รายงานการวิจัย

เรื่อง

ธรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากตับปลาทูน่า
(Optimal Processing for Lipid Extraction from Tuna Liver)

โดย

มุทิตา มีนุ่น
เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Order Key 16493
BIB Key 147660

เลขหมู่ TP248.65 L57 M73
เลขทะเบียน 2541 ฉ.1
19 ต.ค. 2541

บทคัดย่อ

การศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ คือ ทูน่าพันธุ์โอแถบ ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และทูน่าพันธุ์ครีบยาว ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ ซอคเลต วิธี Bligh and Dyer และวิธีการใช้ไอน้ำ พบว่าการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในสกัด คือ อะซิโตน สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 9 ชั่วโมง สำหรับตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว คือ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 9 ชั่วโมง และผลผลิตของน้ำมันของน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีปริมาณสูงกว่าผลผลิตจากการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyerโดยน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ตับปลาทูท่านพันธุ์ครีบเหลือง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว มีปริมาณผลผลิต เท่ากับ 47.63 32.85 และ 26.33 (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 37.86 2382 และ 20.67 (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ สำหรับการสกัดน้ำมันโดยการใช้ไอน้ำไม่สามารถสกัดน้ำมันได้

สมบัติของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารสปอนนิฟายไม่ได้ ค่า TBA และจุดหลอมเหลวสูง แต่ดัชนีหักเหแสง ค่าไอโอดีน ค่าสปอนนิฟิเคชั่น และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ส่วนสีของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีสีค่อนข้างคล้ำ

การเก็บรักษาน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน ค่า TBAและกรดไขมันอิสระ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ โดยที่ 25 วัน ค่า TBA เท่ากับ 15.11 กรดไขมันอิสระเท่ากับ 13.17 ส่วนสีของน้ำมันตับปลาจะคล้ำขึ้นตามระยะเวลาการเก็บและการประเมินทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ของน้ำมันตับปลาที่เก็บที่เวลาต่างกัน

Abstract

Various extraction methods in this model system including solvent extraction methods (Soxhlet method and Bligh and Dyer method) and steaming method were used to extract liver oil from 3 species of tuna, skipjack, yellowfin and albacore. Acetone was shown as the most potential solvent for Soxhlet method. The optimum condition for tuna live oil extraction by Soxhlet method were a liver to solvent ratio of 1:5 (w/v) with an extraction time of 9 hr at $60^{\circ}C$ for yellowfin and albacore. Yield obtained by Soxhlet method was higher than that attained by Bligh and Dyer method. By using Soxhlet method, liver oil yield from skipjack, yellowfin and albacore was 47.63, 32.85 and 26.3% (dry basis), respectively. For Bligh and Dyer method, yield of 37.86 23.82 and 20.67% (dry basis) was observed for skipjack, yellowfin and albacore, respectively. However, the extraction of liver oil could not be achieved by steaming method.

Tuna liver oil from all species used, extracted by soxhlet method contained higher moisture, peroxide value, free fatty acid, unsponifiable matter, TBA and showed higher moisture, peroxide value, free fatty acid, unsponifiable matter, TBA and showed higher melting point but low iodine value, sponification value, EPA and DHA content and showed lower refractive index, when compared with those extracted by Bligh and Dyer method. Color of tuna liver oil extracted by both methods was slightly dark.

Skipjack tuna liver oil was storaged at room temperature for 25 day.It was fuond that TBA and free fatty acid value were inereased as storage time increased. After storage for 25 days TBA and free fatty acid value were 15.11 and 13.17, respectively. At increasing storage time, the colour of the liver oil was slightly draker.However,it not significantly different of the sensory score during storage. ($p<0.05$)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทนำ	
- บทนำต้นเรื่อง	1
- วัตถุประสงค์	2
- ตรวจเอกสาร	3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	12
ผลและวิจารณ์	16
สรุป	41
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	49

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำมันและวิตามินเอของตับปลาทูน่า	6
2	องค์ประกอบทางเคมีของตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์	16
3	ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกัน	18
4	ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายและใช้อัตราส่วนวัตถดิบต่อตัวทำละลายต่างกัน	21
5	ปริมาณน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันตับจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย	23
6	ความชื้น และค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย	24
7	ปริมาณน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก ค่าเปอร์ออกไซด์ และความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย	26
8	ปริมาณน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก ค่าเปอร์ออกไซด์ และความชื้นของน้ำมันดิบจากปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer	27
9	สมบัติของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตและวิธี Bligh and Dyer เปรียบเทียบกับน้ำมันปลาดิบ	29
10	ค่าสีของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตและวิธี Bligh and Dyer	34

ตารางที่		หน้า
11	องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ซอคเลต	35
12	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer	36
13	ค่า TBA ของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ	37
14	เปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เวลา 0, 15 และ 25 วัน	37
15	ค่าสีของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ	37
16	การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ	39

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต	4
2	โครงสร้างทางเคมีของ docosahexaenoic acid (DHA)	8
3	โครงสร้างทางเคมีของ eicosapentaenoic acid (EPA)	9
4	การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของน้ำมันตับปลาทูน่าระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน	38

บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ากระป๋องใหญ่เป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีมูลค่าการส่งออก ในปีพ.ศ. 2537 ถึง 15,600 ล้านบาท (กองเศรษฐกิจการประมง ข,2537) โดยเฉพาะทางภาคใต้ของประเทศไทย เป็นท้องถิ่นที่อุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรจากท้องทะเล เนื่องจากมีพื้นที่ชายฝั่งทั้งด้านตะวันออกและตะวันตก ยาวประมาณ 1,800 กิโลเมตร ประชาชนที่อาศัยตามชายฝั่งประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ประมง

ภาคใต้มีโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแช่เยือกแข็ง 26 โรงงาน โรงงานแปรรูปสัตว์น้ำบรรจุกระป๋อง จำนวน 15 โรงงาน โรงงานปลาป่น 58 โรงงาน และโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำกึ่งสำเร็จรูป จำนวน 6 โรงงาน โดยเฉพาะในเขตจังหวัดสงขลา มีโรงงานผลิตปลาทูน่าถึง 6 โรงงาน (ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้, 2533) และมีแนวโน้มว่าจะมีโรงงานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือ จากการแปรรูปสูงมากขึ้น ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหากับสภาวะแวดล้อมและการกำจัดของเสีย

ในขั้นตอนการแปรรูปปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง จะมีวัสดุเศษเหลือทิ้งในรูปของแข็งและของเหลว อันเป็นภาระของระบบการกำจัดของเสียเป็นจำนวนมาก โดยในส่วนเศษเหลือที่เป็นของแข็งประกอบด้วยเครื่องในปลาประมาณ 7-8% ในส่วนเศษเหลือที่เป็นของเหลวประกอบด้วย น้ำนึ่งประมาณ 10-14% (Prasertsan, et al., 1983) ซึ่งของเสียทั้ง 2 ส่วนนี้มีน้ำมันปลาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

ปัจจุบันน้ำมันจากปลา และผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มการผลิตสูงขึ้นเป็นลำดับ และได้เข้ามามีบทบาทต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันจากปลา มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากไขมันชนิดอื่น คือ มีกรดไขมันที่มีคาร์บอน จำนวนคี่อยู่สูงและมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะพวก Omega - 3 fatty acid ที่สำคัญ และพบมากในปลาทะเลจะมี 2 ชนิด คือ Eicosapentaenoid acid [C20:1, W3] และ Docosahexaenoic acid [C22:6, W3] ซึ่งจะมีบทบาทสูงต่อสภาวะโภชนาการของมนุษย์ (Sinclair, 1993) เช่น บทบาทในการลดระดับโคเลสเตอรอลและไตรเอซิลกลีเซอรอลในพลาสมา การลดระดับลิโปโปรตีน และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและหน้าที่ของเกล็ดเลือด ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดผลดีในการลดอันตรายของโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ โรคที่เกี่ยวข้องกับไขมันในเลือดหรือ โรคหัวใจได้ ทำให้เกิดความตื่นตัวในงานวิจัยทางด้านชีวเคมีของไขมันและโภชนาการของมนุษย์เป็นอย่างมาก

การวิจัยศึกษาการแยกไขมันจากของเสียจากโรงงานปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง คือ เครื่องในปลาซึ่งนอกจากจะเป็นการพยายามใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติสูงสุดแล้ว ยังสามารถช่วยลดภาระการกำจัดของเสียที่เป็นมลภาวะ แล้งยังเป็นการศึกษาถึงแหล่งน้ำมันที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมอาหารด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดไขมันจากตับปลาทูน่า
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและคุณภาพของไขมันที่สกัดได้จากตับปลาทูน่า
3. เพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากไขมันที่สกัดได้

ตรวจเอกสาร

อุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า

ทรัพยากรปลาทูน่าจัดเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญในวงการประมงโลก เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักว่าปลาทูน่าเป็นอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ประเภทอื่นที่มีราคาต่ำให้คุณประโยชน์มาก เช่น กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมกา 3 ที่มีคุณสมบัติช่วยลดความดันเลือด ช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือด และช่วยป้องกันไม่ให้เลือดจับกันเป็นก้อน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเป็นโรคหัวใจอย่างเฉียบพลัน (Eitenmiller, 1991 : Tuley, 1991) เนื้อปลาทูน่าเป็นแหล่งที่ดีของธาตุไอโอดีน การขาดธาตุไอโอดีนเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคคอพอกขึ้นได้ จึงทำให้ผู้บริโภคเนื้อปลาทูน่ากันมากขึ้น

จากรายงานคณะทำงานการศึกษาการประมงปลาทูน่า (2534) ได้กล่าวไว้ว่า ผลผลิตปลาทูน่าทั่วโลกได้เพิ่มขึ้นจาก 1.8 ล้านตันในปี 2523 เป็น 2.5 ล้านตันในปี 2531 และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ประเมินความต้องการอาหารปลาทูน่าบรรจุกระป๋องในปี 2538 ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตลาดโลกอีกประมาณ 140,000 ตัน นอกจากนี้ยังอาจเพิ่มจากการบริโภคภายในประเทศ โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และตะวันออกกลางอีกประมาณ 30,000 - 40,000 ตัน ทำให้ตลาดการค้าปลาทูน่าบรรจุกระป๋องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

อุตสาหกรรมปลาทูน่าบรรจุกระป๋องของประเทศไทย สามารถนำรายได้เข้าประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 10,000 ล้านบาทในช่วงปี 2529 - 2532 โดยในปี 2532 พบว่าโรงงานผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง 22 โรงงาน มีปริมาณการใช้วัตถุดิบรวม 1,000 ตันต่อวัน และได้เพิ่มปริมาณเป็น 1,600 ตันต่อวันในปี 2533 หรือประมาณ 480,000 ตันต่อปี (พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล, 2534) การผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องของประเทศไทยจึงเจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็วทำให้ได้ชื่อว่าเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ามากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ปริมาณการส่งออกในแต่ละปีได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วเพราะผู้ผลิตสามารถปรับปรุงสินค้าให้ได้มาตรฐานความต้องการของตลาด จึงทำให้คุณภาพและราคาเป็นที่ยอมรับ มูลค่าการส่งออกปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง ในปี 2534 ประมาณร้อยละ 62.7 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง (กัลยา เรืองพงษ์, 2535) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องในประเทศไทยได้มาจาก 2 แหล่ง คือ (คณะทำงานการศึกษาการประมงปลาทูน่า , 2534)

1. จากการจับภายในประเทศ ซึ่งได้จากการประมงในน่านน้ำไทยเป็นสำคัญ ปลาทูน่าในน่านน้ำไทยเป็นปลาทูน่าขนาดเล็กซึ่งไทยเรียกว่า "ปลาโอ" ได้แก่ ปลาโอดำ หรือโอหม้อ ปลาโอลาย ปลาโอแถบ หรือโอกล้วย ปลาโอหลอด ปลาโอท้องแถบ โดยปลาโอหลอดและปลาโอท้องแถบจะพบเฉพาะในเขตทะเลอันดามัน และจะพบปลาทูน่าครีบเหลืองในบางฤดูอีกด้วย (Chullasom and Martosubroto, 1986)

2. จากการนำเข้าจากต่างประเทศ สัดส่วนการใช้วัตถุดิบภายในประเทศ เริ่มลดลงจากร้อยละ 68.8 ในปี 2525 เป็นร้อยละ 23.0 ในปี 2531 ปัจจุบันประมาณร้อยละ 80 ของวัตถุดิบทั้งหมดเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ในที่นี้เป็นปลาโอแถบประมาณร้อยละ 90 ปลาทูน่าครีบเหลืองร้อยละ 8 ปลาทูน่าชนิดอัลบาคอร์ไม่เกินร้อยละ 2

การใช้ประโยชนวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง

จากแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทำให้มีปริมาณของวัสดุเศษเหลือเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ชนิดของวัสดุเศษเหลือที่พบดังแสดงในรูปที่ 1 โดยพบว่ามีปริมาณรวมกันถึงร้อยละ 65 (คิดจากน้ำหนักปลาทูน่าทั้งตัว) (Wheaton and Lawson, 1985) สำหรับโรงงานแปรรูปปลาทูน่าบรรจุกระป๋องในเขตภาคใต้ของประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเศษเหลือประมาณร้อยละ 70 (คิดจากน้ำหนักปลาทูน่าทั้งตัว) อันได้แก่ หัวและเครื่องในร้อยละ 10 น้ำเลือดปลาและน้ำนึ่งปลาร้อยละ 35 กระดูกปลาและหนังปลาร้อยละ 5 เศษเนื้อสีขาวและเศษเนื้อสีดำร้อยละ 20 (ข้อมูลจากการสอบถาม, 2535)

กระบวนการผลิต		ของเสีย
ปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง		
↓		
ละลายน้ำแข็ง	→	น้ำ, ชิ้นส่วนที่แตกหัก
↓		
เอาเครื่องในออก	→	น้ำ, เครื่องใน, เลือด
↓		
ล้างทำความสะอาด	→	น้ำ, น้ำมัน, เมือกปลา
↓		
นึ่ง	→	น้ำนึ่งปลาทูน่า
↓		
ทิ้งให้เย็น	→	น้ำ
↓		
แยกเนื้อขาว	→	หัว, กระดูก, หนัง, เนื้อสีดำ, เศษเนื้อสีขาว
↓		
บรรจุลงกระป๋อง	→	เศษเนื้อสีขาว
↓		
เติมน้ำมันหรือน้ำเกลือ	→	น้ำมันหรือน้ำเกลือ
↓		
ปิดฝากระป๋อง & ล้างทำความสะอาดกระป๋อง	→	น้ำ, น้ำมัน
↓		
ฆ่าเชื้อ & ทำเย็น	→	น้ำ
↓		
ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง		

รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้น

ที่มา : ดัดแปลงจาก Soderquist (1970) ; Marisa (1987)

จากกระบวนการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง (รูปที่ 1) จากวัตถุดิบเริ่มต้นจะแยกได้เป็นเนื้อปลาปริมาณร้อยละ 35 และส่วนที่เหลือประกอบด้วยวัสดุเศษเหลืออื่น ๆ เช่นพวกหัว ก้าง หาง และหนังปลา ร้อยละ 28-30 เลือดปลา ร้อยละ 10-12 น้ำนึ่งปลา ร้อยละ 20 และเครื่องในปลา ร้อยละ 7-8 (สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ, 2538) ซึ่งวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ได้มีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม เช่น ผลิตเป็นอาหารสัตว์ ปลาป่น สกัดเอนไซม์โปรติเอส เครื่องในผง และทูน่าแคลเซียม เป็นต้น (Ockerman, 1992) นอกจากนี้วัสดุเศษเหลือในส่วนตับปลาทูน่าซึ่งประกอบด้วยน้ำมันและเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินเอและวิตามินดีสามรถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันตับปลาที่มีวิตามินสูง น้ำมันจากตับปลาทูน่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ ทางการแพทย์ และเภสัชกรรม โดยใช้ในรูปยาและอาหารเสริมสุขภาพ (Bimbo and Crowther, 1992) เนื่องจากในน้ำมันตับปลาประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภทโอเมก้า-3 เช่น eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ซึ่ง EPA และ DHA มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ โดยมีคุณสมบัติในการป้องกันโรคหัวใจ ลดปริมาณไขมันในเลือด ป้องกันโรคความดันโลหิตสูง และลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาสมองอีกด้วย (Hunter, 1987 ; Phillipson, *et al.*, 1985 ; Kinsella, 1986)

ความสำคัญของน้ำมันจากตับปลา

น้ำมันตับปลาได้นำมาใช้ในการรักษาโรคมาเป็นเวลานานแล้ว โดยใช้ในรูปยาเสริมวิตามินเอและวิตามินดี จากการศึกษาต่อมาพบว่าในน้ำมันตับปลาประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ความสนใจต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 มีมากขึ้นหลังจากการศึกษาในชาวเอสกิโมแถบกรีนแลนด์ โดย Dyerberg และคณะ (1978) พบว่าชาวเอสกิโมมีอัตราการเป็นโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารที่บริโภค การศึกษาต่อมาพบว่าสัตว์น้ำและปลาทะเลที่ชาวเอสกิโมบริโภคในชีวิตประจำวันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ปริมาณสูง นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 สามารถป้องกันโรคและภาวะผิดปกติบางชนิดได้ เช่น โรคข้อ โรคเรื้อนกวางหรือสะเก็ดเงิน (psoriasis) โรคลำไส้ใหญ่อักเสบเป็นแผลเปื่อย (วินัย คะห์ลัน, 2539)

นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 มีความสำคัญต่อการพัฒนาการของร่างกาย ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายเนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ (Goodnight, *et al.*, 1982) โดยจะพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 มากบริเวณสมอง เรตินาของดวงตา อัณฑะ และรก (Crawford, *et al.*, 1976) ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 จะมีผลเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของสมองการเรียนรู้และการมองเห็น (Holman, *et all.*, 1982) เนื่องจากปลาทะเลมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ในปริมาณสูง เนื้อปลาและสัตว์ทะเลจึงเป็นแหล่งของกรดไขมันไม่

อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3ที่สำคัญ และนอกเหนือจากเนื้อปลาทะเลแล้ว พบว่าในน้ำมันตับปลา เช่น น้ำมันจากตับปลาคอด ยังเป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ที่สำคัญ โดยในประเทศแคนาดาได้กำหนดความต้องการของคนต่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ขึ้นเป็นประเทศแรก โดยระบุความต้องการของคนต่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 เช่น ทารกอายุ 0-12 เดือน ต้องการวันละ 0.5 กรัมต่อวัน ขณะที่ผู้ชายและผู้หญิงต้องการวันละ 1.4-1.7 และ 1.0-1.2 กรัมต่อวันตามลำดับ (จงจิตร อังคทะวานิช, 2538)

แหล่งและองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันจากตับปลา

ปลาทูน่ามีน้ำหนักของตับประมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักตัว และในตับปลาทูน่ามีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 4-25 ซึ่งน้ำมันจากตับปลาทูน่ามีวิตามินเอ ปริมาณสูงบางครั้งเรียกว่า น้ำมันวิตามิน (Vitamin oils) (Stansby, 1967) ปริมาณน้ำมันและวิตามินเอของตับปลาทูน่าจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ (ตารางที่ 1) ขนาดและปริมาณน้ำมันของตับปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับแหล่งที่อยู่และอาหารที่ปลากิน นอกจากนี้ยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น ชนิดของปลา อายุของปลา การวางไข่ และฤดูกาล เป็นต้น (Stansby, 1967; 1990)

Saito และคณะ (1996) ศึกษาปริมาณน้ำมันในตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง ที่จับบริเวณเขต East Caroline Basin และบริเวณเขตฝั่งทะเลประเทศญี่ปุ่น พบว่าปริมาณน้ำมันเฉลี่ยของตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง ที่จับบริเวณเขต East Caroline Basin และบริเวณเขตฝั่งทะเลประเทศญี่ปุ่น มีปริมาณเท่ากับ ร้อยละ 0.5 และ 0.8 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าปริมาณน้ำมันในตับปลาทูน่าพันธุ์โอหลอด และตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่จับบริเวณทะเลแปซิฟิกเขตประเทศญี่ปุ่น มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 18.2 และ 16.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันและวิตามินเอของตับปลาทูน่า

ชนิดปลาทูน่า	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละของน้ำหนักตับสด)	ปริมาณวิตามินเอ (U.S.P.* ต่อกรัมน้ำมัน)
ทูน่าครีบยาว (albacore tuna)	7 - 20	25,000
ทูน่าครีบน้ำเงิน (bluefin tuna)	4 - 6	75,000
ทูน่าครีบเหลือง (yellowfin tuna)	3 - 5	50,000
ทูน่าโอแถบ (skipjack tuna)	4 - 6	40,000
ทูน่า (oriental bonito)	2 - 4	35,000

*U.S.P. คือ หน่วยวัดทางเภสัชกรรมของสหรัฐอเมริกา (United States Phamacopia Unit)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tressler และ Lemon (1951)

น้ำมันตับปลามีลักษณะคล้ายกับน้ำมันพืชโดยทั่วไป คือ องค์ประกอบของไขมัน 1 โมเลกุล ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมีความแตกต่างจากน้ำมันพืช โดยกรดไขมันในน้ำมันจากตับปลาจะประกอบด้วยกรด ไขมันไม่อิ่มตัวสูงมาก (highly polyunsaturated fatty acid) ที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่า 4 พันธะ อยู่ในสัดส่วนที่สูง (Huss, 1988)

องค์ประกอบของน้ำมันตับปลา ประกอบด้วยไตรกลีเซอร์ไรด์ เอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระ สารให้สี ไฮโดรคาร์บอน ฟอสโฟลิปิด สเตอรอยด์ เป็นต้น (Huss, 1988) กรดไขมันในตับปลาส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

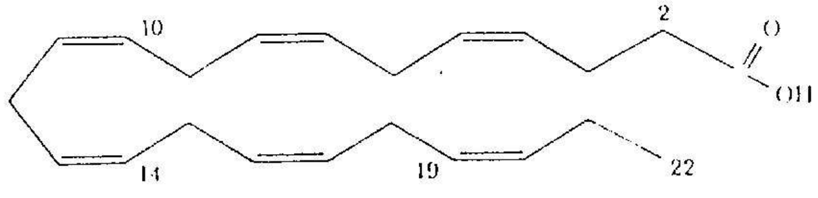
1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty) เป็นกรดไขมันที่มีโซ่คาร์บอนสั้นและไม่มีพันธะคู่ จึงทำให้มีจุดหลอมเหลวสูง (มากกว่า 60 องศาเซลเซียส) ดังนั้นกรดไขมันชนิดนี้จึงแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง (Stansby, 1990)

Bailey และคณะ (1952) ศึกษาชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดจากตับปลาทูน่า พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว $C_{16:0}$ และ $C_{18:0}$ ร้อยละ 17.9 และ 8.9 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ Stansby (1967) พบว่าน้ำมันจากปลาประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ร้อยละ 15-40 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด กรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไป เช่น กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดพาลมิติก เป็นต้น

Saito และคณะ (1996) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองที่จับบริเวณเขต East Caroline Basin โดยวิธีของ Foloh พบว่าน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว $C_{14:0}$ $C_{15:0}$ $C_{16:0}$ $C_{17:0}$ และ $C_{18:0}$ ปริมาณร้อยละ 0.6 1.0 25.4 1.6 และ 9.4 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับจากการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ Bonito ที่จับบริเวณเขตทะเลแปซิฟิก ด้วยวิธีของ Foloh พบว่าน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ Bonito ที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว $C_{14:0}$ $C_{15:0}$ $C_{16:0}$ $C_{17:0}$ และ $C_{18:0}$ ปริมาณร้อยละ 3.8 1.3 21.5 2.3 และ 7.6 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ นอกจากนี้จากการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอหลอด และปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่จับบริเวณทะเลแปซิฟิกเขตประเทศญี่ปุ่น ด้วยวิธีของ Foloh พบว่าตับปลาทูน่าพันธุ์โอลายประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว $C_{14:0}$ $C_{15:0}$ $C_{16:0}$ $C_{17:0}$ และ $C_{18:0}$ ปริมาณร้อยละ 1.4 0.5 19.7 0.8 และ 7.0 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ และตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว $C_{14:0}$ $C_{15:0}$ $C_{16:0}$ $C_{17:0}$ และ $C_{18:0}$ ปริมาณร้อยละ 1.7 0.6 18.2 0.9 6.6 และ 0.4 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีโซ่คาร์บอนยาว โดยมีจำนวน 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 1-6 คู่ กรดไขมันกลุ่มนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอน อะตอม จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล และตำแหน่งของพันธะคู่ โดยทั่วไปกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวในอุณหภูมิห้อง น้ำมันจากปลามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 40 ในจำนวนนี้มีกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวสูงมาก เป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 10 โดยทั่วไปไขมันจากปลาทะเลมีส่วนประกอบที่ซับซ้อนและมีกรดไขมัน C_{18} C_{20} และ C_{22} จำนวนมากเป็นองค์ประกอบ (Stansby, 1990) น้ำมันตับปลาทูน่า (Seriola quingueradiata) มีกรดไขมัน C_{20} และ C_{23} อยู่มากกว่าร้อยละ 50 และมีกรดไขมัน C_{24} อยู่ประมาณร้อยละ 8 (ประเสริฐ สายประสิทธิ์,2527)

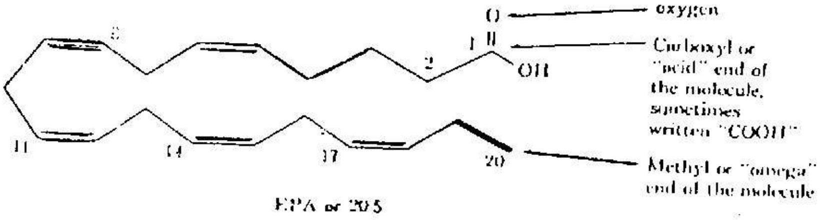
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญ และมีบทบาทสูงในน้ำมันจากตับปลา คือ กลุ่มของกรดไขมันที่เรียกว่า “omega-3 fatty acid” สำหรับน้ำมันตับปลาจะมีกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ประมาณ 10 ชนิด แต่มีเพียง 2 ชนิด ที่มีบทบาทเด่นและสำคัญ ได้แก่ docosahexaenoic acid หรือ DHA และ eicosapentaenoic acid หรือ EPA โดยที่ EPA เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม และมีพันธะคู่ 5 พันธะ ขณะที่ DHA เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม และมีพันธะคู่ 6 พันธะ (Stansby, 1990) แสดงดังภาพที่ 2 และ 3



DHA 22:6

รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ docosahexaenoic acid (DHA)

ที่มา : Kinsella (1986)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ eicosapentaenoic acid (EPA)

ที่มา : Kinsella (1986)

Saito และคณะ (1996) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง ที่จับบริเวณเขต East Caroline Basin ด้วยวิธีของ Foloh พบว่าน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองที่สกัดได้ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว $C_{16:1}$ $C_{18:1}$ $C_{20:4}$ $C_{22:5}$ และ $C_{22:6}$ ร้อยละ 2.9 19.0 3.6 4.0 1.2 และ 20.7 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ จากการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ Bonito ที่จับบริเวณเขตทะเลแปซิฟิก ด้วยวิธีของ Foloh พบว่าน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ Bonito ที่สกัดได้ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว $C_{16:1}$ $C_{18:1}$ $C_{18:2}$ $C_{20:4}$ $C_{20:5}$ $C_{22:4}$ และ $C_{22:6}$ ร้อยละ 3.2 7.7 1.7 45.8 11.5 1.1 และ 34.8 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ นอกจากนี้จากการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 2 สายพันธุ์ คือ ปลาทูน่าพันธุ์โอหลอด และปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่จับบริเวณทะเลแปซิฟิกเขตประเทศญี่ปุ่น ด้วยวิธีของ Foloh พบว่าตัวปลาของปลาทูน่าพันธุ์โอหลอดและพันธุ์โอแถบ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว $C_{16:1}$ $C_{18:1}$ $C_{20:4}$ $C_{20:5}$ $C_{22:5}$ และ $C_{22:6}$ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปลาทูน่าพันธุ์ โอหลอด มีปริมาณร้อยละ 3.7 20.0 1.37 4.46 และ 18.8 ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ และในตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ปริมาณร้อยละ 4.2 10.3 1.8 8.4 3.8 และ 24.2 ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

การสกัดไขมันจากตับปลา

ปลาแต่ละชนิดมีปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสกัดน้ำมันจากตับปลาและเครื่องในปลาแต่ละชนิด จึงมีวิธีที่เหมาะสมในการสกัดที่แตกต่างกัน วิธีการสกัดน้ำมันจากตับปลาแบ่งได้ดังนี้

การใช้ไอน้ำ

Tressler และ Lemon (1951) รายงานว่าการสกัดน้ำมันจากตับปลาโดยการใช้ไอน้ำจะใช้สกัดน้ำมันจากตับปลา ที่มีปริมาณน้ำมันในตับร้อยละ 50 และมีปริมาณวิตามินเอ 8,000-15,000 U.S.P. Kulikove (1971) รายงานว่าสามารถสกัดน้ำมันจากตับปลาคอด ได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 70 ของน้ำหนักตับสด เมื่อใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จากการทดลองของ Gerasimove และ Antonova (1978) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากตับปลาคอดโดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50-70 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 70 ของน้ำหนักตับสด

Sunarya และคณะ (1991) สกัดน้ำมันจากตับปลาฉลามโดยการใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงแยกน้ำมัน ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 15 นาที ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับร้อยละ 22.1 ของน้ำหนักตับปลาสด

Hall (1992) รายงานถึงการสกัดน้ำมันจากตับปลาโดยการใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 85-88 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลทำให้ตับปลามีอุณหภูมิประมาณ 70-75 องศาเซลเซียส สามารถสกัดน้ำมันได้ ถึงประมาณร้อยละ 70-75 Benjakul และ Taylor (1994) ทดลองสกัดน้ำมันจากตับปลาฉลามโดยการใช้ไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นหมุนเหวี่ยงแยกน้ำมันออกจากตับปลาที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 30 นาที ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 30.9 ของน้ำหนักตับสด

การใช้ตัวทำละลาย

Hall (1992) รายงานว่าในการสกัดน้ำมันจากตับปลา ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการ สกัดได้แก่ อะซิโตน เบนซิน คาร์บอนไดซัลไฟด์ คาร์บอนเตตราคลอไรด์ ไดออกเซนเอทธิลีนไดคลอไรด์ และ ปิโตรเลียมอีเธอร์ นอกจากนี้มีการใช้ไอโซโพรพานอลร้อนเป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันจากปลาสด (Lee, 1954) จากการทดลองของ Nielsen (1937) พบว่าไดเอทธิลอีเธอร์จะมีประสิทธิภาพสูงในการสกัดน้ำมันจากตับปลาคอด

Stansby (1967) รายงานว่าการสกัดน้ำมันจากตับปลาที่มีปริมาณน้ำมันในตับน้อย ควรทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ปิโตรเลียมอีเธอร์ แต่การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายจะทำให้น้ำมันที่สกัดได้จะมีสีเข้ม เนื่องจากตัวทำละลายจะสกัดเม็ดสีออกมาด้วย และน้ำมันที่สกัดได้มีความหนืดสูง และไม่สามารถแยกกรดไขมันอิสระออกระหว่างการสกัด นอกจากนี้ตัวทำละลายที่ใช้สกัดจะทำให้เกิดการออกซิเดชั่นของวิตามินเอ Sunarya และคณะ (1991) ทดลองสกัดน้ำมันจากตับปลาฉลาม พบว่าการสกัดด้วยวิธีการใช้ซอคเลต (Soxhlet) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์เป็นตัวทำละลายและใช้อัตราส่วนตับปลาฉลามสดต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 โดยผสมตับปลาฉลามสดด้วยโซเดียม ซัลเฟตแอนไฮดรัส อัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาในการสกัด 5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับร้อยละ 65.5 ของน้ำหนักตับปลาสด และเมื่อสกัดด้วยวิธี Bligh and Dyer ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 66.7 ของน้ำหนักตับปลาสด

Gunnlaugsdottir และ Ackman (1993) ทดลองสกัดน้ำมันจากปลาป่น ซึ่งผลิตจากปลาเมนฮาเดน โดยใช้วิธีของ Smith-Ambrose-Knobl (1964) ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมของคลอไรฟอร์ม เมธานอล และน้ำ ในอัตราส่วน 1.5:1:0.4 โดยปริมาตรและใช้วิธีของ Bligh and Dyer (1959) ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างคลอไรฟอร์มเมธานอล และในอัตราส่วน 1:2:0.8 โดยปริมาตร และใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มเมธานอล และในอัตราส่วน 1:2:0.8 โดยปริมาตร และใช้วิธีของ Hara และ Radin (1978) ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและไอโซโพรพานอล เป็นตัวทำละลาย โดยสกัดน้ำมันทั้ง 3 วิธี ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยวิธี Smith-Ambrose-Knobl (1964) Bligh and Dyer (1959) และ

Lee และคณะ (1985) ทดลองศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันจากปลาซาร์ดีน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น อัตราการกวน ระยะเวลาสกัดและชนิดตัวทำละลาย ได้แก่ เบนซินอะซิโตน ไอโซโพรพิวอัลกอฮอล์ และเฮกเซน พบว่าประสิทธิภาพการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาการสกัด และเมื่อเปรียบเทียบชนิดตัวทำละลาย พบว่าไอโซโพรพิวอัลกอฮอล์ อะซิโตน เบนซิน และเฮกเซนมีประสิทธิภาพในการสกัดลดลง ตามลำดับ จากการศึกษาผลความชื้นและอัตราการกวนที่ความเร็วรอบ 100 200 300 และ 500 รอบต่อนาที พบว่าอัตราการกวนเพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพการสกัดดีขึ้นและเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการสกัดจะลดลง

Saito และคณะ (1996) ศึกษาการสกัดน้ำมันโดยใช้วิธีของ Foloh พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง ตับปลาทูน่าพันธุ์ Bonito ตับปลาทูน่าพันธุ์โอหลอด และตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีปริมาณร้อยละ 4.1-6.0 1.1 18.2 และ 16.1 ของน้ำหนักตับสด ตามลำดับ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. วัตถุดิบ ประกอบด้วย

ตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ คือ

- ตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (skipjack tuna)
- ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง (yellowfin tuna)
- ตับปลาทูน่พันธุ์ครีบยาว (albacora tuna)

จากบริษัทสงขลาแคนนิ่ง จำกัด มหาชน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา และบริษัททรอปิคอลแคนนิ่งจำกัด มหาชน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โดยตับปลาทูน่ามีขนาดความยาวเฉลี่ย 5-10 เซนติเมตร ผ่านการแช่เยือกแข็งและนำเข้าจากต่างประเทศแถบมหาสมุทรแปซิฟิก ในช่วงเดือนมีนาคม2538ถึงพฤษภาคม2538ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20องศาเซลเซียส

2. สารเคมี

- สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีและที่ใช้ในการสกัด

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมันแบบซอคเลต ยี่ห้อ Electromantle ME ประเทศอังกฤษ
2. เครื่องระเหยตัวทำละลาย ยี่ห้อ Brinkmann รุ่น CH-9230 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
3. เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Hitachi รุ่น SCR 20B ประเทศญี่ปุ่น
4. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่า TBA ค่า TVB ค่า K ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าสปอนนิฟิเคชั่น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน สารสปอนนิฟายไม่ได้ โปรตีน ไขมัน ความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด
5. เครื่องวัดค่าสี Juki รุ่น JP 7100F ประเทศญี่ปุ่น
6. เครื่อบอบแห้งสุญญากาศ
7. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ยี่ห้อ TOMY รุ่น SS-320 ประเทศญี่ปุ่น
8. เครื่องวัดจุดหลอมเหลว ยี่ห้อ Fisher-Jonns ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องวัดดัชนีหักเห (Abbe Refractometer) ยี่ห้อ Bausch & Lomb ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น 14 A ประเทศญี่ปุ่น
11. เครื่องไฮโมจิไนส์ ยี่ห้อ Nissei รุ่น AM-8 ประเทศญี่ปุ่น

วิธีการ

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

สุ่มตัวอย่างตับปลาทูน่าแช่แข็ง 3 สายพันธุ์ คือ ตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว ทำละลายตับปลาทูน่าให้มีอุณหภูมิห้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง บดละเอียดแล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ประกอบด้วย ความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยวิธี A.O.A.C. (1990) ค่า TVB และค่า K โดยวิธี Hasegawa (1987)

2. ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า

2.1 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยวิธีการใช้ซอคเลต

ทำละลายตับปลาทูน่าบดละเอียด อบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส กำหนดให้มีความชื้นร้อยละ 18-20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.1.1 ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์

สกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด คือ ปิโตรเลียมอีเธอร์ เฮกเซน ไอโซโพรพานอล อะซิโตน และเบนซิน โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบ (น้ำหนักสด) ต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 ระยะเวลาการสกัดนาน 5 ชั่วโมง ระเหยตัวทำละลาย แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าเพื่อวิเคราะห์

- ปริมาณน้ำมัน (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณกรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)

การวางแผนการทดลองแบบ 3x5 Factorial in RCBD แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ Analysis of Varience และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531)

2.1.2 อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย

สกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่คัดเลือกจากข้อ 2.1.1 มาศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ดังนี้คือ 1:3 1:4 1:5 และ 1:6 หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าเพื่อวิเคราะห์ เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

การวางแผนการทดลองแบบ 3x4 Factorial in RCBD แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2.1.1

2.1.3 อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด

ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าแต่ละสายพันธุ์ โดยใช้ตัวทำละลายที่ดีที่สุดที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.1.1 และใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.1.2 กำหนดอุณหภูมิสกัดที่ 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส และระยะเวลานาน 5 7 และ 9 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่ามาวิเคราะห์ เพื่อเลือกอุณหภูมิและระยะเวลาสกัดที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์

- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณน้ำมันดิบ (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณกรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)
- ปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ (IUPAC, 1979)

การวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการเดียวกับข้อ 2.11

2.2 การสกัดน้ำมันโดยวิธี Bligh and Dyer

วัตถุดิบตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ สกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างคอลโรฟอร์มและเมธานอลเก็บตัวอย่างน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่ามาวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

การวางแผนการทดลองใช้แบบ RCBD แต่สิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการเดียวกับข้อ 2.1.1

2.3 การสกัดน้ำมันโดยการใช้ไอน้ำ

นำวัตถุดิบตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ มาบดละเอียดแล้วให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ควบคุมอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ไอน้ำนาน 1 และ 1.5 ชั่วโมง แล้วหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่ามาวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

การวางแผนการทดลองใช้แบบ 3x2 Factorial in RCBD แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวข้อกับ 2.1 1

3. ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้

วิเคราะห์สมบัติน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้ ดังนี้

- จุดหลอมเหลว โดยใช้เครื่อง Fisher - Johns Apparatus
- ดัชนีหักเหแสง โดยใช้เครื่อง Abbe Refractometer
- ค่าไอโอดีน โดยวิธี IUPAC (1979)
- ค่าสปอนนิฟิเคชั่น โดยวิธี IUPAC (1979)
- สารสปอนนิฟายไม่ได้ โดยวิธี IUPAC (1979)
- ค่าเปอร์ออกไซด์ โดยวิธี IUPAC (1979)

- ปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยวิธี IUPAC (1979)
- ค่า TBA โดยวิธี Egan และคณะ (1981)
- ค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี Juki
- ชนิดและปริมาณกรดไขมัน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
- กลิ่นโดยใช้บุคคลทดสอบ

4. วิเคราะห์คุณภาพเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำมันจากตับปลาทูน่าระหว่างการเก็บรักษา

นำน้ำมันตับปลาที่สกัดได้เก็บรักาาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 25 วัน โดยเก็บตัวอย่างวันที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 มาทำการวิเคราะห์

- ค่า TBA โดยวิธี Egan และคณะ (1981)
- ปริมาณกรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)
- ค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี Juki
- การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่นคาวปลา กลิ่นหืน โดยใช้บุคคลและแบบทดสอบชิมเชิงพรรณา

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ผลดังตารางที่ 2 พบว่าตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (Skipjack tuna) ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง (yellowfin tuna) และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว (albacore tuna) มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 64.85 63.37 และ 72.85 โปรตีน เท่ากับร้อยละ 24-85 30.11 และ 19.16 และไขมัน เท่ากับร้อยละ 49.72 24.35 และ 20.14 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าความชื้น โปรตีน และไขมันของตับปลา ทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกันแสดงว่าสายพันธุ์ของปลาทูน่าจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของตับปลา และนอกจากนี้อาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น อายุ ขนาด เพศ แหล่งอาหาร ที่อยู่อาศัย ฤดูกาลที่จับ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เป็นต้น (Wheaton and Lawson, 1985) โดยในช่วงฤดูการวางไข่ ไขมันในตับปลาจะมีปริมาณต่ำ เนื่องจากไขมันจะไปสะสมบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ แต่หลังจากฤดูการวางไข่ ไขมันในตับปลาจะมีปริมาณสูงขึ้น (Sikorski *et al.*, 1990)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์

องค์ประกอบทางเคมี	ทูน่าพันธุ์โอแถบ	ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง	ทูน่าพันธุ์ครีบยาว
ความชื้น (ร้อยละ)	64.85 ±0.07	63.37±0.11	72.82±0.07
โปรตีน (ร้อยละ)	24.85±0.23	30.11±0.14	19.16±0.04
ไขมัน[1] (ร้อยละ)	49.72±0.15	24.35±0.08	20.14±0.16
ค่า K (ร้อยละ)	36.61±0.01	32.16±0.02	38.71±0.02
ค่า TVB (มก.ไนโตรเจนต่อ 100 กรัม)	29.01±0.01	28.49±0.03	30.08±0.02
ค่า TBA (มก.มาโลนอลดีไฮด์ต่อ กก. ตัวอย่าง	3.01±0.14	3.02±0.08	3.32±0.19
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	35.56±0.18	35.66±0.25	27.96±0.13

หมายเหตุ[1] คำนวณจากน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อบ่งบอกความสด พบว่าคุณภาพโดยทั่ว ๆ ไปของตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ อยู่ในระดับที่ยอมรับโดยพิจารณาจาก ค่า TVB ค่า K และค่า TBA โดยที่ค่า TVB สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การย่อยสลายโปรตีนของสัตว์น้ำหลังการตายโดยมีสาเหตุจากแบคทีเรียและเอนไซม์ในสัตว์น้ำ Hasegawa (1987) รายงานว่าค่า TVB สามารถใช้เป็นดัชนีบอกความสดของปลาได้โดยปลาที่มีค่า TVB ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม ถือว่ามีความสดมาก ค่า TVB ที่เกินกว่า 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100

กรัม จะเริ่มไม่สด และค่า TVB ถึง 40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัม จัดเป็นคุณภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภค จากการทดลองพบว่าค่า TVB ของตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว มีค่าร้อยละ 29.04 28.49 และ 30.08 มิลลิกรัม(ไนโตรเจน) ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพจาก ค่า K ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเน่าเสียเนื่องจากการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ โดยการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ (Huss, 1988) พบว่าค่า K ของตับปลาทูน่า พันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว มีค่าเท่ากับร้อยละ 36.61 32.16 และ 38.71 ตามลำดับ Ehira, (1976) รายงานว่าค่า K สามารถแสดงความสดของปลา ค่า K ของปลาสดมีค่าต่ำ เมื่อความสดลดลงค่า K จะสูงขึ้น ค่า K ของปลาเน่าแล้วจะมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 สำหรับการเกิดกลิ่นหืนสามารถประเมินได้ โดยการวัดค่า TBA การเก็บรักษาวัตถุดิบที่มีไขมันสูงไว้ระยะเวลานานทำให้เสื่อมเสียคุณภาพ และมีค่า TBA สูงโดยเฉพาะถ้ามีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง (นงลักษณ์ สุทธิวานิช,2531) โดยปลาที่มีคุณภาพไม่ดีจะมีค่า TBA เท่ากับ 4-27 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (Sinnhuber and Yu, 1958) จากการทดลองพบว่าตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว มีค่า TBA เท่ากับ 3.10 3.02 และ 3.32 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง และปริมาณของแข็งทั้งหมดของตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.56 35.66 และ 27.96 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นในทางผกผัน ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นความชื้นจะมีค่าลดลง

2. ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า

2.1 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยวิธีการใช้ซอคเลต

2.1.1 ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์

จากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 5 ชนิด คือ ปิโตรเลียมอีเธอร์ 2-โพรพานอล เบนซิน เฮกเซน และอะซิโตน โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบ (น้ำหนักสด) ต่อตัวทำละลาย 1:5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง พบว่าตัวทำละลายต่างชนิดกันมีผลต่อปริมาณน้ำที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ดังตารางที่ 3 โดยที่ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันของตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ อะซิโตน 2-โพรพานอล เบนซิล เฮกเซน และปิโตเลียมอีเธอร์ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธ์ ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกัน

ชนิดตัวทำละลายอินทรีย์	ทูน่าพันธุ์โอแถบ		ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง		ทูน่าพันธุ์ครีบยาว	
	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
อะซิโตน	40.17a±0.45	57.37^{d} ±0.03	29.58^{a}±0.52	48.82^{c}±0.13	23.34^{a}±0.57	55.60^{c}±0.34
2-โพรพานอล	36.79b±0.74	57.88^{c} ±0.12	.39^{b}±0.46	48.52^{d}±0.22	20.77^{b}±0.83	20.77^{b}±0.83
เบนซิน	34.89c±0.58	58.82^{a}±0.24	23.60^{c}±0.73	49.23^{b}±0.08	18.16^{c}±0.59	18.16^{c}±0.59
เฮกเซน	33.69d±0.61	28.74^{b}±0.17	19.72^{d}±0.30	49.47^{a}±0.19	16.91^{dc}±0.50	16.91^{dc}±0.50
ปิโตรเลียมอีเธอร์	31.17c±0.79	54.88^{d}±0.11	18.96^{d}±0.66	47.47^{e}±0.33	16.61$_{d}$±0.68	16.61^{d}±0.68

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดมีความเป็นขั้ว (polarity) ที่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าได้ปริมาณสูงสุด ขณะที่การใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์เป็นตัวทำละลายสกัดน้ำมันได้ปริมาณต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดน้ำมันโดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจะสกัดลิปิดไม่มีขั้นกลุ่ม simple lipids ได้แก่ ไตรกลีเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์ โมโนกลีเซอร์ไรด์และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ขณะที่การสกัดน้ำมันโดยใช้อะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงสามารถสกัดลิปิดกลุ่ม simple lipids และลิปิดกลุ่ม compound lipids ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด ไกลโคไลปิด ลิโปโปรตีน และ derived lipids (Christie, 1982) นอกจากนี้การสกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA ซึ่งเป็นลิปิดที่มีขั้วได้ดี (Christie, 1982) จากรายงานของ Yang และคณะ (1992) พบว่าอะซิโตนมีประสิทธิภาพในการสกัดกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA จากสเตียรีนของน้ำมันจากเครื่องในปลาหมึกสูงกว่าเฮกเซน เนื่องจากอะซิโตนที่ใช้สกัดมีความเป็นขั้วสูงกว่าเฮกเซน และจากรายงานของ Sargent และ Henderson (1995) พบว่าการสกัดไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA ปริมาณสูงจากน้ำมันปลาควรใช้อะซิโตนเข้มข้นร้อยละ 85-90 นอกจากนี้พบว่าตับปลาทูน่าสายพันธุ์ต่างกันจะสกัดน้ำมันดิบได้ปริมาณแตกต่างกัน โดยน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 40.17 29.58 และ 23.34 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกัน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในรูป กรดโอเลอิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดมีความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าสายพันธุ์ต่างกันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่างกันโดยน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว เนื่องจากปลาสายพันธุ์ต่างกันจะมีปริมาณเอนไซม์ไลเปสในตับต่างกัน (Brody, 1965) ซึ่งจะส่งผลต่อการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้สภาวะการขนส่งภายหลังการจับอาจแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบเริ่มต้นอาจแตกต่างกัน

การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ซอคเลต พบว่าน้ำมันดิบที่สกัดได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการสกัดน้ำมัน ความร้อน แสงสว่าง และออกซิเจน จะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการสลายของน้ำมันเกิดเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (Min, 1994)

การเลือกชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ จะพิจารณาจากปริมาณน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้และปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าการใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ได้สูงสุด และสามารถสกัดกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA ได้ดี ต่างจากเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์เป็นตัวทำละลาย ซึ่งสกัดน้ำมันดิบได้ปริมาณต่ำสุด และน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายมีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันเล็กน้อย (อยู่ในช่วงร้อยละ 1-2) กับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดอื่น ฉะนั้นจากการทดลองพบว่าชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ อะซิโตน ดังนั้นจึงเลือกใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ในการศึกษาขั้นต่อไป

2.1.2 อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย

การศึกษาอัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.1.1.1 คือ อะซิโตน โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ดังนี้ 1:3 1:4 1:5 และ 1:6 สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:3 1:4 และ 1:5 พบว่าเมื่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการใช้อัตราส่วน 1:5 และ 1:6 สำหรับปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จาก ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและครีบยาว เมื่อเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:3 กับ 1:4 และอัตราส่วน 1:5 กับ 1:6 พบว่าปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าทั้ง 2 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการใช้อัตราส่วน 1:5 กับ 1:6 จะสกัดน้ำมันดิบได้มากกว่าการใช้อัตราส่วน 1:3 กับ 1:4 ดังตารางที่ 4

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบที่สกัดจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:3 1:4 1:5 และ 1:6 (ตารางที่ 4) พบว่าเมื่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำในวัตถุดิบสามารถละลายในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น น้ำมันที่สกัดได้จึงมีปริมาณความชื้นปะปนสูงมีผลทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของน้ำมันเกิดเป็น กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (Rossell and Pritchard, 1991) จากการศึกษาอัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์จะพิจารณาจากปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้ร่วมกับปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิกพบว่าการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:6 และ 1:5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และที่อัตราส่วน 1:5 มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าอัตราส่วน 1:6 ดังนั้นอัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:5 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sunaya และคณะ (1991) ซึ่งสกัดน้ำมันจากตับปลาฉลาม โดยวิธีการใช้ซอคเลต และใช้อัตราส่วนวัตถุดิบสดต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายและใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลายต่างกันต่างชนิดกัน

อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย	ทูน่าพันธุ์โอแถบ		ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง		ทูน่าพันธุ์ครีบยาว	
	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
1:3	$37.10^{c}\pm0.44$	$57.04^{d}\pm0.23$	$28.17^{b}\pm0.81$	$48.58^{c}\pm0.32$	$21.51^{b}\pm0.73$	$55.50^{d}\pm0.09$
1:4	$38.44^{b}\pm0.32$	$58.11^{c}\pm0.17$	$28.53^{b}\pm0.62$	$48.22^{d}\pm0.08$	$21.76^{b}\pm0.55$	$55.87^{b}\pm0.13$
1:5	$40.17^{a}\pm0.58$	$58.37^{b}\pm0.06$	$29.58a\pm0.53$	$48.82^{b}\pm0.25$	$23.33^{a}\pm0.67$	$55.60^{c}\pm0.24$
1:6	$40.43^{a}\pm0.74$	$58.62^{a}\pm0.11$	$29.59^{d}\pm0.45$	$49.57^{a}\pm0.12$	$23.34^{a}\pm0.15$	$56.15^{a}\pm0.31$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2.1.3 อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัด

ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย และใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:5 อุณหภูมิ 55 60 และ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 7 และ 9 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lee และคณะ (1985) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดน้ำมันจากปลาซาร์ดีน พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 47.63 และ 48.62 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้สูงสุด เท่ากับร้อยละ 32.85 และ 26.33 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับปริมาณ น้ำมันที่สกัดในชุดการทดลองอื่น ซึ่งใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกัน

ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดในข้อ 2.1.1.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิการสกัดที่เพิ่มขึ้จะเป็นตัวเร่งให้ไขมันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น (Low, 1987) และการเพิ่มระยะเวลาการสกัดจะทำให้น้ำมันสัมผัสกับความร้อนนานขึ้นทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และความชื้นที่ปะปนในน้ำมันจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (Rossel and Pritchard, 1991) โดยน้ำมันดิบ ที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงสุด เท่ากับร้อยละ 57.31 50.79 และ 56.74 ตามลำดับ และพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับปริมาณกรดไขมันอิสระในชุดการทดลองอื่นที่ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมัน และปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิกของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตเป็นตัวทำละลาย

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°ซ)	ทูน่าพันธุ์โอแถบ		ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง		ทูน่าพันธุ์ครีบขาว	
		ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
	55	$38.62^{e}\pm0.62$	$55.08^{a}\pm0.15$	$27.90^{f}\pm0.32$	$48.05^{a}\pm0.26$	$20.72^{h}\pm0.58$	$55.58^{a}\pm0.09$
5	60	$40.17^{d}\pm0.58$	$55.37^{a}\pm0.27$	$28.80^{e}\pm0.74$	$48.82^{a}\pm0.34$	$21.55^{g}\pm0.62$	$55.60^{a}\pm0.15$
	65	$43.33^{c}\pm0.34$	$56.25^{a}\pm0.22$	$29.49^{d}\pm0.58$	$50.29^{a}\pm0.31$	$22.83^{def}\pm0.79$	$55.88^{a}\pm0.24$
	55	$40.75^{d}\pm0.55$	$55.97^{a}\pm0.03$	$29.58^{d}\pm0.39$	$48.95^{a}\pm0.17$	$23.33^{gef}\pm0.35$	$55.98^{a}\pm0.18$
7	60	$43.57^{c}\pm0.73$	$56.54^{a}\pm0.16$	$30.14^{c}\pm0.64$	$48.98^{a}\pm0.23$	$23.77^{bcde}\pm0.62$	$55.86^{a}\pm0.22$
	65	$46.61^{b}\pm0.79$	$56.64^{a}\pm0.35$	$31.46^{b}\pm0.52$	$50.10^{a}\pm0.09$	$24.70^{b}\pm0.59$	$56.01^{a}\pm0.39$
	55	$46.04^{b}\pm0.68$	$56.84^{a}\pm0.18$	$30.39^{c}\pm0.75$	$49.87^{a}\pm0.44$	$23.91^{bcd}\pm0.75$	$56.17^{a}\pm0.15$
9	60	$47.63^{a}\pm0.52$	$57.29^{a}\pm0.07$	$31.30^{b}\pm0.44$	$48.75^{a}\pm0.03$	$24.49^{bc}\pm0.55$	$56.49^{a}\pm0.33$
	65	$48.62^{a}\pm0.83$	$57.31^{a}\pm0.25$	32.85a$\pm$0.68	$50.79^{a}\pm0.27$	$26.33^{a}\pm0.41$	$56.74^{a}\pm0.21$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 6 ความชื้นและค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°ซ)	ทูน่าพันธุ์โอแถบ		ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง		ทูน่าพันธุ์ครีบยาว	
		ค่าชื้น (ร้อยละ)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อ กก.น้ำมัน)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
	55	7.63abc±0.17	63.54^{l}±0.31	7.45^{c}±0.35	59.41^{c}±0.25	7.78^{bc}±0.17	65.67^{l}±0.14
5	60	6.54c±0.25	66.40^{de}±0.27	7.27^{c}±0.08	61.65^{c} ±0.17	7.44^{c}±0.22	69.52^{de}±0.30
	65	7.79abc±0.08	69.22^{c}±0.11	8.31^{bc}±0.36	63.08^{bc}±0.08	8.73^{ab}±0.03	72.48^{ab}±0.09
	55	7.72abc±0.24	64.17^{ef}±0.06	8.43^{bc}±0.28	61.55^{c}±0.44	8.58^{abc}±0.41	68.31^{e}±0.21
7	60	8.08ab±0.14	68.82^{cd}±0.09	8.02^{cc}±0.17	62.82^{bc}±0.38	8.93^{ab}±0.19	70.05^{cde}±0.10
	65	8.65a±0.22	70.07^{bc}±0.13	9.15^{ab}±0.03	65.91^{ab}±0.19	8.52^{abc}±0.24	71.43^{a-d}±0.24
	55	7.13^{bc}±0.33	70.56^{abc}±0.31	8.78^{abc}±0.35	62.48^{bc}±0.33	8.67^{ab}±0.16	70.65^{bcd}±0.37
9	60	8.02^{ab}±0.19	72.30^{ab}±0.42	9.46^{a}±0.12	67.95^{a}±0.28	9.60^{a}±0.27	72.09^{abc}±0.49
	65	9.01^{a}±0.41	73.12^{a}±0.29	9.53^{a}±0.11	68.28^{a}±0.39	8.53^{abc}±0.33	73.33^{a}±0.46

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสมคมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดในข้อ 2.1.1.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 6 เนื่องจากการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้การหมุนเวียนของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้น้ำในวัตถุดิบสามารถละลายในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณความชื้นที่ปะปนในน้ำมันจึงเพิ่มสูงขึ้น (Rossell and Pritchard, 1991) และเมื่อครบระยะเวลาการสกัดการระเหยตัวทำ ละลายที่ใช้ในการสกัดไม่สามารถระเหยน้ำออกมาพร้อมกันได้ เพราะการระเหยตัวทำละลายกระทำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิการสกัดจาก 60 องศาเซลเซียสเป็น 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ เมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดในข้อ 2.1.1.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 6 เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมีโอกาสถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนได้นานขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิการสกัดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งการออกซิเดชั่นจะเกิดขึ้นเองตลอดเวลา (Kinsella, 1986) การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่พันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง ให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 73:12 68.28 และ 73.33 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ดังนั้นจากการศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยวิธีการใช้ซอคเลค พบว่าชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดคือ อะซิโตน อัตราส่วนวัตถุดิบ (น้ำหนักสด) ต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 และจากผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และความชื้น พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว คือ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง

ผลการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยวิธีการใช้ซอคเลตและใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 47.63 32.85 และ 26.33 โดยน้ำหนักแห้ง และจากการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลา

ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับร้อยละ 57.29 50.79 และ 56.74 ตามลำดับ น้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว มีความชื้น เท่ากับร้อยละ 8.02 9.53 และ 8.53 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว มีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ และพันธุ์ครีบเหลือง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 73.33 72.30 และ 68.28 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำมันดิบ ปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิก ค่าเปอร์ออกไซด์ และความชื้น ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย

สายพันธุ์	ปริมาณน้ำมันดิบ (ร้อยละ น.น .แห้ง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเปอร์ออกไซมด์ (มก.สมมูลย์ต่อ กก. น้ำมัน)
ทูน่าพันธุ์โอแถบ*	$47.63^{a}\pm0.52$	$57.29^{a}\pm0.07$	$8.02^{a}\pm0.19$	$72.30^{b}\pm0.42$
ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง **	$32.85^{b}\pm0.68$	$50.79^{c}\pm0.27$	$9.53^{a}\pm0.11$	$68.28^{c}\pm0.39$
ทูน่าพันธุ์ครีบยาว**	$26.33^{c}\pm0.41$	$56.74^{a}\pm0.21$	$8.53^{a}\pm0.33$	$73.33^{a}\pm0.46$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

* สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง

** สกัดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง

2.2 การสกัดน้ำมันโดยวิธี Bligh and Dyer

ผลการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยวิธี Bligh and Dyer ดังตารางที่ 8 พบว่าปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว โดยมีปริมาณน้ำมันดิบเท่ากับร้อยละ 37.86 23.82 และ 20.67 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้โดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณน้อยกว่าการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต เนื่องจากการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีการใช้อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดและใช้ระยะเวลาในการสกัดนานกว่าการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer

จากการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ดังตารางที่ 8 พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิก ความชื้น และค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรด

โอเลอิกสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับร้อยละ 35.46 32.57 และ 34.99 ตามลำดับ ความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาวมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาวมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยมีความชื้น เท่ากับร้อยละ 6.33 6.42 และ 5.56 ตามลำดับ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 50.49 54.24 และ 56.38 มิลลิกรัม สมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าการสกัดด้วยวิธีการใช้ซอคเลต เนื่องจากวิธี Bligh and Dyer ไม่ใช้ความร้อนในการสกัดและน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณความชื้นปะปนน้อย

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำมันดิบ ปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิก ค่าเปอร์ออกไซด์ และความชื้นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer

สายพันธุ์	ปริมาณน้ำมันดิบ (ร้อยละ น.น.แห้ง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อ กก.น้ำมัน)
ทูน่าพันธุ์โอแถบ	$37.86^{a}\pm0.34$	$35.46^{a}\pm0.04$	$5.56^{b}\pm0.11$	$50.49^{c}\pm0.09$
ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง	$23.82^{b}\pm0.17$	$32.57^{b}\pm0.14$	$6.33^{a}\pm0.07$	$54.24^{b}\pm0.15$
ทูน่าพันธุ์ครีบยาว	$20.67^{c}\pm0.21$	$34.99^{a}\pm0.08$	$6.42^{a}\pm0.13$	$56.38^{a}\pm0.22$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3 การสกัดน้ำมันโดยการใช้ไอน้ำ

ผลการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยการใช้ไอน้ำพบว่าการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ไม่สามารถสกัดน้ำมันออกจากตับปลาทูน่าได้ การใช้ไอน้ำทำให้โปรตีนในตับปลาทูน่าสูญเสียสภาพและแยกได้ส่วนที่เป็นของเหลวที่มีลักษณะคล้ายน้ำนึ่งปลาทูน่า ซึ่งประกอบด้วย น้ำและน้ำมันที่รวมอยู่กับโปรตีนออกมา ส่วนที่เป็นของเหลวนี้ไม่สามารถนำมาแยกน้ำมันออกได้โดยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วสูง เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่ปะปนในส่วนที่เป็นของเหลวมีปริมาณต่ำ ดังนั้นการสกัดด้วยการใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียวนั้นจึงไม่เพียงพอที่จะแยกน้ำมันที่รวมอยู่กับโปรตีนหรือเนื้อเยื่ออื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย เช่น วิธีการย่อยด้วยกรดหรือด่าง หรือการใช้เอนไซม์ในการสกัด และวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นต้น (Brody, 1965)

การสกัดน้ำมันจากตับปลาโดยการใช้ไอน้ำร่วมกับการย่อยด้วยด่างเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าที่มีปริมาณน้ำมันในตับน้อยแต่มีปริมาณวิตามินเอสูงได้ โดยกรรมวิธีการสกัดสามารถทำได้โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 2-5 และให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 82-87 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลา แยกน้ำมันออกโดยใช้เครื่องแยกหมุนเหวี่ยง ระยะเวลาการสกัดจะขึ้นอยู่กับพีเอช อุณหภูมิ ขนาดวัตถุดิบและอัตราการกวน เป็นต้น แต่ในการสกัดถ้ามีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปจะทำให้น้ำมันเกิดเป็นสบู่และอิมัลชั่นได้ และทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินเอ เนื่องจากวิตามินเอจะรวมในส่วนของสบู่ (Brody, 1965) นอกจากนี้สามารถสกัดน้ำมันจากตับปลาโดยการใช้ไอน้ำร่วมกับการย่อยด้วยด่างและเอนไซม์กรรมวิธีการสกัดน้ำมันสามารถทำได้โดย บดตับปลาให้ละเอียด เติมน้ำในอัตราส่วน 1:1 ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 1.2-1.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นร้อยละ 25 เติมสารละลายเอนไซม์เปปซิน เข้มข้นร้อยละ 0.05 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 43-48 องศาเซลเซียส นาน 35-38 ชั่วโมง จากนั้นปรับพีเอชเป็น 9 โดยการเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แยกน้ำมันออกโดยใช้เครื่องแยกหมุนเหวี่ยง ซึ่งส่วนที่เหลือจากการแยกน้ำมันสามารถมาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต (Brody, 1965)

ดังนั้นวิธีการย่อยด้วยกรด ด่างหรือเอนไซม์ร่วมกับการใช้ไอน้ำจึงเป็นอีกแนวทางในการศึกษาพัฒนาการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าเพื่อเพิ่มผลผลิต

3. สมบัติของน้ำมันที่สกัดได้

3.1 จุดหลอมเหลว

จากการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว มีจุดหลอมเหลวเท่ากันและสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ โดยมีจุดหลอมเหลว เท่ากับ 27 27 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ โดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ และทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง มีจุดหลอมเหลวเท่ากันและสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว โดยมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 24 24 23 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันาดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าน้ำมันดิบที่สกัดด้วยวิธีการใช้ซอคเลต แสดงว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลสูง

3.2 ดัชนีการหักเหแสง

จากการวิเคราะห์ดัชนีการหักเหแสงของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตและใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 8) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว มีดัชนีการหักเหแสงเท่ากับ 1.4755 1.4753 และ 1.4759 ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่า โดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว มีดัชนีการหักเหแสงใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1.4771 1.4779 และ 1.4779 ตามลำดับ โดยน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีดัชนีหักเหแสงสูงกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต แสดงว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลสูง

ตารางที่ 9 สมบัติของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต และวิธี Bligh and Dyer เปรียบเทียบกับน้ำมันปลาดิบ

สมบัติ	ทูน่าพันธุ์โอแถบ		ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง		ทูน่าพันธุ์ครีบยาว		น้ำมันปลาดิบ [1]
	ซอคเลต	Bligh and dyer	ซอคเลต	Bligh and dyer	ซอคเลต	Bligh and dyer	
จุดหลอมเหลว (° ซ)	26	24	27	24	27	23	ไม่กำหนด
ดัชนีหักเหแสง	1.4755	1.4771	1.4753	1.4779	1.4759	1.4779	ไม่กำหนด
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน)	109.81	124.85	109.56	128.32	103.21	110.94	ไม่กำหนด
ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (มก.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน)	186.37	193.47	185.54	190.63	180.62	191.63	ไม่กำหนด
สารสปอนนิฟายไม่ได้ (กรัมต่อ กก.น้ำมัน)	27.18	24.49	27.55	27.17	29.60	25.24	ไม่กำหนด
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์ต่อ กก. น้ำมัน)	72.30	50.49	68.28	54.24	73.33	56.38	3-20
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละในรูปกรดโอเลอิก)	57.29	35.46	50.79	32.57	56.74	34.99	2-5
ค่า TBA (มก.มาโลนอลดีไฮด์ต่อ กก. น้ำมัน)	28.97	27.16	22.42	21.53	27.27	25.07	ไม่กำหนด

หมายเหตุ [1] Young (1985A)

3.3 ค่าไอโอดีน (Lodine Value)

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบและพันธุ์ครีบเหลือง มีค่าไอโอดีนใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยา โดยมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 109.81 109.56 และ 103.21 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง มีค่าไอโอดีนสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ โอแถบและพันธุ์ครีบยาว โดยมีค่าไอไอดีนสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบและพันธุ์ครีบยาว โดยมีค่าไอโอดีน เท่ากับ 128.32 124.85 และ 110.94 กรัมไอไอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมันตามลำดับ ซึ่งน้ำมับดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตจะมีค่าไอโอดีนต่ำกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer แสดงว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ปริมาณมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า ดังตารางที่ 10 และ 11 นอกจากนี้การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธีการใช้ซอคเลตอาจมีผลให้น้ำมันดิบจากตับปลาที่สกัดได้เกิดออกซิเดชั่นที่พันธะคู่ในอัตราที่สูงส่งผลให้ค่าไอโอดีนที่วิเคราะห์ได้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันปลาดิบจากปลาซาร์ดีนของ Young (1985A) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดค่าไอโอดีนของน้ำมันปลาดิบจากปลาซาร์ดีนไว้เท่ากับ 160-200 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน

3.4 ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification Value)

จากการวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชั่นของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้ อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว ซึ่งมีค่าสปอนนิฟิเคชั่น เท่ากับ 186.37 185.54 และ 180.62 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว ซึ่งมีค่าสปอนนิฟิเคชั่นเท่ากับ 193.47 190.63 และ 191.63 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer จะมีค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer ใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย สามารถสกัดสารพวกฟอสโฟไลปิดได้สูงกว่าการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (Christie, 1982) ซึ่งสารพวกฟอสโฟไลปิด

สามารถทำปฏิกริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นสูง นอกจากนี้น้ำมันที่มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นที่สูงแสดงว่ากรดไขมันในไตรกลีเซอร์ไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Hadziyev, 1987) แต่จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ดังตารางที่ 10 และ 11 พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง น้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีค่าสปอนนิฟิเคชั่นใกล้เคียงกับน้ำมันปลาดิบจากน้ำนึ่งปลาทูน่าที่ได้จากการเหวี่ยงแยกจากการศึกษาของสุมาลัย และคณะ (2538) ซึ่งมีค่าสปอนนิฟิเคชั่นเท่ากับ 189.44 - 193.96 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน

3.5 สารสปอนนิฟายไม่ได้

จากการวิเคราะห์สารสปอนนิฟายไม่ได้ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลคโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว มีสารสปอนนิฟายไม่ได้สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบและพันธุ์ครีบเหลือง โดยมีสารสปอนนิฟายไม่ได้ เท่ากับ 29.60 27.18 และ 27.55 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง มีสารสปอนนิฟายไม่ได้สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ โอแถบและพันธุ์ครีบยาว โดยมีสารสปอนนิฟายไม่ได้ เท่ากับ 27.17 24.49 และ 25.24 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธีมีสารสปอนนิฟายไม่ได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากตับของปลาทูน่าส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารพวกคลอเลสเตอรอลในปริมาณสูง (Brody, 1965) และน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ มีสารสปอนนิฟายไม่ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและองค์ประกอบในตัวปลา และ ปริมาณสารสปอนนิฟายไม่ได้ในน้ำมันจากตับปลาจะมีค่ามากกว่าในส่วนเนื้อปลา (Rossell และPritchard,1991) และน้ำมันดิบที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธีมีสารสปอนนิฟายไม่ได้สูงกว่าน้ำมันปลาดิบจากน้ำนึ่งปลาทูน่าที่ได้จากการแยกเหวี่ยงจากการศึกษาของสุมาลัย และคณะ (2528) ซึ่งมีสาร สปอนนิฟายไม่ได้เท่ากับ 10.5 กรัม ต่อกิโลกรัมน้ำมัน

3.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Balue)

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบและพันธุ์ครีบเหลือง โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 73.33 72.30 และ 68.28 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาวมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบและพันธุ์

ครีบเหลืองโดยค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 56.38 50.49 และ 54.24 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer แม้ว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต อุณหภูมิสูงที่ใช้ในการสกัดมีผลช่วยเร่งปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่พันธะคู่ของกรดไขมันในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง การเกิดออกซิเดชั่นสามารถเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการสกัด และการสกัดเป็นระยะเวลานาน ทำให้น้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมีโอกาสถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนได้นานขึ้น และการที่น้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำ เนื่องจากการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer ไม่ใช้ความร้อนในการสกัดมีผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ นอกจากนี้ตัวทำละลายอะซิโตนที่ใช้ในการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต และคลอโรฟอร์มและเมธานอลที่ใช้ในการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer สามารถออกซิไดส์น้ำมันได้ (Ockerman, 1992) จากการศึกษาของ Rossell and Pritchard (1991) พบว่าการสกัดน้ำมันโดยวิธี Bligh and Dyer โดยใช้คลอโรฟอร์มและหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนจะมีผลช่วยให้ได้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำ ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำมันปลาดิบตามที่ Young (1985A) กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปลาดิบ อยู่ในช่วง 3-20 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน

3.7 กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันาอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในรูปกรดโอเลอิกสูงก่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับร้อยละ 57.29 50.79 และ 56.74 ตามลำดับ สำหรับการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงก่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับร้อยละ 35.46 32.57 และ 34.99 ตามลำดับ การสกัดน้ำมันตับปลาทูน่าโดยวิธีการใช้ซอคเลตให้ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าการสกัดด้วยวิธี Bligh and Dyer ทั้งนี้เนื่องอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการสกัดน้ำมันตับปลาโดยวิธี การใช้ซอคเลตจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการแตกตัวของไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นกรดไขมันอิสระได้สูงขึ้น และการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้มีปริมาณสูงอาจเกิดจากเอนไซม์ไลเปส น้ำ และสารประกอบฮีมาตินในตับปลา (Brody, 1965) ซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันดิบจากตับปลาได้และนอกจากนี้กรดไขมัน

อิสระปริมาณสูงในน้ำมันตับปลา สามารถเร่งให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันได้ (Wsiss, 1970) จึงเป็นผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าที่สกัดได้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำมันปลาดิบของ Young (1985A) ซึ่งกำหนดให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระของน้ำมันปลาดิบ อยู่ในช่วงร้อยละ 2-5

3.8 ค่า TBA

จากการวิเคราะห์ค่า TBA ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 9) พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีค่า TBA สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีค่า TBA เท่ากับ 28.97 22.42 และ 27.27 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีค่า TBA สูงกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีค่า TBA เท่ากับ 27.16 21.53 และ 25.07 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ และการสกัดน้ำมันจากตับปลาโดยวิธีการใช้ซอคเลตจะมีค่า TBA สูงกว่าการสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer เพราะความร้อนที่ใช้ในการสกัดน้ำมันโดยวิธีการใช้ซอคเลตเป็นตัวเร่งให้น้ำมันถูกออกซิไดซ์มากขึ้นซึ่งถ้าค่า TBA อยู่ในช่วง 4-27 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง แสดงว่าเกิดการหืนของน้ำมัน (Sinnhuber and Yu, 1985)

3.9. ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter ของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตโดยใช้อะซิโตเป็นตัวทำละลาย และวิธี Bligh and Dyer ดังตารางที่ 10 พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีค่า L ต่ำกว่าน้ำมันดิบที่สัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต แสดงว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีสีคล้ำกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต และน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตมีค่า a และ b สูงกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer

ตารางที่ 10 ค่าสีของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต และวิธี Bligh and Dyer

สายพันธุ์	วิธีการใช้ซอคเลต			วิธี Bligh and Dyer		
	L	a	b	L	a	b
ทูน่าพันธุ์โอแถบ	17.14	7.69	7.99	8.14	-1.03	-0.82
ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง	10.59	0.28	1.88	8.41	-0.22	1.27
ทูน่าพันธุ์ครีบยาว	10.75	2.61	3.38	8.97	-0.82	1.48

หมายเหตุ L = ความสว่างของสี (lightness)

a = ค่าของสีแดงถึงสีเขียว (red/green chromaticity)

b = ค่าของสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (yellow/blue chromaticity)

แสดงว่าน้ำมันดิบที่สกัดด้วยวิธีการใช้ซอคเลตมีความเข้มของสีแดงและสีเหลืองสูงกว่าน้ำมันดิบที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer น้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีสีค่อนข้างคล้ำ และมีค่า L ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าสามารถสกัดเม็ดสีจากตับปลา โดยเม็ดสีในน้ำมันตับปลา ได้แก่ สารในกลุ่มแคโรนีนอยด์ที่มีสีแดง ส้ม และเหลือง นอกจากนี้กรดไขมันอิสระในน้ำมันสามารถเร่งให้เกิดสีคล้ำในน้ำมันได้ (Brody, 1965)

3.10 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตและใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายและสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่ามีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsatruated fatty acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (highly unsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบดังตารางที่ 11 และ 12 โดยชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ที่สกัดจากทั้ง 2 วิธี มีความคล้ายคลึงกัน โดยกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันดิบจากตับปลา ทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดปาลมิติก ($C_{16:0}$) และกรดเสเตียริก ($C_{18:0}$) ร้อยละ 11.24 - 48.36 และ 8.65 - 15.94 ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monoethylenic) เช่น กรดพาลมิโตเลอิก ($C_{16:1}$) และกรดโอลิอิก ($C_{18:1}$) ร้อยละ 3.71-598 และ 28.89-38.93 ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป (polyunsaturated fatty acid) เช่น eicosapentaenoic acid หรือ EPA ($C_{20:5}$)

และ docosahexaeaioc acid หรือ DHA ($C_{22:6}$) ร้อยละ 0.69-20.82 และ 0.92-14.76 ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีการสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยวิธีการใช้ซอคเลตและวิธี Bligh and Dyer พบว่าน้ำมันที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 โดยเฉพาะ EPA และ DHA สูงกว่าน้ำมันที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต อาจเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันระหว่างการสกัดและอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการสกัดทำให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ของน้ำมัน

ตารางที่ 11 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดด้วยทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ซอคเลต

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)		
	ทูน่าพันธุ์โอแถบ	ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง	ทูน่าพันธุ์ครีบยาว
C 14:0	1.75	ND	ND
C 16.:0	48.36	37.66	33.53
C 16:1	5.98	4.01	4.42
C 18:0	11.24	15.16	15.52
C 18:1(n-7)	30.10	34.45	23.37
C 18:2(n-9)	ND	4.48	5.52
C 18:2(n-6)	ND	ND	1.66
C 18:3(n-3)	ND	ND	1.10
C 20:4(n-6)	0.18	ND	ND
C 20:5(n-3)	0.69	1.76	2.82
C 22:4(n-3)	ND	ND	0.63
C 22:5(n-6)	0.74	1.15	5.25
C 22:5(n-3)	ND	ND	0.49
C 22:6(n-3)	0.96	0.92	5.55

ND คือ ตรวจไม่พบ (not detected)

หมายเหตุ วิเคราะห์โดยโครงการวิจัยพัฒนาและฝึกอบรมการผลิตน้ำมันและผลิตภัณฑ์ (ไทย-เบลเยี่ยม) หน่วยงานวิจัยพืชน้ำมันและสารธรรมชาติกองเกษตรเคมี

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Blight and Dyer

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)		
	ทูน่าพันธุ์โอแถบ	ทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง	ทูน่าพันธุ์ครีบยาว
C 14:0	1.62	ND	7.73
C 16.:0	48.06	36.29	11.24
C 16:1	5.71	3.71	ND
C 18:0	11.37	15.94	8.65
C 18:1(n-7)	ND	32.42	ND
C 18:1(n-9)	ND	4.51	ND
C 18:3(n-3)	1.86	0.55	ND
C 18:4(n-3)	ND	0.45	7.02
C 20:4(n-6)	ND	0.59	6.82
C 20:5(n-3)	0.86	2.20	20.82
C 22:5(n-6)	ND	1.60	9.02
C 22:6(n-3)	ND	1.70	14.76

ND คือ ตรวจไม่พบ (not detected)

หมายเหตุ วิเคราะห์โดยโครงการวิจัยพัฒนาและฝึกอบรมการผลิตน้ำมันและผลิตภัณฑ์ (ไทย - เบลเยี่ยม) หน่วยงานวิจัยพืชน้ำมันและสารธรรมชาติกองเกษตรเคมี

น้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ที่สกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลตและสกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA ต่ำกว่าน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองที่สกัดโดยวิธีของ Foloh จากการทดลองของ Saito และคณะ (1996)ซึ่งมีปริมาณ EPA และ DHA เท่ากับร้อยละ 4.0 และ 20.7 ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

ตารางที่ 13 ค่า TBA ของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน

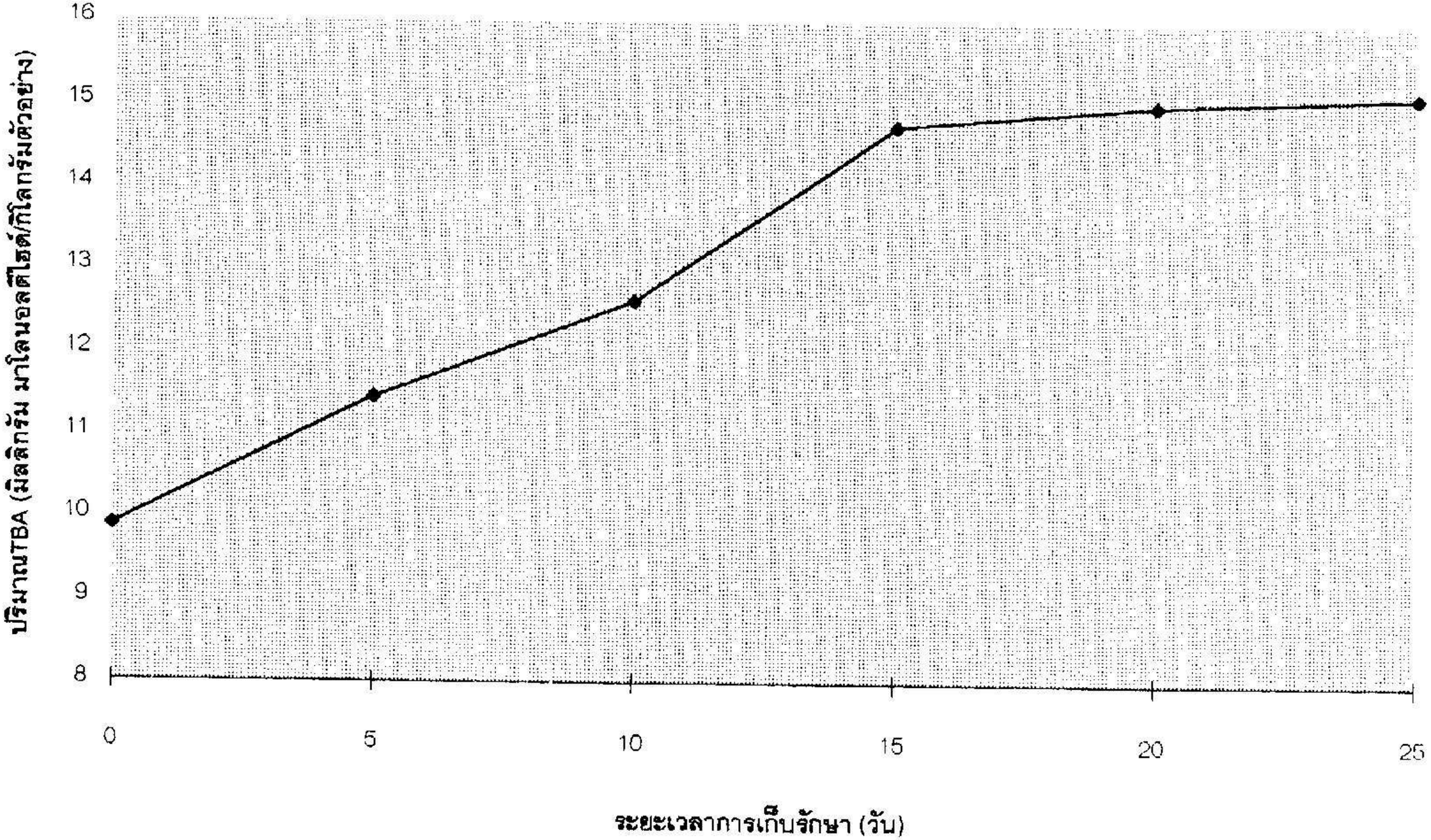
ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่า TBA (มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์/กิโลกรัม ตัวอย่าง)
0	9.88
5	11.43
10	12.60
15	14.73
20	14.99
25	15.11

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธ์โอแถบที่ระยะเวลาการเก็บรักษา ที่เวลา 0 15 และ 25 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละในรูปกรดโอเลอิก)
0	11.51
15	13.00
25	13.17

ตารางที่ 15 ค่าสีของตัวอย่างน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ

ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)	ค่าสี		
	ค่า L	ค่า A	ค่า b
0	8.99	-0.13	-1.07
5	6.84	-0.55	-0.20
10	6.25	-0.32	-0.34
15	7.02	-0.56	-0.76
20	7.06	-0.65	-0.76
25	7.24	-0.62	-0.59



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของน้ำมันตับปลาทูน่าระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 25 วัน

ตารางที่ 16 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ

ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)	สี	กลิ่นคาวปลา	กลิ่นหืน
0	8.52 a	6.28 a	5.30 a
5	7.96 a	6.42 a	5.93 a
10	7.39 a	6.65 a	6.26 a
15	8.71 a	7.30 a	6.76 a
20	8.47 a	6.17 a	6.22 a
25	8.67 a	7.08 a	5.84 a
ค่าเฉลี่ย	8.29	6.65	6.05

หมายเหตุ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

4. คุณสมบัติของน้ำมันตับปลาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

4.1 ค่า TBA

ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ของน้ำมันตับปลาทูน่าระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน ค่า TBA จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา (ดังรูปที่ 4) เนื่องจาก ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสทำให้พันธะเอสเธอร์ของกลีเซอไรด์แตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ หรือกลีเซอรอล และยังเกิดจากการที่กรดไขมันอิ่มตัว เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับออกซิเจนในอากาศ โดยค่า TBA สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไขมัน ถ้าค่า TBA สูง คุณภาพของไขมันและน้ำมันจะต่ำจะมีการหืนเกิดขึ้นกับไขมัน สำหรับตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เป็นน้ำมันตับปลาที่สกัดจากตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ค่า TBA จะสูงขึ้น จากวันที่ 0 แสดงว่า เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น คุณภาพของน้ำมันตับปลาจะลดลง มีการหืนเพิ่มขึ้น

4.2 กรดไขมันอิสระ

การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระของตัวอย่างน้ำมันตับปลาทูน่าที่เก็บรักษาที่ระยะเวลา 0, 15 และ 25 วัน ที่อุณหภูมิห้องโดยวิเคราะห์ในรูปร้อยละของกรดโอเลอิก พบว่าค่ากรดที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงขึ้น โดยตัวอย่างที่เก็บที่ 0 วัน มีค่าร้อยละ 11.51 ที่ 15 และ 25 วัน จะมีค่าร้อยละ 13.00 และ ร้อยละ 13.17 ตามลำดับ แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ในตัวอย่างน้ำมันตับปลาทูน่าที่ทำการวิเคราะห์นั้นถูกทำลายเป็นกรดไขมันอิสระมากขึ้น เนื่องจากค่ากรดที่วิเคราะห์ได้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด (ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนปนนท์ , 2533) ทั้งนี้ค่ากรดยังสามารถบ่งบอกถึงความหืนของไขมัน โดยถ้าไขมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากขึ้น แสดงว่ามีการหืนชนิด hydrolylic rancidity เกิดขึ้นแก่น้ำมันตับปลาที่เก็บไว้ที่ระยะเวลานานขึ้น โดยอาจเกิดจากความร้อน ความชื้นและแสง เป็นส่วนร่วมที่ทำให้การหืนเกิดเร็วขึ้น

4.3 ค่าสี

การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันตับปลาทูน่าจะใช้ระบบ Hnnter โดยใช้เครื่องวัดสี Juki รุ่น JP 7100F โดยค่าสีที่ได้จะจัดในรูปค่า L, a, และ b โดยค่า L จะบอกถึงความสว่างของสี ถ้าค่า L มีค่าใกล้ 100 จะค่อนทางสีขาว ถ้าค่า L มีค่าใกล้ 0 จะค่อนไปทางสีดำ เนื่องจากในการสกัดน้ำมันโดยตัวทำละลายนั้น ตัวทำละลายจะสกัดเม็ดสีของตับปลาทูน่าออกมาด้วย จึงทำให้น้ำมันที่ได้มีสีคล้ำ โดยตัวอย่างน้ำมันตับที่ 0 วัน จะมีค่า L 8.99 จะลดลงเมื่อระยะเวลาที่เก็บรักษานานขึ้น แสดงว่าเมื่อระยะเวลานานขึ้น สีของน้ำมันตับปลาจะเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นจนใกล้ สีดำ ดังตารางที่ 15 สำหรับค่า a จะเป็นค่าที่บอกความเขียวและแดงของผลิตภัณฑ์ ถ้าค่า a เป็น + จะค่อนไปทางสีเขียว ถ้าค่า a เป็น - จะค่อนไปทางสีแดง ค่าสีของน้ำมันตับปลาโดย ส่วนใหญ่มีค่า - แสดงว่ามีค่าสีแดงมากกว่าสีเขียว และเมื่อระยะเวลานานขึ้นค่าสีจะมีค่าไปทางสีแดงมากขึ้น ดังตารางที่ 15 ส่วนค่า b จะเป็นค่าที่บอกถึงสีน้ำเงินและเหลืองของผลิตภัณฑ์ ถ้า b มีค่า + ค่อนไปทางสีน้ำเงิน ถ้า a มีค่า - จะค่อนไปทางสีเหลืองและค่า b จากตารางที่ 15 พบว่าน้ำมันตับปลามีค่าค่อนไปทางสีหลืองมากกว่าสีน้ำเงิน สำหรับค่าbมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นคาวปลา และกลิ่นหืน ของน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 10 คน พบว่าทุกด้านไม่มีความแตกต่างของตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 25 คะแนนเฉลี่ยในด้านสี กลิ่นคาวปลา กลิ่นหืน มีค่า 8.67 7.08 5.84 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 16) พบว่า สีของน้ำมันตับปลามีสีค่อนไปทางสีน้ำตาลเข้ม กลิ่นคาวปลา ค่อนข้างมาก แต่กลิ่นหืนอยู่ในระดับปานกลาง โดยจะสัมพันธ์กับค่า TBA ที่มีค่าไม่สูงมาก

สรุป

องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และไขมัน ของตับปลาทูน่า ทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ ตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง และตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว พบว่ามีค่าแตกต่างกัน โดยปริมาณน้ำมันของตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบมีปริมาณสูงกว่าตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว โดยมีปริมาณน้ำมัน เท่ากับร้อยละ 49.72 24.35 และ 20.14 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

กรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ซอคเลต พบว่าชนิดตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัด คือ อิซิโตน สภาวะการสกัดดังนี้ คือ อัตราส่วนวัตถุ (น้ำหนักสด) ต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง ตับปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองและพันธุ์ครีบยาว คือ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง โดยปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่พันธุ์โอแถบ พันธุ์ครีบเหลือง และพันธุ์ครีบยาว เท่ากับร้อยละ 47.63 32.85 และ 26.33 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับการสกัดน้ำมันโดยวิธี Bligh and Dyer ปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้ เท่ากับร้อยละ 37.86 23.82 และ 20.67 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การสกัดน้ำมันจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยการใช้ไอน้ำ พบว่าไม่สามารถสกัดน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าได้

สมบัติของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยวิธีการใช้ซอคเลต มีจุดหลอมเหลว อยู่ในช่วง 26-27 องศาเซลเซียส ดัชนีหักเหแสง อยู่ในช่วง 1.4753-1.4759 ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกอยู่ในช่วงร้อยละ 50.79 - 57.29 ค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง 68.28-73.33 มิลลิกรัม สมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ค่าไอโอดีน อยู่ในช่วง 103.21-109.56 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม น้ำมัน ค่าสปอนนิฟิเคชั่น อยู่ในช่วง 180.62-186.37 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน สารสปอนนิฟายไม่ได้อยู่ในชวง 27.18-29.60 กรัมต่อกิโลกรัม ค่า TBA อยู่ในช่วง 22.42-28.97 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน และน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่า 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 23-24 องศาเซลเซียส ดัชนีหักเหแสง อยู่ในช่วง 1.4771-1.4779 ปริมาณกรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิก อยู่ในช่วงร้อยละ 32.57-35.46 ค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง 50.49-56.38 มิลลิกรัม สมมูลย์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ค่าไอโออีน อยู่ในช่วง 110.91-128.32 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน ค่าสปอนนิฟิเคชั่น อยู่ในช่วง 190.63-193.47 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน สารสปอนนิฟายไม่ได้อยู่ในช่วง 24.49-27.17 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน ค่า TBA อยู่ในช่วง 21.53-27.16 มิลลิกรัมมาโลนนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน สีของน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่า L ต่ำ และมีสีค่อนข้างคล้ำ และน้ำมันดิบจากตับปลาทูน่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยวิธี Bligh and Dyer มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ชนิด EPA

และ DHA เท่ากับร้อยละ 0.69-2.82 และ 0.92-5.55 ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการสกัดโดยวิธีการใช้ซอคเลต ที่มีค่า EPA และ DHA เท่ากับร้อยละ 0.86-20.82 และ 1.70-14.76 ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

จากการเก็บรักษาน้ำมันตับปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน พบว่า หลังจากวันที่ 25 พบว่า ค่า TBA เท่ากับ 15.11 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ค่ากรดไขมันอิสระรูปกรดโอเลอิกเป็นร้อยละ 13.17 ค่า L ต่ำและมีสีค่อนข้างคล้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารอ้างอิง

กองเศรษฐกิจการประมง ข. 2537. สรุปสภาวะการค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศของไทย. ในรอบปี 2537. ข่าวสารสภาวะเศรษฐกิจการประมง ปีที่ 6. ฉ. ฉบับที่ 4.

กัลยา เรืองพงษ์. 2535. ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแปรรูปของประเทศไทย. ว.ผู้ส่งออก 5(114):10-12.

ข้อมูลจากการสอบถาม. 2535. โรงงานแปรรูปปลาทูน่าบรรจุกระป๋องในภาคใต้ของประเทศไทย.

คณะทำงานศึกษาการประมงปลาทูน่า. 2534. แนวทางการพัฒนาการประมงปลาทูน่าของไทย. ว.การประมง 44(2) : 116-122.

จงจิตร อังคทะวานิช. 2538. นมและอาหารทารกหลักและวิทยาการก้าวหน้า. กรุงเทพ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

นงลักษณ์ สุทธิวานิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร . คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 262 หน้า.

ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2527. กรรมวิธีอุตสาหกรรมประมง. สถาบันค้นคว้าผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ. 154 หน้า.

พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล. 2534. เทคโนโลยีหลังการจับปลาทูน่า. ว.การประมง 44(2) : 123-132.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2531. สถิติสำหรับการวิจัยทางการเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2533. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วินัย ดะห์ลัน. 2539. กรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเมก้า-3 บทบาทใหม่ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม. รายงานประจำปี 2538-2539. สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย.

ศูนย์เศรษฐกิจอุตสหากรรมภาคใต้. 2533. รายงานการศึกษาสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้ กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 58 หน้า.

สุมาลัย ศรีกำลัยทอง. และคณะ . 2538. การพัฒนาเพื่อพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ใน อุตสาหกรรมปลากระป๋อง : การผลิต PUFA จากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. รายงานฉบับที่ 1 กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 จากน้ำนึ่งปลา ของอุตสาหกรรมปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง. กรุงเทพ : สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 15th ed. Virginia:The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Bailey, B.E., Cater, N.M., and Swain, L.A. 1952. Marine oils with particular reference to those of Canda. Ottawa : Bulletin 89. Fisheries Research Board of Canada.

Benjakul, S., and Taylor, K.D.A. 1994. Lipids and fatty acid of Dogfish (Squlus acanthias) liver oil extracted by different methods. Songklanakarin J. Sci. Technol. 16(1) :31-36.

Chullasom, S. and Martosubroto, P. 1986. Geographic Distribution of Habitat, Spawing and Fishing Froups of Major Species Groups. Rome: Food and Agriculture Organization of the Nations.

Bimbo, A.P., and Crowther, J.B. 1992. Marine oils : fishing for industrial uses. INFORM. 3(9):988-1001.

Bligh, E.G., and Dyer, W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37:911-917.

Brody,J. 1965. Fishery by Products Technology. Westport, Conn.: The AVI Publishing Co.,Inc.

Christie, W.W. 1982. Lipid Anaiysis. Nwe York : Pergamon Press, Elmsford.

Crawford, M.A., Hassan, A.G., Williams, G., and Whitchose, W.L. 1976. Essential fatty acids and fetal brain growth. Lancet. 7957:452-453.

Dyerberg, J., Bang, H.O., Stofferson, E., Moncads, S., and Vane, J.R. 1978. Eicosapantaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis. Lancet. 2(8081):117-119.

Egan, H., Rick, R.S., and Sawyer, R. 1981. Pearson's Chemical Analytical of Food 8 th ed. Churchill Livingstone : Edinburgh London Melbourne and New York.

Ehira, S. 1976. A biochemical study on the freshness of fish. Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab. 88:1-128.

Eitenmiller, R.R. 1991 Chemistry and Biochemistry of Seafoods. The Seafood Technology Workshop. Hatyai : Prince of Songkla University.

Gerasimove, G.V.,and Antonova, M.T. 1978. Technology Chemical Control in the Fish Processing Industry. New York: Amerind Publishing Co.,Ltd.

Goodnight, S.H., Harris, W.S.,Connor, W.E., and Illingworth, D.R. 1982. Polyunsaturated fatty acids, hyperlipidemia and thrombosis. Arteriosclerosis. 2(2):87-113.

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.

Hadziyev, D. 1987. Food Chemistry. Berlin, Germany : Springer-Verlag.

Hall, G.M. 1992. Fish Processing Technology. London : Blackie Academic & Professional.

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 Procedures of Fish Products. Southeast Asian Fisheries Development Center. Singapore.

Holman, R.T., Johnson, S.B., and Hatch, T.F. 1982. A care of human linolenic acid defficiency involving neurological abnormalities. Amer.J. Clin. Nutr. 35(3): 617-623.

Hunter, J.E. 1987. MIT conference : fish oil and other omega-3 sources. JAOCS. 64(12): 1592-1594.

Huss, H.H. 1988. Fresh fish : quality and quality changes. Food and Agriculture Organization of the United nation Danish International Developnment Agency. Rome.

IUPAC. 1979. Standard Methods for the Analysis of Oils, Fat and Derivatives, 6th ed. Part I. Paris : Pergamon Press.

Kinsella, E.J. 1986. Food components with potential therapeutic benifit: the n-3 polyunsaturated fatty acid of fish oils. Food Technol. 40(2):89-97.

Kulikove, P.J. 1971. Production of Meal Oil and Protein-Vitamin Prepration on Fish Industry. New York : Amerind Publishing Co.,Ltd.

Lee, C.F. 1954. Processing fish meal and oil. In Industrial Fishery Technology, Stanby, M.E.,ed.London: Reinhold Publishing Co., Ltd.

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.

Low, L.K., and Ng, C.S. 1987. Determination on acid value. pp c-5.1 In Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and fish Products, Hasegawa, ed. Marine Fisheries Research Dept. SEAFDEC. Singapore.

Marisa, H. 1987. The Survey of the Situation of Fishery Industry in Asean Contries. Volume II Canned Tuna. Ministry of Industry Thai Industrial Standards Institute. Office of National Codex Alimentarius Committee Thailand.

Min, D.B. 1994. Crude fat analysis. In Introduction to the Chemical Analysis of Food, Nielsen, S.S., ed. London England : Jones and Bartlett Publishers.

Nielsen, C. 1937. Method of extraction liver oil. U.S. Patent. 2,078,404.

Ockerman, H.W. 1992. Fishery by products. In Fish Prosessing Technology, Hall, G.M., ed New York: VCH Publishers, Inc.

Prasertsan, P., Wuttijumnong, P., Sophanodora, P. and Choorit, W. 1988. Seafood processing industries within Songkla-Hatyai region : The survey of basic data emphasis on wastes Sonklanakarin. J. Sci Technol. 10:447-451.

Phillipson, B.E., Rothrock, D.W. Cornnor, W.E., Harris, W.S., and Illingworth, D.R. 1985. Reduction of plasma lipIds, lipoproteins and apoproteins by dietary fish oils in patients with hypertriglyceridemia. The New England Journal of Medicine. 312(9):1210-1216.

Rossell, J.B., and Pritchard, J.L.R. 1991. Analysis of Oilseeds Fats and Fatty Foods. England:Elsevier Science Publishing.

Saito, H., Ishihara, K., and Murase, T. 1996. Effect of prey fish lipids on the docoshexaenoic acid content of total acids in the lipid of Thunnus albacares Yellowfin Tuna. Biosci. Biotech. Biochem. 60(6):962-965.

Sargent, J.R, and Henderson, R.J. 1995. Marine (n-3) polyunsaturated fatty acid. In Developments in Oil and Fats, Hamiton, R.J., ed. Now York : Blackie Academic & Professional.

Sikorski, Z.E. 1989. Seafood Resources, Nutritional Composition and Preservation. Boca Raton, Florida:CRC Press, Inc.

Sinclair, A.J. 1993. The nutritional significance of Omega 3-Polyunsatuarated Fatty acid for humans. J.ASEAN Food. 8(1) : 3-13

Sinnhuber, R.O., and Yu, T.C. 1958. 2-Thiobabituric acid methods of the measurement of rancidity in fishery products. The quantitative determination of naldenhyde. Food Tech.2:9.

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.

Soderquist, M.R. Williamson, K.J., Blanton, G.I., Philips, D.C., Low, D.K. and Crawford, D.L. 1970. Current Practice in Seafoods Processing Waste Treatment. Waste Pollution Control Research Series 12060 ECF 40/70. Corvallies : Environmental Pretection Agency.

Stansby, M.E. 1967. Fish Oil. Westport, Conn : The AVI Publishing.

Stansby, M.E. 1990. Fish Oils in Nutrition. Nrw Youk:Reinhold Publishing Co.,Ltd.

Sunarya, Hole,M., and Taylor, K.D.A. 1991. Extraction and composition of dogfish liver oil. Indo-Pacific Fishery Commission Working Party on Fish Technology and Marketing. Yogjakarta, Indonesia. 24-27 September 1991. 326-332.

Tressler, D.K., and Lemon, J.M. 1951. Marine Products of Commerce. New York : Reinhold Publishing Co., Ltd.

Tuley, L. 1991. Plenty of fish in the sea. Food Manufacture Octoder : 36-40.

Weiss, T.J. 1980. Food Oils and Their Uses. Westport, Conn.: AVI publishing.

Wheaton, F.W.,and Lawson, T.B. 1985. Processing Aquatic Food Products. New York : A Wiley-Interscience Publication.

Yang, M.H., Chang, S.C., and Chan,R.H. 1992. Effect solvent polarlity and fractionation temperature on the physicochemical properties of squid visera stearin. JAOCA. 69(12):1192-1197

Young, F.V.K. 1985A. The refining and hydrogenation of fish oil. Fish Oil Bulletin 17. International Association of Fish Meal Manufacturers.

ภาคผนวก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบชิม...วันที่...................................เวลา.......................
ชื่อผลิตภัณฑ์ น้ำมันตับปลาทูน่า

****

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบกลิ่นของตัวอย่าง และขีดเส้นตั้งฉากของแต่ละปัจจัยพร้อมรหัสตัวอย่างบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

1. สี

น้ำตาลอ่อน ——————————————— น้ำตาลเข้ม

2. กลิ่นคาวปลา

น้อย ——————————————— มาก

3. กลิ่นหืน

น้อย ——————————————— มาก

ขอขอบคุณ