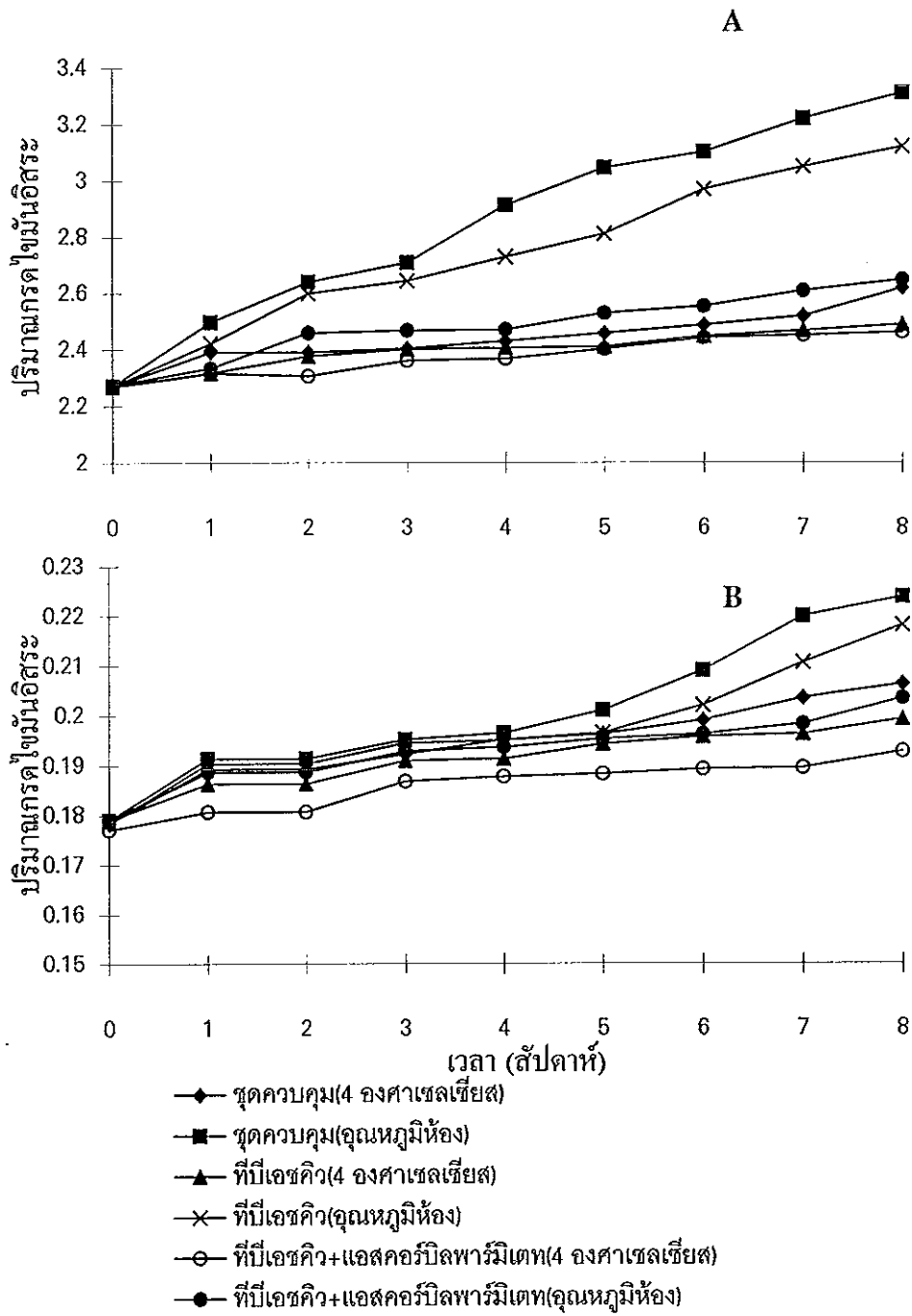
## 7.2.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 59-60 พบว่าน้ำมันจากหัวปลาดิบ ซึ่งเติมทีบีเอชทีร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยมาก ตลอดระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์ โดยเฉพาะในน้ำมันบริสุทธิ์พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยมาก ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสูงกว่าน้ำมันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทั้งในน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ ผลของการใช้สารกันหืนและผลของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากหัวปลาสุกให้ผลเช่นเดียวกับน้ำมันจากหัวปลาดิบ

ข้อกำหนดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ ไม่ควรเกินร้อยละ 2.5 ของกรดโอเลอิกและในน้ำมันบริสุทธิ์ไม่ควรเกินร้อยละ 0.3 ของกรดโอเลอิก ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปลาทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด จากการทดลองของ สมบัติ รุ่งศิลป์ (2541) พบว่าน้ำมันบริสุทธิ์จากน้ำนิ่งปลา ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปโดยน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส ให้กรดไขมันอิสระในเดือนที่ 4 มีค่าร้อยละ 0.13 ในขณะที่น้ำมันเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าร้อยละ 0.19 และพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ(2538) เก็บรักษาน้ำมันปลาในขวดแก้วที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในเดือนที่ 0 1 2 และ 3 มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13 0.13 0.23 และ 0.25 ตามลำดับ



ภาพที่ 59 ปริมาณกรดไนโตรเจน (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันจากหัว  
 ปลาดิบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะ  
 เวลาแตกต่างกัน  
 A น้ำมันดิบ  
 B น้ำมันบริสุทธิ์



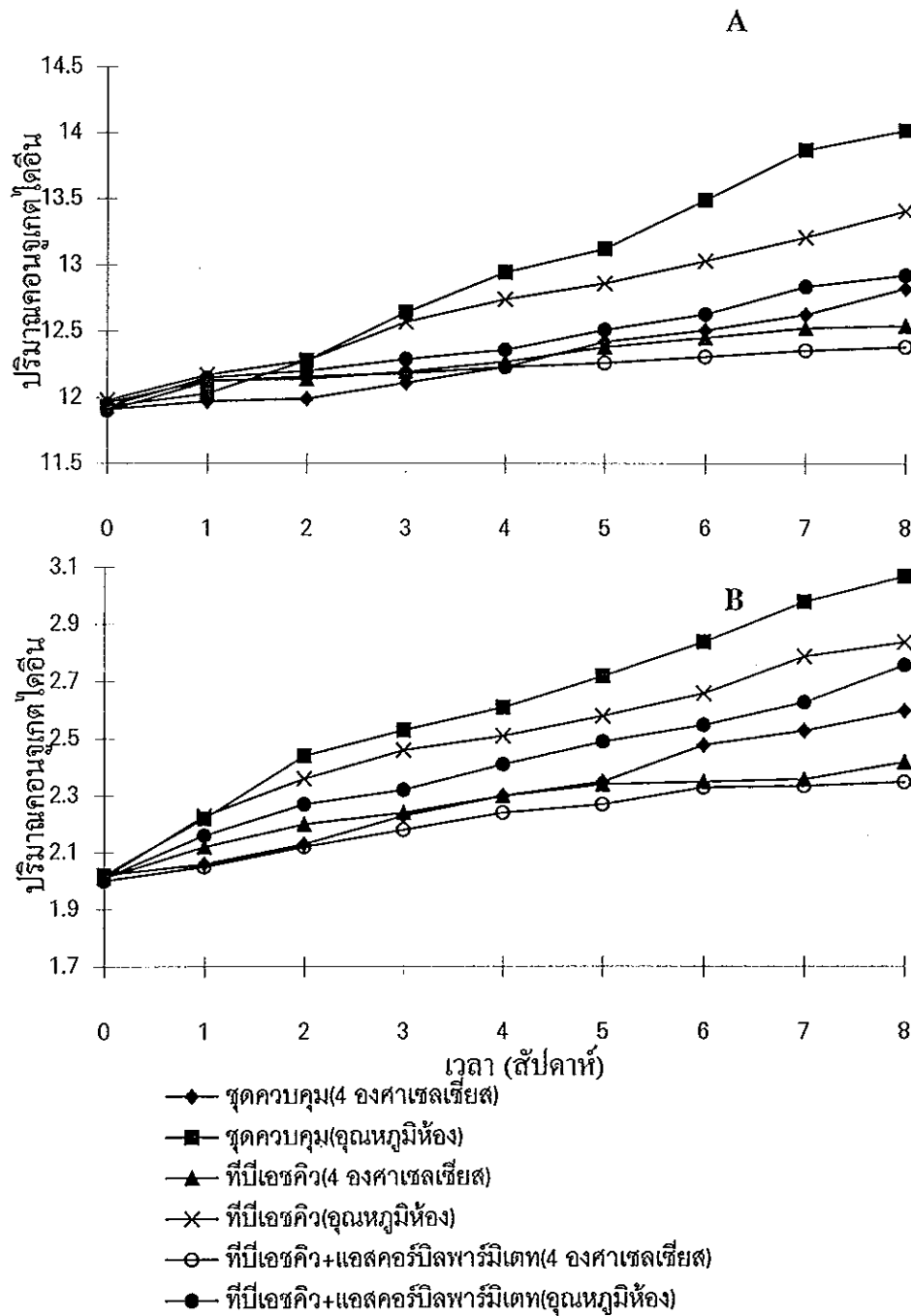
ภาพที่ 60 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละของกรดโอเลอิก) ของน้ำมันจากหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A น้ำมันดิบ

B น้ำมันบริสุทธิ์

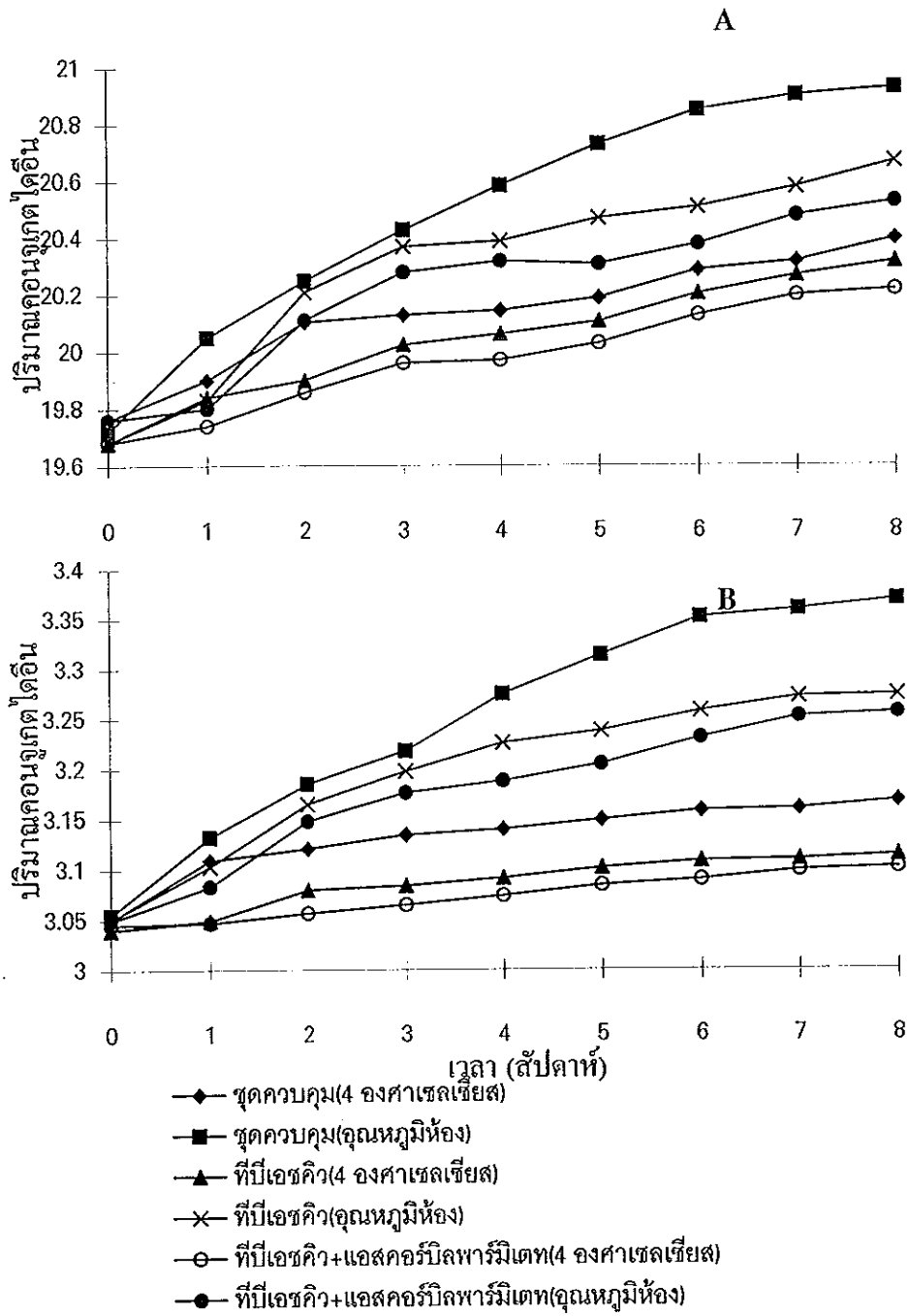
### 7.2.3 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคอนจูไดอินในน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกแสดงดังภาพที่ 61-62 น้ำมันจากหัวปลาดิบซึ่งเติมทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณคอนจูเกตไดอินในน้ำมันต่ำสุด การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณคอนจูเกตไดอินน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สำหรับน้ำมันจากหัวปลาสุกให้ผลเช่นเดียวกับน้ำมันจากหัวปลาดิบ ปริมาณคอนจูเกตไดอินที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าหรือเท่ากับ 2 พันธะเปลี่ยนโครงสร้างให้อยู่ในรูปคอนจูเกตไดอิน ดังนั้นการใช้ทีบีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตท ทำให้ปริมาณคอนจูเกตไดอินในน้ำมันต่ำสุด แสดงว่าสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกับค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระ เมื่อกรดลิโนอิกออกไซด์เป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ พันธะคู่เปลี่ยนรูปแบบเป็นคอนจูเกต ซึ่งไฮโดรเปอร์ออกไซด์และคอนจูเกตไดอินสามารถกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 232 นาโนเมตร ส่วนสารทุติยภูมิ (secondary products) โดยเฉพาะไดคัลโตน (didetone) มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 268 นาโนเมตร ส่วนคอนจูเกตไตรอิน (conjugate triene) ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 268 นาโนเมตร หรือ 278 นาโนเมตร (Rossell, 1994)



ภาพที่ 61 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสงต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาติบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A น้ำมันคิน  
B น้ำมันปรัสุท



ภาพที่ 62 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (ค่าการดูดกลืนแสงต่อ 50 มก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

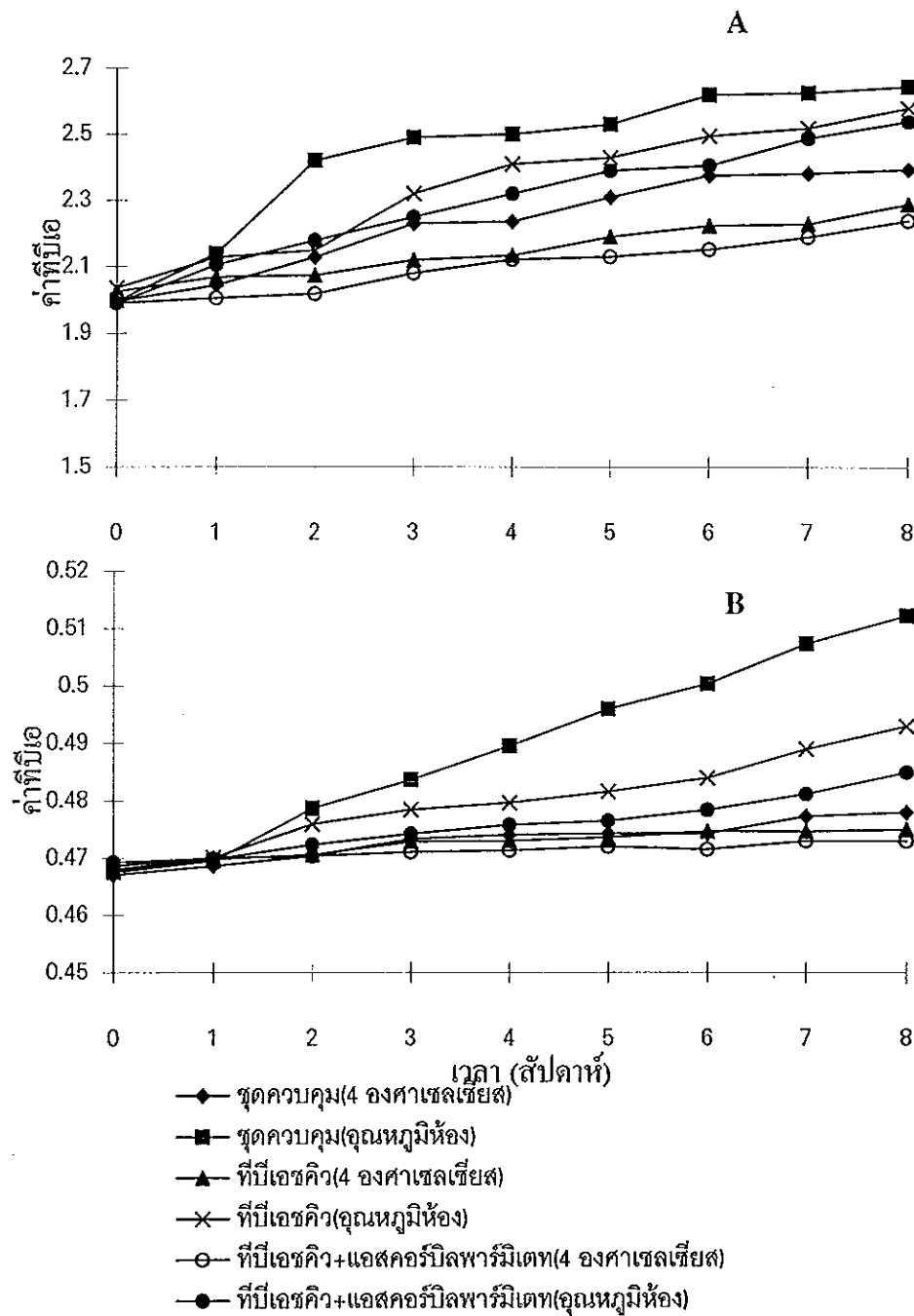
A น้ำมันคิน

B น้ำมันบรืสุท

#### 7.2.4 ค่าที่บีเอ

การเปลี่ยนแปลงค่าที่บีเอของน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก เก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 63-64 พบว่า น้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ที่ไม่เติมสารกันหืนและเก็บที่อุณหภูมิห้อง ให้ค่าที่บีเอสูงสุดในแต่ละสัปดาห์ ค่าที่บีเอแสดงถึงผลผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ คีโตนอัลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสามารถระเหยได้ง่าย (Boyd et al. 1992) น้ำมันที่มีค่าเปอร์ออกไซด์สูง โดยเฉพาะภายหลังการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ (ข้อ 7.2.1) ให้ค่าที่บีเอสูง ค่าที่บีเอของน้ำมันที่เก็บอุณหภูมิห้องสูงกว่าน้ำมันเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น เนื่องจากการใช้ที่บีเอชคิว ร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทและเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในน้ำมันบริสุทธิ์ ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ (ข้อ 7.2.1) เกิดขึ้นน้อยมาก ส่งผลให้ค่าที่บีเอเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน

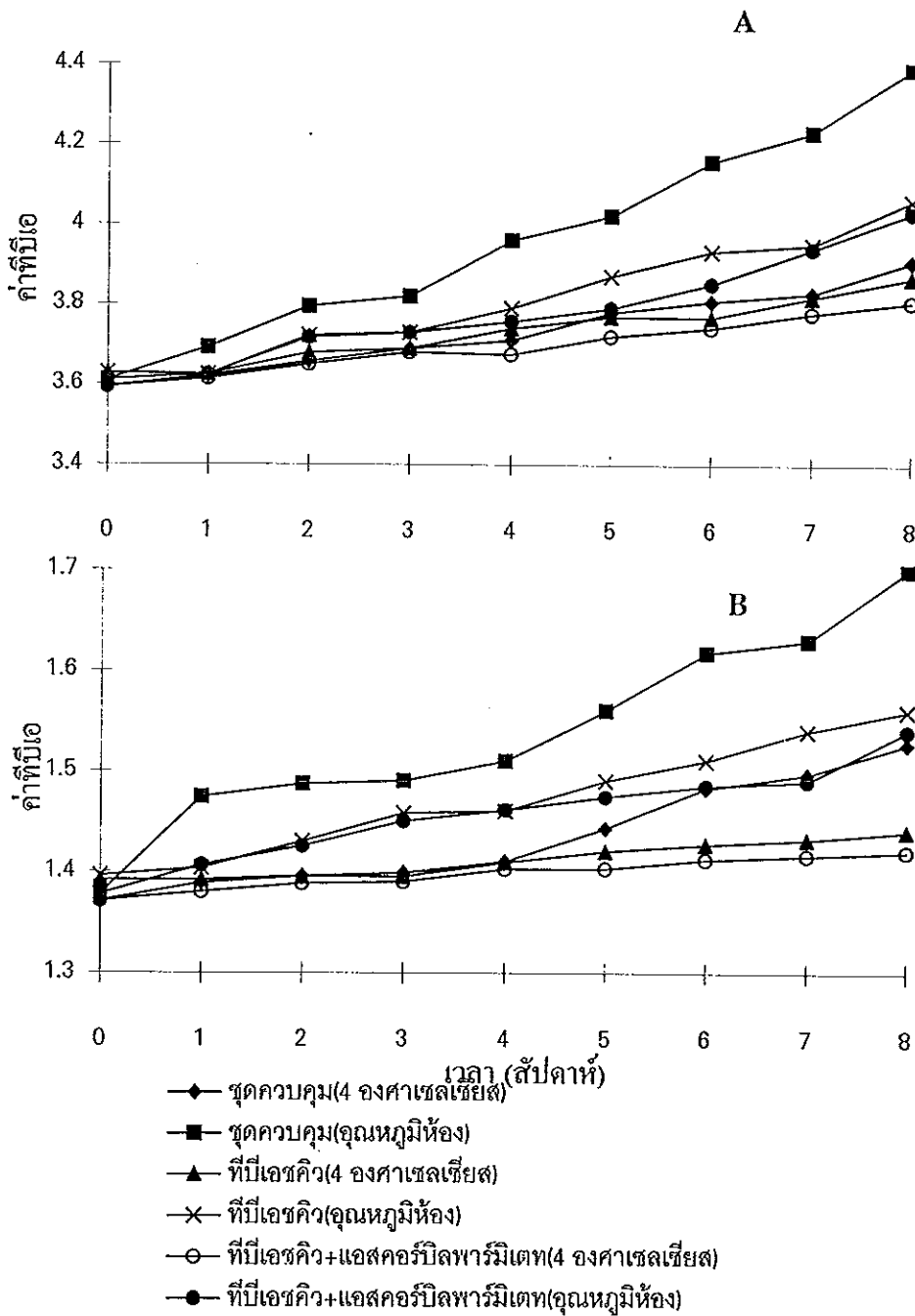
ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ที่เหมาะสม ควรเก็บในภาชนะทึบแสง มีออกซิเจนภายในภาชนะต่ำสุด และควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลองเก็บน้ำมันโจชวลีชาจนเต็มขวด และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) และใช้ที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทมีผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณคอนจูเกตไดอิน และค่าที่บีเอต่ำสุด ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายหลังการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ภายใต้สภาวะดังกล่าวพบว่า น้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบ มีค่าเปอร์ออกไซด์ 54.3 และ 4.92 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2.89 และ 0.10 ของกรดไอเลอิก ปริมาณคอนจูเกตไดอิน 12.93 และ 2.76 และ ค่าที่บีเอ 2.54 และ 0.48 มก.มาโลนาอีฮายต่อ กก.น้ำมัน น้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุกมีค่าเปอร์ออกไซด์ 250 และ 20.43 มก.สมมูลต่อ กก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.65 และ 0.20 ของกรดไอเลอิก ปริมาณคอนจูเกตไดอิน 20.53 และ 3.26 และค่าที่บีเอ 4.03 และ 1.54 มก.มาโลนาอีฮายต่อ กก.น้ำมันตามลำดับ



ภาพที่ 63 ค่าที่บีเอ (มก.มาโลนาลิตีไฮดรอกซ์ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาดิบ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A น้ำมันคีบ

B น้ำมันปาล์ม



ภาพที่ 64 ค่าที่บีเอ (มก.มาโลนาลดีไฮด์ต่อ กก.น้ำมัน) ของน้ำมันจากหัวปลาสุก ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

A น้ำมันคียบ

B น้ำมันบริสุทธ์

ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์ที่เหมาะสม ควรเก็บในภาชนะทึบแสง มีออกซิเจนภายในต่ำสุด และควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลอง เก็บน้ำมันในขวดสีชาจนเต็มขวด และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) และใช้สารกันหืนที่ปีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มิเตท มีผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณคอนจูเกตไดอิน และค่าที่บีเอต่ำสุด ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายหลังจากเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ภายได้สภาวะดังกล่าวพบว่า น้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบมีค่าเปอร์ออกไซด์ 54.3 และ 4.92 มก.สมมูลต่ออก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2.89 และ 0.10 ของกรดโอเลอิก ปริมาณคอนจูเกตไดอิน 12.93 และ 2.76 และค่าที่บีเอ 2.54 และ 0.48 มก.มาโลนาลดีไฮด์ต่ออก.น้ำมัน น้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาสุก มีค่าเปอร์ออกไซด์ 250 และ 20.43 มก.สมมูลต่ออก.น้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.65 และ 0.20 ของกรดโอเลอิก ปริมาณคอนจูเกตไดอิน 20.53 และ 3.26 และค่าที่บีเอ 4.03 และ 1.54 มก.มาโลนาลดีไฮด์ต่ออก.น้ำมัน ตามลำดับ

## บทที่ 4

### สรุป

วัตถุประสงค์หลักจากการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง ได้แก่ หัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ สามารถนำมาผลิตน้ำมันปลาได้ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุประสงค์เหลือ น้ำมันปลามีกรดไขมันที่มีประโยชน์และจำเป็นต่อร่างกาย ที่สำคัญคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวดีเอชเอ น้ำมันปลาประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง จึงเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย

การแยกน้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ สามารถกระทำโดยการให้ความร้อน โดยการนึ่งด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที โดยใช้แรงบีบเท่ากับ 140 ตันต่อตารางเมตร และได้ผลผลิตน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ร้อยละ 4.76 และ 2.80 ตามลำดับ น้ำมันดิบจากหัวปลาดิบมีคุณภาพโดยทั่วไปสูงกว่าน้ำมันดิบจากหัวปลาสุก โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าสีต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) น้ำมันที่ได้ประกอบด้วยนิวทรัลไลปิดประมาณร้อยละ 95 ประกอบด้วยเหล็ก 0.918-0.964 ส่วนในล้านส่วน และมีโลหะอินปะปนเล็กน้อย น้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกมีคุณภาพสูงขึ้น โดยสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสี ปริมาณกรดไขมันอิสระได้อย่างเด่นชัด แต่มีผลเล็กน้อยต่อการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดพันธะคู่ น้ำมันบริสุทธิ์ที่ได้มีผลผลิตร้อยละ 40.34-46.74 ของน้ำมันดิบ ประกอบด้วยนิวทรัลไลปิดร้อยละ 99.50 - 99.71 และมีเหล็ก 0.378 - 0.835 ส่วนในล้านส่วน

น้ำมันดิบจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก มีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 51.7 และ 48.8 กรดไขมันไม่อิ่มตัว ร้อยละ 48.3 และ 51.2 โดยมีกรดไขมันอีพีเอร้อยละ 0.1 และ 0.1 และกรดไขมันดีเอชเอ ร้อยละ 18.8 และ 25.5 ตามลำดับ สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบ และหัวปลาสุกมีกรดไขมันอิ่มตัว ร้อยละ 50.8 และ 46 กรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 49.2 และ 54 โดยมีกรดไขมันอีพีเอร้อยละ 0.1 และ 0.3 และกรดไขมันดีเอชเอร้อยละ 20.3 และ 27.4 ตามลำดับ

การเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาทั้ง 2 ชนิด กระทำได้โดยแช่หยดน้ำมันที่ผ่านการแช่แข็งในอะซิโตนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1

วัน ได้ผลผลิตน้ำมันร้อยละ 38 และ 34 และค่าไอโอดีน 212 และ 195 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมไขมัน สำหรับน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ตามลำดับ น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงและมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันจากหัวปลาสุกเพิ่มขึ้น 1.24 เท่าของน้ำมันบริสุทธิ์ก่อนเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

การเก็บรักษาหัวปลาดิบและหัวปลาสุก ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเสื่อมเสียได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอย่างไรก็ตามสภาวะการเก็บรักษาหัวปลาไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้ และไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน

ที่บีเอชคิวเป็นสารกันหืนที่ให้ประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนสูงสุดในน้ำมันจากหัวปลาพูน่า เมื่อทดสอบโดยวิธี accelerated oxidation test การใช้แอสคอร์บิลพาร์มีเตทร่วมกับที่บีเอชคิว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพที่บีเอชคิวให้สูงขึ้น ( $P < 0.05$ ) สามารถชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดิบและน้ำมันบริสุทธิ์จากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเก็บรักษาน้ำมันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำมันโดยเติมที่บีเอชคิวร่วมกับแอสคอร์บิลพาร์มีเตทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำมันจากหัวปลาพูน่า

## เอกสารอ้างอิง

- จงจิตร อังควานิช. 2538. นมและอาหารทารก หลักและวิทยาการกึ่งน้ำ. กรุงเทพฯ. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ถาวร จันทโชติ. 2540. การสกัดและสมบัติของน้ำมันจากตับปลาทูน่า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา
- พรทิพย์ แซ่เตีย. 2537. การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เศษเหลือของอุตสาหกรรมปลาทูน่า กระป๋องเพื่อผลิต น้ำมันปลา. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พรทิพย์ แซ่เตีย และ วรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ. 2539. น้ำมันปลาทูน่าจากหัวปลาที่ผ่านการนึ่งสุก. ว. การประมง. 49(2):135-143.
- พัฒน์ จันทโรทัย. 2536. น้ำมันจากปลาทะเลช่วยลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ. ว. วิทยาศาสตร์ ม.ก. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 หน้า 30-36.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2531. สถิติสำหรับการวิจัยทางการเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 278
- วินัย คะห์ลิ้น. 2539. กรดไขมันไม่อิ่มตัว โอเมก้า-3 บทบาทใหม่ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม. รายงานประจำปี 2538-2539. สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- สมชาย พัฒนอาจกุล, อรณี ตั้งเผ่า และ วิทยา สรีดามา. 2533. น้ำมันจากปลาทะเล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 34 ฉบับที่ 6 หน้า 473-480.
- สมบัติ รุ่งศิลป์. 2541. การผลิตน้ำมันปลาจากน้ำนิ่งปลาทูน่า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์

มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 128 หน้า

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, เรวดี นาคดี, จีระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ และ สมนึก อาษา. 2538. การพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมปลากระป๋อง: การผลิตPUFAจากวัสดุเศษเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. รายงานฉบับที่ 1 กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 จากน้ำนิ่งปลาของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, เรวดี นาคดี, จีระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ และ สมนึก อาษา. 2539. น้ำมันปลาบริสุทธิ์จากน้ำนิ่งปลาของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง. กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2516. น้ำมันและไขมันบริโภคนอก. มอก.47-2516. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 51 หน้า.

อรรษา กังสุวรรณ, บดินทร์ อิทธิพงษ์ และ มนูน พรหมเดช. 2539. การสกัดน้ำมันจากหัวและไส้ของปลาทูน่า. ว. การประมง. ปีที่ 49 ฉบับที่ 2 หน้า 171-179.

Ackman, R.G. 1989. Fatty acid. In *Marine Biogenic Lipids, Fats and Oils*. (ed. R.G. Ackman). RC Press Inc. Boca Raton. p.145-178.

Aggelousis, A. and Lazos, E.S. 1991. Fatty acid composition of the lipids from eight-freshwater fish species from Greece. *J. Food Comp. Anal.* 4:68-76.

Akimoto, M. 1990. Production of eicosapentaenoic acid by a Bacterium isolated from mackerel intestines. *JAOCs.* 67:911-915.

Angelo, A.J.S. 1996. Lipid oxidation in food. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36:175-224.

- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 14th ed. Association of Official Analysis Chemists, Washington D.C. 1141 p.
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 15th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Inc Virginia.
- Aure, L. 1967. Production of fish oil. *In* Fish oils. (ed. M.E. Stansby). AVI Publishing company, Inc. London. p.193-205.
- Bannatyne, W.R. 1968. Fat oxidation and biocatalysts. *Food Technol.* 22:35-42.
- Bimbo, A.P. 1990. Production of fish oil. *In* Fish Oil in Nutrition. (ed. M.E. Stansby). Reinhold Publishing Co.,Ltd. New York. p.141-180.
- Bligh, E.G. and Dyer. W.T. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:911-917.
- Boyd, L.C., King, M.F. and Sheldon, B. 1992. A rapid method for determining the oxidation of n-3 fatty acid. *JAOCS.* 69:325-330.
- Brody, J. 1965. Fish liver oils. *In* Fishery By-Products Technology. Westport Conn.: Avi Publishing C. p.47-68.
- Buck, D.F. 1990. Antioxidants. p.73-98. *In* (ed. J.E. Rice). Ingredient Technology. Anaheim Conveim Center.
- Carr, R.A. 1976. Degumming and refining practices in the US. *JAOCS.* 53:347-352.

- Celia C.G. Silva, D.J.B. DA Ponte and M.L.N. Dapkevicius. 1998. Storage temperature effect on histamine formation in big eye tuna and shipjack. *J. Food Sci.* 64:644-647.
- Chang, S.S. 1967. Processing of fish oil, *In* (ed.M.E.Stansby). *Fish Oils*. AVI Publishing Co.,Ltd., Westport, Connecticut. p 206-221.
- Christie, W.W. 1982. *Lipid Analysis*. New York : Pergamon Press, Elmsford.
- Codex Alimentarius Commission. 1981. Codex general standard for edible fats and oils Joint FAO/WHO Codex Alimentarius. 355 p.
- Coppen, P.P. 1983. The use of antioxidants. Ch.5. *In Rancidity in Foods*. (eds. J.C. Allen and R.J.Hamilton). p.67. New York. Applied Science Publishers.
- Cort, W.M. 1974. Antioxidant activity of tocopherol, ascorbyl palmitate and ascorbic acid and their mode of action. *JAOCS*. 51:321-327.
- Cowan, J. C. 1976. Degumming, refining, bleaching and deodorization theory. *JAOCS*. 53:344-346
- Decker, E.A. and Welch, B. 1990. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. *J. Agri. Food Chem.* 38:674-677.
- Decker, E.A. and Xu, Z. 1998. Minimizing rancidity in muscle foods. *Food Technol.* 52(10): 54-59.

- Dunford, N.T., Temelli, F. and LeBlanc, B. 1997. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of oil and residual proteins from atlantic mackerel(*Scomber scombrus*) as affected by moisture content. *J. Food Sci.* 62:289-294.
- Dyerberg, J. and Bang, H.O. 1979. Hemostatic function and platelet polyunsaturated fatty acid in Eskimo. *Lancet* II. 8140 p. Cited by: Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1991. Solubilization of vitamin C in fish oil and synergistic effect with vitamin E in retarding oxidation. *JAOCS.* 68:740-743.
- Eitenmiller, R.R., Orr, J.H., and Wallis, W.W. 1982. Histamine formation in fish : microbiological and biochemical conditions. *In Chemistry and Biochemistry of Marine Fish Products.* (eds. R.E. Martin, G.J., Flick, C.E. Hebard. and D.R. Ward). The AVI Publishing Company, Inc., Westport. CT. p. 367-396.
- Elson, C.M. and Ackmen, R.G. 1978. Trace metal content of a herring oil at various stages of pilot plant refining and partial hydrogenation. *JAOCS.* 55:616-618.
- Elson, C. m., Beni, E.M. and Ackman, R.G. 1981. Determination of heavy metals in menhaden oil after refining and hydrogenation using several analytical methods. *JAOCS.* 58 : 1024-1026.
- Esterbauer, H. and K.H. Cheeseman, 1990. Determination of aldehyde lipid peroxidation products : Malonaldehyde and 4-Hydroxynonenal. *Methods. Enzymol.* 186:407-420.
- FDA. 1996. Decomposition and histamine in raw frozen tuna and mahi-mahi canned tuna; and related species. Compliance Policy Guides 7108.240. Sec. 540.525.

- Folch, J., Lees, M., Sloane, Stanley G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
- Frankel, E.N., and Huang, S.W. 1996. Evaluation of antioxidant activity of rosemary extracts, carnosol and carnosic acid in bulk vegetable oils and fish oils and fish and their emulsions. *J. Sci. Food Agric.* 72:201-208.
- German, J.B. and Kinsella, J.E. 1985. Lipid oxidation in fish tissue. Enzymatic initiation via lipoxygenase. *J. Agri. Food Chem.* 33: 680-683.
- Grima, E.A., Camacho, F.G., Perez, J.A.S., Cardona, U., Ferrandez, F.G.A. and Sevilla, J.M.F. 1994. Outdoor chemostat culture of *Phaeodactylum tricomutum* UTEX 640 in a tubular for production of eicosapentaenoic acid. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 20:279-290.
- Gunnlaugsdottir, H., and Ackman, R.G. 1993. Three extraction methods for determination of lipids in fish meal : Evaluation of hexane/isopropanol method as an alternative to chloroform-based methods. *J. Sci. Food Agric.* 61:235-240.
- Gunstone, F.D. and Norris, F.A. 1983. *Lipid in Foods*. Pergamon Press. New York. 475 p.
- Hadziyev, D. 1987. *Food Chemistry*. Berlin, Germany : Springer-Verlag.
- Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1990. Antioxidative effect of ascorbic acid solubilized in oils via reverse micelles. *J. Food Sci.* 55:247-249.
- Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1991. Solubilization of vitamin C in fish oil and

synergistic effect with vitamin E in retarding oxidation. *JAOCS*. 68:740-743.

Hara, A., and Radin, N.S. 1978. Lipid extraction of tissues with a low toxicity solvent.

*Anal. Biochem.* 90:420-426.

Hasegawa, H. 1987. Laboratory manual on analytical method and procedure for fish

products. Southeast Asian Fisheries Development Center. Singapore.

Heen, E. and Kreuzer, R. 1962. *Fish in Nutrition*. London: Fishing News (Book) Ltd.

London.

Hersom, A. and Hulland, E.D. 1969. *Canned Foods*. J & A Churchill Ltd. London,

391 p.

Hsieh, R.J. and Kinsella, J.E. 1986. Lipoxigenase-catalyzed oxidation of n-6 and n-3

polyunsaturated fatty acid: relevance to and activity in fish tissue. *J. Food Sci.*

51:940-945.

Hsieh, Y.T. and Regenstein, J.M. 1991. Factors affecting quality of fish oil mayonnaise.

*J. Food Sci.* 56:1298-1307.

Hodgson, A. S. 1996. Refining and Bleaching *In Bailey's Industrial Oil and Fat*

Products (ed Y.H. Hui) Vol 4, p. 411-452. John Wiley & Sons, Inc. New York

Hudson, B.J.F. and Mahgoub, S.E.O. 1984. *J. Sci. Food Agric.* 32:208. cited by

King, M.F., Boyd, L.C. and Sheldon, B.W. 1992. Antioxidant properties of

individual phospholipids in a salmon oil model system. *JAOCS*. 69:545-551.

- Hultin, H.O. 1994. oxidation lipids in seafoods. *In Seafood Chemistry, Processing Technology, and Quality.* (eds. F. Shidi and J.R. Botta). Chapman & Hall, New York, USA. P.49-74.
- IUPAC. 1979. Standard Methods for the Analysis of Oils, Fat and derivatives, 6<sup>th</sup> ed. Part I. Pergamon Press. Paris
- Kaitaranta, J.K. 1981. TLC-FID Assessment of lipid oxidation as applied to fish lipids rich in trigly-cerides. *JAOCS.* 58:710-713.
- Kaitaranta, J.K. 1992. Control of lipid oxidation in fish oil with various antioxidative compouds. *JAOCS.* 69:810-813.
- Karahadian, C. and Lindsay, R.C. 1989a. Composition of n-3 oils from some Great Lakes freshwater fish. *J. Food Comp. Anal.* 2:13-21.
- Karahadian, C. and Lindsay, R.C. 1989b. Evaluation of compounds contributing characterize fishy flavors in fish oil. *JAOCS.* 66:953-960.
- King, M.F, Boyd, L.C. and Sheldon , B.W. 1992. Effects of phospholipids on lipid oxidation of a salmon oil model system. *JAOCS.* 69:237-242.
- Kinsella, J.E. 1987. Edible Fish Oil Processing and Technology. *In Seafood and Fish Oil in Humman Health and Diseas,* p. 209-226. New York : Marcel Dekker.
- Kokubu, K., Hayashi, s., and Kodama, K. 1984. Purification method for marine oils. Japanese Patent No.S 58-883410.

- Koning, A.J., Evans, A.A., Heydenrych, C., Purcell, C.J.V., and Wessels, J.P.H. 1985. A critical investigation of a number of different methods of lipid determination in fish meal with particular emphasis on a correction required in these determinations. *J. Sci. Food Agric.* 36:177-185.
- Kromhout, D., Bosschieter, E.B. and Coulander, C.D.L. 1985. *New EngL. J. Med.* 312:1205. Cited by: Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1991. Solubilization of vitamin C in fish oil and synergistic effect with vitamin E in retarding oxidation. *JAOCS.* 68:740-743.
- Lee, K.T., Kim, S.M., and Kim, C.Y. 1985. Studies on extraction of fish oils. *Bull. Korean Fish Soc.* 18(1):23-28.
- Lee, K.H. , Jung , M.Y. and Kim, S.Y. 1997. Quenching Mechanism and kinetics of ascorbyl palmitate for the reduction of the photosensitized oxidation of oils. *JAOCS.* 74:1053-1057.
- Lerke, P.A.R. and Farber, L. 1965. Bacteriology of spoilage of fish muscle III characteristics of spoilers. *Appl. Microbiol.* 13:625-630.
- Letan, a., and Koslowsky, L. 1975. Fractionation of edible oil from isopropanol. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse LII* , Luglio, p.217-220.
- Lopez - Sabater, E.I. Rodriguez-Jerez, J.J., Hernandez-Herrero, M. Rong-Saguex, A.X. and Mora - Ventuta, M.A.T. 1996. Sensory quality and histamine formation during Controlled decomposition of tuna *J.Food Prot.* 59(2) 167-174.

- Low, L.K. and NG, C.S. 1987. Significance of analysis of lipids. In Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products, Part C. (ed. H. Hasegawa). Marine Fisheries Research Dept. SEAFDEC. Singapore.
- Maza, A., Omrsbee, R.A. and Stredcer, L.R. 1992. Effect of deodorization and steam refining parameters on finished oil-quality. JAOCS. 69:1003-1008.
- Mehta, R.L. and Zagas, J.F. 1995. Antioxidative effect of ajowan in model system. JAOCS. 72:1215-1218.
- Miyashita, K. and Takagi, T. 1986. Study on the oxidative rate and prooxidant activity of free fatty acids. JAOCS. 63:1380-1384.
- Mendez, E., Sanhueza, J., Speisky, H. and Valenzuela, A. 1996. Validation of the rancimat test for assessment of the relative stability of fish oils. JAOCS. 73:1033-1037.
- Moffat, C.F., McGill, A.S., Hardy, R. and Anderson, R.S. 1993. The production of fish oils enriched in polyunsaturated fatty acid-containing triglycerides. JAOCS. 70:133-138.
- Mounts, T. L. 1981. Chemical and physical effect of processing fats and oils. JAOCS. (1) : 55a-54a.
- Namiki, M. 1990. Antioxidants/Antimutagens in food. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 29:273-300.

- Nawar, W.W. 1996. Lipid. *In* Food Chemistry. (ed. Fennema, O.R.). New York. p. 210-243.
- Nettlenton, J.A. 1985. Seafood nutrition. Osprey Book, Huntington. New York.
- Nieto, S., Garrido, A., Sanhveza, J., Loyola, L.A., Morales, G., Leighton, F. and Valenzuela, A. 1993. Flavonoids as stabilizers of fish oil: An alternative to synthetic antioxidants. *JAOCS*. 70:773-778.
- Niki, E., Saito, T., Kawakami, A. and Kamiya, Y. 1984. *J. Biol. Chem.* 259:4177.  
cited by: Yi, O.S., Han, D. and Shin, H.K. 1991. Synergistic antioxidative effect of tocopherol and ascorbic acid in fish oil/lecithin/water system. *JAOCS*. 68:881-883.
- Noguchi, Y., and Hibino, H. 1982. Separation of highly unsaturated fatty acids. Japanese patent No S57-124434.
- Norday, A. 1992. Fish oil in medicine : Is there a rational use. *Curr. Ther.* New York. (5) : 83-86.
- Norris, F.A. 1982. Refining and bleaching. pp 719-792. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Products vol III. (ed. D. Swern ). John Wiley & Son, Inc., New York.
- Ohshima, T. Fujita, Y and Koizumi, C. 1993. Oxidative Stability of Sardine and Mackerel Lipids with Reference to Synergism Between Phospholipids and Alpha-Topherol. *JAOCS*. 70:269-276.

- Ockerman, H.W. 1992. Fishery by-product. *In* Fish processing technology.(ed. G.M. Hall). VCH Publishers, Inc. New York. p.155-192.
- Osawa, T. 1994. Novel natural antioxidants for utilization in food and biological system. *In* Postharvest Biochemical of Plant Food-Material in the Tropics. (eds. Uritant, I.,Garcia, V.V., and Mendoza, E.M.T.). Japan. pp. 241-251.
- Pelura, Timothy J. 1987. The effect of deodorization time and temperature on the chemical, physical and sensory characteristics of menhaden oil. Dissertation submitted to the Graduate School. The State University of New Jersey. 273p.
- Petterson, H.B.W. 1976. Bleaching, practice in europe. *JAACS*. 53:339-341.
- Revankar, G.D. 1975. Solvent winterisation of sardine oil. *J. Oil Technologists Assoc. Indis.* July/September:85-87.
- Rizui, S.S.H., Daniels, Benado, A.L. and Zollweg, J.A. 1986. Supercritical fluid extraction: operating principles and food applications. *Food Technology*. 40(7):57-64.
- Romer, A.S. 1965. *The vertebrate body* 3rd ed. Saunders company, Philadelphia. London. 475p.
- Rossell, J.B. 1994. Measurement of vancidity. *In* Rancidity in Foods 3rd ed. (eds. J.C. Allen and R.J. Hamilton). Unapran and Hall, VK., p.22-53.
- Saito. H., Watanabe,T and Murase, T. 1995. The fatty acid composition characteristic of a highly migratory fish, with seasonal vareation of docosahexaenoic acid

content in lipid of bonito(*Euthynnus pelamis*).Biosci. Biotech. Biochem.  
59:2186-2188.

Saito, H. and Ishihara, K. 1996. Docohexaaenoic acid content of fatty acid in the lipids of two species of frigate mackeral, *Auxis rocheri* and *Auxis thazard*. Biosci. Biotech. Biochem. 60:1014-1016.

Shalhidi, F., and Wanasundar, P.K.J.P.D.1992.Phenolic antioxidants. Crit Rev. Food Sci and Nutr. 32:67-103.

Sherwin, E.R. 1990.Antioxidants.In Food Additive. (eds. Bromen,A.,Davidson, P.M., and Salmine, S.). New York. p. 139-193.

Singh, G. and Chandra, R.K.1988. Prog. Food Nutri. Sci. 12:371. Cited by:Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1991. Solubilization of vitamin C in fish oil and synergistic effect with vitamin E in retarding oxidation. JAOCS. 68:740-743.

Saito, H. 1997. Distribution of n-fatty acids in marine organisms:the high content of docosahexaenoic acid in the lipids of highly migratory fish of the tuna species (*Euthynnus* , *Thunnus* and *Auxis*). In : Chemistry of Novel Foods. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL. p.307-323.

Sano, Y. 1984. Concentration of palyunsaturated triglycerides. Japanese Patent No. S58-104566.

Shalhidi, F. and Wanasundar, P.K.J.P.D. 1992. Phenolic antioxidants. Crit Rev. Food Sci. and Nutr. 32:67-103.

- Sherwin, E.R. 1990. Antioxidants. *In* Food additive. (des. Broman, A., Davidson, P.M. and Salmine, S.) New York. p.139-193.
- Singh, G. and Chandra, R.K. 1988. *Prog. Food Nutri. Sci.* 12:371. cited by: Han, D., Yi, O.S. and Shin, H.K. 1991. Solubilization of vitamin C in fish oil and synergistic effect with vitamin E in retarding oxidation. *JAOCS.* 68:740-743.
- Smith, P., Ambrose, M.E., and Knobl, G.N. 1964. Improved rapid method for determining total lipids in fish meal. *Comm. Fish Rev.* 26:1-5.
- Stansby, M.E. 1990. *Fish Oil in Nutrition.* Reinhold Publishing Co.,Ltd. New York. 313p.
- Suzuki, h. 1993. Eat fish for good brains. *Infotish Inter.* 4:23-26.
- Swern, D. 1964. Structure and Composition of Fats and Oils. *In* Bailey s Industrial Oil and Fat Products. (ed. D. Swern), John Wileys & Son. New York.
- Takahashi, K., and Takeuchi, T. 1989. Extraction of phospholipid containing feed oil by propylalcohol. *Nippon suisam Gatakaishi.* 55(6):1059-1066.
- Temelli, F., LeBlanc, E. and Fu, L. 1995. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of oil from Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) and protein functionality. *J. Food. Sci.* 60:703-705.
- Topallar, H. , Bayrak, Y. and Iscan, M. 1997. A kinetic study on the autoxidation of sunflowerseed oil. *JAOCS.* 74:1323-1327.

- Ustun, G., Akova, A. and Dandik, L. 1996. Oil content and fatty acid composition of commercially important Turkish fish species. *JAOCS* 73:381-391.
- Vlieg, P., Habib, G. and Clement, G.I.T. 1983. Proximate composition of Skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* from New Zealand and New Caledonia waters. *N. Z. J. Sci.* 26:243.
- Wichien, Y. 1992. Growth and eicosapentaenoic acid production by *Phaeodaetylum yriconayum* in batch and continuous culture system. *JAOCS*. 69:584-590.
- Yang, M.H., Chang, S.C. and Chen, R.H. 1992. Effect of solvent polarity and fractionation temperature on the physiochemical properties of squid viscera stearin. *JAOCS*. 69:1192-1197.
- Yoshida, H., Kajimoto, G. and Emura, S. 1993. Antioxidant effect of d-tocopherols at different concentrations in oils during microwave heating. *JAOCS*. 70:989-995.
- Young, F. V. K. 1978. Processing of oils and fats. *Chem & Indus.* 16 : 692-702.
- Young, F.V.K. 1985. The refining and hydrogenation of fish oil. *Fish Oil Bulletin* 17. International Association of Fish Meal Manufactures. 27p.
- Yusuf, H.K.M., Alim, S.R., Rahman, R., Quazi, S. and Hossain, A. 1993. Fatty acid of 12 marine fish species of Bay of Bengal. *J. Food. comp. and Anal.* 6:346-353.
- Zhang , A. and Chen , Z.Y. 1997. Oxidative stability of conjugated linoleic acids relative to other polyunsaturated fatty acids. 1997. *JAOCS*. 74:1611-1617.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี

#### ก 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ของวัตถุดิบ

##### 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบตู้ไฟฟ้า (AOAC, 1990)

###### อุปกรณ์

1. ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
2. ภาชนะหาคความชื้น (จานอลูมิเนียม พร้อมฝา)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

###### วิธีการ

1. อบอุ่นสำหรับหาคความชื้นในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้ใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาคความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในภาชนะหาคความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีก และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

###### การคำนวณ

$$M = \frac{(W - w) \times 100}{W}$$

- เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)  
 W คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ  
 w คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธีเจลดาล (AOAC., 1990)

### อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตา (VELP DK 6) และหลอดใส่ตัวอย่าง
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ปีเปต
5. บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต( $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ ) และโพแทสเซียมซัลเฟต( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )

### อัตราส่วน 1:10

2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40
4. กรดบอริก เข้มข้นร้อยละ 2
5. กรดเกลือ เข้มข้น 0.02 นอร์มอล
6. อินดิเคเตอร์(indicator) เป็นสารผสมระหว่าง เมทิลเรด เมทิลีนบลู และ

### โบร โมครีซอลกรีน

### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง(ของแข็ง) ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5-1 กรัม(ตัวอย่างของเหลว ใช้ปริมาตร 10-15 มิลลิลิตร) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน และทำแบลงค์
2. ใส่สารผสม  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ประมาณ 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาณ 20 มิลลิลิตร
4. วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่าง และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

5. เปิดสวิตช์เครื่อง scrubber และเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

6. ปล่อยให้เย็น

7. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิตช์ไฟ แล้วเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

8. นำขบวนการหมัก ขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 2) ปริมาณ 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์เรียวรี่แล้วไปรองรับของเหลวที่จะกลั่น โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่น จุ่มลงในสารละลาย

9. ใส่หลอดเข้าในเครื่องกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีดำ

10. กลั่นให้ได้ของเหลว ประมาณ 100-150 มิลลิลิตร

11. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) N \times 14.007 \times F}{W}$$

A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์ ตัวเลขที่เหมาะสม 6.25

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

### 3. การวิเคราะห์หาปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด ใช้วิธีคอนเวย์ (Hasegawa, 1987)

#### อุปกรณ์

1. จานระเหยแบบคอนเวย์ (conway unit)
2. ไมโครบิวเรต
3. ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
4. ถ้วยบด
5. กระดาษกรอง

## 6. กรวย

## สารเคมี

## 1. วาสลีน

2. อินดิเคเตอร์ผสม (ละลาย 0.01 กรัมของโบรโมคริสซอลกรีน และ 0.02 กรัมของเมธิลเรดด้วยเอทานอล แล้วปรับจนได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3. สารละลายวงแหวนชั้นใน (inner ring) 10 กรัม ของกรดบอริกในเอทานอล ปริมาณ 200 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

4. สารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนต (ละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต 60 กรัมในน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดประมาณ 10 นาที แล้วทำให้เย็นนำผ่านกระดาษกรอง

5. สารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid) เข้มข้นร้อยละ 4 (ซึ่งกรดไตรคลอโรอะซิติก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร)

## 6. สารละลายกรดเกลือ เข้มข้น 0.02 นอร์มอล

## วิธีการ

1. สกัดตัวอย่างอาหาร นำตัวอย่างอาหารที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ในถ้วยชด เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก เข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดปล่อยให้ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไป กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร หากไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที นำไปเก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส

## 2. ทาวาสลีนที่ขอบจานคอนเวย์

3. บีบ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายของวงแหวนชั้นใน (inner ring) ใส่ในขอบจานด้านใน

4. บีบ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนตใส่ในขอบจานด้านนอก

5. บีบ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ลงในขอบจานด้านนอกอีก ด้านหนึ่งระวังไม่ให้ผสมกับสารละลายอิมตัวของสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต

6. ปิดจันคอนเวย์ ให้สารละลายตัวอย่าง และสารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนตผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง

7. ไตรเตรตสารละลายชั้นในด้วยสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มอล จนกระทั่งสีเขียวหายไปและได้สีชมพู

8. ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกันแต่ใช้สารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น ร้อยละ 4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แทนสารละลายตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเต่างที่ระเหยได้ทั้งหมด} = \frac{N \times 14 \times (A-B) \times V \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

(มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง)

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ (นอร์มอล)

A = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ให้ไตรเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตรเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและกรดไตรคลอโรอะซิติกที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

(น้ำหนักกรัมสมมูลของไนโตรเจน = 14.007)

#### 4. การวิเคราะห์ปริมาณฮีสตามีนโดยวิธี Fluorometric (AOAC, 1990)

สารเคมี

1. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 3.57 นอร์มอล เตรียมโดยใช้ 85% กรดฟอสฟอริก 121.8 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

2. o-Phta lidicarboxaldehyde (opt) เข้มข้นร้อยละ 0.1 เตรียม opt 100 มิลลิกรัม เติมนีทานอลให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น

3. สารละลายฮีสตามีนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 1000 ppm โดย ชั่ง 0.1691 กรัม ของฮีสตามีน และเติม 0.1 นอร์มอล ไฮโดรคลอริกให้ได้ 100 มิลลิลิตร และใช้สารละลาย ที่เตรียมได้ 1 มิลลิลิตร มาเติม 0.1 นอร์มอล ไฮโดรคลอริก จะได้สารละลายฮีสตามีนมาตรฐาน 10 ppm จากนั้นปีเปตมาอย่างละ 1 2 และ 3 มิลลิลิตร แล้วเติม 0.1 นอร์มอล ไฮโดรคลอริก จะได้ความเข้มข้น 0.1 0.2 และ 0.3 ppm ตามลำดับ

4. Ion exchange resin Dowex 1-X8,50-100 mesh ใช้ 1 กรัมเรซิน ล้างด้วย 2 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วนำไปกรอง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จนเรซินมี pH 7.0 แล้วนำไปบรรจุลงคอลัมน์ที่มีโยแก้วชั้นล่างสุด และทำการบรรจุเรซิน จนได้ความสูงประมาณ 8 ซม. ในคอลัมน์มีน้ำปราศจากไอออน อยู่ระดับสูงกว่าเรซินก่อนจะใช้คอลัมน์จะต้องล้างเรซินด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร

วิธีการสกัดฮีสตามีน

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม เติมเมทานอล 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยใช้โซ โมจิ โนเซอร์
2. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
3. นำไปให้ความร้อนบน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
4. ทำเย็นด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
5. เติมเมทานอล ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายส่วนใส ปรับปริมาตรให้ได้ 50

มิลลิลิตร

7. ปล่อยให้ สารละลายมา 1 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็น mobile phase

8. ปรับอัตราการไหล ให้มากกว่า 3 มิลลิลิตรต่อนาที สารละลายที่ออกมาเติมลงในขวดปรับปริมาตรที่มี 1 นอร์มอล ไฮดรอกลอริก 5 มิลลิลิตร ทำการชะสารจนให้ได้ ปริมาตรเกือบ 50 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน จนเป็น 50 มิลลิลิตร

การวัดค่าฮีสตามีน

1. ปล่อยให้สารละลายฮีสตามีนที่สกัดได้ 5 มิลลิลิตร แล้วเติม 0.1 นอร์มอล ไฮดรอกลอริก 10 มิลลิลิตร และ 1 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เติม 1 มิลลิลิตรของ 0.1% OPT ภายใน 5 นาที
3. เขย่านาน 4 นาที
4. เติม 3 มิลลิลิตร 3.57 นอร์มอล กรดฟอสฟอริก เขย่า
5. นำไปวัดด้วยเครื่อง Fluorospectrometer

คำนวณ

$$\text{ปริมาณฮีสตามีน (ppm)} = \frac{D \times 50 \times 50 \times 1}{m \times 5 \times 1 \times w}$$

โดย  $D =$  ค่าที่วัดได้ของตัวอย่าง

$$m = A/1.5 + B + 2C$$

A = ค่าที่วัดได้ของสารละลายฮีสตามีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.3 ppm

B = ค่าที่วัดได้ของสารละลายฮีสตามีน มาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 0.2 ppm

C = ค่าที่วัดได้ของสารละลายฮีสตามีน มาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 0.1 ppm

W = น้ำหนัก(กรัม) ของตัวอย่าง

## 5. การตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Viable Count) (Hasegawa, 1987)

### อุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ
2. ปิเปตขนาด 1 มล. , 10 มล.
3. ถ้วยบดตัวอย่าง (sterile blender jar)
4. หลอดทดสอบ
5. มีด forceps ที่ปลอดเชื้อ
6. หม้อนึ่งความดัน
7. ตู้บ่มเชื้อ
8. Water bath

### อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (PCA)
2. 0.85% normal saline solution

### วิธีการ

#### 1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 ชั่งตัวอย่าง ๆ ละ 10 กรัม ลงในถ้วยบดตัวอย่างปลอดเชื้อ

1.2 เติม 0.85% normal saline solution จำนวน 90 มล. แล้วปั่น ด้วยความเร็วต่ำเป็น

เวลา 1 นาที นำไปตั้งทิ้งในตู้เย็น 30 นาที

1.3 ทำการเจือจางให้เป็น 1:100, 1:1000 และ 1:10000 ตามลำดับ โดยใช้ 0.85%

normal saline solution

## 2. การตรวจนับจุลินทรีย์

- 2.1 ดูดตัวอย่างจากข้อ 1.3 อย่างละ 1 มล. (ทำ 2 ซ้ำ) ลงในงานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว
  - 2.2 เติม PCA ประมาณ 15 มล.
  - 2.3 เขย่างานเพาะเชื้อเบา ๆ แล้วตั้งทิ้งไว้วันแข็งตัวประมาณ 15 นาที
  - 2.4 อบเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส ในลักษณะกว้างงานเพาะเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
  - 2.5 ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30-300 โคโลนี
  - 2.6 บันทึกผลและรายงานการทดลองเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)
- CFU/g = Average No. of colonies X dilution factor

## 6. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี Bligh and Dyer (1959)

1. ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ 100 กรัม
2. เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. เติมคลอโรฟอร์ม 200 มิลลิลิตร และเมทานอล 400 มิลลิลิตร โสโมจิโนส์นาน 2 นาที
4. เติมคลอโรฟอร์ม 200 มิลลิลิตร โสโมจิโนส์ นาน 1 นาที
5. เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร โสโมจิโนส์นาน 30 วินาที
6. หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เวลานาน 20 นาที
7. แยกสารละลายชั้นคลอโรฟอร์ม
8. เติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสและกรองออก โดยใช้กรวยกรองสุญญากาศ
9. ระเหยคลอโรฟอร์มด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
10. ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้

## ก 2 การวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำมัน

### 1. ปริมาณน้ำและสารที่ระเหยได้ (AOCS, 1990)

#### อุปกรณ์

1. ภาชนะอลูมิเนียม
2. โถดูดความชื้น ที่มีสารดูดความชื้น
3. ตู้อบความร้อนไฟฟ้าสูญญากาศปรับอุณหภูมิ

#### วิธีการ

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนัก นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120-125 องศาเซลเซียส ความดันภายในตู้อบควรต่ำกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และชั่งน้ำหนัก อบจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ มีความแตกต่างน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.05 คำนวณหาปริมาณน้ำและสารที่ระเหยได้เป็นร้อยละ

$$\text{ปริมาณน้ำและสารที่ระเหยได้(ร้อยละ)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป(กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้(กรัม)}}$$

### 2. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)

#### อุปกรณ์

1. ขวดแก้วรูปชมพู่
2. กระจกบอกลวด
3. บิวเรตต์

#### สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้นร้อยละ 95
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์) ที่มีความเข้มข้น

0.1 นอร์มอล

3. ฟีนอล์ฟทาลีน เข้มข้นร้อยละ 1 (ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์)

### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดขนาด 250 มล.
2. เตรียมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยการเติมฟีนอล์ฟทาไลน์ 5 หยดและปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล หยดต่างที่ละหยด พร้อมทั้งเขย่าหรือกวนจนได้สารละลายแอลกอฮอล์เป็นสีชมพูถาวร
3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มล. ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส
4. ไตเตรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล ขณะไตเตรตต้องเขย่าอย่างแรงจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที
5. คำนวณค่ากรดและปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

### การคำนวณ

กรดไขมันอิสระ (คิดเป็นร้อยละในรูปกรดโอเลอิก)

$$= \frac{\text{ปริมาตรค่าที่ใช้(มล.)} \times \text{ความเข้มข้นค่าที่ใช้ (มล.)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)

(น้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิก = 28.2)

### 3. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (IUPAC, 1979)

#### อุปกรณ์

1. ขวดแก้วรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. บิวเรตต์ ขนาด 25 มล.
3. ปิเปต ขนาด 10 มล.

#### สารเคมี

1. สารละลายผสมกรดแอซิติคกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3:2
2. สารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) เข้มข้น 0.01 นอร์มอล
4. น้ำแป้ง (soluble starch) เข้มข้นร้อยละ 1

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ขวดขนาด 250 มล.

ค่าเปอร์ออกไซด์ที่คาดคะเนไว้ (มิลลิกรัมสมมูลย์)	น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องชั่ง (กรัม)
0-12	5.0-2.0
12-20	2.0-1.2
20-30	1.2-0.8
30-50	0.8-0.5
50-90	0.5-0.3

2. เติมสารละลายแอสติค-คลอโรฟอร์ม 25 มล. เขย่าให้ตัวอย่างละลาย

3. เติมสารละลายอิมตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 มล. ปิดจุกพร้อมเขย่านาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่มีด 5 นาที

4. เติมน้ำกลั่น 75 มล.

5. ไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต พร้อมเขย่าอย่างแรงจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 0.5 มล. แล้วไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินหมดไป

6. เตรียมและไตเตรต blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง

7. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์จากสูตร

#### การคำนวณ

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน)} = \frac{(a-b) \times N \times 1000}{W}$$

b = ปริมาตร(มล.) ของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับ blank

a = ปริมาตร(มล.) ของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

#### 4. การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชัน (IUPAC, 1979)

##### อุปกรณ์

1. ชุดกลั่นแบบรีฟลักซ์ (reflux) ซึ่งประกอบด้วยขวดกลั่นขนาด 250 มล. ต่อกับเครื่องควบแน่น (reflux) ตั้งบนเตา (heating mantle)

## 2. ลูกแก้วหรือเศษกระเบื้องสำหรับใส่กันกระแทก

### สารเคมี

1. โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ซึ่งเตรียมไว้อย่างน้อย 5 วัน ก่อนใช้และสารละลายที่ได้ควรไม่มีสีหรือมีสีเหลืองฟาง
2. กรดเกลือ เข้มข้น 0.5 นอร์มอล
3. ฟีนอล์ฟทาลีน ร้อยละ 1

### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้แน่นอน 1-2 กรัมใส่ในขวดที่สะอาดและแห้ง
2. เติมสารละลายโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ 25 มล. โดยใช้ปิเปตและใส่ลูกแก้ว

### ด้วย

3. จัดเครื่องกลั่นพร้อมเปิดน้ำหล่อชุดควบแน่นและเปิดสวิทช์ไฟรีฟลักซ์สารละลาย(ให้เดือดเบาๆ) นาน 60 นาที
4. นำขวดใส่สารละลายออกจากอุปกรณ์ควบแน่นชุดกลั่น
5. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด แล้วไตเตรตด้วยกรดเกลือ เข้มข้น 0.5 นอร์มอล
6. เตรียมและไตเตรต blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง

### การคำนวณ

$$\text{ค่าสปอนนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน)} = \frac{(b-a) \times N \times 56.1}{W}$$

b = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มล.)

a = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มล.)

N = ความเข้มข้นของกรดเกลือ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## 5. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (IUPAC, 1979)

### อุปกรณ์

1. ขวดขนาด 500 มล.
2. จุกยาง
3. ปิเปตขนาด 25 มล.

4.บิวเรตต์ขนาด 25 มล.

5.ลูกแก้วกันกระแทก

#### สารเคมี

1.สารละลายวิจส์ (Wij's solution)

วิธีเตรียม ชั่งสารไอโอดีนคลอไรด์ (ICI) หนัก 9 กรัม ละลายในสารละลายผสมของกรดแอซิติค 70 มิลลิลิตรกับคาร์บอนเตตราคลอไรด์ 300 มิลลิลิตร

2.โพแทสเซียมไฮโอไดค์ เข้มข้นร้อยละ 10

3.โซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.1 นอร์มอล

4.คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>)

5.น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 1 (soluble starch)

#### วิธีการ

1.ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ในขวดขนาด 500 มล. ที่สะอาดและแห้ง (ในกรณีตัวอย่างเป็นของแข็งให้หลอมและกรองตัวอย่างก่อนชั่ง)

ค่าไอโอดีนที่คาดคะเน	น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)
<5	3.00
5-20	1.00
21-50	0.40
51-100	0.20
101-150	0.13
151-200	0.10

2.เติมคาร์บอนเตตราคลอไรด์ ปริมาตร 15 มล.

3.เติมสารละลายวิจส์ ปริมาตร 25 มล.โดยใช้ปิเปตและให้ปลายปิเปตจรดข้างขวดด้วยจำนวนครั้งที่แน่นอนและเท่ากันทุกครั้งที่ทำการศึกษาทดลอง

4.เขย่าขวดแล้วตั้งไว้ในที่มืด 1-2 ชั่วโมง

5.เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮโอไดค์ เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 20 มล. และน้ำดื่มใหม่ซึ่งเย็นแล้ว 150 มล.

6. ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เขย่าอย่างสม่ำเสมอขณะไตเตรตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง 2-3 หยด จนกลายเป็นสีน้ำเงินแล้วไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินหมดไปก่อนปฏิกิริยาจะสิ้นสุดถึงจุดยุติให้ปิดขวดด้วยจุกยางเขย่าอย่างแรง เพื่อให้ไอโอดีนที่เหลืออยู่ในชั้นของคาร์บอนเตตราคลอไรด์ถูกดึงออกมาให้หมด

#### 7.เตรียม blank

#### การคำนวณ

$$\text{ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน)} = \frac{(b - a) \times N \times 12.69}{W}$$

b = ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มล.)

a = ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มล.)

N = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

#### 6.การวิเคราะห์สารสปอนนิฟายไม่ได้ (IUPAC, 1979)

##### อุปกรณ์

1. ชุดกลั่นแบบรีฟลักซ์ (reflux) ซึ่งประกอบด้วย ขวดกลั่นขนาด 250 มล.ต่อกับเครื่องควบแน่น (reflux condenser) ตั้งบนเตา (heating mantle)
2. กรวยแยก (separation funnel)
3. ลูกแก้ว
4. ตู้อบความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้

##### สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 3 นอร์มอล และ 0.5 นอร์มอล
2. สารละลายไดเอทิลอีเทอร์
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์

##### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 1-2 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ขวดกลั่นที่สะอาดและแห้ง

2.เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 25 มล. โดยใช้ปิเปตและใส่ลูกแก้ว

3.จัดเครื่องกลั่นพร้อมเปิดน้ำหล่อชุดความแน่นและเปิดสวิทซ์ไฟรีฟลักซ์สารละลาย(ให้เดือดเบาๆ) นาน 60 นาที

4.นำขวดใส่สารละลายออกจากอุปกรณ์ความแน่นของชุดกลั่นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5.เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3 นอร์มอล ปริมาตร 1 มล.

6.เทสารละลายทั้งหมดใส่ลงในกรวยแยก ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มล.

7.สกัดสารละลายด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 3 ครั้งๆ ละ 50 มิลลิลิตร

8.แยกชั้นไดเอทิลอีเทอร์ที่สกัดได้แต่ละครั้งใส่รวมในกรวยแยกอีกอันหนึ่ง ที่มีน้ำกลั่น 20 มล. เขย่าและล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยน้ำ

9.แยกน้ำออกทิ้ง ล้างไดเอทิลอีเทอร์ซ้ำอีก 2 ครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มล.

10.ล้างไดเอทิลอีเทอร์ 2 ครั้งด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ครั้งละ 20 มล.

11.ล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มล.อย่างน้อย 2 ครั้ง จนน้ำที่ได้เป็นต่างต่อฟีนอล์ฟทาลีน

12.เทไดเอทิลอีเทอร์ใส่ลงในบีกเกอร์แห้งที่ผ่านการอบและทราบน้ำหนักแน่นอน

13.ระเหยเอาไดเอทิลอีเทอร์ออกจนแห้ง ที่อุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่

14.ชั่งน้ำหนักที่ได้

การคำนวณ

$$\text{สารสปอนนิฟายไม่ได้ (ร้อยละ)} = \frac{w \times 100}{W}$$

เมื่อ w คือ น้ำหนักที่เหลือจากการสปอนนิฟาย (กรัม)

W คือ น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

7.คำสี คัดแปลงจากวิธีของ AOCS (1989)

อุปกรณ์

1.เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

## 2. คิวเวตเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

### วิธีการ

เติม diatomaceous earth 0.5 กรัมต่อน้ำหนักน้ำมัน 300 กรัม ลงในตัวอย่างน้ำมันกวนเป็นเวลา 2.5 นาที จากนั้นกรองน้ำมัน ปรับอุณหภูมิน้ำมันเป็น 25-30 องศาเซลเซียส นำไปเติมในเซลล์แล้ว โดยต้องบรรจุน้ำมันให้มีปริมาณเพียงพอที่ลำแสงสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ผ่าน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความยาวคลื่นเท่ากับ 460, 550, 620 และ 670 นาโนเมตร

$$\text{ค่าสีโฟโตเมตริก} = 1.29(A_{460}) + 69.7 (A_{550}) + 41.2 (A_{620}) + 69.7 (A_{670})$$

## 8. ปริมาณและชนิดกรดไขมัน (AOAC, 1990)

### อุปกรณ์

1. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟียี่ห้อ Varian<sup>R</sup> 3400
2. เครื่องวัดสัญญาณ (Detector) แบบ Flame Ionization Detector (FID)
3. คอลัมน์แบบ Capillary column เป็นของ J & W Scientific Co.Ltd. California รุ่น DB-23 ความยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มม.
4. กระบอกฉีดมีความจุสูงสุด 10 ไมโครลิตร มีหน่วยวัดได้ถึง 1 ไมโครลิตร

### สารเคมี

1. ไอโซออกเทน
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล เข้มข้น 0.5 นอร์มัล
3. สารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ร้อยละ 20 ในเมทานอล
4. สารละลายเกลืออิมิตัว
5. แก๊สไนโตรเจน(ใช้เป็น carrier gas)
6. สารละลายมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันของ Sigma Chemical Co.

St. Louis, USA

## วิธีการ

### 1. เตรียมสารละลายเมทิลเอสเทอร์

ชั่งน้ำมัน 0.25 กรัม ใส่ในหลอดแก้วฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมธานอลเข้มข้น 0.5 นอร์มัล 1.5 มิลลิลิตร เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์แล้วปิดฝาให้แน่น แช่น้ำเดือด 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น เติมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมธานอล 2 มิลลิลิตร เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์แล้วปิดฝาหลอดให้แน่น แช่น้ำเดือดนาน 30 นาที ทำให้เย็นลง เติมไอโซออกเทน 1 มิลลิลิตร เขย่านาน 30 วินาที เติมสารละลายเกลืออิมตัว 5 มิลลิลิตรทันที เขย่าทิ้งให้สารละลายแยกชั้น ดูดเอาส่วนไอโซออกเทนซึ่งอยู่ชั้นบนใส่ในหลอด แล้วสกัดซ้ำอีกครั้งโดยใช้ไอโซออกเทน 1 มิลลิลิตร เขย่าและดูดส่วนบนไปรวมกับครั้งแรก เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์และเก็บในหลอดฝาเกลียว ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีครั้งละ 1 ไมโครลิตร ระบุชนิดของกรดไขมันที่ได้โดยการเปรียบเทียบกับ retention time ของโครมาโตแกรมมาตรฐาน

### 2. การวิเคราะห์กรดไขมันโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี

ฉีดสารละลายผสมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันปริมาตร 1 ไมโครลิตร เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมัน โดยมีสภาวะการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีตามที่กำหนด

Carrier gas - nitrogengas

Split 50:1

Injector temperature = 250

Detector temperature = 300 °C

Temperature programming = 100 °C - 190 °C rate 15 °C/min

190 °C - 210 °C rate 2 °C/min

210 °C - 240 °C rate 10 °C/min

และทำการ hold temperature at 240 °C นาน 5 นาที

การคำนวณปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิด

$$\text{พื้นที่ peak} = 1/2 \times \text{ความกว้างของ peak} \times \text{ความสูงของ peak}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)} = \frac{\text{พื้นที่ peak} \times 100}{\text{ผลรวมของพื้นที่ peak ทั้งหมด}}$$

## 9. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสโฟไลปิด โดยวิธี Low and Ng (1987)

### อุปกรณ์

- คอลัมน์แก้วโครมาโทกราฟ (1-2 CM.; length 30 cm. With Teflontap)
- cotton wool
- กระจกกรองเบอร์ 1
- ขวดกั้นกลมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

### สารเคมี

- silicic acid
- celite 545
- เมธานอล (analytical grade)
- คลอโรฟอร์ม (analytical grade)

### การเตรียมสารบรรจุคอลัมน์

1. ล้าง silicic acid และ celite 545 โดยแยกกันล้าง เมธานอลที่นำไปอุ่นให้ร้อน

ประมาณ 5-10 นาที

2. ตั้งไว้สักครู่ แล้วจึงค่อยๆรินสารละลายออก
3. ทำซ้ำ ข้อ 1-2
4. ล้างด้วยอะซิโตนที่ทำให้อุ่น 2 ครั้ง
5. ตั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน
6. อบที่ 120 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
7. ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาผสมกันในอัตราส่วน 2:1

### การบรรจุคอลัมน์

1. ชั่งสารบรรจุคอลัมน์ประมาณ 10-15 เท่าของปริมาณไขมันในตัวอย่าง
2. ล้าง cotton wool ด้วย คลอโรฟอร์ม และใส่ลงไปในคอลัมน์ให้อยู่ล่างสุด
3. ผสมสารที่บรรจุลงคอลัมน์กับคลอโรฟอร์ม แล้วค่อย ๆ เทลงในคอลัมน์ โดยใช้

แท่งแก้วคนช่วย

4. ตั้งทิ้งไว้ให้ set ตัว

5. ตัดกระจกกรองเบอร์ 1 เท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ 2 ชั้น แล้วใส่ลงในคอลัมน์ วางกระจกกรอง 2 ชั้นที่เตรียมไว้ในชั้นบนสุด

6. ปรับระดับคลอโรฟอร์มให้เหลือเนื้อสารบรรจุในคอลัมน์ประมาณ 1 เซนติเมตร  
ขั้นตอนการทดลอง

1. ละลายตัวอย่างที่มีไขมัน ประมาณ 1 กรัม ลงในคลอโรฟอร์ม ให้มีความเข้มข้น  
ประมาณ 5-10%

2. ค่อยๆ เเทลงไปที่ละน้อย(ประมาณ 6 มิลลิลิตร)

3. ปล่อยคลอโรฟอร์มส่วนเกินออกให้เหลือเนื้อสารประมาณ 1 เซนติเมตร

4. ชะ neutral lipid ด้วย คลอโรฟอร์มประมาณ 250 มิลลิลิตร ใช้ขวดก้นกลมรองรับ  
โดยให้มีความเร็วในการหยดประมาณ 3 หยด/วินาที

5. นำไปประเหยด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ เพื่อเอาตัวทำละลายออก โดยใช้เวลา  
ประมาณ 5 นาที ทำให้เย็นใน โดคูดความชื้น ประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักคงที่ ของ  
neutral lipid

6. ชะฟอสโฟไลปิด(PL) ด้วยเมทานอล 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปประเหยด้วยเครื่อง  
ระเหยสูญญากาศเช่นเดียวกัน

7. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5

การคำนวณ

$$\text{Neutral lipid \%} = \frac{(\text{Weight of Neutral lipid})}{(\text{Weight of PL} + \text{Weight of Neutral lipid})} \times 100$$

$$\text{PL\%} = \frac{(\text{Weight of PL})}{(\text{Weight of PL} + \text{Weight of Neutral lipid})} \times 100$$

## 10. การวิเคราะห์หาปริมาณ TBA โดยวิธี Esterbauer and Cheeseman (1990)

### สารเคมี

1. 0.05 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์
2. 1% TBA in 0.05 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. 25% ไฮดรอกลอริก
4. 85% บิวทานอล เตรียม 85 มิลลิลิตรของบิวทานอล เติมน้ำ 15 มิลลิลิตร

### วิธีการ

1. ชั่งน้ำมัน 50 มิลลิกรัม ทำการเจือจางด้วยสารละลายผสมของคลอโรฟอร์มและเมทานอล (1:1 ปริมาตร/ปริมาตร)
2. ปั่นปดมา 200 ไมโครลิตรใส่หลอดฝาเกลียวแล้วระเหยคลอโรฟอร์ม : เมทานอล
3. เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร
4. เติม 0.5 มิลลิลิตร 1% TBA
5. เติม 0.5 มิลลิลิตร 25% ไฮโดรคลอริก
6. ปิดฝาเกลียว แล้วต้มน้ำเดือด 15 นาที
7. ทำเย็นที่อุณหภูมิห้อง
8. เติม 85% บิวทานอล เขย่า
9. ดูดสารละลายชั้นบิวทานอล แล้วนำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 550 nm
10. คำนวณค่า TBA ในหน่วย mg malonaldehyde/kg.oil โดยใช้สารละลาย malonaldehyde เป็นมาตรฐาน

## 11. การวิเคราะห์ค่า conjugated diene โดยวิธีดัดแปลงจาก Frankel and Huang (1996)

1. ชั่งน้ำมันใส่หลอดทดลอง
2. เจือจางด้วยคลอโรฟอร์ม:เมทานอล (1:1 ปริมาตร/ปริมาตร)
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 nm
4. คำนวณเป็นค่าการดูดกลืนแสง ต่อน้ำมัน 50 มิลลิกรัม

## ภาคผนวก ข. กระบวนการทำน้ำมันปลาคุณภาพให้บริสุทธิ์

ใช้น้ำมันดิบ ซึ่งได้จากส่วนหัวปลาที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่ง นำมาทำให้บริสุทธิ์ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. pretreatment (Stansby, 1990) นำน้ำมันดิบจากหัวปลา 530 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนพร้อมกวนตลอดเวลาจนได้อุณหภูมิ 70-95 องศาเซลเซียส เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ 1.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน) กวนนาน 30 นาที

2. การกำจัดกรดไขมันอิสระ (AOCS, 1986) นำน้ำมันจากขั้นตอน pretreatment 500 กรัม มาให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนน้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 องศาโบเม (เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 14.56 กรัม ละลายน้ำครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยนำน้ำมันที่ได้จากขั้นตอน pretreatment มาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ เพื่อคำนวณปริมาณค่าที่ใช้ในการทำน้ำมันให้เป็นกลางตามวิธีการ (AOCS, 1986) โดยถ้าน้ำมันปลาที่ผ่านการทำ pretreatment มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 5.35 เปอร์เซ็นต์ เติมต่างมากเกินพอ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 องศาโบเม = 43.83 กรัม ต่อ น้ำมัน 500 กรัม กวนน้ำมันที่เติมสารละลายต่างตลอดเวลา โดยรักษาอุณหภูมิน้ำมันให้อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

3. การเติมสารละลายต่างซ้ำ (Norris, 1982) นำน้ำมันปลาที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ 380 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร กวนน้ำมันให้เข้ากันเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 องศาโบเม (ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 28.72 กรัม เติมน้ำให้ครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ปริมาตร 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร กวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อกวนจนครบเวลาหยุดการกวนจากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันปลาจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หยุดให้ความร้อน กรองแยกส่วนสบู่ออกจากน้ำมันใส ล้างน้ำมันที่กรองได้ให้หมดต่างด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส หลายๆ ครั้ง จนน้ำล้างเป็นกลาง โดยทดสอบน้ำล้างด้วยฟีนอล์ฟทาลีน

4. การฟอกสี (Stansby, 1990) นำน้ำมันปลาที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระและการเติมสารละลายต่างซ้ำใส่ลงในขวดแก้ว ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่อุณหภูมิ

80-85 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิที่ 10-15 นิ้วปรอท เพื่อไล่น้ำจากน้ำมันสังเกตน้ำมันไม่ปรากฏฟองอากาศเติมสารฟอกสี ประกอบด้วยดินฟอกสีร้อยละ 4 ของน้ำหนักน้ำมันและถ่านฟอกสีร้อยละ 5 ของน้ำหนักดิบฟอกสี จากนั้นให้ความร้อน พร้อมทั้งกวนน้ำมันต่อจนได้อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส กงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 30 นาที หยุดเครื่อง กวนรองอุณหภูมิลงลงถึง 60 องศาเซลเซียส จึงปิดเครื่องสุญญากาศ นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เพื่อแยกน้ำมันออกจากสารฟอกสี

5. การแยกส่วนไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (Stansby, 1990) นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี มาเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำโดยในช่วงแรกตั้งอุณหภูมิที่ 12.7 องศาเซลเซียส ทิ้งน้ำมันไว้ที่อุณหภูมินาน 6 ชั่วโมงจากนั้นลดอุณหภูมิของตู้ควบคุมลงเหลือ 7.2 องศาเซลเซียสและเก็บน้ำมันที่อุณหภูมินี้ อีกนาน 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้ว ทำการกรองแยกไขมันแข็งออกที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ด้วยการกรองที่ใช้แรงดึงสุญญากาศ

6. การกำจัดกลิ่น (Stansby, 1990) นำน้ำมันปลาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำมันเหลวที่ได้จากข้อ 5 ใส่งในขวด 3 คอประกอบเข้ากับชุดเครื่องแก้วสำหรับกำจัดกลิ่น ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิที่ 5 นิ้วปรอทเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิถึง 140 องศาเซลเซียส ผ่านไอน้ำลงในน้ำมัน ให้ความร้อนต่อไปจนน้ำมันมีอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสและทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200-220 องศาเซลเซียส จับเวลาจนครบ 2 ชั่วโมง หยุดให้ความร้อนและหยุดผ่านไอน้ำเมื่ออุณหภูมิน้ำมันลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ปิดเครื่องสุญญากาศ เก็บน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

## ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลาดิบ  
จากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความ  
ร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0007	0.0003	< 1
Treatment(T)	8	3.5151	0.4394	998.14**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	0.0991	0.0496	112.58**
เวลาหนึ่ง(m)	2	2.9189	1.4595	3315.49**
t × m	4	0.4970	0.1242	282.25**
Error	16	0.0070	0.0004	
Total	26	3.5228		

หมายเหตุ CV = 0.5 %, \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลาสุก  
จากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความ  
ร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0008	0.0004	< 1
Treatment(T)	8	4.9903	0.6238	124.93**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	1.6914	0.8457	169.38**
เวลาหนึ่ง(m)	2	1.9123	0.9561	191.50**
t × m	4	1.3866	0.3467	69.43**
Error	16	0.0799	0.0050	
Total	26	5.0710		

หมายเหตุ CV = 3.9 %, \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาใน  
การให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	1.5202	0.7601	2.65ns
Treatment(T)	8	524.0191	5.5024	228.19**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	280.0857	0.0429	487.86**
เวลาหนึ่ง(m)	2	86.8624	3.4312	151.30**
t × m	4	157.0709	9.2677	136.80**
Error	16	4.5929	0.2870	
Total	26	530.1322		

หมายเหตุ CV = 2.1 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาใน  
การให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	52.3432	26.1716	< 1
Treatment(T)	8	149540.5203	18692.5650	396.03**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	48527.0757	24263.5378	514.05**
เวลาหนึ่ง(m)	2	73362.1527	36681.0763	777.14**
t × m	4	27651.2920	6912.8230	146.46**
Error	16	755.2061	47.2004	
Total	26	150348.0695		

หมายเหตุ CV = 2.6 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0085	0.0042	< 1
Treatment(T)	8	25.6937	3.2117	566.90**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	6.2563	3.1281	552.15**
เวลานึ่ง(m)	2	13.2244	6.6122	1167.11**
t × m	4	6.2131	1.5533	274.17**
Error	16	0.0907	0.0057	
Total	26	25.7929		

หมายเหตุ CV = 3.6 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0530	0.0265	1.03ns
Treatment(T)	8	5.7211	0.7151	27.69**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	0.6236	0.3118	12.07**
เวลานึ่ง(m)	2	4.4062	2.2031	85.31**
t × m	4	0.6913	0.1728	6.69**
Error	16	0.4132	0.0258	
Total	26	6.1874		

หมายเหตุ CV = 7.3 %, \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	90.1101	45.0550	< 1
Treatment(T)	8	9688.4430	1211.0553	21.74**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	310.6142	155.3071	2.79ns
เวลาหนึ่ง(m)	2	9021.7547	4510.8774	80.97**
t × m	4	356.0740	89.0185	1.60ns
Error	16	891.3839	55.7115	
Total	26	10669.9370		

หมายเหตุ CV = 4.9 %, \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	392.7961	196.3981	4.11*
Treatment(T)	8	3313.3162	414.1645	8.68**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	620.3973	310.1986	6.50**
เวลาหนึ่ง(m)	2	701.5219	350.7610	7.35**
t × m	4	1991.3969	497.8492	10.43**
Error	16	763.6712	47.7295	
Total	26	4469.7842		

หมายเหตุ CV = 4.5 %, \* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะท้อนฟิเคชันของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาใน  
การให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	59.5310	29.7655	< 1
Treatment(T)	8	4513.0171	564.1271	11.77**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	1469.7264	734.8632	15.34**
เวลาหนึ่ง(m)	2	1608.1944	804.0972	16.78**
t × m	4	1435.0963	358.7740	7.49**
Error	16	766.5530	47.9096	
Total	26	5339.1012		

หมายเหตุ CV = 3.9 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะท้อนฟิเคชันของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาใน  
การให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	118.9731	59.4865	1.34ns
Treatment(T)	8	981.4444	122.6805	2.76*
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	489.6891	244.8446	5.50*
เวลาหนึ่ง(m)	2	277.8762	138.9381	3.12ns
t × m	4	213.8791	53.4697	1.20ns
Error	16	711.6474	44.4779	
Total	26	1812.0650		

หมายเหตุ CV = 2.9 %

\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำ  
มันดิบของหัวปลาคีบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและ  
เวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0007	0.0003	< 1
Treatment(T)	8	0.4842	0.0605	113.35**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	0.1450	0.0725	135.75**
เวลานึ่ง(m)	2	0.0443	0.0221	41.45**
t × m	4	0.2950	0.0737	138.11**
Error	16	0.0085	0.0005	
Total	26	0.4935		

หมายเหตุ CV = 2.5 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำ  
มันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและ  
เวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0007	0.0004	< 1
Treatment(T)	8	2.5318	0.3165	23.58**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	1.2873	0.6436	47.95**
เวลานึ่ง(m)	2	0.2864	0.1432	10.67**
t × m	4	0.9581	0.2395	17.85**
Error	16	0.2148	0.0134	
Total	26	2.7474		

หมายเหตุ CV = 1.9 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลา  
ดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความ  
ร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.3501	0.1750	2.41ns
Treatment(T)	8	113.5580	14.1947	195.30**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	9.3899	4.6950	64.59**
เวลาหนึ่ง(m)	2	59.4502	29.7250	408.97**
t × m	4	44.7178	11.17945	153.81**
Error	16	1.1629	0.0727	
Total	26	115.0710		

หมายเหตุ CV = 0.5 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลา  
สุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความ  
ร้อนแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0857	0.0429	< 1
Treatment(T)	8	5235.1368	654.3921	13771.24**
อุณหภูมิหนึ่ง(t)	2	222.8535	111.4268	2344.90**
เวลาหนึ่ง(m)	2	3705.9771	1852.9886	38994.89**
t × m	4	1306.3062	326.5765	6872.58**
Error	16	0.7603	0.0475	
Total	26	5235.9829		

หมายเหตุ CV = 0.2 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลา  
ดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศา  
เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	2.0096	1.0048	1661.40 <sup>**</sup>
Error	6	0.0036	0.0006	
Total	8	2.0132		

หมายเหตุ CV = 0.6 %

<sup>\*\*</sup> = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตน้ำมันดิบของหัวปลา  
สุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศา  
เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	1.6328	0.8164	52.51 <sup>**</sup>
Error	6	0.0933	0.0155	
Total	8	1.7261		

หมายเหตุ CV = 5.2 %

<sup>\*\*</sup> = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความ  
ร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	3.0001	1.5001	3.52ns
Error	6	2.5555	0.4259	
Total	8	5.5556		

หมายเหตุ CV = 2.1 %

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความ  
ร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	199.5823	99.7911	< 1
Error	6	606.5413	101.0902	
Total	8	806.1237		

หมายเหตุ CV = 5.1 %

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาหูน้ำพันธุโอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	1.2514	0.6257	109.00**
Error	6	0.0344	0.0057	
Total	8	1.2858		

หมายเหตุ CV = 2.6 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาหูน้ำพันธุโอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	0.8292	0.4146	29.18**
Error	6	0.0853	0.0142	
Total	8	0.9145		

หมายเหตุ CV = 4.7 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของ  
หัวปลาดิบจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน  
85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	277.0526	138.5263	2.79ns
Error	6	298.2956	49.7160	
Total	8	575.3482		

หมายเหตุ CV = 4.3 %

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบของ  
หัวปลาสุกจากปลาช่อนพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน  
85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	57.8640	28.9320	10.56*
Error	6	16.4410	2.7402	
Total	8	74.3051		

หมายเหตุ CV = 1.1 %

\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะพานฟีเคชันของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาคีบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความ  
ร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	71.2075	35.6037	< 1
Error	6	309.5301	51.5883	
Total	8	380.7375		

หมายเหตุ CV = 3.8 %

ตารางภาคผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสะพานฟีเคชันของน้ำมันดิบ  
ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความ  
ร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	177.9630	88.9815	< 1
Error	6	749.7871	124.9645	
Total	8	927.7501		

หมายเหตุ CV = 5.0 %

ตารางภาคผนวกที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	0.1527	0.0763	226.33**
Error	6	0.0020	0.0003	
Total	8	0.1547		

หมายเหตุ CV = 2.3 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารที่สะปอนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	0.2093	0.1046	17.26**
Error	6	0.0364	0.0061	
Total	8	0.2457		

หมายเหตุ CV = 2.0 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลา  
ดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศา  
เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	17.6051	8.8020	442.31**
Error	6	0.1194	0.0199	
Total	8	17.7234		

หมายเหตุ CV = 1.1 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำมันดิบของหัวปลา  
สุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อุณหภูมิให้ความร้อน 85 องศา  
เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่แรงบีบแตกต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
แรงบีบ	2	131.1620	65.5810	521.97**
Error	6	0.7538	0.1256	
Total	8	131.9158		

หมายเหตุ CV = 0.3 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาติบจากปลาพุงน้ำพันธุ้โอแลบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.0042	0.0021	< 1
Treatment(T)	7	37774.6607	539.2372	3664.66**
เวลา(d)	3	1.1209	0.3736	2.54ns
ชนิดตัวทำละลาย(s)	1	3773.5368	3773.5368	25644.98**
d × s	3	0.0029	0.0010	< 1
Error	14	2.0600	0.1471	
Total	23	3776.7250		

หมายเหตุ CV = 0.8 % \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตของน้ำมันบริสุทธิ์ของหัวปลาสุกจากปลาพุงน้ำพันธุ้โอแลบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.9506	0.4753	3.39ns
Treatment(T)	7	4957.2693	708.1813	5045.12**
เวลา(d)	3	16.36511	5.4550	38.86**
ชนิดตัวทำละลาย(s)	1	4934.3940	4934.3940	35152.86**
d × s	3	6.5101	2.1700	15.46**
Error	14	1.9652	0.1404	
Total	23	4960.1851		

หมายเหตุ CV = 0.9 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์  
ของหัวปลาดิบจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรด  
ไขมันไม่อิ่มตัว

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.4423	0.2211	2.07ns
Treatment(T)	7	6722.0920	960.2989	8992.72**
เวลา(d)	3	41.9209	13.9736	130.86**
ชนิดตัวทำละลาย(s)	1	6667.6667	6667.6667	62439.34**
d × s	3	12.5044	4.1681	39.03**
Error	14	1.4950	0.1068	
Total	23	6724.0292		

หมายเหตุ CV = 0.2 %, \*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ 32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมันบริสุทธิ์  
ของหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธุ์โอแลบ ที่ผ่านการเพิ่มสัดส่วนกรด  
ไขมันไม่อิ่มตัว

SV	DF	SS	MS	F
Replication(R)	2	0.4356	0.2178	3.42ns
Treatment(T)	7	4626.1881	660.8840	10372.62**
เวลา(d)	3	60.9879	20.3292	319.07**
ชนิดตัวทำละลาย(s)	1	4558.1484	4558.1484	71540.45**
d × s	3	7.0519	2.3506	36.89**
Error	14	0.8920	0.0637	
Total	23	4627.5157		

หมายเหตุ CV = 0.1 %

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01)

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย นิลสิทธิ์ ศรีวิรัตน์

วัน เดือน ปี เกิด 24 มกราคม พศ.2515

### วุฒิการศึกษา

วุฒิ วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

ชื่อสถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปีที่สำเร็จการศึกษา 2537