รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมกเคอเรลกระป๋อง และการใช้ประโยชน์

Production of fish oil from canned mackerel wastes and utilization

นายธงชัย พุฒทองศิริ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมกเคอเรลกระป๋อง และการใช้ประโยชน์

Production of fish oil from canned mackerel wastes and utilization

นายธงชัย พุฒทองศิริ

12695841

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การผลิตน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมกเคอเรลกระป๋องและการใช้ประโยชน์

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 240,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี 6 เดือน ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 31 มีนาคม 2558

หัวหน้าโครงการ นายธงชัย พุฒทองศิริ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา จากหัวและหางปลาแมคเคอเรล ซึ่งวัสดุเศษเหลือจากการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง โดยสัดส่วนของวัสดุเศษเหลือต่อน้ำที่ใช้ในการสกัด คือ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ เวลา (X_1) 8-30 นาที และ อุณหภูมิ (X_2) 80-100°C ในการสกัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดคืออุณหภูมิ 100°C นาน 8 นาที ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 13.44% เมื่อศึกษาผลของการเติมน้ำมันปลาในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง พบว่าปริมาณน้ำมันปลาที่เหมาะสมในการเติมในซอสคือ 10% และยังพบว่าการเติมน้ำมันปลาและระยะเวลาการเก็บปลากระป๋องทำให้ปลากระป๋องมีปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมดสูงขึ้น

คำสำคัญ : น้ำมันปลา ปลาแมคเคอเรล วัสดุเศษเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Production of fish oil from canned mackerel wastes and utilization

Researcher: Tongchai Puttongsiri

Faculty: of Agro-Industry **Department:** -

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the optimum conditions for fish oil extraction from head and tail of canned mackerel waste. The ratio of canned mackerel waste to water for fish oil extraction was 1:4 (weight by weight). Response surface methodology (RSM) was used for study on optimization of fish oil extraction conditions by central composite design (CCD) of two factors. The two independent variables investigated in this experiment were extract time (X_1: 8-30 min) and temperature (X_2: 80–100°C). Optimum condition for fish oil extraction was 100°C for 8 min. Base on the optimum condition; the predicted yield was 13.28% while the actual experimental value was 13.44%. The effect of the addition of fish oil in tomato sauce ingredients used in the production of canned fish was studied. It was found that 10% of fish oil suitable to added into the sauce and also found that adding fish oil and storage period of canned mackerel, made canned fish contains omega-3 high.

Keywords : Fish oil Mackerel Waste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์และสนับสนุนจากหลายฝ่ายตลอดมา ทางผู้วิจัยขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ของคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้คำปรึกษาด้านวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ให้บริการอุปกรณ์และเครื่องมือตลอดการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินงบประมาณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ธงชัย พุฒทองศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ปลาแมคเคอเรล 3

2.2 กระบวนการผลิตปลากระป๋อง 4

2.3 การสกัด 5

2.4 การสกัดน้ำมันปลา 9

2.5 วัสดุเศษเหลือจากปลา 10

2.6 ไขมันและน้ำมัน 11

2.7 น้ำมันปลา 12

2.8 ประโยชน์ของน้ำมันปลา 13

2.9 การใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง 14

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วัตถุดิบและวิธีการทดลอง 17

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 17

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3 สารเคมี 17
3.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์ 17
3.2 วิธีดำเนินการ 18
3.2.1 การเตรียมวัสดุเศษเหลือ 18
3.2.2 ศึกษาสัดส่วนของหัวและหางปลาแมคเคอเรลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา 18
3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล 19
3.2.4 ศึกษาการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสม เพื่อผลิตปลากระป๋องให้มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงขึ้น 20
3.2.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บ 20
บทที่ 4 ผลการวิจัย 21
4.1 ผลของสัดส่วนของหัวและหางปลาแมคเคอเรลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา 21
4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล 23
4.3 ผลของการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมเพื่อผลิตปลากระป๋อง 26
4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บ 27
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 30
5.1 สรุปผลการวิจัย 30
5.2 ข้อเสนอแนะ 30
บทที่ 6 สรุปผลผลิตการวิจัย 31
เอกสารอ้างอิง 32
ภาคผนวก 34
ภาคผนวก ก 34
ภาคผนวก ข 40
ภาคผนวก ค 41
ภาคผนวก ง 48
ประวัตินักวิจัย 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 การออกแบบการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล โดยใช้การทดลองแบบ Response surface Methodology (RSM) แบบ Central composite design 19
4.1 ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันของวัสดุเศษเหลือ 21
4.2 การออกแบบและผลการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล 23
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการสกัดน้ำมันปลา 24
4.4 ปริมาณโอเมก้า 3 ในน้ำมันปลาที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสม 25
4.5 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาแมคเคอเรลกระป๋องเมื่อเติมน้ำมันปลาในซอสปริมาณต่างกัน 26
4.6 ปริมาณโอเมก้า 3 ในปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรดั้งเดิมและสูตรที่เติมน้ำมันปลา 10% 27
4.7 ปริมาณโอเมก้า 3 ในปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรที่เติมน้ำมันปลาเมื่อเก็บนาน 5 เดือน 28
4.8 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรที่เติมน้ำมันปลาเมื่อเก็บนาน 5 เดือน 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ปลาแมคเคอเรล วงศ์ Scombridae 4
2.2 ขั้นตอนการสกัดแบบเย็น 7
2.3 วิธีการสกัดแบบ wet reduction 8
2.4 วิธีการสกัดด้วย enzyme 9
2.5 การผลิตน้ำมันปลา 10
2.6 โครงสร้างกรดไขมันโอเมก้า 3 12
2.7 โครงสร้างกรดไขมันโอเมก้า 6 13
4.1 ผลของสัดส่วนหัวและหางปลาบดต่อปริมาณน้ำในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันปลาที่ได้โครงสร้างกรดไขมันโอเมก้า 3 22
4.2 น้ำมันที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสม 25
4.3 ปลากระป๋องที่ไม่เติม (A) และเติมน้ำมันปลา 10% (B) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการบริโภค การผลิตและการส่งออกสินค้าอุปโภคและบริโภคเป็นอันดับต้นของโลก โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตร รวมไปถึงอาหารทะเล โดยส่วนใหญ่มักจะถูกนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนที่จะทำการบรรจุและส่งออกไปยังต่างประเทศ อุตสาหกรรมปลากระป๋องนับว่าเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ภายในประเทศไทย ปลากระป๋องเป็นอาหารสำเร็จรูปที่สามารถนำมาปรุงอาหารได้หลายเมนู และที่สำคัญสามารถเก็บไว้ได้นาน ในกระบวนการผลิตจะใช้ปลาซาดีนและปลาแมคเคอเรลเป็นวัตถุดิบหลัก โดยเติมน้ำเกลือ น้ำมัน ซอสมะเขือเทศ หรืออื่น ๆ ในการผลิต แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (retort) กระบวนการผลิตปลาแมคเคอเรลในซอสมะเขือเทศ จะมีการตัดหัวและหางปลาให้มีขนาดที่สามารถบรรจุลงกระป๋องได้ ซึ่งส่วนหัวและหางนี้เป็นส่วนที่เหลือ ในปัจจุบันยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก ส่วนใหญ่นำไปขายเป็นส่วนผสมอาหารของสัตว์ ซึ่งมีราคาต่ำ และเป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารทะเลเป็นแหล่งของกรดไขมันที่ดี เช่น กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3) ซึ่งประกอบด้วย Eicosapentaenoic acid (EPA) และDocosahexaenoic acid (DHA) สามารถพบมากในปลาทะเลน้ำลึก นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6) ที่เป็นกรดไขมันที่ดีอีกด้วย โดยกรดไขมันที่ดีนี้เรียกรวมกันว่า polyunsaturated fatty acid (PUFAs) หรือน้ำมันปลาที่ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกาย สามารถช่วยลดไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไขข้ออักเสบ ลดการอักเสบ เป็นต้น และจากชิ้นส่วนของวัสดุเศษเหลือ พบว่าชิ้นส่วนบริเวณหัวและหางที่เหลือจากการทำอุตสาหกรรมปลากระป๋องนั้น มีปริมาณโอเมก้า 3 อยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับอุตสาหกรรมปลากระป๋อง จึงมีความคิดที่จะเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ให้มากขึ้น โดยใช้วัสดุเศษเหลือที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์นั้นมาเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ลงในปลากระป๋องและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอน อุณภูมิ และระยะเวลาการสกัดน้ำมันปลาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตของน้ำมันปลาที่สกัดจากหัวและหางของปลาที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสัดส่วนของหัวและหางปลาแมคเคอเรลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

1.2.3 เพื่อศึกษาการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสม เพื่อผลิตปลากระป๋องให้มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงขึ้น

1.2.4 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เป็นการศึกษาการเตรียมหัวและหางปลาแมคเคอเรล ก่อนนำไปสกัดน้ำมันปลา และศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันปลาในสภาวะที่เหมาะสม โดยหาอุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่ทำให้ได้โอเมก้า 3 ที่มีคุณภาพดี และนำสภาวะที่ได้ไปทดลองผลิตในระดับโรงงาน จากนั้นศึกษาการเติมปริมาณโอเมก้า 3 ลงในส่วนผสมการผลิตปลากระป๋อง เพื่อผลิตปลากระป๋องให้มีโอเมก้า 3 สูงขึ้น และศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บรักษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

ผลงานที่ได้สามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารระดับชาติ และโรงงานที่ทำวิจัยร่วมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลาแมคเคอเรล (Mackerel)

ปลาแมคเคอเรล (Mackerel) เป็นชื่อสามัญในภาอังกฤษของปลาทะเลหลายชนิดในวงศ์ Scombridae, Carangidae, Hexagrammidae และGempylidae ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันคือ ผิวเป็นเกล็ดละเอียดสีเงินมันวาว ตัวเรียวยาวกลมคล้ายทรงกระบอก หัวแหลมท้ายแหลม มีครีบกระโดงหนึ่งครีบ ครีบท้องหนึ่งครีบ ครีบข้างหนึ่งคู่ หางสองแฉก อาศัยอยู่ทั่วไปตามชายฝั่งทะเล อยู่รวมเป็นฝูงใหญ่ ปลาทูก็อยู่ในวงศ์ Scombridae ดังนั้นจึงจัดเป็นปลาแมคเคอเรลเช่นกัน

ชนิดปลาที่จัดว่าเป็นปลาแมคเคอเรล

วงศ์ Scombridae

- ปลาโกมะซาบะ (*Scomber australasicus*)
- ปลาแปซิฟิคแมคเคอเรล (*Scomber japonicus*)
- ปลาแอตแลนติกแมคเคอเรล (*Scomber scombrus*)
- ปลาอินทรี (*Scomberomorus* spp.)
- ปลาอินทรีทะเลสาบเขมร (*Scomberomorus sinensis*)
- ปลาทู (*Rastrelliger* spp.)
- ปลาทูสั้น (*Rastrelliger brachysoma*)
- ปลาลัง (*Rastrelliger kanagurta*)

วงศ์ Carangidae

- ปลาทูแขก (*Decapteru* spp.)
- ปลาหางแข็ง (*Megalaspis cordyla*)

วงศ์ Hexagrammidae

- ปลาฮอกเขะ *Pleurogrammus azonus*
- Atka mackerel *Pleurogrammus monopterygius*

วงศ์ Gempylidae

- Black snack mackerel *Nealotus tripes*
- Black sail snake mackerel *Thyrsitoides marleyi*
- Snake mackerel *Gempylus serpens*
- Violet snake mackerel *Nesiarchus nasutus*
- White snack mackerel *Thyrsitops lepidopoides*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาแมคเคอเรลเป็นปลาทะเลที่อุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ มากมาย เช่น กรดไขมัน Omega 3 EPA DHA ที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อสมอง มีไอโอดีน วิตามินA กำมะถัน ธาตุเหล็ก โปรตีน และแคลเซียม อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ปลาแมคเคอเรลสามารถใช้รับประทานและใช้ในการแปรรูปเพื่อการถนอมอาหาร เช่น ปลาเค็ม ปลาแมคเคอเรลเป็นปลาที่นิยมใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลากระป๋อง ซึ่งปลาแมคเคอเรลที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง คือ ปลาแมคเคอเรลในวงศ์ Scombridae ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 ปลาแมคเคอเรล วงศ์ Scombridae
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2555

2.2 กระบวนการผลิตปลากระป๋อง

ปลากระป๋องเป็นอาหารสำเร็จรูปที่อยู่คู่ครัวไทยมานาน สามารถนำมาปรุงอาหารได้หลากหลายเมนู และที่สำคัญสามารถเก็บไว้ได้นาน ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตปลากระป๋องใช้หลักการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูงที่สามารถทำลายและยังยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยอาหารกระป๋องเป็นการบรรจุอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทจึงมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายอย่างยิ่ง คือ คลอสตริเดียม โบตูลินัม (*Clostridium botulinum*) เป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์และเจริญได้ในสภาวะไม่มีออกซิเจน โดยทั่วไปพบเชื้อนี้ได้ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ ผัก เนื้อ นม ลำไส้ของปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ

1. การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ ต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยตรวจสอบความสดและขนาดของปลา

2. การตัดแต่ง นำปลาที่คุณภาพดีมาตัดแต่ง โดยตัดหัวปลา หางปลา ดึงไส้และเครื่องในอื่น ๆ ออก

3. การล้างทำความสะอาด การผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะนำปลาที่ตัดแต่งแล้วมาล้างในเครื่องล้าง เพื่อล้างเอาเลือด เมือก และสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ปนเปื้อนมาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การบรรจุ นำปลาที่ล้างทำความสะอาดแล้ว มาบรรจุลงในกระป๋องที่เคลือบด้วยดีบุก เพื่อป้องกันสนิม

5. การเติมน้ำมันหรือซอส ปลาที่บรรจุในกระป๋องจะถูกตรวจสอบสิ่งปลอมปน จากนั้นจะผ่านไปตามสายพานเติม น้ำมันพืช ซอสมะเขือเทศ หรืออื่นๆ แล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์

6. การไล่อากาศ นำกระป๋องที่บรรจุปลาและเติมส่วนผสมอื่นๆแล้ว มาผ่านหน่วยไล่อากาศและปิดผนึกฝา โดยใช้ไอน้ำไล่และแทนที่อากาศในกระป๋อง โดยหลังจากไอน้ำเกิดการควบแน่นจะเกิดสภาพสุญญากาศภายในกระป๋อง แล้วนำมาปิดผนึกฝากระป๋อง

7. การฆ่าเชื้อ กระป๋องที่ปิดผนึกแล้ว จะนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูงการฆ่าเชื้อจะเป็นแบบคอมเมอร์เชียล สเตอริไรเซชัน (Commercial sterilization) ซึ่งหมายถึง การใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลาย จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเกือบทั้งหมดเพื่อให้อาหารนั้น สามารถบริโภคได้โดยไม่เป็นอันตราย และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียในสภาวะปกติ โดยใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่ประมาณ 118-122 องศาเซลเซียส นาน 60-70 นาที ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ขนาดของปลาที่บรรจุและขนาดของกระป๋อง

8. การลดอุณหภูมิกระป๋อง หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ต้องลดอุณหภูมิของปลากระป๋อง โดยเร็ว น้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิต้องเป็นน้ำสะอาดที่มีการเติมคลอรีน เพื่อลดอุณหภูมิของกระป๋องให้เหลือราว 35-40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ความร้อนที่สะสมอยู่ที่ตัวกระป๋องจะทำให้กระป๋องแห้ง ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้ กระป๋องจะเป็นสนิมเพราะไอน้ำที่เกาะอยู่ที่กระป๋องระเหยไปไม่หมด

9. การปิดฉลากและบรรจุกล่อง เมื่อกระป๋องแห้งสนิทแล้ว จะนำมาปิดฉลากบรรจุกล่อง เก็บรักษาและรอการขนส่งต่อไป

2.3 การสกัด

การสกัด (extraction) หมายถึง กระบวนการแยก (separation) โดยใช้ของเหลวอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวทำละลาย สารที่ต้องการแยกโดยให้ละลายออกมาในตัวทำละลาย

การจำแนกเทคนิคการสกัด

เทคนิคการสกัดสามารถแบ่งแยกได้ตามสถานะของตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารดังนี้

1. เทคนิค liquid extraction สารสกัดเป็นของเหลว

ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวทำละลายที่เลือกสำหรับตกผลึกสาร ตัวทำละลายที่ดีควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี มีจุดเดือดไม่สูงนักเพื่อที่จะกำจัดออกไปจากสารที่ต้องการได้ง่ายหลังการสกัด ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารหรือกับตัวทำละลายอื่นที่จะใช้ร่วมกัน ไม่ควรติดไฟง่าย ไม่ควรมีพิษและราคาไม่แพง ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการได้แก่ diethyl ether, dichloromethane, ethyl acetate และ 1-butanol ในทางปฏิบัติมักจะนิยมสกัดสารอินทรีย์ซึ่งอาจละลายหรือแขวนลอยอยู่ในวัฏภาคน้ำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ เมื่อตั้งทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้จะเกิดการแยกชั้น สารทั้งหลายที่มีอยู่ในของผสมจะละลายอยู่ทั้งในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์และชั้นน้ำมากน้อยตามความสามารถในการละลายของมันในตัวทำละลายแต่ละชนิด หลักเกณฑ์การละลายของสารโดยทั่วไปคือ สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้หรือสารที่มีพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จะอยู่ในชั้นน้ำมาก ในขณะที่สารที่ไม่มีขั้วจะอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ (ส่วนใหญ่มีขั้วน้อย) โดยมีค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า สัมประสิทธิ์การแจกแจง (distribution coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (partition coefficient) ซึ่งมักใช้อักษรย่อว่า K เป็นค่าคงที่ซึ่งบ่งให้ทราบว่า สารที่สนใจละลายในตัวทำละลายแต่ละชั้นของตัวทำละลายคู่หนึ่งๆมากน้อยเท่าไร ณ ภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่

2. เทคนิค liquid - solid extraction หรือเทคนิค solid phase extraction, SPE สารสกัดเป็นของแข็ง

การสกัดวิธีนี้ทำได้โดยแช่ของแข็งที่ต้องการสกัดในตัวทำละลายที่ต้องการเป็นเวลานานโดยใช้ภาชนะที่เหมาะสม เครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ต (Soxhlet extractor) เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับสกัดสารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งนิยมใช้ในกรณีที่สารที่จะสกัดละลายได้ไม่ดีนักในตัวทำละลายอินทรีย์ที่จะสกัด การสกัดทำโดยอาศัยหลักการการให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นกลั่นตัวเป็นของเหลวผ่านลงไปในสาร (ของแข็งหรือของเหลว) จากนั้นตัวทำละลายที่ได้สัมผัสกับสารจะไหลลงสู่ขวดรองรับตัวทำละลายที่พาสารลงมาในขวดนี้จะถูกระเหยกลับขึ้นไป (ทิ้งสารที่สกัดออกมาไว้ในขวดรองรับ) แล้วกลั่นตัวลงบนสารซ้ำแล้วซ้ำอีกดังนี้ไปเรื่อยๆ การกระทำเช่นนี้จะทำให้ได้สารที่ต้องการสกัดในขวดรองรับในที่สุด

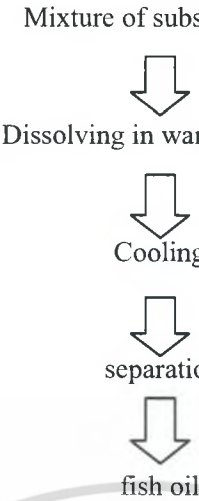
3. เทคนิค gas extraction สารสกัดเป็นก๊าซ

กระบวนการสกัดน้ำมันปลานั้นมีด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การสกัดแบบเย็น (Cold Extraction) การสกัดแบบ wet reduction การสกัดด้วยเอนไซม์ enzymatic extraction และ การสกัดแบบ supercritical fluid extraction

2.3.1. การสกัดแบบเย็น (Cold Extraction)

น้ำมันสกัดเย็น คือน้ำมันที่ผลิตด้วยเทคนิคใช้ความร้อนต่ำ การใช้ความร้อนในการผลิตน้ำมันจะลดคุณภาพด้าน กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ และสีของน้ำมัน แต่ที่จริงความร้อนจะเพิ่มผลิตผล ด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำมันที่ผลิตด้วยเทคนิคการสกัดแบบเย็นมีราคาแพง แต่ก็มีคุณภาพสูงด้วย กระบวนการโดยทั่วไปนำส่วนผสมของสารละลายที่ได้ ไปละลายในน้ำอุ่นแล้วระบายความร้อนออกอย่างรวดเร็ว ซึ่งกระบวนการนี้จะอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิในการละลาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ขั้นตอนในการสกัดแบบเย็น Cold Extraction ดังภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการสกัดแบบเย็น

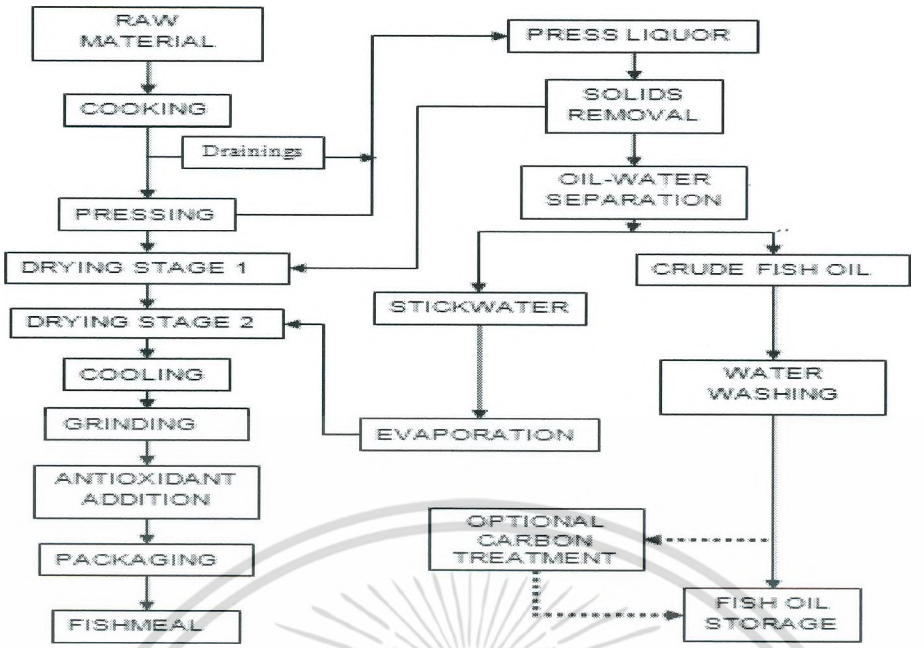
ที่มา : FAO, 1986

การสกัดแบบเย็น (Cold Extraction) เริ่มจากนำส่วนของปลาทั้งหมดมาผสมรวมกันและละลายส่วนผสมทั้งหมดลงในน้ำอุ่น จากนั้นลดระดับความร้อนโดย cooling ลงทันที โดยในการลดอุณหภูมิลงนั้น ส่วนผสมที่ได้จะเกิดการแยกชั้นกัน น้ำมันที่ได้จะแยกชั้นกับน้ำ จากนั้นทำการสกัดแยกระหว่างน้ำและน้ำมันออกจากกัน จะได้ส่วนของน้ำมันปลาออกมา

2.3.2. การสกัดแบบ wet reduction

การสกัดแบบ wet reduction เริ่มจากนำปลามาต้มให้ความร้อน จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากการต้ม ทำการสกัดเพื่อแยกไขมันออกจากน้ำ จะได้ส่วนของน้ำมันปลาที่ไม่บริสุทธิ์ ล้างส่วนของน้ำมันปลาที่ได้ให้สะอาด จากนั้นจึงนำน้ำมันปลาที่สกัดได้ไปเก็บ ขั้นตอนการสกัดดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



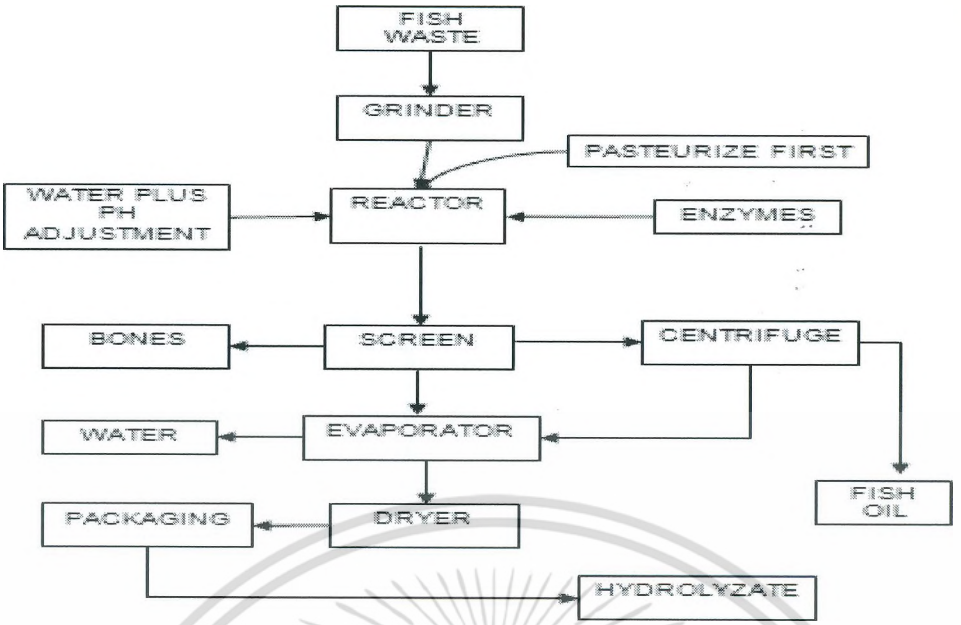
ภาพที่ 2.3 วิธีการสกัดแบบ wet reduction

ที่มา : Wu et, al., 2011

2.3.3. การสกัดด้วยเอนไซม์ (enzymatic extraction)

การสกัดเอนไซม์จะใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ แล้วผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยการปั่นแยก หรือกรองเอาสารละลายที่สกัดได้ แล้วนำไปทำให้เข้มข้นขึ้น หลังจากนั้นนำไปทำการไลโอฟิไลเซชัน (Lyophilization) ให้ได้เอนไซม์ที่อยู่ในลักษณะแห้งเป็นผง ที่พร้อมจะนำไปจำหน่ายและใช้ประโยชน์ต่อไป เอนไซม์ที่ได้นี้จะมีการปรับความเข้มข้นเพื่อให้มี activity ดี และเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ รายละเอียดขั้นตอนการสกัดดังภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 วิธีการสกัดด้วย enzyme

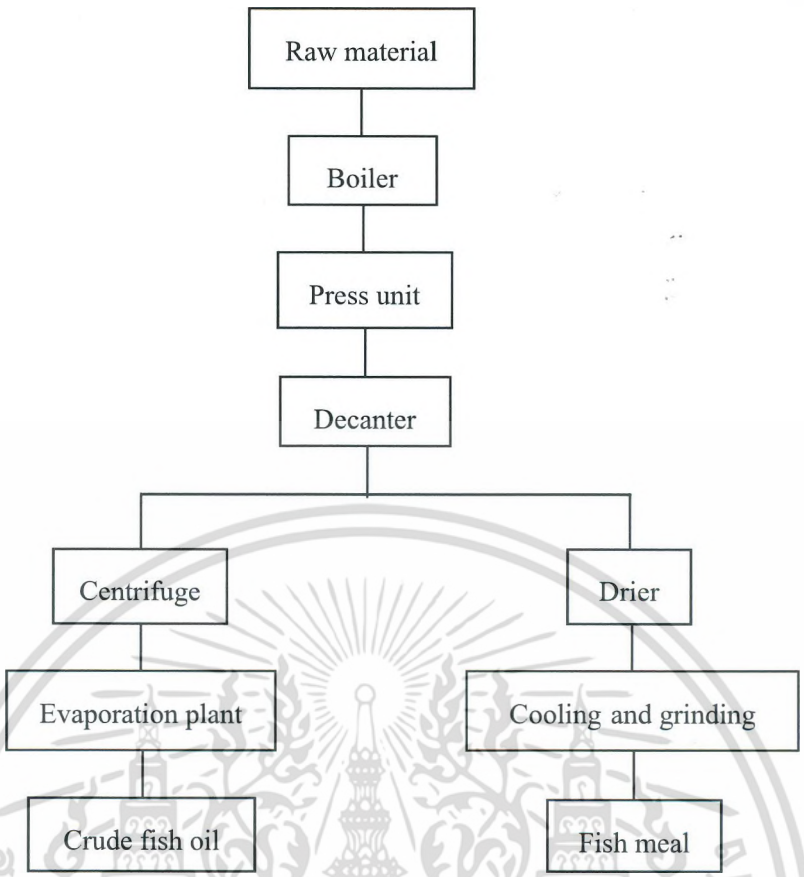
ที่มา : Ramakrishnan, 2013

การสกัดด้วยเอนไซม์ (enzymatic extraction) เริ่มจากนำปลามาบดผสมเพื่อให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งในการบดผสมจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ enzyme เข้าทำปฏิกิริยากับส่วนผสม เมื่อบดเสร็จเรียบร้อยแล้วนำปลาที่บดได้ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งปริมาณความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์จะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในส่วนประกอบ และช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำมันได้ จากนั้นทำการปรับ pH ของส่วนผสมที่ได้ ให้เหมาะสมต่อสภาวะที่ enzyme จะเกิดปฏิกิริยา เติม enzyme ลงในส่วนผสม โดย enzyme ที่ใส่นั้นจะไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบในปลา เพื่อทำการสกัดแยกไขมันออก หลังจากเติม enzyme จะทำให้น้ำมันที่ได้แยกตัวออกจากส่วนผสมอื่น จึงนำส่วนผสมทั้งหมดที่ได้จากการเติม enzyme ไป centrifuge เพื่อสกัดแยกไขมันและน้ำมันออกจากกัน

2.4 การสกัดน้ำมันปลา

การผลิตน้ำมันปลาสามารถทำได้โดยการสกัดน้ำมันจากปลา วิธีการสกัดน้ำมันปลาที่เป็นวิธีการดั้งเดิมที่สุด คือ การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ก็มีข้อเสียและข้อจำกัดที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การสกัดน้ำมันจากปลาโดยกระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การสกัดน้ำมันจากปลา (Extraction) และการทำให้บริสุทธิ์ (Refining) ปัจจุบันมีการใช้วิธีการผลิตโอเมก้า 3 เข้มข้นเพื่อใช้เป็นยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จะใช้กระบวนการสกัดด้วยเอนไซม์ การใช้เครื่องสกัด เช่น supercritical fluid extraction (SFE) เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตโอเมก้า 3 ที่ใช้ในปัจจุบันมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 การผลิตน้ำมันปลา

ที่มา : FAO, 1986

ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันปลานั้นเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาสกัดด้วยการต้ม จากนั้นทำการบีบแยกส่วนของน้ำออกแล้วจึงทำการหมุนเหวี่ยงแยกน้ำมันออกจากตะกอน ต่อมานำส่วนของน้ำมันปลาที่ได้ไประเหยน้ำออก จะได้ส่วนของน้ำมันปลาที่ยังไม่บริสุทธิ์ออกมา ซึ่งสามารถทำให้น้ำมันปลาบริสุทธิ์ได้ในขั้นตอนต่อไป มีการศึกษาการผลิตโอเมก้า 3 โดยใช้วัสดุเศษเหลือจากปลา (Liaset and Espe, 2008.) จากนั้นนำน้ำมันปลาที่สกัดได้ไปทำให้เป็นโอเมก้า 3 บริสุทธิ์ด้วยเอนไซม์ (Mbatia et al., 2010a and 2010b.)

2.5 วัสดุเศษเหลือจากปลา

ปลาเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ มากมาย วัสดุเศษเหลือจากปลา เช่น หัว หาง ก้าง ลำไส้หรือบริเวณผิวหนัง เป็นสิ่งที่ประกอบด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ หนึ่งในนั้นคือกรดไขมันโอเมก้า 3 ซึ่งเราสามารถนำวัสดุเศษเหลือจากปลามาช่วยลดปริมาณของเสียและเพิ่มคุณค่าของวัตถุดิบได้อีกด้วย กรดไขมันโอเมก้า 3 ได้รับออกมาโดยกระบวนการสกัด โดยพบว่าเมื่อสกัดน้ำมันปลาออกมา สามารถนำมาเพิ่มปริมาณสารอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ได้ และยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้วัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษเหลืออีกด้วย ซึ่งวัสดุเศษเหลือจากปลาส่วนใหญ่จะศึกษาในปลาแซลมอน โดยพบว่าส่วนหัวเป็นแหล่งที่มีน้ำมันสูง โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จึงเริ่มที่จะนำวัสดุเศษเหลือจากปลานั้นกลับมาใช้มากขึ้น และได้มีแนวคิดที่สามารถใช้เศษปลาที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันนั้น นำไปผลิตน้ำพริกปลาป่นได้อีก นอกจากวัสดุเศษเหลือจากปลาจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแล้วนั้น ยังจะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์มากขึ้นอีกด้วย เพราะวัสดุเศษเหลือจากปลานั้นยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์มากมาย เช่น ก้างปลา ประกอบด้วยส่วนที่มีแคลเซียมอยู่มาก จึงสามารถนำไปทำเป็นแคลเซียมผงที่สามารถใช้ประโยชน์ต่างๆได้อีกมากมาย และในหนังปลาก็เป็นแหล่งของเจลาตินสามารถสกัดเจลาติน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเติมแต่งอาหารหรือใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง นอกจากนี้ส่วนของไส้ปลาซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือ ได้มีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์

2.6 ไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil)

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ จัดว่าเป็นสารอินทรีย์ประเภทเดียวกับไข (Wax) รวมเรียกว่า ไลปิด (Lipid) ไลปิดเป็น Ester ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไม่มีขั้ว คือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ โพรพาโนน เบนซีน เป็นต้น

ไลปิดซึ่งแบ่งเป็นไขมันและน้ำมันนั้นอาศัยสถานะเป็นเกณฑ์ ไขมันจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่น้ำมันจะเป็นของเหลว ทั้งไขมันและน้ำมันมีโครงสร้างอย่างเดียวกัน คือ เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล กับกรดไขมัน กลีเซอรอล (glycerol) เป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ กรดไขมัน (fatty acid) เป็นสารประเภทกรดอินทรีย์

เอสเทอร์ที่เป็นไขมันและน้ำมันเรียกกันทั่วๆ ไปว่าไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) หรือ กลีเซอริลเอสเทอร์ (glyceryl ester) เพราะเกิดมาจาก Tri มาจากกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับ glyceride มาจากกลีเซอรอล 1 โมเลกุล จากปฏิกิริยา Esterification

กรดไขมันจำเป็น (Essential Fatty Acids- EFAs) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร กรดไขมันจำเป็นเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ เส้นประสาท และอวัยวะต่างๆ มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ prostaglandins ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนทำหน้าที่สำคัญในหลายๆขบวนการของร่างกาย

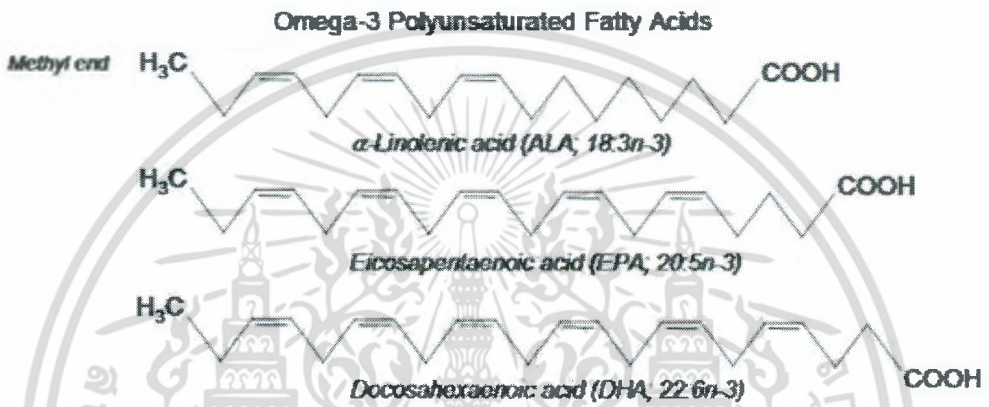
กรดไขมันจำเป็นเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวสามารถถูกทำลายได้ง่ายจากการใช้ความร้อนในการทำอาหารการเก็บอาหารที่ไม่เหมาะสม เมื่อเกิดการสลายของกรดไขมันเราจะสังเกตได้จากกลิ่นเหม็นหืนที่เกิดขึ้น

กรดไขมันจำเป็นแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ กรดไขมันโอเมก้า 3 และกรดไขมันโอเมก้า 6 ซึ่งตัวเลขที่ระบุบอกถึงตำแหน่งพันธะคู่แรกที่พบตรงตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 หรือ 6 บนโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันสายยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 น้ำมันปลา

น้ำมันปลา คือ น้ำมันที่สกัดได้จากส่วนเนื้อ หนัง หัวและหางของปลาโดยเฉพาะปลาในเขตหนาว น้ำมันปลาประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 (Khoddami et al., 2009) ซึ่งกรดไขมันโอเมก้า 3 คือ กรดไขมันจำเป็นไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่ร่างกายมีความจำเป็นต้องใช้แต่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ โดยโครงสร้างของกรดไขมันโอเมก้า 3 จะพบพันธะคู่อยู่ไม่น้อยกว่า 3 แห่ง โดยพันธะคู่แรกจะอยู่ที่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่ 3 นับจากปลายโมเลกุลด้านที่มีกลุ่มเมทิล (methyl group) เข้าไป ส่วนพันธะคู่ต่อไปจะอยู่ตรงตำแหน่งคาร์บอนถัดไปครั้งละ 3 ตำแหน่ง แสดงดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างกรดไขมันโอเมก้า 3

ที่มา : ณัฐพงษ์ บุญปอง, 2552

โอเมก้า 3 แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลดังนี้ (Scorletti et al., 2013)

1. กรดไขมัน ALA Alapha lipoic acid (ALA) พบในธัญพืช เช่น ถั่วเหลือง วอลนัท
2. กรดไขมัน EPA Eicosapentaenoic acid (EPA) พบใน ปลาทะเลน้ำลึก
3. กรดไขมัน DHA Docosahexaenoic acid (DHA) พบใน ปลาทะเลน้ำลึก

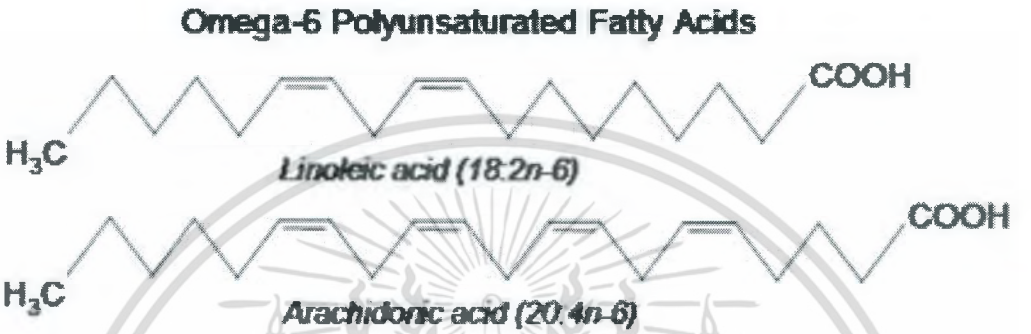
ซึ่งโอเมก้า 3 ที่มีปริมาณมากในน้ำมันปลา คือ กรดไขมัน EPA Eicosapentaenoic acid และ กรดไขมัน DHA Docosahexaenoic acid โอเมก้า 3 (ω-3 หรือ Omega 3) เป็นโครงสร้างไขมันสำคัญในสมองและจอประสาทตา นอกจากนี้ โอเมก้า-3 มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมองตับ และระบบประสาทเกี่ยวกับการพัฒนาเรียนรู้ รวมทั้งเกี่ยวกับเรตินาในการมองเห็น

โอเมก้า 3 พบมากในปลาทะเล และปลาน้ำจืดบางชนิด เนื้อปลาในด้านโภชนาการมีโปรตีนไม่น้อยไปกว่าเนื้อสัตว์บก แต่ในภาพรวมมีไขมันและโคเลสเตอรอลต่ำกว่าและยังเป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ เช่น วิตามินบี12 ไอโอดีน ฟอสฟอรัส ซิลิเนียม สังกะสี และแคลเซียม แต่สิ่งที่ทำให้วงการแพทย์ยุคใหม่สนใจมากที่สุดเห็นจะเป็น โอเมก้า 3 พบมากในปลาทะเลลึก ปลาทูน่า ปลาแซลมอน ซึ่งเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) มีพันธะคู่หลายอัน (polyunsaturated fatty acid) อีกทั้งโอเมก้า 3 นี้ ยังสามารถพบได้ในเมล็ดพืช แต่มีปริมาณน้อยกว่าจากสัตว์ทะเล (Domingo, 2007)

กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ซึ่งมีพันธะคู่หลายอัน (polyunsaturated fatty acid) โดยมีตำแหน่งของพันธะคู่ที่ตำแหน่งโอเมกา 6 ซึ่งนับจากคาร์บอนของกรดไขมันด้านปลายที่มีหมู่เมทิล (CH3-) ดังภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างกรดไขมันโอเมก้า 6
ที่มา : ณัฐพงษ์ บุญปอง (2552)

กรดไขมันโอเมก้า 6 ประกอบด้วย (Simopoulos, 2002).

1. Linoleic acid (LA) พบใน เมล็ดข้าวต่างๆ ถั่วเหลือง ดอกคำฝอย ทานตะวัน และยังพบในไขมันร่างกายของสัตว์ปีก

2. Arachidonic acid (AA) พบในไขมันร่างกายของสัตว์ปีก เนื้อแดง ไข่แดง และปลาบางชนิด

3. Gamma linolenic acid (GLA) พบในน้ำมันโบราจ น้ำมันอีฟนิ่งพริมโรส และเมล็ดแบล็คเคอเรนท์

4. Dihomogamma linolenic acid (DGLA) พบใน อวัยวะภายในของสัตว์ เช่น ม้าม ไต ต่อมหมวกไตและเมตาบอไลท์จาก GLA

2.8 ประโยชน์ของน้ำมันปลา (Shahidi and Miraliakbari, 2004.) (Innis, 2004.) (Uauy, 2001)

1. ช่วยลดระดับของไตรกลีเซอร์ไรด์ในเลือด และเพิ่มระดับของเอชดีแอลโคเลสเตอรอล ซึ่งเป็นไขมันที่ดี น้ำมันปลาสามารถลดระดับของไตรกลีเซอไรด์ลงได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันดอกคำฝอยมาก ผู้ชายที่มีระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง เมื่อให้กินปลาประมาณ 18 ออนซ์ต่อวันเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าระดับไตรกลีเซอไรด์ลดลงและระดับเอชดีแอลโคเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยลดการเกาะตัวกันของเกล็ดเลือด ทำให้เลือดไม่เกาะตัวเป็นลิ่ม เลือดจึงไหลเวียนได้ดีขึ้น ลดความหนืดของผนังหลอดเลือด ทำให้ผนังหลอดเลือดมีความยืดหยุ่น

3. ลดความดันโลหิต จากรายงานผลการศึกษาวิจัยพบว่าอาหารที่ประกอบด้วยปลาหางแข็งหรือปลาทูซึ่งมี EPA ในปริมาณ 2.2 กรัมต่อวันสามารถลดความดันเลือดซิสโตลิกในคนไข้ที่มีโรคความดันผิดปกติทาง กรรมพันธุ์ที่มีระดับไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง และทำให้เกิดโรคหัวใจในขณะที่อายุยังน้อยอยู่ อาหารที่มีปลาหางแข็งหรือปลาทู ยังช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลงได้

2.9 การใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (อนุวัตร, 2552)

การใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) เป็นการแสดงหรือตัวแทนทางเรขาคณิตที่ได้รับเมื่อผลตอบสนองของตัวแปร (Response) ถูกสร้างเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านั้น เทคนิคทางสถิตินี้ใช้แผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่สนใจ ผลที่ได้คือ สามารถที่จะหาสูตร หรือสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจ โดยความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้คือ การวางแผนการทดลอง การวิเคราะห์สมการถดถอย และความรู้ในโปรแกรมที่สร้างแผนภาพคอนทัวร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธี RSM สามารถแสดงได้ดังสมการ $Y = f(X_1, X_2, \ldots X_n) + E$ โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนอง (Response) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ $X_1, X_2, \ldots X_n$ คือ ตัวแปรที่สนใจ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ส่วน E = error term ของความสัมพันธ์หรือฟังก์ชันของตัวแปร ตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่หนึ่ง (First order model) หรือสมการลำดับที่สอง (Second order model) หรือสมการโพลีโนเมียล (Polynomial model) เป็นตัวอธิบายโดยวิธีทางสถิติที่ใช้ คือ วิธีการกำลังสองที่น้อยที่สุด (The least square method) เพื่อประมาณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยฟังก์ชันที่ใช้เรียกว่า Fitted response function: $y = b_0 + b_1x_1 + \ldots + b_nx_n$

แผนภาพคอนทัวร์ เป็นอนุกรมของเส้นหรือกราฟ ซึ่งมีค่าที่แน่นอนและคงที่ สอดคล้องกับระดับหรือปัจจัยที่เปลี่ยนไป แผนภาพคอนทัวร์มีหลายแบบสอดคล้องกับสมการถดถอยที่ตรวจสอบได้ เช่น mound-shaped, stationary-ridge, rising ridge, saddle โดยแผนภาพคอนทัวร์ที่สร้างแผนภาพสามมิติเรียกว่า surface plot ส่วนของขั้นตอนการทำ RSM มีดังนี้

1.เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสม ที่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้างคอนทัวร์พลอต

2.สร้างแบบจำลองหรือสมการเชิงเส้นที่ดีที่สุด

3.สร้างแผนภาพคอนทัวร์ หรือ surface plot จากสมการที่หามาได้

4.ตรวจสอบหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (Optimization)

5.พิสูจน์แบบจำลอง (varidation) โดยการทำการทดลองใหม่จากจุดที่เหมาะสม ภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว แล้วเปรียบเทียบกับค่าการทดลอง และค่าที่ได้ทำนายจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสมให้สร้างแบบจำลองใหม่ (ทำซ้ำข้อ 2-5)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิสิทธิ์ ศรีวิรัตน์ และคณะ (2541) ทำการศึกษาการแยกน้ำมันดิบจากหัวปลาทูน่าที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่งโดยวิธี wet reduction โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคืออุณหภูมิการให้ความร้อน (75 85 และ 95 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา (10 20 และ 30 นาที) ต่อปริมาณผลผลิต สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบ โดยใช้แรงบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส 140 ดันต่อตารางเมตร สภาวะที่เหมาะสมสำหรับแยกน้ำมันดิบ คือ ให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผลผลิตของน้ำมันดิบจากหัวปลาที่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่งได้ร้อยละ 2.80 และ 4.76 ตามลำดับ น้ำมันดิบที่ได้จากหัวปลาที่ไม่ผ่านการนึ่งมีคุณภาพสูงกว่าหัวปลาที่ผ่านการนึ่ง

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และคณะ (2555) ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสกัดน้ำมันดิบจากเศษเหลือจากปลาทูน่า โดยศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือจากปลาทูน่า พบว่า ส่วนหัวปลา และอวัยวะภายในมีปริมาณไขมันร้อยละ 14.03 และ 5.11 ตามลำดับ จากนั้นศึกษาผลของชนิดวัสดุเศษเหลือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นหรือแช่แข็ง และวิธีการสกัดต่อปริมาณผลได้ของน้ำมันปลา จากการแช่เย็น พบว่า ทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณผลได้ ($p<0.05$) โดยชนิดของวัสดุเศษเหลือที่เป็นหัวปลา ที่เก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่ 0 วัน และสกัดด้วยการใช้ไอน้ำร้อนทำให้ได้ปริมาณผลได้ของน้ำมันสูงที่สุดคือ ร้อยละ 2.88 สำหรับกรณีการแช่แข็ง พบว่า ชนิดวัสดุเศษเหลือและวิธีการสกัดมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณผลได้ ($p<0.05$) การนำวัสดุเศษเหลือที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง 1 5 และ 10 วัน โดยหัวปลาสกัดโดยใช้ไอน้ำร้อนทำให้ได้ปริมาณผลได้ของน้ำมันสูงที่สุดคือ ร้อยละ 2.88 และรองลงมาคือ การสกัดโดยให้ความร้อนโดยตรงได้ปริมาณผลได้เท่ากับร้อยละ 2.26 และการสกัดน้ำมันจากวัสดุเศษเหลือชนิดอวัยวะภายในช่องท้อง สกัดโดยให้ความร้อนโดยตรง ให้ปริมาณผลได้เท่ากับร้อยละ 0.37 ตามลำดับ จากนั้นนำกากมาสกัดในขั้นตอนที่สองโดยใช้ตัวทำละลาย พบว่าการสกัดแบบสองขั้นตอนทำให้ได้รับปริมาณร้อยละผลได้เพิ่มมากขึ้น ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่มีปริมาณผลได้สูงที่สุดคือการสกัดแบบสองขั้นตอนจากหัวปลาที่เก็บรักษาโดยการแช่เย็น 0 วัน หรือ แช่แข็ง 1 วัน มีปริมาณผลได้ร้อยละ 7.95 เมื่อนำน้ำมันดิบที่สกัดได้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้สี (a*) ค่า Acid Value ค่า Peroxide ค่าคุณภาพทั้งประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน และสีน้ำตาล มีแนวโน้ม

Aidos, van-der-Padt, Boom, and Luten (2001) ศึกษาการผลิตน้ำมันจากวัสดุเศษเหลือจากปลาเฮริง โดยในขั้นตอนการสกัดน้ำมันประกอบด้วย การบด การให้ความร้อน (อุณหภูมิ 95 °C นาน 8 นาที) และหมุนเหวี่ยงแยกที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 4 นาที พบว่าเป็นสภาวะการสกัดน้ำมันที่ดี นอกจากนั้นยังทำการศึกษาผลของความสดที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันปลาที่สกัดได้ Aidos, van-der-Padt, Boom, and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Luten (2003) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันประกอบด้วย อุณหภูมิการให้ความร้อน ความเร็วของการหมุนเหวี่ยง และความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ (Aidos, Kreb, et al., 2003)

Okada and Morrissey (2007) ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันปลาแบบใหม่ โดยทดลองใช้ปลาซาร์ดีนและทำการปรับ pH ให้อยู่ที่จุด isoelectric point เพื่อทดแทนการให้ความร้อนกับวัตถุดิบ ซึ่งมีแนวโน้มพบว่าสามารถนำมาใช้เป็นวิธีการสกัดน้ำมันปลาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

หัวและหางปลาแมคเคอเรลแช่แข็ง ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) กระป๋องอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Aluminium can)
2) โถดูดความชื้น (Desiccator)
3) ที่คีบ (Tong)
4) บีกเกอร์ (Beaker) ปริมาตร 2000 ml
5) ขวดก้นกลมขนาด 500 ml และ 1000 ml
6) กระบอกตวง (Graduate cylinder) ขนาด 1000 ml
7) หลอดทดลองพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง
8) Kjeldahl flask
9) Boiling chip
10) บิวเรต 50 ml (Buret) และขาตั้งบิวเรต (stand Buret)
11) ขวดชมพู่ขนาด (Erlenmeyer flask) 250 และ 500 ml

3.1.3 สารเคมี

1) คอปเปอร์ (II)ซัลเฟต ($CuSO_4$) (Merck, Germany)
2) โพแทสเซียมซัลเฟส (K_2SO_4) (Merck, Germany)
3) กรดบอริก 2 % (Merck, Germany)
4) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (Merck, Germany)
5) สารละลายอินดิเคเตอร์ (Merck, Germany)
6) เอธิลแอลกอฮอล์ (Merck, Germany)
7) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Carlo Erba Reagenti, Italy)

3.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์

1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น TE214S, Switzerland)
2) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Ohaus Balance 2 decimal Ohaus รุ่น ARC120)
2) เครื่องระเหยสาร (evaporator) รุ่น BUCHI vacuum pump V-700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เครื่องเหวี่ยงสารตกตะกอน (Centrifuge) (BECKMAN รุ่น Allegra X-12R)

4) เครื่องย่อยโปรตีน Gerhardt (Kjeldatherm Digestion Block รุ่น KB(KB-8S))

5) เครื่องปั่นแห้ง (Blender) (Philip รุ่น HR2115 600W)

6) เครื่องกลั่น Gerhardt (Distillation Unit รุ่น Vapodest 30

7) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert รุ่น UNB400, Germany)

8) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (รุ่น SOX406 SOX406; Soxhlet, China

9) เครื่องให้ความร้อน (hot plate) IKA

10) ตู้แช่แข็ง (Panasonic, Thailand)

3.2 วิธีดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมวัสดุเศษเหลือ

วัสดุเศษเหลือส่วนหัวและหาง ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องในซอสมะเขือเทศ ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด นำมาบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) 1 กิโลกรัมต่อถุง เก็บรักษาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และนำวัสดุเศษเหลือส่วนหัวและหางปลาแมคเคอเรลที่บรรจุอยู่ในถุงมาละลายโดยการเปิดน้ำไหลผ่านเพื่อให้น้ำแข็งละลายเป็นเวลา 2 ชม. ก่อนนำมาทำการทดลอง

3.2.2 ศึกษาสัดส่วนของหัวและหางปลาแมคเคอเรลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา

นำวัสดุเศษเหลือส่วนหัวและหางมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความชื้น ไขมัน และโปรตีน ตามวิธีการของ (AOAC, 2000) และนำหัวปลาและหางปลาแมคเคอเรลมาบดรวมกันด้วยเครื่องบด รุ่น Philip-HR2115 600W โดยบดให้ละเอียด จากนั้นนำปลาบดที่ได้มาศึกษาการสกัดน้ำมันโดยวิธีการต้มโดยมีปัจจัยศึกษาเป็นสัดส่วนของหัวและหางปลาบดต่อน้ำ โดยแปรสัดส่วนเป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ซึ่งใช้วิธีการสกัดน้ำมันด้วย hot plate โดยต้มที่อุณหภูมิ 95°C นาน 8 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกจากของผสมโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไประเหยน้ำออก จากนั้นคำนวณปริมาณผลผลิต (%yield) ที่ได้ตามสมการ

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ได้}}{\text{น้ำหนักหัวและหางปลาบด}} \times 100$$

ทำการทดลอง *2* ซ้ำวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อหาสัดส่วนของหัวและหางปลาบดต่อน้ำที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรลโดยการเตรียมเหมือนข้อ 3.2.2 โดยมีปัจจัยศึกษาเป็นอุณหภูมิ และระยะเวลา เมื่อใช้อุณหภูมิในช่วง 80–100°C และใช้ระยะเวลาการสกัดในช่วง 8–30 นาที ใช้การทดลองแบบ Response surface Methodology (RSM) แบบ Central composite design (ตารางที่ 3.1) จากนั้นนำมาแยกน้ำมันโดยการใช้กรวยแยกนำตัวอย่างน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์

3.2.3.1 ปริมาณผลผลิต (%yield)

3.2.3.2 ปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมด (AOAC, 2005) (สภาวะที่ได้ผลผลิตสูงสุด) (ภาคผนวก)

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์ที่ได้แต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธี RSM และพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Desirability function เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล โดยใช้การทดลองแบบ Response surface Methodology (RSM) แบบ Central composite design

Run	Coded		Uncoded	
	X_1	X_2	Time (min)	Temp (°C)
1	0	-1	19	80
2	-1	-1	8	80
3	-1	0	8	90
4	0	0	19	90
5	+1	-1	30	80
6	-1	+1	8	100
7	0	0	19	90
8	0	0	19	90
9	0	0	19	90
10	+1	+1	30	100
11	0	+1	19	100
12	0	0	19	90
13	+1	0	30	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ศึกษาการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสม เพื่อผลิตปลากระป๋องให้มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงขึ้น

นำน้ำมันปลาที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสมตามข้อ 3.3.2 มาใช้ผสมในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง โดยน้ำมันที่สกัดได้ใช้แทนน้ำในสูตร ซึ่งเป็นส่วนผสมหนึ่งในซอสมะเขือเทศ น้ำมันที่สกัดได้นั้นใช้ทดแทนในสัดส่วน 0 5 10 และ 15% จากนั้นบรรจุซอสที่ได้ลงในกระป๋อง แล้วผลิตเป็นปลากระป๋องตามกระบวนการผลิตของโรงงาน นำตัวอย่างปลากระป๋องที่ได้มาวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้

3.2.4.1 ปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมด (AOAC, 2005) (วิเคราะห์เฉพาะสูตรที่โรงงานยอมรับ)

3.2.4.2 ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวมแบบ 5 point hedonic scale

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองในข้อ 3.2.4.1 โดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ส่วนผลการทดลองในข้อ 3.2.4.2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อหาปริมาณการทดแทนน้ำมันที่เหมาะสมในสูตรซอส เพื่อให้ได้ปลากระป๋องที่มีโอเมก้า 3 สูงขึ้น

3.2.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บ

นำตัวอย่างปลากระป๋องที่เติมน้ำมันที่สกัดได้ที่ใช้แทนน้ำในสูตร ซึ่งเป็นส่วนผสมหนึ่งในซอสมะเขือเทศ โดยเลือกปลากระป๋องที่เติมน้ำมันปลาในสัดส่วนที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากที่สุด มาเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 เดือน ติดตามการเปลี่ยนแปลงทุกเดือน ทดสอบตัวอย่างที่เก็บตามข้อ 3.2.4.1-3.2.4.2 และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.4 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องที่ใช้น้ำมันปลาทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลของสัดส่วนของหัวและหางปลาแมคเคอเรลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา

วัสดุเศษเหลือส่วนหัว และหางจากกระบวนการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องในซอสมะเขือเทศ ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด ก่อนที่จะนำมาศึกษาการสกัดน้ำมันปลา นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1

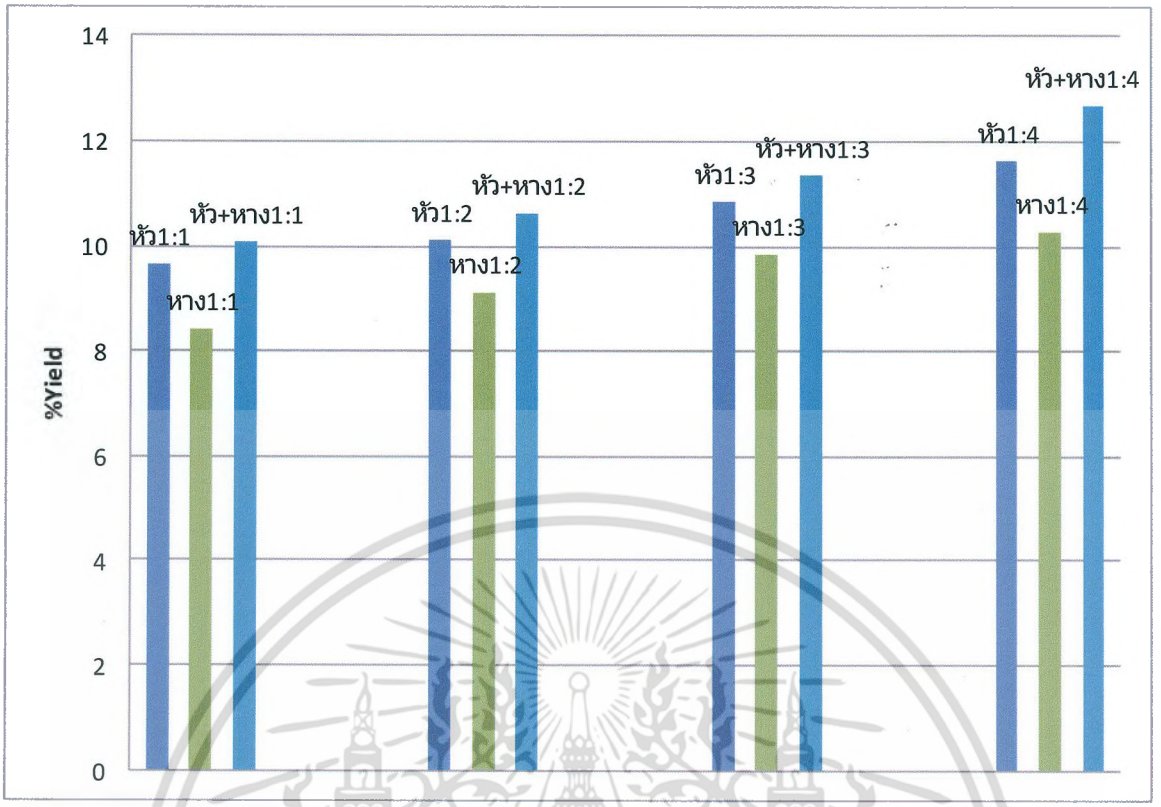
ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันของวัสดุเศษเหลือ

องค์ประกอบทางเคมี	หัว	หาง
	ร้อยละ (%)	
ความชื้น	1.07±0.01	1.08±0.02
โปรตีน	41.40±0.25	47.13±0.07
ไขมัน	20.81±0.44	7.22±0.09

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือ พบว่าวัสดุเศษเหลือส่วนหัว ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน และไขมัน ร้อยละ 1.07, 41.40 และ 20.81 ตามลำดับ และพบว่าวัสดุเศษเหลือส่วนหาง ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน และไขมัน ร้อยละ 1.08, 47.13 และ7.22 ตามลำดับ โดยพบว่าวัสดุเศษเหลือส่วนหัวมีปริมาณไขมันสูงมาก จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุเศษเหลือจากการผลิตปลากระป๋องมาสกัดน้ำมันปลาได้

การสกัดน้ำมันปลาที่ใช้การสกัดด้วยน้ำนั้นจำเป็นต้องศึกษษสัดส่วนที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา จากหัวและหางปลาแมคเคอเรลที่เหลือจากกระบวนการผลิตปลากระป๋อง โดยนำหัวและหางปลาบดรวมกันแล้วสกัดด้วยวิธีการต้ม โดยใช้สัดส่วน หัวและหางปลาบดต่อน้ำเป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ต้มที่อุณหภูมิ 95°C นาน 8 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกจากของผสมโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไประเหยน้ำออก แล้วนำน้ำมันที่ได้ในแต่ละสัดส่วนมาคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ (%yield) ได้ผลดังภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ผลของสัดส่วนหัวและหางปลาบดต่อปริมาณน้ำในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันปลาที่ได้

จากการศึกษาผลของสัดส่วนหัวและหางปลาบดต่อปริมาณน้ำในการสกัดน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันปลา พบว่าสัดส่วนที่ใช้มีผลทำให้ปริมาณน้ำมันปลที่สกัดได้ต่างกัน ซึ่งเมื่อใช้ปริมาณน้ำในการสกัดมากขึ้นจะ ได้ปริมาณผลผลิตมากกว่าการใช้น้ำในการสกัดที่น้อยกว่า อาจเนื่องมาจากน้ำสามารถแทรกเข้าสู่โครงสร้างภายในหัวและหางของปลาได้ดี น้ำจึงเป็นตัวช่วยในการสกัดน้ำมันออกมา จากการทดลองศึกษาใช้สัดส่วนปลาต่อปริมาณน้ำ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ในทุกสัดส่วนที่ทดลอง พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากการใช้สัดส่วนปลาเท่ากันแต่เพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดมากขึ้นตามอัตราส่วน ทำให้ได้รับปริมาณผลผลิตน้ำมันปลาเพิ่มมากขึ้นกว่าการทดลองที่ใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่า อาจเพราะน้ำสามารถแทรกเข้าสู่โครงสร้างภายในเศษปลาแล้วจึงช่วยสกัดน้ำมันออกมา ยิ่งมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น น้ำจะช่วยสกัดน้ำมันออกมาได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ central composite design ซึ่งมีตัวแปร 2 ตัวในการศึกษา คือ เวลา (X_1) และ อุณหภูมิ (X_2) โดยมีการออกแบบและผลการวิเคราะห์การสกัดน้ำมันปลาแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การออกแบบและผลการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

Run	Code		Uncode		Yield (%)
	X_1	X_2	Time (Min)	Temp (°C)	
1	+1	+1	30	100	10.53±0.36
2	-1	0	8	90	12.50±0.43
3	0	0	19	90	11.18±0.38
4	0	+1	19	100	11.57±0.24
5	0	0	19	90	10.10±0.45
6	-1	+1	8	100	13.44±0.23
7	0	-1	19	80	10.99±0.31
8	0	0	19	90	10.39±0.15
9	0	0	19	90	11.12±0.06
10	0	0	19	90	10.03±0.59
11	+1	-1	30	80	11.84±0.42
12	-1	-1	8	80	9.28±0.24
13	+1	0	30	90	11.36±0.21

จากตารางที่ 4.2 ประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ซึ่งจากการทดลองใช้สัดส่วนปลาต่อปริมาณน้ำ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ประกอบด้วยหัวและหาง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 100°C เวลา 8 นาที ซึ่งมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา คือ 100°C 8 นาที ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 13.44 % และปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทำนายโดยใช้สภาวะดังกล่าวนี้มีค่าเท่ากับ 13.28 % โดยมีค่าความพึงพอใจรวม (Desirability) เท่ากับ 0.96 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจากสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aidos, *et al.* (2001) รายงานว่าการผลิตน้ำมันปลาจากปลาเฮริงมีกระบวนการสกัดประกอบด้วย การบด การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C นาน 8 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ดี และงานวิจัยของ Chantachum, *et al.* (2000) รายงานว่าการให้ความร้อนหัวปลาทูน่าในการสกัดน้ำมัน 85°C นาน 30 นาที เป็นสภาวะที่ดีเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ทำนาย

$$\%yield = -14.87+1.09* X_1+0.29*X_2 -0.01* X_1*X_2$$

เมื่อ X_1= time

X_2 = temperature

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการสกัดน้ำมันปลา

source	Sum of square	Mean	P-value
Model	9.81	3.27	0.0145*
X_1	0.37	0.37	0.4248ns
X_2	1.96	1.96	0.0865ns
X_1X_2	7.48	7.48	0.0045**
Residual	4.77	0.53	
Lack of fit	3.55	0.71	0.2168ns
Pure error	1.22	0.30	
R^2	0.67		
Desirability = 0.96			

* significant at $p \leq 0.05$, ** significant at $p \leq 0.01$

ผลของความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลมากที่สุด พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 100°C เวลา 8 นาที ในการสกัด น้ำมันปลาที่ได้มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ (p=0.0045) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้ความร้อนสูงขึ้นจึงไปทำลายโครงสร้างภายในกล้ามเนื้อ ทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการเพื่อทำนายการสกัดน้ำมันปลาได้ดังสมการ ซึ่งสมการที่ได้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.67 และเมื่อพิจารณา ค่า p–value ของโมเดลการสกัดน้ำมันปลา พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.0145) โดยที่ค่า Lack of fit มีค่า p-value เท่ากับ 0.21 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเหมาะสมที่จะใช้การวิเคราะห์แบบ RSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง เมื่อนำตัวอย่างน้ำมันปลาที่ได้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด ซึ่งสกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาวิเคราะห์ปริมาณโอเมก้า 3 ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโอเมก้า 3 ในน้ำมันปลาที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสม

Fatty acid composition (g/100g)	**ตัวอย่างน้ำมันปลาที่สกัดได้**
Linolenic acid (C18:3, ALA)	0.07
g-Eicosatrienoic acid (C20:3)	ND
Eicosapentaenoic acid (C20:5, EPA)	0.08
Docosahexaenoic acid (C22:6, DHA)	0.39
Total Omega-3	0.54

***ND = not detect

พบว่า ตัวอย่างน้ำมันปลาที่สกัดได้มีค่า Linolenic acid (ALA) เท่ากับ 0.07 g/100g ค่า Eicosapentaenoic acid (EPA) เท่ากับ 0.08 g/100g ค่า Docosahexaenoic acid (DHA) เท่ากับ 0.39 g/100g และค่า Total Omega-3 เท่ากับ 0.54 g/100g ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณโอเมก้า 3 นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gian, *et al.* (2014) รายงานว่าปริมาณค่า Eicosapentaenoic acid (EPA) และปริมาณค่า Docosahexaenoic acid (DHA) ที่วิเคราะห์ได้จากปลาแมคเคอเรลกระป๋องมีค่าเท่ากับ 0.24 g/100g และ 0.85 g/100g ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณโอเมก้า 3 ที่ได้นั้นมีค่าต่างกันเล็กน้อย อาจเนื่องจากปลาแมคเคอเรลที่ใช้ในการทดลองนั้นมาจากแหล่งที่อยู่ที่แตกต่างกัน แหล่งอาหารที่ปลาบริโภคจึงมีความแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณสารอาหารที่สามารถตรวจพบได้ในตัวปลาจึงมีความแตกต่างกัน น้ำมันปลาที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.2 น้ำมันที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมเพื่อผลิตปลากระป๋อง

เมื่อสกัดน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม แล้วนำน้ำมันที่ได้มาผสมในส่วนผสมซอสสำหรับเติมในปลาแมคเคอเรลกระป๋องในปริมาณต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

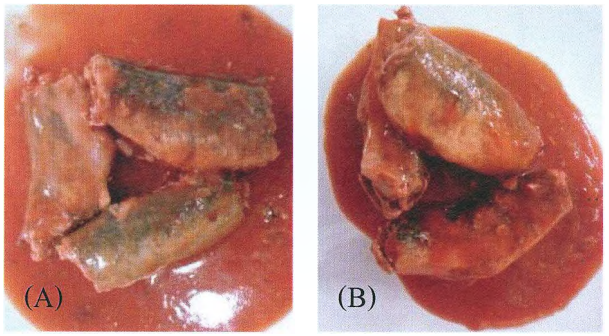
ตารางที่ 4.5 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาแมคเคอเรลกระป๋องเมื่อเติมน้ำมันปลาในซอสปริมาณต่างกัน

Attributes	fish oil (% by weight)			
	0	5	10	15
Appearance	$4.1^{b} \pm 0.31$	$3.4^{a} \pm 0.69$	$3.5^{a} \pm 0.69$	$4.0^{b} \pm 0.20$
Color	$3.8^{a} \pm 0.32$	$3.8^{a} \pm 0.32$	$4.1^{b} \pm 0.61$	$3.9^{a} \pm 0.41$
Flavor	$3.1^{a} \pm 0.38$	$3.2^{a} \pm 0.46$	$3.6^{b} \pm 0.50$	$3.2^{a} \pm 0.42$
Taste^{ns}	3.2 ± 0.56	3.3 ± 0.59	4.0 ± 0.30	3.7 ± 0.41
Texture	$3.7^{a} \pm 0.76$	$3.9^{a} \pm 0.75$	$4.4^{b} \pm 0.73$	$3.6^{a} \pm 0.89$
Over all liking	$3.9^{b} \pm 0.62$	$3.6^{a} \pm 0.66$	$5.0^{b} \pm 0.25$	$3.3^{a} \pm 0.57$

^{a,b,c} Means within the same row with different superscript letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคเคอเรลกระป๋องเมื่อเติมน้ำมันปลาในระดับที่ต่างกัน โดยใช้เจ้าหน้าที่จากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และฝ่ายผลิต ของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเฟ้ง 1958) จำกัด พบว่าการเติมน้ำมันปลาที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องในสัดส่วนต่างกัน มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคเคอเรลกระป๋อง แต่ไม่มีผลต่อรสชาติ จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในซอสเป็นปริมาณที่เหมาะสมโดยทำให้ปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่า ตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำมันปลาอย่างมีนัยสำคัญ และจากการทดลอง พบว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ทำให้ pH ของซอส มีค่า 5.76 ซึ่งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติมน้ำมันปลาที่มีค่า pH เท่ากับ 6.0 อาจเนื่องมาจากปริมาณกรดไขมันที่มีอยู่ในโอเมก้า 3 ที่เติมลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่เพิ่มขึ้น มีส่วนทำให้ค่า pH ของซอสนั้นลดลง และการเติมน้ำมันปลา 10% ไม่ทำให้ลักษณะปรากฏของปลากระป๋องเปลี่ยนแปลงไป ดังภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปลากระป๋องที่ไม่เติม (A) และเติมน้ำมันปลา 10% (B)

เมื่อได้สัดส่วนน้ำมันปลาที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด จากเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และฝ่ายผลิต ของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเฟ้ง 1958) จำกัด แล้วนำสัดส่วนน้ำมันปลาที่ได้เติมลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง จากนั้นนำปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับสูตรดั้งเดิมที่ไม่ได้เติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมของการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโอเมก้า 3 ในปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรดั้งเดิมและสูตรที่เติมน้ำมันปลา 10%

Fatty acid composition (g/100g)	**ปลาแมคเคอเรลกระป๋อง สูตรดั้งเดิม**	**ปลาแมคเคอเรลกระป๋อง สูตรเติมน้ำมันปลา 10%**
Linolenic acid (C18:3, ALA)	ND	0.06
g-Eicosatrienoic acid (C20:3)	ND	ND
Eicosapentaenoic acid (C20:5, EPA)	0.06	0.06
Docosahexaenoic acid (C22:6, DHA)	0.40	0.28
Total Omega-3	0.45	0.40

***ND = not detect

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมด ที่ได้จากการเติมน้ำมันปลาในสัดส่วน 10% ลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง และปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรดั้งเดิมที่ไม่ได้มีการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง พบว่าปลากระป๋องทั้ง 2 สูตร ตรวจพบโอเมก้า 3 ชนิด Eicosapentaenoic acid (EPA) Docosahexaenoic acid (DHA) และ Total omega 3 จากผลการวิเคราะห์ ปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่เติมน้ำมันปลาในสัดส่วน 10% ลงในส่วนผสมซอส สามารถตรวจพบโอเมก้า 3 ชนิด Linolenic acid เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งชนิด ซึ่งปลาแมคเคอแรลกระป๋องสูตรดั้งเดิมที่ไม่ได้มีการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมซอสจะตรวจไม่พบโอเมก้า 3 ชนิดนี้ จากผลที่ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในซอส ทำให้ปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นมากกว่าปลาแมคเคอเรลกระป๋องที่ไม่ได้มีการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมซอส

4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องเสริมโอเมก้า 3 ระหว่างการเก็บ

เมื่อนำปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรที่เติมน้ำมันปลา 10% มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 เดือน แล้วติดตามปริมาณโอเมก้า 3 ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาทุก ๆ เดือน ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโอเมก้า 3 ในปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรที่เติมน้ำมันปลาเมื่อเก็บนาน 5 เดือน

Fatty acid composition	**Storage time (Months)**				
(g/100g)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Linolenic acid (C18:3, ALA)	0.06	0.06	0.05	0.06	0.04
g-Eicosatrienoic acid (C20:3)	ND	ND	ND	ND	ND
Eicosapentaenoic acid (C20:5, EPA)	0.06	0.09	0.09	0.07	0.15
Docosahexaenoic acid (C22:6, DHA)	0.28	0.36	0.38	0.32	0.65
Total Omega-3	0.40	0.51	0.52	0.45	0.8

***ND = not detect

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมด ที่ได้จากการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง ซึ่งทดแทนน้ำในสูตร โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน พบว่าปริมาณโอเมก้า 3 โดยส่วนมากมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และจากการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง ซึ่งทดแทนน้ำในสูตรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 เดือน แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบในทุก ๆ เดือน ได้ผลดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรที่เติมน้ำมันปลาเมื่อเก็บนาน 5 เดือน

Attributes	Storage time (Months)				
	1	2	3	4	5
Appearance	$4.2^{a} \pm 0.42$	$4.0^{a} \pm 0.66$	$3.9^{a} \pm 0.73$	$4.1^{a} \pm 0.31$	$2.6^{b} \pm 0.84$
Color	$4.1^{a} \pm 0.56$	$3.9^{a} \pm 0.73$	$4.2^{a} \pm 0.42$	$3.9^{a} \pm 0.99$	$2.8^{b} \pm 0.91$
Flavor	3.5 ± 0.70	3.8 ± 0.63	3.5 ± 0.52	3.5 ± 0.84	2.8 ± 0.78
Taste	3.5 ± 1.26	3.5 ± 0.70	3.8 ± 0.42	3.2 ± 1.03	3.0 ± 0.94
Texture	$4.3^{a} \pm 0.67$	$4.3^{a} \pm 0.67$	$4.2^{a} \pm 0.78$	$4.2^{a} \pm 0.91$	$3.4^{a} \pm 0.84$
Over all liking	$3.8^{a} \pm 0.91$	$3.7^{a} \pm 0.82$	$3.9^{a} \pm 0.87$	$3.6^{a} \pm 0.84$	$3.1^{a} \pm 0.99$

^{a,b,c} Means within the same row with different superscript letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคเคอเรลกระป๋องสูตรเติมน้ำมันปลา 10% ลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง ซึ่งทดแทนน้ำในสูตร โดยใช้เจ้าหน้าที่จากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และฝ่ายผลิต ของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด พบว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องและเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 เดือน มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยเมื่อเก็บนาน 5 เดือน ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสลดลง แต่การยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันเมื่อเก็บไว้ 5 เดือน แสดงว่าการเติมน้ำมันปลาลงในซอสจะมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏของปลากระป๋อง แต่ไม่ส่งผลต่อความชอบโดยรวม ดังนั้นในการผลิตจริงควรมีการปรับสูตรซอสให้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาเมื่อศึกษาด้วยวิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง คือการใช้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที และสามารถทำนายปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่า 13.28%

5.1.2 การเติมปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวัสดุเศษเหลือ 10% ทำให้คุณภาพของปลากระป๋องโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรดั้งเดิม

5.1.3 การเก็บปลากระป๋องเสริมน้ำมันปลาทำให้ปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมดเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บ แต่ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของปลากระป๋องลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาสูตรซอสที่ใช้น้ำมันปลาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติม เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตการวิจัย

1. สามารถผลิตบทความตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับชาติได้ 1 บทความ (ภาคผนวก ค) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิต ปลาแมคเคอเรลกระป๋องและการใช้ประโยชน์. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 1085-1091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2555. ปลาแมคเคอเรล. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3298/mackerel (อ้างถึง 22 มกราคม 2558)

ณัฐพงษ์ บุญปอง. 2552. ไขมันส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.sahavicha.com/?name=knowledge&file=readknowledge&id=71. (อ้างถึง 8 พฤษภาคม 2558)

นิสิทธิ์ ศรีวิรัตน์, สุทธวัฒน์ เบญจกุล, และ สุกัญญา จันทะชุม. 2541. การแยกและคุณภาพของน้ำมันดิบจากหัวปลาทูน่าที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่ง. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, นิสานารถ กระแสร์ชล, นภาพร เต๊ะฮาลัง, และ จีรฏิญา จันทร์อนันต์. 2555. ผลของสภาวะการเก็บรักษาวัสดุเศษเหลือจากปลาทูน่าและการพัฒนาวิธีการสกัดน้ำมันปลา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

Aidos, l., A. van-der-Padt, R. M. Boom, and J. B. Luten. 2001. Upgrading of maatjes herring byproducts: Production of crude fish oil. Journal Agric. Food Chem 49: 3697-3704.

Arvanitoyannis, I. S, and A. Kassaveti. 2008. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. International. Journal Food Science and Technology. 43: 726-745.

Augusto, P.E.D., Tribst. A.A.L., and M. Cristianini. 2014. THERMAL PROCESSES Commercial Sterility (Retort). Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) Pages 567–576

Chantachum, S., S. Benjakul, and N. Sriwiwat. 2000. Seperation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. Food Chemistry 69: 289-294.

Covadonga, R., C. Acosta, P. Badía, J.R. Cejas, F.J. Santamaría and A. Lorenzo, 2004. Assessment of lipid and essential fatty acids requirements of black seabream (*Spondyliosoma cantharus*) by comparison of lipid composition in muscle and liver of wild and captive adult fish. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B 139: 619-629.

Crexi, V.T., Souza-Soares. L.A., and L.A.A. Pinto. 2009. Carp (*Cyprinus carpio*) oils obtained by fishmeal and ensilage processes: characteristics and lipid profiles. International Journal of Food Science and Technology 44: 1642-1648.

Domingo, J. L. 2007. Omega-3 fatty acids and the benefits of fish consumption: Is all that glitters gold? Environment International 33: 993-998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eduardo Lopez-Huertas. 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies, Pharmacological Research. 61: 200-207

FAO, 1986. The production of fish meal and oil. F. F. T. Paper, vol. 142. Rome (Italy): FAO 63 pp.

Gian, C.T., Giorgio, C., Alberto, R., Pietro, c., Daniela, G., and Ettore, N. 2014. Canned Bluefin tuna, an in vitro cardioprotective functional food potentially safer than commercial fish oil based pharmaceutical formulations. Journal Food and Chemical Toxicology. 71: 231-235.

Innis, S.M., 2004. Polyunsaturated fatty acids in human milk: an essential role in infant development Advances in Experimental Medicine and Biology, 554: 27-43.

Khoddami, A. Ariffin, AA. Bakar, J. and HM. Ghazali. 2009. Fatty acid profile of the oil extracted from fish waste (Head, intestine and liver) (Sardinella lemuru). World Appl Sci J. 7: 127-131.

Lopez-Huertas, E. 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. Pharmacological Research 61: 200-207.

Liaset, B. and M. Espe. 2008. Nutritional composition of soluble and insoluble fractions obtained by enzymatic hydrolysis of fish-raw materials. Process Biochemistry 43: 42-48.

Mbatia, B., Adlercreutz, P., Mulaa, F., Mattiasson, B., 2010a. Enzymatic enrichment of omega 3 polyunsaturated fatty acids in Nile perch (Lates niloticus) viscera oil. Euro. Journal Lipid Science Technology. 112: 977-984.

Mbatia, B., Adlercreutz, D., Adlercreutz, P., Mahadhy, A., Mulaa, F., Mattiasson, B., 2010b. Enzymatic oil extraction and position analysis of omega 3 fatty acid in Nile perch and salmon heads. Process Biochemistry. 45: 815-819.

Mozaffarian, D. R. Micha, and S. Wallace. 2010. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials Plos Medicine.

Okada, T., and M. T. Morrissey. 2007. Recovery and characterization of sardine oil extracted by pH adjustment. Journal Agric. Food Chem 55: 1808-1813.

Ramakrishnan, V.V. 2013. Enzymatic Extraction of Proteins and Amino Acids from Whole Fish and Fish Waste. Degree of Master of Applied Science, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.

Scorletti, E. and C. D. Byrne. 2013. Omega-3 fatty acids, hepatic lipid metabolism, and nonalcoholic fatty liver disease. Annual review of nutrition 33: 231–248.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shahidi, F. and H. Miraliakbari, 2004. Omega-3 (n=3) fatty acid in health and disease: part1-cardiovascular disease and cancer. Journal of Medicinal Food, 7(4): 387-401.

Simopoulos, A. P. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. Biomedicine & Pharmacotherapy 56 (8): 365–379.

Uauy, R., D.R. Hoffman and P. Peirano, 2001. Essential fatty acids in visual and brain development. Lipids, 36: 885-895.

Wu, T.H. Nigg, J.D. Stine, J.J. and Bechtel, P.J. 2011. Nutritional and Chemical Composition of By-Product Fractions Produced from Wet Reduction of Individual Red Salmon (Oncorhynchus nerka) Heads and Viscera. Journal of Aquatic Food Product Technology 20: 183-195.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเคมี

ก-1. การวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

2) อลูมิเนียม แคน (aluminium can)

3) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

4) โถดูดความชื้น (desiccator)

5) ที่คีบ (Tong)

วิธีการทดลอง

1) นำ aluminium can อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำ aluminium can ใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2-5 กรัม (ทำ 3 ซ้ำ) โดยอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝา aluminium can ไว้ เมื่อครบเวลาปิดฝาทำให้เย็นใน desiccator

3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

ก-2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

2) Kjeldahl flask

3) เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นไนโตรเจน

4) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

5) Erlenmeyer flask ขนาด 250-500 มิลลิลิตร

6) Boiling chip ขนาด 2 เม็ด

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริกเข้มข้น

2) กรดบอริกร้อยละ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 หรือ 0.01 N

4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32

5) ตัวเร่ง (catalyst) (เตรียมจาก 1:8 ของ $CuSO_4/K_2SO_4$)

6) สารละลายอินดิเคเตอร์

เตรียมร้อยละ 0.1 Bromocresol green ใน alcohol ร้อยละ 95

เตรียมร้อยละ 0.1 Methyl red ใน alcohol ร้อยละ 95

นำร้อยละ 1 Bromocresol green จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมกับร้อยละ 0.1 Methyl red จำนวน 1 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน

2) นำหลอดย่อยโปรตีนไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย จนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส โดยปล่อยให้เครื่องดูดควันจนหมด ทิ้งไว้ให้เย็น

3) นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่นโปรตีน จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32 กับน้ำกลั่น ใช้กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นตัวจับแอมโมเนีย ตวงกรดบอริก ร้อยละ 2 ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร หยด mixed indicator 2-3 หยด จะได้สารสีส้มแดงใส รอจนกลั่นเสร็จ

4) นำ Erlenmeyer flask หลังจากกลั่นเสร็จที่มีสารละลายกรดบอริกกับแอมโมเนียซึ่งมีสีฟ้าใสมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 หรือ 0.01 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นใสไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

5) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{\text{(A-B) x N HCl x 14}}{\text{Wt. Sample x 1000}} \text{ x 100}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรทกับ Blank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

2) เครื่องสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (thimble) และบิกเกอร์ไขมัน

3) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

4) โถดูดความชื้น (desiccator)

5) ที่คีบ (Tong)

6) Boiling chip ขนาด 2 เม็ด

สารเคมี

1) ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

วิธีการทดลอง

1) อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทำการห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble) ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 180 มิลลิลิตร ใส่ในบิกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและบิกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลานำบิกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบิกเกอร์ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของบิกเกอร์หลังสกัด - น้ำหนักของบิกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3. การวิเคราะห์กรดไขมัน (AOAC, 2015)

1. การเตรียมกรดไขมันให้อยู่ในรูปของ fatty acid methyl ester

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.05 กรัม ใส่ในหลอด centrifuge แล้วเติม hexane 950 มิลลิลิตร และ methanolic 2 M 500 มิลลิลิตร นำไป vortex นาน 1 นาที แล้วดูดสารส่วนที่ใสใส่ในขวดเก็บสารขนาด 1.5 มิลลิลิตร ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง gas chromatography

นำตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมได้มาฉีดเข้าเครื่อง GC-FID ปริมาณ 1 ไมโครลิตร โดยใช้คอลัมน์ DB Wax ขนาด 30 m, x 0.32 mm x 0.25 μm film (Supelco, Bellefonte, PA, USA) ใช้ carrier gas: H_2 (FID) at 1.5 mL/min; injector temperature: 270 °C; detector temperature: 270 °C; splitless injection mode ฉีดเทียบกับสารมาตรฐาน รายงานผลเป็น กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ปลาแมคเคอเรลผสมน้ำมันปลากระป๋อง

ชื่อ.....วันที่.....

ตัวอย่าง ปลาแมคเคอเรลผสมน้ำมันปลากระป๋อง

คำชี้แจง : ทดสอบตัวอย่างที่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวาให้คะแนนการยอมรับด้านต่าง ๆ โดยให้คะแนนดังนี้

1 = ไม่ยอมรับ

2 = ยอมรับได้บ้าง

3 = ยอมรับได้ปานกลาง

4 = ยอมรับได้ดี

5 = ยอมรับได้ดีมาก

คุณลักษณะ	**รหัสตัวอย่าง**			
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องและการใช้ประโยชน์

Optimization condition of fish oil extraction from canned mackerel wastes and utilization

จุฑามาศ วามะขันธ์[1*] และธงชัย พุฒทองศิริ[1]

Juthamat Vamakant[1*] and Tongchai Puttongsiri[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา จากหัวและหางปลาแมคเคอเรล ซึ่งวัสดุเศษเหลือจากการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง โดยสัดส่วนของวัสดุเศษเหลือต่อน้ำที่ใช้ในการสกัด คือ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ เวลา (X_1) 8-30 นาที และ อุณหภูมิ (X_2) 80-100°C ในการสกัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดคืออุณหภูมิ 100°C นาน 8 นาที ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 13.44 % จากนั้นศึกษาการเติมน้ำมันปลาที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมลงในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง พบว่าปริมาณน้ำมันปลาที่เติมลงในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่เหมาะสมคือ 10%

ABSTRACT

The objective of this study was determined the optimum conditions for extraction fish oil from head and tail of canned mackerel waste. The ratio of canned mackerel waste to water for extraction fish oil was 1:4 (weight by weight). Response surface methodology (RSM) was used for study on optimization conditions of fish oil extraction by central composite design (CCD) of two factors. The two independent variables investigated in this experiment were extract time (X_1) 8-30 and temperature (X_2) 80–100°C. Optimum condition for extraction fish oil was 100°C for 8 min, which yield of 13.44%. The study of fish oil derived from the optimal conditions of extraction fish oil was use as the ingredients used in the process of canned fish. The results showed that the amount of fish oil added into the tomato sauce is 10%.

Key Words: fish oil, mackerel, canned, waste

*Corresponding author; e-mail address: pipo_pocky_oreo@hotmail.com

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[1]Department of Food Science, Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

เอกสารนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการบริโภค การผลิตและการส่งออกสินค้าอุปโภคและบริโภคเป็นอันดับต้นของโลก โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตร รวมไปถึงอาหารทะเล โดยส่วนใหญ่มักจะถูกนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนที่จะทำการบรรจุและส่งออกไปยังต่างประเทศ อุตสาหกรรมปลากระป๋องนับว่าเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ภายในประเทศไทย ปลากระป๋องเป็นอาหารสำเร็จรูปที่สามารถนำมาปรุงอาหารได้หลายเมนู และที่สำคัญสามารถเก็บไว้ได้นาน ในกระบวนการผลิตจะใช้ปลาซาดีนและปลาแมคเคอเรลเป็นวัตถุดิบหลัก โดยเติมน้ำเกลือ น้ำมัน ซอสมะเขือเทศ หรืออื่น ๆ ในการผลิต แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (retort) กระบวนการผลิตปลาแมคเคอเรลในซอสมะเขือเทศ จะมีการตัดหัวและหางปลาให้มีขนาดที่สามารถบรรจุลงกระป๋องได้ ซึ่งส่วนหัวและหางนี้เป็นส่วนที่เหลือ ในปัจจุบันยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก ส่วนใหญ่นำไปขายเป็นส่วนผสมอาหารของสัตว์ ซึ่งมีราคาต่ำ (Crexi et al., 2009; Liaset and Espe, 2008) และเป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารทะเลเป็นแหล่งของกรดไขมันที่ดี เช่น กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3) ซึ่งประกอบด้วย Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docosahexaenoic acid (DHA) สามารถพบมากในปลาทะเลน้ำลึก นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6) ที่เป็นกรดไขมันที่ดีอีกด้วย โดยกรดไขมันที่ดีนี้เรียกรวมกันว่า polyunsaturated fatty acid (PUFAs) หรือน้ำมันปลาที่ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกาย สามารถช่วยลดไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไขข้ออักเสบ ลดการอักเสบ เป็นต้น (Eduardo Lopez-Huertas, 2010 และ Mozaffarian, *et al.* 2010) และจากชิ้นส่วนของวัสดุเศษเหลือ พบว่าชิ้นส่วนบริเวณหัวและหาง ที่เหลือจากการทำอุตสาหกรรมปลากระป๋องนั้น มีปริมาณโอเมก้า 3 อยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับอุตสาหกรรมปลากระป๋อง จึงมีความคิดที่จะเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ให้มากขึ้น โดยใช้วัสดุเศษเหลือที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์นั้นมาเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 ลงในปลากระป๋องและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือ

ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล โดยมีอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา จากนั้นศึกษาการเติมน้ำมันปลาที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม ลงในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่ใช้ในการผลิต

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

วัสดุเศษเหลือส่วนหัวและหางปลาแมคเคอเรล จากบริษัท สันติภาพ (ชุมพร 1958) จำกัด จ.ชุมพร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C และนำวัสดุเศษเหลือส่วนหัวและหางปลาแมคเคอเรลที่บรรจุอยู่ในถุงมาละลายโดยการเปิดน้ำไหลผ่านเพื่อให้น้ำแข็งละลายเป็นเวลา 2 ชม. ก่อนนำมาทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

นำหัวปลาและหางปลาแมคเคอเรลมาบดรวมกันด้วยเครื่องบดเปียก ซึ่งสัดส่วนหัวปลาและหางปลาบดต่อน้ำคือ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จากนั้นนำปลาบดที่ได้ไปทำการต้ม โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด เมื่อใช้อุณหภูมิในช่วง 80–100°C และใช้ระยะเวลาการสกัดในช่วง 8-30 นาที จากนั้นนำส่วนที่ต้มผ่านเข้ากระบวนการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกส่วนของน้ำมันออกจากตะกอน นำส่วนของน้ำมันไประเหยน้ำออก แล้ววิเคราะห์หาปริมาณผลผลิต (%yield)

2. ศึกษาสัดส่วนน้ำมันปลาลงที่เหมาะสมในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋อง

นำน้ำมันที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสมมาใช้ผสมในส่วนผสมซอสมะเขือเทศที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง โดยน้ำมันที่สกัดได้ใช้แทนน้ำในสูตร ซึ่งเป็นส่วนผสมหนึ่งในซอสมะเขือเทศ น้ำมันที่สกัดได้นั้นใช้ทดแทนในสัดส่วน 0 5 10 และ 15% จากนั้นบรรจุซอสที่ได้ลงในกระป๋อง แล้วผลิตเป็นปลากระป๋องตามกระบวนการผลิตของโรงงาน นำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้การให้คะแนน 5 คะแนน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในโรงงาน โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และฝ่ายผลิตของโรงงานจำนวน 30 คน ของโรงงานลันติภาพ (ชุมพร 1958) จำกัด เพื่อหาสัดส่วนของน้ำมันปลาที่เหมาะสมที่ใช้ผสมในซอสมะเขือเทศ ในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้การทดลองแบบ Response Surface Methodology (RSM) และ พิจารณาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Desirability function เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาจากหัวและหางปลาแมคเคอเรล

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา โดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ central composite design ซึ่งมีตัวแปร 2 ตัวในการศึกษา คือ เวลา (x_1) และ อุณหภูมิ (x_2) โดยมีการออกแบบและผลการวิเคราะห์การสกัดน้ำมันปลาแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table1 Central composite design with experimental and predicted values Time and Temperature

Run	Code		Uncode		Yield (%)
	X_1	X_2	Time (Min)	Temp (°C)	
1	+1	+1	30	100	10.53±0.36
2	-1	0	8	90	12.50±0.43
3	0	0	19	90	11.18±0.38
4	0	+1	19	100	11.57±0.24
5	0	0	19	90	10.10±0.45
6	-1	+1	8	100	13.44±0.23
7	0	-1	19	80	10.99±0.31
8	0	0	19	90	10.39±0.15
9	0	0	19	90	11.12±0.06
10	0	0	19	90	10.03±0.59
11	+1	-1	30	80	11.84±0.42
12	-1	-1	8	80	9.28±0.24
13	+1	0	30	90	11.36±±0.21

จากตารางที่ 1 ประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ซึ่งจากการทดลองใช้สัดส่วนปลาต่อปริมาณน้ำ 1:4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ประกอบด้วยหัวและหาง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 100°C เวลา 8 นาที ซึ่งมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา คือ 100°C 8 นาที ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 13.44 % และปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทำนายโดยใช้สภาวะดังกล่าวนี้มีค่าเท่ากับ 13.28 % โดยมีค่าความพึงพอใจรวม (Desirability) เท่ากับ 0.96 ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aidos, *et al.* (2001) รายงานว่าการผลิตน้ำมันปลาจากปลาเฮริง มีกระบวนการสกัดประกอบด้วย การบด การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C นาน 8 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ดี และงานวิจัยของ Chantachum, *et al.* (2000) รายงานว่าการให้ความร้อนหัวปลาทูน่าในการสกัดน้ำมัน 85°C นาน 30 นาที เป็นสภาวะที่ดีเช่นกัน

สมการที่ใช้ทำนาย

$$\%yield = -14.87 + 1.09 * X_1 + 0.29 * X_2 - 0.01 * X_1 * X_2$$

เมื่อ X_1 = time

X_2 = temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 ANOVA for the response surface model for extraction of fish oil.

source	Sum of square	Mean	P-value
Model	9.81	3.27	0.0145*
X_1	0.37	0.37	0.4248ns
X_2	1.96	1.96	0.0865ns
X_1X_2	7.48	7.48	0.0045**
Residual	4.77	0.53	
Lack of fit	3.55	0.71	0.2168ns
Pure error	1.22	0.30	
R^2	0.67		
Desirability = 0.96			

*significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

ผลของความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของผลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลมากที่สุด พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 100°C เวลา 8 นาที ในการสกัด น้ำมันปลาที่ได้มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ (p=0.0045) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้ความร้อนสูงขึ้นจึงไปทำลายโครงสร้างภายในกล้ามเนื้อ ทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการเพื่อทำนายการสกัดน้ำมันปลาได้ดังสมการที่ 1 ซึ่งสมการที่ได้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.67 และเมื่อพิจารณา ค่า p–value ของโมเดลการสกัดน้ำมันปลา พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.0145) โดยที่ค่า Lack of fit มีค่า p-value เท่ากับ = 0.21 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเหมาะสมที่จะใช้การวิเคราะห์แบบ RSM

2. ผลของการเติมน้ำมันปลาลงในส่วนผสมเพื่อผลิตปลากระป๋อง

เมื่อสกัดน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม แล้วนำน้ำมันที่ได้มาผสมในส่วนผสมซอสสำหรับเติมในปลากระป๋องในปริมาณต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ ได้ผลดังตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Sensory score of canned mackerel mixed with fish oil

Attributes	% fish oil (by weight)			
	0	5	10	15
Appearance	$4.1^{b} \pm 0.31$	$3.4^{a} \pm 0.69$	$3.5^{a} \pm 0.69$	$4.0^{b} \pm 0.20$
Color	$3.8^{a} \pm 0.32$	$3.8^{a} \pm 0.32$	$4.1^{b} \pm 0.61$	$3.9^{a} \pm 0.41$
Flavor	$3.1^{a} \pm 0.38$	$3.2^{a} \pm 0.46$	$3.6^{b} \pm 0.50$	$3.2^{a} \pm 0.42$
Taste^{ns}	3.2 ± 0.56	3.3 ± 0.59	4.0 ± 0.30	3.7 ± 0.41
Texture	$3.7^{a} \pm 0.76$	$3.9^{a} \pm 0.75$	$4.4^{b} \pm 0.73$	$3.6^{a} \pm 0.89$
Over all liking	$3.9^{b} \pm 0.62$	$3.6^{a} \pm 0.66$	$5.0^{b} \pm 0.25$	$3.3^{a} \pm 0.57$

^{a,b,c} Means within the same row with different superscript letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคคอเรลกระป๋องเมื่อเติมน้ำมันปลาในระดับที่ต่างกัน โดยใช้เจ้าหน้าที่จากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และฝ่ายผลิต ของโรงงานสันติภาพ (ชุมพร 1958) จำกัด พบว่าการเติมน้ำมันปลาที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมลงในส่วนผสมซอสในการผลิตปลาแมคเคอเรลกระป๋องในสัดส่วนต่างกัน มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคคอเรลกระป๋อง แต่ไม่มีผลต่อรสชาติ จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ลงในซอสเป็นปริมาณที่เหมาะสมโดยทำให้ปลาแมคคอเรลกระป๋องที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่า ตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำมันปลาอย่างมีนัยสำคัญ และจากการทดลอง พบว่าการเติมน้ำมันปลา 10% ทำให้ pH ของซอส มีค่า 5.76 ซึ่งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติมน้ำมันปลา ที่มีค่า pH เท่ากับ 6.0

สรุป

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลาเมื่อศึกษาด้วยวิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง คือการใช้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที โดยค่า composite desirability เท่ากับ 0.96 ซึ่งอยู่ในระดับดี และสามารถทำนายปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่า 13.28 % การเติมปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวัสดุเศษเหลือ 10% ทำให้คุณภาพของปลากระป๋องโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรดั้งเดิม โดยการเติมน้ำมันปลาทำให้สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปลาแมคคอเรลกระป๋องดีขึ้น และการเติมน้ำมันปลามีผลทำให้ pH ของซอสลดลงเล็กน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท สันติภาพ (ชุมพร 1958) จำกัด จ.ชุมพร ที่ช่วยรวบรวมวัสดุเศษเหลือที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนสถานที่ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Aidos, I., A. van-der-Padt, R. M. Boom, and J. B. Luten. 2001. Upgrading of maatjes herring byproducts: Production of crude fish oil. **Journal Agric. Food Chem** 49: 3697-3704.

Chantachum, S., S. Benjakul, and N. Sriwiwat. 2000. Seperation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. **Food Chemistry** 69:289-294.

Crexi, V.T., L.A. Souza-Soares, and L.A.A. Pinto. 2009. Carp (*Cyprinus carpio*) oils obtained by fishmeal and ensilage processes: characteristics and lipid profiles. **International Journal of Food Science and Technology** 44:1642-1648.

Lopez-Huertas, E. 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. **Pharmacological Research** 61:200-207.

Liaset, B. and M. Espe. 2008. Nutritional composition of soluble and insoluble fractions obtained by enzymatic hydrolysis of fish-raw materials. **Process Biochemistry** 43: 42-48.

Mozaffarian, D. R. Micha, and S. Wallace. 2010. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: **A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials Plos Medicine**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

1. รายละเอียดงบประมาณที่เสนอขอ

1. ค่าจ้างชั่วคราว	105,120 บาท
1. ค่าใช้สอย	65,000 บาท
2. ค่าวัสดุ เช่น สารเคมี เครื่องแก้ว	69,880 บาท
รวม	**240,000 บาท**

2. แผนการใช้จ่ายเงิน

รายการ	วงเงินที่ใช้แต่ละเดือน												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ค่าจ้างชั่วคราว			11,680	11,680	11,680	11,680	11,680	11,680	11,680	11,680	11,680		
2. ค่าใช้สอย							6,400	6,400	12,800	12,800	12,800	13,800	
3. ค่าวัสดุ	3,500			12,000	7,000		26,00		6,380	16,000	15,000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายธงชัย พุฒทองศิริ

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D. (Food Science)	Food Science	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	2010
วท.ม.	วิทยาศาสตร์การอาหาร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2546
วท.บ.	อุตสาหกรรมเกษตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ

- การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ผัก ผลไม้
- การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมอาหาร
- ไคติน ไคโตซาน

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

1. การผลิตหมึกดำผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการบริการอาหาร (2556)
2. สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนจากหัวกุ้งด้วยเอนไซม์ (2556)
3. การปรับปรุงกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาปลาสลิดแดดเดียวด้วยสารไคโตซาน (2555)
4. การพัฒนากระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกกุ้งโดยการใช้เอนไซม์และกรดแลกติก (2555)
5. การยืดอายุการเก็บปลาสลิดแดดเดียวด้วยไคโตซาน (2554)

ผลงานวิจัย

Ovadhana A and Puttongsiri T. 2014. Optimization of tray drying condition in squid ink powder production. The 4th Nation and International Graduate Study Conference 2014. Bangkok. p 3209-3223

Sukwanno, P., Pornpukdeewattana, S., Krusong, W. and Puttongsiri, T. 2013. Impact of chitosan concentrations on the reduction of initial microorganisms in Dried Sepat Siam (*Trichogaster pectoralis*) The 15th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2013. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. 13 th-14 th June 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Noijaiboon, D and **Puttongsiri, T**. 2012. "Iodine Supplement in Dried Salted Sepat Siam (*Trichogaster pectoralis*)," *The 14th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2012*. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. 14th -15th June 2012

Puttongsiri, T, Choosakul, N and Sakulwilaingam, D. 2012 Moisture Content and Physical Properties of Instant Mashed Potato. Oral presentation *In* Proceedings of 2012 International Conference on Nutrition and Food Sciences (ICNFS 2012) Singapore, 23th -24th July, 2012.

Puttongsiri, T., Kerdpiboon, S., Vichitraka, A. 2012. "Shelf life extension of semi dried Sepat-Siam (*Trichogaster pectoralis*) using of Chitosan," *International Conference on Food and Applied Bioscience: The 3rd Agro-Industry Conference, Chiang Mai University*, Chiang Mai, Thailand. 6th-7th February, 2012. (เงินรายได้คณะอตสาหกรรมเกษตร สจล. ปี 2554)

ศิริพร ไชยงสงคราม และ**ธงชัย พุฒทองศิริ**. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสทจากหัวกุ้งด้วยเอนไซม์. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 4. วันที่ 22-23 พฤษภาคม 2557. ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พุฒทองศิริ ณัฏฐิกา ชูสกุล และ ดวงรัตน์ สกุลวิไลงาม. 2555. มันฝรั่งบดสำเร็จรูป. วิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2) (พิเศษ): 317-320

ธงชัย พุฒทองศิริ ศริมน ทองคำ สุกัญญา ทองอรุณ และ สุดาวรรณ ทองขัน. 2555. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนในเปลือกกุ้งโดยการใช้กรดแลคติก และเอนไซม์โบรมีเลน. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. วันที่ 7 กันยายน 2555. โรงแรมดิเอมเมอรัลด์ รัชดาภิเษก. กรุงเทพมหานคร. (เงินรายได้คณะอตสาหกรรมเกษตร สจล. ปี 2555)

ธงชัย พุฒทองศิริ ธรรมนูญ ขาวหิรัญ และ โสภิดา พุ่มแจ้ง. 2555. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนและแร่ธาตุจากเปลือกกุ้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. วันที่ 7 กันยายน 2555. โรงแรมดิเอมเมอรัลด์ รัชดาภิเษก. กรุงเทพมหานคร.

ดุษฎี น้อยใจบุญ **ธงชัย พุฒทองศิริ** และ นันทยา จงใจเทศ. 2555. การศึกษาสภาวะและอายุการเก็บรักษาปลาสลิดแดดเดียวเสริมไอโอดีน. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. วันที่ 7 กันยายน 2555. โรงแรมดิเอมเมอรัลด์ รัชดาภิเษก. กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พุฒทองศิริ ณัฏฐิกา ชูสกุล และ ดวงรัตน์ สกุลวิไลงาม. 2555. มันฝรั่งบดสำเร็จรูป. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 6. วันที่ 26-27 กรกฎาคม 2555. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พุฒทองศิริ กาญจนา ช้างสุวรรณ์ คันธารัตน์ สาทอง และ ณัฐธิดา สระภู. 2554. การยืดอายุการเก็บเต้าหู้นมสดโดยใช้ไคโตซาน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 5 (2). 139-152

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้