



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	พัฒนาผลิตภัณฑ์
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

Development of Supplementary Calcium from the Bone of Nile Tilapia (*Tilapia nilotica*)

นามผู้วิจัย นางสาวกิดาการ เตโชชวัล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์วัน เทอดไทย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สมบัติ ขอทวีวัฒนา, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

Development of Supplementary Calcium from the Bone of Nile Tilapia (*Tilapia nilotica*)

โดย

นางสาวกิดาการ เตโชชวัล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

กิดาการ เตโชชัชวาล 2553: การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล ปรินญาวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย,
Ph.D. 123 หน้า

ก้างปลานิล (*Tilapia nilotica*) เป็นเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปปลานิลแช่แข็ง ซึ่งเป็นแหล่ง
ของแคลเซียมที่สำคัญ ที่ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์
เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุแคปซูล ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษเหลือจากกระบวนการแปรรูป
ปลานิล โดยศึกษาการเตรียมก้างปลานิลเบื้องต้น 3 วิธีคือ การต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 10 ppm เป็นเวลา 90 นาที และแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ
0.8 เป็นเวลา 90 นาที พบว่าการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดเนื้อปลาที่ติดค้างอยู่บนก้างปลา
ได้ดีที่สุด เมื่อนำก้างปลาที่ได้ไปผ่านความร้อน จึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเตรียมก้างปลา
นिल ก่อนนำไปศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อ
ตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของ
ก้างปลาเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) และพื้นผิวของก้างปลานิลมีความพรุนมากขึ้นเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) จากนั้นศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งด้วย
ตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นทำให้ค่า
kinetic rate constant สูงขึ้น ($p \leq 0.05$) กระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจาก
ก้างปลานิลคือ การแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นให้
ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 90 นาที และอบแห้งที่
อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่มี
ปริมาณแคลเซียมร้อยละ 25.01 และมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 293 พ.ศ. 2548
เรื่องผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศา
เซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่าสี C* และค่า Thiobarbituric acid number
เพิ่มขึ้น ค่าสี L* และ h ลดลง ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงโดยค่า kinetic rate constant นอกจากนี้
อุณหภูมิในการเก็บรักษาสามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่ง
ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยสมการอาร์เรเนียส

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kidakarn Techochatchawal 2010: Development of Supplementary Calcium from the Bone of Nile Tilapia (*Tilapia nilotica*). Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Nantawan Thredthai, Ph.D. 123 pages.

Fishbone of Nile Tilapia (*Tilapia nilotica*), waste from the frozen Nile Tilapia fillet factory, is one of calcium sources. In order to reduce the factory waste and increase the fishbone value, this study aimed to develop the supplementary calcium from the bone of Nile Tilapia. The fishbone was pretreated using various methods including boiling at 95°C for 10 minutes, soaking in 10 ppm sodium hypochlorite for 90 minutes and soaking in 0.8% sodium hydroxide for 90 minutes. Due to a better ability to remove fish tissue from the fishbone, sodium hydroxide was selected as the chemical solution for pretreatment. Then, the pretreated fishbone was heated under controlled pressure and dried using hot air drying. Increased heating time at 121°C from 30 to 90 minutes under high pressure (15 lb.in⁻²) significantly increased lightness of fishbone ($p \leq 0.05$). In addition, from scanning electron micrograph (SEM) of dried fishbone, heating for 90 minutes yielded more porous structure than heating for 30 and 60 minutes. For drying process, increasing drying temperature from 50°C to 90°C showed the significantly increased kinetic rate constant. Therefore, the optimal process to develop supplementary calcium from Nile Tilapia was soaking in 0.8% sodium hydroxide for 90 minutes, heating at 121°C for 90 minutes and drying at 90°C for 60 minutes. The obtained supplementary calcium contained 25.01% calcium and its quality met the requirement of the supplementary calcium standard. During storage at 35, 45 and 55°C whereas C* value and Thiobarbituric acid number were increased L* value and h value were decreased. Rate of the changes could be presented by kinetic rate constant. In addition, changes of color and rancidity were enhanced by storage temperature. The influence of storage temperature could be explained by Arrhenius equation.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัน เทอดไทย ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์สมบัติ ขอทวีวัฒนา กรรมการที่ปรึกษา วิชาเอก ที่ช่วยเหลือในการวางแผนการทดลองในวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และ แก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณประธานคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยแนะนำและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.- สสว.) ประจำปี 2550 ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการวิจัยและทุนการศึกษา คุณพงษ์พรรณ รุจิรา ผู้จัดการบริษัท จีราด้า เลเซอร์ แอนด์ โปรดักส์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทางด้านวัตถุดิบในการดำเนินการวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิต วิทยาลัยที่ช่วยตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกท่าน รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ รวมทั้งให้การสนับสนุนจน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี หากมีความผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

กิดาการ เตโชชัชवाल

ธันวาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	88
สรุป	88
ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	90
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ร้อยละผลผลิตและต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร แคลเซียมจากก้างปลานิล	99
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	101
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	103
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	109
ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสและแบบทดสอบทาง ประสาทสัมผัส	114
ภาคผนวก ฉ รูปการบรรจุแคปซูลและผลิตภัณฑ์	119
ภาคผนวก ช มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาป่นปรุงรส	121
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของปลานิลทั้งตัว เนื้อปลานิล และเศษเหลือจากการแล่นเนื้อของปลานิล	7
2	ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไส้กระดุก	9
3	องค์ประกอบของกระดุกและครีปลาชนิดต่างๆ	10
4	ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคใน 1 วันสำหรับกลุ่มอายุต่างๆ	14
5	ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมที่มีจำหน่ายในรูปแบบต่างๆ	17
6	คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบก้างปลานิล	41
7	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของวัตถุดิบก้างปลานิล	42
8	ค่า L^* C^* และ h ของวัตถุดิบและก้างปลาหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี นำไปผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน และการอบแห้ง	43
9	ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสของก้างปลานิลหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี นำไปผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน และอบแห้ง	47
10	คุณภาพทางเคมีก้างปลานิลหลังผ่านกรรมวิธีในการเตรียมต่างๆและนำไปผ่านความร้อนสูงภายใต้ความดัน	48
11	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของวัตถุดิบและก้างปลาหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี	49
12	ค่า L^* C^* และ h ของก้างปลาสดที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที	54
13	ค่า Drying kinetic rate constant ของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของก้างปลาที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	59
14	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของก้างปลาสดที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	63
16	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล	64
17	การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	67
18	การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และราของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	68
19	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	70
20	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* C^* และ h ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	73
21	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	78
22	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	80
23	การเปลี่ยนแปลง TBA number ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	81
24	Kinetic rate constant และ E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	84
25	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสของแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ร้อยละผลผลิตหลังผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการผลิต	100
จ1	วิธีประเมิน และตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิง พรรณนาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล	117

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปลานิล	4
2 โครงสร้างปลา	12
3 วัตถุดิบทำปลานิล	38
4 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	39
5 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของวัตถุดิบหลังผ่านความร้อนสูงภายใต้ความดันและอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	40
6 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลหลังผ่านการต้มโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	44
7 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลหลังการแช่คลอรีนโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	44
8 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลหลังการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	45
9 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาหลังผ่านการต้มนำไปผ่านความร้อนสูงภายใต้ความดัน และอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	45
10 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาหลังการแช่คลอรีนนำไปผ่านให้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน และอบแห้ง โดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	46
11 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาหลังผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์นำไปผ่านความร้อนสูงภายใต้ความดัน และอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า	46
12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	51
13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	52
14 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15 คำวอเตอร์แอกทิวี่ของตัวอย่างก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	56
16 คำวอเตอร์แอกทิวี่ของตัวอย่างก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	56
17 คำวอเตอร์แอกทิวี่ของตัวอย่างก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	56
18 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (x500)	57
19 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (x500)	58
20 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (x500)	58
21 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล	62
22 ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล	65
23 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณวอเตอร์แอกทิวี่ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	71
24 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	76
26	อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสี h ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	77
27	อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	79
28	อัตราการเปลี่ยนแปลง TBA number ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส	82
ภาพผนวกที่		
จ1	ขั้นตอนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	115
ฉ1	ร่างบรรจุแคปซูลและการบรรจุแคปซูลในร่าง	120
ฉ2	การบรรจุผลิตภัณฑ์ในแคปซูล	120
ฉ3	การปิดแคปซูลและบรรจุลงภาชนะบรรจุ	120

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

Development of Supplementary Calcium from the Bone of Nile Tilapia

(*Tilapia nilotica*)

คำนำ

ปลานิลเป็นปลาที่เพาะเลี้ยงได้ง่าย เจริญเติบโตได้เร็ว สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี รวมถึงเป็นปลาที่มีรสชาติดี จึงเป็นปลาที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ ดังนั้นปลานิลจึงมีการเพาะเลี้ยงเป็นจำนวนมากในประเทศไทย และอีกหลายประเทศ เช่น จีน แม็กซิโก และประเทศในแถบอเมริกาใต้ เป็นต้น พบว่าปลานิลเป็นสัตว์น้ำจืดที่จับได้มากที่สุดในประเทศไทย (รวมการเพาะเลี้ยง) ข้อมูลตั้งแต่ปี 2545 จนถึงปี 2550 และปลานิลยังเป็นสัตว์น้ำจืดที่มีมูลค่าผลผลิตการเพาะเลี้ยงสูงที่สุด ข้อมูลตั้งแต่ปี 2542 จนถึงปี 2550 (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2550) ซึ่งเป็นปลานิลที่บริโภคภายในประเทศร้อยละ 80 และส่งออกร้อยละ 20 โดยประเทศที่มีการส่งออกเป็นหลักคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และกลุ่มสหภาพยุโรป ซึ่งมีการส่งออกปลานิลไปขายในต่างประเทศในรูปแบบยังมีชีวิต แช่แข็งทั้งตัว และแปรรูปก่อนการแช่แข็ง พบว่าปลานิลแช่แข็งมีปริมาณ และมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี ข้อมูลจากปี 2550 ถึงเดือนกันยายนปี 2552 มีปริมาณการส่งออก 1,449 3,537 และ 4,196 ตัน ตามลำดับ โดยในเดือนมกราคมถึงกันยายนในปี 2552 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 647 ล้านบาท (สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย, 2552) ซึ่งถือเป็นร้อยละ 0.017 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมดในเดือนมกราคมถึงกันยายนในปี 2552 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2552) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้จัดตั้งโครงการยกระดับมาตรฐานฟาร์มเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อการส่งออกในปี 2553 ถึงปี 2555 เป็นการผลักดันให้ปลานิลเป็นสินค้าเศรษฐกิจส่งออกของไทย สู่ตลาดโลกมีความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น

เนื่องจากปลานิลแช่แข็งเป็นสินค้าเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีแนวโน้มปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นในทุกๆปี รวมทั้งนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมปลานิลให้เป็นสินค้าส่งออก จึงส่งผลให้เกิดการแปรรูปปลานิลเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปเป็นจำนวนมาก ซึ่งหนังปลานิลสามารถแปรรูปเป็นเครื่องหนังที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปได้ แต่ ก้างปลา ครีบปลา และหัวปลา ยังไม่มีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า ทั้ง

ที่ก้างปลาเป็นแหล่งแคลเซียมที่สำคัญ โดยเฉพาะในคนบางกลุ่มที่มีปัญหาการขาดแคลเซียมและวิตามินดี จึงต้องรับประทานแคลเซียมจากอาหารกลุ่มอื่นที่ไม่ไขมัน

ปัจจุบันคนทั่วไปมีความสนใจและห่วงใยในสุขภาพมากขึ้น สังเกตได้จากผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีจำหน่ายในตลาดเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลเพื่อเป็นการนำเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปปลานิลมาใช้ประโยชน์ และยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นแหล่งของแคลเซียมตามธรรมชาติเพื่อเป็นทางเลือกใหม่แก่ผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของก้างปลานิลที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปปลานิลแช่แข็ง
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีการเตรียมก้างปลานิลสำหรับในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียม
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล
4. เพื่อประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุแคปซูลตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุแคปซูล

การตรวจเอกสาร

1. ปลานิล

ปลานิล เป็นปลาน้ำจืดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tilapia nilotica* หรือ *Oreochromis niloticus* ชื่อสามัญ Nile Tilapia ปลานิลเข้าสู่ประเทศไทยครั้งแรกโดยเจ้าชายอาทิสโต มกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่นได้ทรงนำมาทูลเกล้าถวายต่อพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2508 จำนวน 50 ตัว ครั้งนั้นทรงโปรดเกล้าฯ ให้มีการทดลองเลี้ยงปลานิลในบ่อสวนจิตรดา ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา ผลการทดลองเลี้ยงพบว่าปลานิลมีการเจริญเติบโต และแพร่ขยายพันธุ์ได้ดี ต่อมาจึงได้พระราชทานชื่อว่า “ปลานิล” ซึ่งเป็นชื่อจากถิ่นกำเนิดของปลานิล คือ แม่น้ำไนล์ (Nile) และทรงพระราชทานพันธุ์ให้แก่กรมประมงจำนวนหนึ่ง เมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2509 เพื่อนำไปขยายพันธุ์และแจกจ่ายแก่พสกนิกร และปล่อยลงในแหล่งน้ำตามความสมควร ปลานิลมีลักษณะพิเศษคือ กินอาหารได้ทุกชนิด เช่น ตะไคร่น้ำ ไรน้ำ ตัวอ่อนของแมลง และสัตว์น้ำขนาดเล็ก ปลานิลมีความยาวลำตัวประมาณ 10-30 เซนติเมตร แพร่พันธุ์ได้ง่าย มีรสชาติดี (กรมประมง, 2550) จากสาเหตุดังกล่าวปลานิลจึงเป็นปลาที่นิยมบริโภค และเป็นปลาเศรษฐกิจของไทย ปลานิลจัดเป็นปลากระดูกแข็งชนิดหนึ่ง ดูได้จากโครงสร้างของกระดูกเป็นกระดูกแข็ง และมีแผ่นปิดเหงือกชัดเจน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ปลานิล

ที่มา: Sharon (2007)

1.1 องค์ประกอบของเศษเหลือจากการเล่เนื้อของปลานิล

Gildberg *et al.* (2002) กล่าวว่าก้างปลาเป็นเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปที่สำคัญ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 15 ของเศษเหลือจากการเล่ Joen *et al.* (1999) กล่าวว่าเศษเหลือจากการเล่เป็นความชื้นร้อยละ 76.27 เป็นก้างปลาร้อยละ 3.94 และเป็นเนื้อเยื่อปลาร้อยละ 19.79 (โดยน้ำหนักเปียก) ก้างปลาประกอบด้วยแร่ธาตุร้อยละ 60-70 และ โปรตีนร้อยละ 30 (Rustad, 2007) ซึ่งโปรตีนที่สำคัญที่พบในก้างปลาคือคอลลาเจน (Nagai and Suzuki, 2000a) ก้างปลา Japanese seabass, horse mackerel และ ayu มีคอลลาเจนเป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 41-54 (โดยน้ำหนักแห้ง) (Nagai and Suzuki, 2000b) Kim *et al.* (1998) ศึกษาองค์ประกอบของก้างปลาชนิดต่างๆ พบว่าปลา hoki มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 40.7 คอลลาเจนร้อยละ 5.86 (โดยน้ำหนักแห้ง)

Gonzales and Brown (2006) พบว่าปลานิลประกอบด้วยเนื้อร้อยละ 27.88 และเศษเหลือจากการเล่เนื้อร้อยละ 72.12 โดยเศษเหลือจากการเล่เนื้อของปลานิลมีองค์ประกอบดังนี้ ปริมาณคาร์บอนซัลเฟอร์ และไนโตรเจนร้อยละ 56.4, 0.4 และ 7.7 ตามลำดับ (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 48.1, 30.5, 14.3 และ 7.0 ตามลำดับ (โดยน้ำหนักแห้ง) สำหรับก้างปลานิล Petenuci *et al.* (2008) พบว่าองค์ประกอบหลักได้แก่ ความชื้นร้อยละ 14.2 โปรตีนร้อยละ 40.8 ไขมันร้อยละ 25.3 และเถ้าร้อยละ 18.3 (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

1.1.1 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเศษเหลือจากการเล่เนื้อของปลานิล

ปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเศษเหลือจากการเล่เนื้อปลานิล (หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) มีดังนี้ เมทไทโอนีน (methionine) คิสทีน (cystine) ไลซีน (lysine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ลิวซีน (leucine) และ ไอโซลิวซีน (isoleucine) ร้อยละ 0.65, 0.22, 1.23, 0.58, 1.25 และ 0.69 ตามลำดับ ทรีโอนีน (threonine) วาลีน (valine) ฮิสทีดีน (histidine) อาร์จินีน (arginine) และ อะลานีน (alanine) ร้อยละ 0.84, 0.72, 0.43, 1.13 และ 1.18 ตามลำดับ ทริปโทเฟน (tryptophan) ไทโรซีน (tyrosine) กรดแอสปาดิก (aspartic acid) ซีรีน (serine) และ กรดกลูตามิก (glutamic acid) ร้อยละ 0.11, 0.54, 1.54, 0.87 และ 2.48 ตามลำดับ โพรลีน (proline) ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) และ ไกลซีน (glycine) ร้อยละ 1.04, 0.35 และ 1.36 ตามลำดับ (Gonzales and Brown, 2006)

1.1.2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเศษเหลือจากการแล่นเนื้อของปลานิล

ปริมาณของกรดไขมันร้อยละโดยน้ำหนักแห้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของเศษเหลือจากการแล่นเนื้อของปลานิล มีดังนี้ มายริสติก (myristic; 14:0) ร้อยละ 1.31 ปาล์มติก (palmitic; 16:0) ร้อยละ 5.73 ปาล์มโทเลอิก (palmitoleic; 16:1) ร้อยละ 1.73 สเตียริก (stearic; 18:0) ร้อยละ 1.86 โอลีอิก (oleic; 18:1) ร้อยละ 7.80 ลิโนเลอิก (linoleic; 18:2n-6) ร้อยละ 5.11 โคซาเฮกซาโนอิก (docosahexaenoic; 22:6n-3) ร้อยละ 1.50 $\sum^{n-6}$ ร้อยละ 5.40 $\sum^{n-3}$ ร้อยละ 2.52 และสัดส่วน $\sum^{n-3:n-6}$ 0.46:1 (Gonzales and Brown, 2006)

Petenucci *et al.* (2008) พบว่าก้างปลานิล 100 กรัมประกอบด้วยไขมันร้อยละ 25.3 เป็นไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนต่อพันธะคู่ (16:0) 208.5 มิลลิกรัม 18:1n-9 ปริมาณ 344.3 มิลลิกรัม และ 18:2n-6 ปริมาณ 109.6 มิลลิกรัม ปริมาณกรดลิโนเลนิก (18:3n-3) 29.9 มิลลิกรัม Eicosapentaenic acid (EPA) 3.3 มิลลิกรัม Docosahexaenoic acid (DHA) 12.9 มิลลิกรัม ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว 296.2 มิลลิกรัม กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 คู่ 415.0 มิลลิกรัม และ Polyunsaturated fatty acid (PUFA) 175.6 มิลลิกรัม อัตราส่วนระหว่างโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เท่ากับ 2.8 แม้ว่าปริมาณโอเมก้า 3 มีน้อย แต่เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานและปริมาณแคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และโปรตีน พบว่าก้างปลานิลสามารถใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ได้ นอกจากนี้ Kim *et al.* (1998) พบว่าก้างปลา yellowfin sole, conger eel และ mackerel มี Eicosapentaenic acid ร้อยละ 22.8-43.9 Docosahexaenoic acid ร้อยละ 15.6-23.8

1.1.3 ชนิดและปริมาณวิตามินที่เป็นองค์ประกอบของเศษเหลือจากการแล่นเนื้อของปลานิล

ปริมาณวิตามินที่เป็นองค์ประกอบของเศษเหลือจากการแล่นเนื้อของปลานิล (หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง) มีดังนี้ ไบโอทีร้อยละ 0.008 คลอรีนร้อยละ 402 กรดฟอริก 0.023 อินโนซิทอลร้อยละ 54 ไนอะซินร้อยละ 20.0 กรดเพนโทเทอนิกร้อยละ 0.9 วิตามินเอมากกว่า 44 IU ต่อกิโลกรัม เบต้าแคโรทีนมากกว่า 44 IU ต่อกิโลกรัม ไพริโดซีนร้อยละ 0.021 ไคยาโนโคบาลามีนร้อยละ 0.009 กรดแอสคอบิกร้อยละ 334 วิตามินดี 1.0 IU ต่อกิโลกรัม และ วิตามินอี 8.6 IU ต่อกิโลกรัม (Gonzales and Brown, 2006)

1.1.4 ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของปลานิลทั้งตัว เนื้อปลานิล และเศษเหลือจากการแล่เนื้อของปลานิล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของปลานิลทั้งตัว เนื้อปลานิล และเศษเหลือจากการแล่เนื้อของปลานิล (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง)

ชนิดของแร่ธาตุ	ปลาทั้งตัว	เนื้อปลา	เศษเหลือจากการแล่เนื้อ
Calcium	4761.50	297.75	6495.65
Phosphorous	258.70	27.19	348.66
Magnesium	127.50	154.15	116.95
Potassium	56.85	140.40	24.66
Sodium	394.75	7.36	545.21
Iron	0.33	3.39	0.00
Copper	0.53	0.02	0.73
Manganese	0.26	1.37	0.00
Zinc	13.45	0.57	18.45
Boron	0.38	0.68	0.27
Selenium	7.05	0.14	9.74
Molybdenum	5.72	0.15	7.88
Cobalt	0.62	0.00	0.85
Chromium	0.07	0.03	0.09

ที่มา: Gonzales and Brown (2006)

Petenuci *et al.* (2008) ศึกษาองค์ประกอบของก้างปลานิลพบว่าก้างปลานิลมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบดังนี้ แคลเซียม 2,715.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เหล็ก 1.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ฟอสฟอรัส 1,132.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม Edem *et al.* (2009) ศึกษาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิดในก้าง เหยือก ดับ ของปลานิลขนาด 20 และ 29 เซนติเมตร พบว่าในก้างปลานิลขนาด 29 เซนติเมตรมีปริมาณตะกั่ว 0.069 ppm แคดเมียม 0.019 ppm สังกะสี 0.103 ppm ก้างปลานิลขนาด 20 เซนติเมตรมีปริมาณตะกั่ว 0.067 ppm แคดเมียม 0.019 ppm สังกะสี 0.100 ppm โดยไม่พบสารหนูและปรอทในตัวอย่าง

Kim *et al.* (1998) พบว่าก้างปลา yellowfin sole, conger eel และ mackerel มีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 37.1-38.6 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 37.1-38.6 เมื่อเปรียบเทียบกับชนิด และปริมาณของแร่ธาตุของไส้กระดุกในปลาชนิดต่างๆดังตารางที่ 2 พบว่าไส้กระดุกมีแคลเซียม เป็นองค์ประกอบระหว่าง 34-36 กรัม ต่อ 100 กรัมถ้า ยกเว้น Japanese anchovy ที่ประกอบด้วย แคลเซียมร้อยละ 24.4 และฟอสฟอรัสพบครึ่งหนึ่งของปริมาณแคลเซียมในไส้กระดุก แร่ธาตุที่เป็น องค์ประกอบส่วนมากของไส้กระดุกคือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม โดยปลาแต่ละชนิด จะมีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-3



ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อ

Type	Ca	P	Na	Mg	K	Fe	Zn	Mn	Cu
	(%)					(ppm)			
Sea bream	35.4	17.5	0.81	0.54	0.215	47	109	41	1.4
House mackerel	35.8	17.3	0.38	0.52	0.657	117	85	16	1.2
Carp	35.6	16.9	1.01	0.61	0.199	39	280	21	0.9
Shark	34.9	16.9	1.55	0.42	0.373	27	91	48	2.0
Cattle	36.5	17.2	0.85	0.81	0.340	267	209	1.4	0.7
Swine	36.9	17.0	0.77	0.66	0.364	114	218	1.1	1.2
Fowl	36.1	17.4	0.84	0.70	0.490	376	340	4.8	0.9
Japanese anchovy	24.4	16.3	6.27	0.99	3.07	434	252	158	10.3
Sardine	35.8	17.3	0.42	0.47	0.363	236	280	113	2.5
Mackerel	33.9	17.0	2.22	0.67	0.299	158	150	11	0.9
Tilefish	35.1	18.4	0.55	0.66	0.317	45	119	52	1.4
Croaker	35.1	17.8	0.60	0.53	0.372	825	104	53	1.4
Triggerfish	34.4	17.8	0.46	0.59	0.194	163	273	74	69.0
Lizard fish	35.7	17.8	1.48	0.67	0.209	23	196	148	2.1
Spanish mackerel	34.0	18.6	0.81	0.77	0.997	407	219	43	1.8
Flying fish	34.4	17.8	0.47	0.85	0.313	297	129	29	9.2
Conger eel	35.7	17.7	0.52	0.55	0.329	147	265	218	2.1
Flat fish	35.9	18.1	0.70	0.54	0.454	20	339	94	0.2

ที่มา: Hamada *et al.* (1995)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของกระดูกและครีปลาชนิดต่างๆ

ชนิดปลา	ปริมาณองค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)					
	น้ำ	ไขมัน	โปรตีน	เกลือแร่	ฟอสฟอรัส	แคลเซียม
N x 6.25						
ก้างปลา						
คอด	70.5-77.0	0.3-0.7	14.0-15.5	8.0-12.5	-	-
กระดูกทะเล	65.5	18.3	15.5	9.4	-	-
กดทะเล	65.5-69.5	9.5-11.0	14.0-14.5	6.0-7.5	-	-
หลังเขียว	60.0-67.5	9.5-14.5	15.0-17.0	5.5-7.5	1.2-1.4	1.6-2.6
ซีกเดียว	64.5-73.5	4.0-9.5	14.0-20.5	5.0-10.5	-	-
ไพค์เพิร์ช	54.0-69.0	5.0-10.0	10.5-20.5	10.5-11.5	1.6-2.3	2.2-4.1
ซีทฟิช	52.5-58.0	7.5-23.0	14.5-21.5	8.5-9.0	1.6-2.4	1.5-3.4
ตะเพียน	55.5-67.5	5.5-13.5	12.5-19.5	7.5-14.0	1.1-1.9	2.5-5.3
ไพค์	62.5-69.5	1.0-2.0	17.5-19.5	12.0-15.0	1.7-2.2	4.0-5.7
สเตอร์เจียน	62.0-63.5	14.0-25.0	12.0-14.5	1.0	0.4	-
ครีปลา						
คอด	72.0-74.0	1.0-1.5	15.5-16.0	8.0-19.5	-	-
กระดูกทะเล	56.5	1.5	16.8	21.6	-	-
กดทะเล	75.0-80.5	0.5-1.0	15.0-18.5	3.5-5.0	-	-
ซีกเดียว	73.0-77.5	1.0-2.5	12.5-14.5	5.5-10.5	-	-
ไพค์เพิร์ช	61.5-67.5	2.0-2.5	15.0-19.0	13.5-15.0	3.3	-
ซีทฟิช	46.0-56.0	23.0-37.0	12.5-14.0	-	0.6-0.9	0.4-1.2
คาร์พ	64.2	9.2	13.2	10.1	1.5	4.0
สเตอร์เจียน	55.0-56.5	10.5-13.5	20.5-21.0	10.5-11.5	2.0	4.5

ที่มา: ประเสริฐ (2526)

2. โครงสร้างกระดูกสันหลังของปลา

ส่วนประกอบของกระดูกปลาที่สำคัญคือกระดูกสันหลังปลาซึ่งมีลักษณะเป็นข้อๆ เรียกว่า vertebra เรียงต่อกันตั้งแต่ 56-200 ข้อ จากกระดูกสันหลังจนถึงส่วนหาง โดยแต่ละข้อสามารถต่อกันได้ด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งแต่ละข้อประกอบกันด้วยแท่งทรงกระบอกตันเรียกว่า centrum และกระดูกสันหลังต่อกับกระดูกสันหลังด้วยกระดูก occipital กระดูกกระดูกสันหลังเกิดจากกระดูก cranium หลายชิ้นมาต่อกัน ทำหน้าที่หุ้มมันสมอง มีกระดูกขากรรไกรทำหน้าที่หุ้มช่องปากและหลอดคอ กระดูกเหงือกและกระดูกแก้มทำหน้าที่ปิดช่องเหงือก กระดูกด้านหลังของกระดูกเหงือกจะรวมตัวกับส่วนหัวด้านล่างเรียก กระดูกสะบัก และต่อกับโคนกระดูกครีบอกและครีบท้อง ส่วนประกอบของกระดูกสันหลัง (ประเสริฐ, 2526; บัญญัติ, 2535) ดังนี้

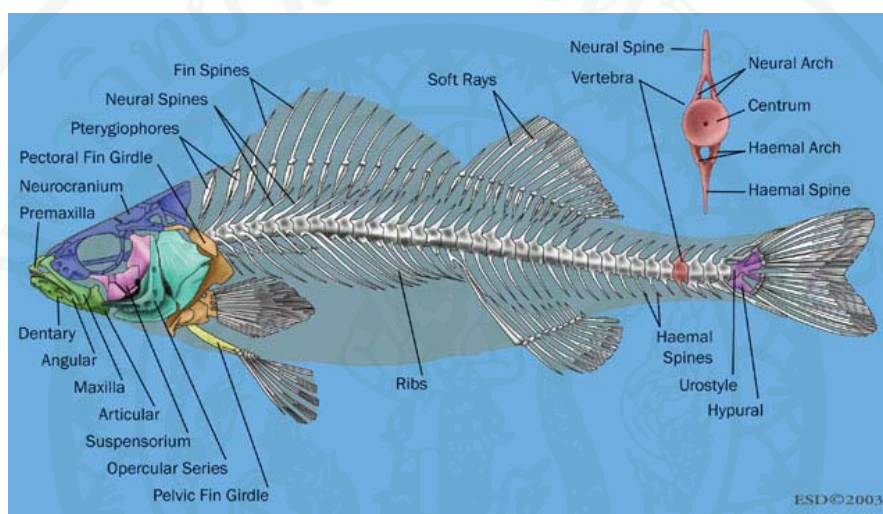
บริเวณด้านบน (neurapophysis) ประกอบด้วย ระบายค้ำบน (neural spine) โคนระบายค้ำบน (neural arch) และรูเส้นประสาท (neural canal)

บริเวณข้อกระดูกสันหลัง (centrum)

บริเวณด้านล่าง (haemapophysis) ประกอบด้วย โคนระบายค้ำล่าง (haemal arch) รูปบริเวณ โคนระบายค้ำล่าง (haemal canal) ระบายค้ำล่าง (haemal spine) ก้างปลา (haemal rib หรือ pleural rib) กระดูกเกี่ยวด้านหน้า (prezygapophysis) และกระดูกเกี่ยวด้านหลัง (postzygapophysis)

neurapophysis อยู่ด้านบน เรียกว่า neural arch และ neural spine ภายใน neural arch เป็น neural canal ซึ่งภายในคือไขสันหลัง กระดูกสันหลังหนึ่งข้อจะประกอบด้วย neural arch และ neural spine ฐานของ neurapophysis จะมี prezygapophysis และ postzygapophysis เพื่อเชื่อมกับกระดูกสันหลังข้อด้านหน้าและข้อด้านหลังตามลำดับ กระดูกสันหลังของปลาข้อแรก (atlas) ที่เชื่อมต่อกับกระดูกสันหลังส่วนของ neural spine จะหนา ซึ่งถัดมาเป็น centrum จะไม่พบ haemapophysis กระดูกสันหลังของปลาข้อที่สอง (axis) ที่มีลักษณะเหมือนข้อแรกคือไม่มี haemapophysis และ rib กระดูกสันหลังปลาในส่วนลำตัวจะพบ rib ซึ่งไม่มี haemal arch โดย rib ของก้างปลามีสองแบบคือ ก้างปลาบริเวณด้านล่าง เรียก pleural rib หรือ ventral rib และก้างปลาที่พบในแนวระนาบด้านข้างข้อกระดูกสันหลัง เรียก dorsal rib หรือ epipleural rib ส่วนกระดูกสันหลังปลาส່วนหางจะไม่พบก้างปลา (rib) แต่พบ haemal arch และ haemal spine ดังภาพที่ 2

กระดูกและครีบบปลามีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แคลเซียมฟอสเฟต และสารในโตรเจน เช่น ossein, glycoprotein แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่พบมากในกระดูกและครีบบปลา คือ แคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งพบปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสร้อยละ 1.5-4.0 และ 1.0-2.5 ตามลำดับ ขึ้นกับชนิดของปลา ฟอสฟอรัสในกระดูกปลาจะอยู่ในรูปฟอสฟาไทด์ประมาณร้อยละ 1-5 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด แร่ธาตุที่พบในปริมาณน้อยได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียม ฟลูออไรด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเกลือของแมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และอื่นๆ (ประเสริฐ, 2526)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของปลา

ที่มา: Jonna (2004)

3. แคลเซียมและการดูดซึม

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายของมนุษย์ต้องการตลอดชีวิต โดยเฉพาะในเด็ก ผู้สูงอายุ และหญิงตั้งครรภ์ ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทย (Thai RDI) แสดงดังตารางที่ 4 เท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อวัน แต่ FDA (Food and Drug Administration) กำหนดให้ RDI เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน โดยอาหารที่จะใช้คำโฆษณาว่า “good source of calcium” ในอาหารต้องมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 10-19 ของ RDI และถ้าจะใช้คำโฆษณาว่า “high calcium” ในอาหารต้องมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 ของ RDI (Park *et al.*, 1997) แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุด

ในร่างกายประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักตัว ซึ่งร้อยละ 99 พบในกระดูกและฟัน ส่วนอีกร้อยละ 1 พบในเนื้อเยื่อและของเหลวภายในร่างกาย เลือด ในกระดูกแคลเซียมจะจับตัวกับฟอสฟอรัสในรูปของเกลือเชิงซ้อน แคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กระดูกจะมีการสังเคราะห์และสลายตัวตลอดเวลา ในเด็กจะมีการสังเคราะห์กระดูกและการสร้างกระดูกใหม่มากกว่าการสลายตัว แต่ในผู้สูงอายุจะมีการสลายตัวมากซึ่งเป็นสาเหตุให้กระดูกเปราะง่าย (สิริพันธุ์, 2541) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคกระดูกพรุนซึ่งพบมากในผู้หญิง โรคกระดูกพรุนมีสาเหตุมาจากมวลของกระดูกลดลง ทำให้กระดูกเปราะและแตกหักได้ง่าย (Park *et al.*, 1997) สามารถป้องกันได้ด้วยการรับประทานแคลเซียมให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

หน้าที่ของแคลเซียม คือ เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ เป็นตัวเร่งและตัวยับยั้งการทำงานของน้ำย่อย เช่น ไลเปส ช่วยในการย่อยโปรตีนเคซีน ในนม ควบคุมความสมดุลของ pH ในร่างกาย ช่วยในการดูดซึมของวิตามินบี 12 และช่วยให้เลือดแข็งตัว (สิริพันธุ์, 2541)

การดูดซึมแคลเซียมในร่างกายมนุษย์สามารถดูดซึมได้สูงสุดร้อยละ 30-50 ในสภาวะที่ร่างกายต้องการแคลเซียมเป็นอย่างมาก แต่สภาวะปกติร่างกายจะดูดซึมแคลเซียมไว้ได้เพียงร้อยละ 20-30 บางครั้งดูดซึมได้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น ในเด็กที่อยู่ในวัยกำลังเจริญเติบโตร่างกายสามารถดูดซึมได้ถึงร้อยละ 75 การดูดซึมแคลเซียมในร่างกายมนุษย์จะดูดซึมที่ลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน โดยจากผลการทดลองของ นทีทิพย์ และคณะ (2436) พบว่าการดูดซึมแคลเซียมในลำไส้เล็กจะมีการดูดซึมสูงที่สุดในส่วน duodenum, colon และ jejunum ตอนต้น ที่ความเข้มข้นของแคลเซียม 0.3 mM แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นเป็น 10 mM จะมีการดูดซึมสูงที่สุดในส่วน duodenum และ jejunum ตอนต้น แคลเซียมส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมจะผ่านไปตามลำไส้ใหญ่รวมอยู่ในกากอาหารและถูกขับถ่ายออก การดูดซึมแคลเซียมขึ้นขึ้นอยู่กับการดูดซึมแคลเซียมในแต่ละบุคคล ซึ่งการดูดซึมจะน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้น

ตารางที่ 4 ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคใน 1 วันสำหรับกลุ่มอายุต่างๆ

กลุ่ม	กลุ่มอายุ	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)
ทารก	0-5 เดือน	210
	6-11 เดือน	270
เด็ก	1-3 ปี	500
	4-8 ปี	800
วัยรุ่น	9-18 ปี	1,000
ผู้ใหญ่	19-50 ปี	800
	> 50 ปี	1,000
หญิงตั้งครรภ์		800
หญิงให้นมบุตร		800

ที่มา: กองโภชนาการ (2545)

ปัจจัยที่ส่งเสริมการดูดซึมของแคลเซียมมีดังนี้ ปริมาณวิตามินดีในเลือดต้องมียกเพียงพอ จึงทำให้การดูดซึมแคลเซียมในลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพ ความเป็นกรดของอาหาร แคลเซียมจะถูกดูดซึมได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เพราะเป็นสภาวะที่เกลือแคลเซียมสามารถแตกตัวได้ดี กรดเกลือจากกระเพาะอาหารจึงช่วยให้การดูดซึมดีขึ้น แลคโตสจะเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมได้ดีขึ้น อัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหาร ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1 ต่อ 1 ในเด็กควรเป็น 1.3 ต่อ 1 (กองโภชนาการ, 2545)

ปัจจัยที่ทำให้การดูดซึมของแคลเซียมลดลงคือ อาหารที่มีแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารไม่สมดุลกันในเด็กทารก เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์และคาเฟอีน ทำให้เกิดการขับแคลเซียมออกทางปัสสาวะมากขึ้น ยาแผนปัจจุบันหลายชนิดที่ทำการดูดซึมแคลเซียมน้อยลง เช่น ยาลดกรดในกระเพาะอาหาร (กองโภชนาการ, 2545)

การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมในร่างกายขึ้นกับการดูดซึมของร่างกาย เกลือแคลเซียมแต่ละชนิดจะมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมแคลเซียมเพิ่มขึ้นตามความสามารถของการละลาย Hamada *et al.* (1995) พบว่าแคลเซียมที่พบในก้างปลานั้นเป็นแคลเซียมฟอสเฟต Sheikh *et al.* (1987) ศึกษาความสามารถในการละลายของแคลเซียม 4 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตต แคลเซียมแลคเตต

แคลเซียมกลูโคเนต และแคลเซียมซิเตรต พบว่า ความสามารถในการละลายของเกลือแคลเซียมทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกัน Schuette and Knowles (1988) เปรียบเทียบการดูดซึมของแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมซิเตรตในลำไส้ พบว่า ลำไส้สามารถดูดซึมแคลเซียมซิเตรตได้มากกว่าแคลเซียมฟอสเฟต ส่วน Lewis *et al.* (1989) ได้ทดสอบความสามารถในการดูดซึมแคลเซียม โดยการเสริมแคลเซียม 3 ชนิดคือ แคลเซียมจากนม แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในอาหาร พบว่าแคลเซียมทั้ง 3 ชนิดร่างกายสามารถดูดซึมได้ดี แต่แคลเซียมคลอไรด์ร่างกายจะมีการสูญเสียออกทางปัสสาวะค่อนข้างมาก แหล่งของแคลเซียมที่สำคัญคือ นมและผลิตภัณฑ์จากนมมีปริมาณแคลเซียม 113 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ปลาซาดีนกระป๋องในซอสมะเขือเทศ (รวมเนื้อและก้างปลา) มีปริมาณแคลเซียมประมาณ 380 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม สัตว์น้ำที่กินได้ทั้งกระดูกเช่น ปลาแกว้แห้งทอดมีปริมาณแคลเซียม 2,920 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เต้าหู้ขาวอ่อนมีปริมาณแคลเซียม 250 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และผักใบเขียว เช่น ผักโขมใหญ่ต้มมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 235 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม (กองโภชนาการ, 2545) จะเห็นได้ว่าปลาที่กินทั้งกระดูกนั้นมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าปริมาณแคลเซียมที่ได้รับจากอาหารชนิดอื่น

4. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

4.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้ให้ความหมายของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้รับประทานนอกเหนือจากการรับประทานอาหารตามปกติ ซึ่งมีสารอาหารหรือสารอื่นเป็นองค์ประกอบ อยู่ในรูปแบบเม็ด แคปซูล ผง เกล็ด ของเหลวหรือลักษณะอื่น ซึ่งมีใช้รูปแบบอาหารตามปกติ (conventional foods) สำหรับผู้บริโภคที่คาดหวังประโยชน์ทางด้านส่งเสริมสุขภาพ

ซึ่งสารอาหารอื่นหมายถึง

1. วิตามิน กรดอะมิโน กรดไขมัน แร่ธาตุ และผลิตภัณฑ์จากพืชหรือสัตว์
2. สารเข้มข้น สารเมตาโบไลต์ ส่วนประกอบ หรือสารสกัดของสารใน ข้อ 1
3. สารสังเคราะห์ที่เลียนแบบสารใน ข้อ 1 หรือ 2
4. ส่วนผสมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างของสารใน ข้อ 1, 2 หรือ 3

5. สารหรือสิ่งอื่นตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหารและยา

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- มีลักษณะเฉพาะตามชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ
- ตรวจไม่พบสแตฟฟีโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ต่ออาหาร 0.1 กรัม
- ตรวจไม่พบคลอสทริเดียม (*Clostridium* spp.) ต่ออาหาร 0.1 กรัม
- ตรวจไม่พบซัลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) ต่ออาหาร 25 กรัม
- ตรวจพบแบคทีเรียชนิด อี. โคไล (*Escherichia coli*) น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม

โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

- ตรวจพบสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ สารพิษอื่น สารปนเปื้อน หรือยาสัตว์ตกค้างได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยการนั้นแล้วแต่กรณี สารหนูในรูปอนินทรีย์ (inorganic arsenic) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีส่วนประกอบของสัตว์น้ำและอาหารทะเล หรือสารหนูทั้งหมด (total arsenic) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมอื่น ตะกั่ว (lead) ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

- มีปริมาณวิตามินหรือแร่ธาตุไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 และไม่เกินปริมาณสูงสุดที่กำหนดในบัญชีสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่หกปีขึ้นไป (Thai RDI)

รูปแบบของแคลเซียมได้แก่ แคลเซียม (calcium), แคลเซียมอมิโนแอซิดคีเลต (calcium amino acid chelate), แคลเซียมแอสคอร์เบต (calcium ascorbate), แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate), แคลเซียมเคซีเนต (calcium casienate), แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride), เกลือแคลเซียมของกรดซิตริก (calcium salts of citric acid), แคลเซียมกลูโคเนต (calcium gluconate), แคลเซียมกลีเซอโรฟอสเฟต (calcium glycerophosphate), แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide), แคลเซียม-แอล-แล็กเตต (calcium - L- lactate), แคลเซียมแล็กเตต (calcium lactate), แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide), แคลเซียมพรอพิโอเนต (calcium propionate), แคลเซียมฟอสเฟตไดเบสิก (calcium phosphate dibasic), แคลเซียมไพรูเวต (calcium pyruvate), เกลือแคลเซียมของกรดออร์โทฟอสฟอริก (calcium salts of orthophosphoric acid) ปริมาณสูงสุดที่ให้อาศัยตามคำแนะนำให้บริโภค 1 วัน (Thai Recommended Daily Intakes) คือ 800 มิลลิกรัมคำนวณเป็นแคลเซียม

4.2 ผลิตภัณฑ์แคลเซียมที่มีการจำหน่ายในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์แคลเซียมที่มีการจำหน่ายในประเทศไทย มี 4 รูปแบบ ชนิดเม็ดฟู มีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมอยู่ระหว่าง 240-500 มิลลิกรัม ต่อเม็ด ชนิด plain tablet มีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมอยู่ระหว่าง 39-600 มิลลิกรัม ต่อเม็ด ชนิดเม็ดสำหรับเคี้ยว มีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมอยู่ระหว่าง 250-500 มิลลิกรัม ต่อเม็ด และชนิดแคปซูลแข็ง มีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมอยู่ระหว่าง 130-600 มิลลิกรัม ต่อแคปซูล (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมที่มีจำหน่ายในรูปแบบต่างๆ

ชื่อทางการค้า	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/หน่วย)	ชนิดเกลือแคลเซียมและปริมาณบรรจุ (มิลลิกรัม/หน่วย)
ชนิดเม็ด		
1. Bone-Ne-Ca	240	Calcium carbonate 600
2. Calcium gluconate (องค์การเภสัชกรรม)	45	Calcium gluconate 500
3. Calcium lactate (องค์การเภสัชกรรม)	39	Calcium lactate 300
4. Calcium Unison	39	Calcium lactate 300
5. Calion	39	Calcium lactate 300
6. Caltrate	600	Calcium carbonate 1509.92
Caltrate 600+D	600	Calcium carbonate 1507.35
Caltrate plus	500	Calcium carbonate 1546.52
7. Dolomite bone meat	197	Calcium phosphate 300
		Calcium carbonate 200
ชนิดแคปซูล		
1. Calcanate	250	Calcium carbonate 625
2. Calcicap	240	Calcium carbonate 600
3. Calcium D	600	Calcium carbonate 1500
4. Chalkcap	140	Calcium carbonate 350
5. Dolomite	130	Calcium magnesium carbonate

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ชื่อทางการค้า	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/หน่วย)	ชนิดเกลือแคลเซียมและปริมาณบรรจุ (มิลลิกรัม/หน่วย)
ชนิดเม็ดฟู		
1. Ca-C 1000 Sandoz	250	Calcium lactate-gluconate 1000 Calcium carbonate 327
2. Calcium-D-Redoxon	250	Calcium carbonate 625
3. Calcium-Sandoz Forte	500	Calcium lactate-gluconate 2940 Calcium carbonate 300
4.Uspa-C Calcium	240	Calcium carbonate 600
ชนิดเม็ดสำหรับเคี้ยว		
1. Calchew	250	Calcium carbonate 500 Calcium gluconate 535
2. Weifa-Calcium	500	Calcium carbonate 1260

ที่มา: นุชสุรางค์ และ ดวงทิพย์ (2542)

5. การลดการปนเปื้อนในวัตถุดิบประเภทสัตว์น้ำ

วิธีที่นิยมในการลดการปนเปื้อนของวัตถุดิบโดยทั่วไปคือ การล้าง ซึ่งนิยมการล้างด้วยน้ำเย็นความดันสูงก่อนการตัดแต่ง การล้างด้วยน้ำร้อนหลังการตัดแต่ง หรืออาจใช้สารเคมีเข้ามาช่วยในการลดการปนเปื้อน ควบคู่กับการควบคุมคุณลักษณะในการตัดแต่ง อุณหภูมิ ระยะเวลา และสุขลักษณะที่ดี (พาขวัญ, 2546)

สารเคมีที่นิยมใช้ลดการปนเปื้อนโดยทั่วไป ได้แก่

- กรดซิตริก (citric acid)
- กรดโพรปีโอนิก (propionic acid)
- กรดฟอร์มิก (formic acid)
- กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

- คลอแรมเฟนิคอล (chloramphenical)
- สารประกอบแอมโมเนียม (quaternary ammonium compound)
- สารประกอบไฮโปคลอไรท์ (poly - hexamethylene - biguanide hypochloride)
- โอโซน (ozone)
- โพแทสเซียมซอร์เบต (potassium sorbate)
- ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)
- เอทานอล (ethanol)
- โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)
- สารผสมต่างๆ

สารเคมีที่นิยมใช้เพื่อลดการปนเปื้อนในเนื้อสัตว์และสัตว์น้ำ ได้แก่ คลอรีน (chlorine) กรดแอซิติก (acetic acid) และ กรดแล็กติก (lactic acid) เป็นต้น

รังสีที่ใช้ลดการปนเปื้อน ได้แก่

- รังสีแกมมา (gamma - ray)
- รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet - ray)
- รังสีอินฟราเรด (infrared - ray)

การกำจัดไขมันออกจากก้างปลาเพื่อนำไปผลิตเป็นเจลาตินนิยมใช้น้ำร้อนในการล้าง หรือการใช้สารละลาย benzene หรือ สารละลาย chlorinated hydrocarbons เช่น trichloroethylene และ perchlorethylene (Ward and Courts, 1977)

สารประกอบประเภทคลอรีน (chlorine) หรือ ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorites) เป็นสารออกซิไดส์ ซึ่งจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ จึงเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีข้อดีคือ ราคาถูก สามารถทำลายจุลินทรีย์ ไวรัส และสปอร์ได้หลายชนิด และไม่มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ยกเว้นในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก แต่การใช้คลอรีนก็มีข้อเสียคือ จะสลายตัวเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานและที่อุณหภูมิสูงสามารถจับตัวกับสารอินทรีย์ทำให้ความสามารถในการฆ่าเชื้อลดลง (สุวิมล, 2547) มีการแนะนำให้ใช้คลอรีนกับน้ำล้างวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ประมงประมาณ 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร (Codex, 2000) ส่วนในประเทศไทยมีข้อแนะนำสำหรับโรงงานผลิตสัตว์น้ำ

แช่เยือกแข็งให้มีปริมาณคลอรีนที่เหลือ (Residual chlorine) ในน้ำขณะที่ใช้เป็นน้ำล้างวัตถุดิบ เท่ากับ 2 - 10 ส่วนต่อต่อล้านส่วน (กรมประมง, 2537)

ในกระบวนการผลิตสุริจะมีขั้นตอนการล้างเนื้อปลาสด เพื่อจัดไขมัน องค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ และกลืนควา โดยใช้ น้ำเย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนจากเนื้อปลา และน้ำเย็นจะทำให้ไขมันรวมตัวกันเป็นก้อนและลอยบนผิวน้ำทำให้แยกออกได้ง่าย ในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมเติมเกลือร้อยละ 0.2-0.3 เพื่อช่วยในการละลายโปรตีนในอะซิน รวมทั้งเพื่อช่วยเพิ่มรสชาติ การล้างจะนิยมแช่เนื้อปลาในถังและใช้แรงกล คือการกวนช่วยให้ไขมันแยกตัวออกได้มากขึ้น การล้างนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ล้าง มักล้างประมาณ 2-4 รอบ โดยรอบละประมาณ 15 นาที อัตราส่วนเนื้อปลาสดต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 3 มีรายงานว่า การล้างเนื้อปลาร็อกฟิชที่มีไขมันร้อยละ 4.96 ด้วยอัตราส่วนเนื้อปลาสดต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 4 จำนวน 2 รอบ ช่วยลดปริมาณเถ้าและไขมันร้อยละ 80 และ 65 ตามลำดับ และการล้างเนื้อปลาสดสภาพแช่แข็งที่มีไขมันน้อยกว่าร้อยละ 1 ช่วยลดปริมาณเถ้าและไขมันร้อยละ 70 และ 46 ตามลำดับ (จักรี, 2540)

6. กระบวนการแปรรูปเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมง

กระบวนการแปรรูปเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมง เพื่อเพิ่มมูลค่านั้น มีเป้าหมายเพื่อลดค่าจัด สิ่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของวัตถุดิบ หรือเดิมสิ่งที่เป็นประโยชน์ให้แก่วัตถุดิบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถแบ่งกระบวนการแปรรูปเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมงที่นิยมใช้ได้เป็น 4 วิธีคือ การใช้อุณหภูมิต่ำ การให้ความร้อน การทำแห้ง และการใช้สารเคมี (Falch *et al.*, 2007)

6.1 การใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้อุณหภูมิต่ำ เช่น การแช่เย็น และ การแช่แข็ง สามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมงได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เย็นอยู่ระหว่าง -1 ถึง +8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปกติที่ใช้ในการแช่แข็งคือ -18 องศาเซลเซียส มีการศึกษาว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นไม่แตกต่างกัน สำหรับก้างปลาควรเก็บรักษาโดยการแช่เย็น และใช้กระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะตลอดกระบวนการผลิต ปลาหมัก (silage)

น้ำมันปลา และ ปลาป่น ควรเก็บรักษาโดยการแช่เย็น ให้ความร้อนเบื้องต้นกับวัตถุดิบก่อนนำไปผ่านขั้นตอนการผลิต เช่น การใช้กรด หรือ เอนไซม์ เพื่อประยุกต์เป็นอาหารคนหรือผลิตเป็นอาหารสัตว์ การจับปลาโดยใช้เรือขนาดใหญ่ภายในเรือจะใช้ตู้แช่เย็นหรือแช่แข็ง ซึ่งใช้พลังงานจากไฟฟ้าหรือน้ำมัน ในขณะที่เรือจับปลาขนาดเล็กจะทำการทำเย็นจากน้ำแข็ง การทำความเย็นไม่เพียงแต่ใช้รักษาคุณภาพของสัตว์น้ำที่จับได้เท่านั้น แต่การทำความเย็นยังใช้เก็บรักษาวัตถุดิบก่อนนำเข้ากระบวนการในการผลิต ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ (Falch *et al.*, 2007)

6.2 การให้ความร้อน

การให้ความร้อน เป็นวิธีที่นิยมใช้กับเศษเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลา เนื่องจากความร้อนสามารถหยุดปฏิกิริยาจากเอนไซม์และฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งจุลินทรีย์โดยทั่วไปไม่สามารถเจริญเติบโตหรือเพิ่มจำนวนที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียสได้ เช่น วิสเคอร์ไลเซชัน แต่การใช้ความร้อนก็มีข้อเสีย คือเป็นสาเหตุหลักของการเสียสภาพของโปรตีนส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ความร้อนสามารถหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ เวลา ชนิดของเอนไซม์ และความเป็นกรด-ด่าง พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีจะสามารถหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โปรติเอส และไลเปสได้ แต่การใช้ความร้อนในการการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่ได้เป็นข้อดีเสมอไป เพราะการผลิตปลาหมักต้องอาศัยเอนไซม์ในกระบวนการผลิต ดังนั้นการใช้ความร้อนจึงไม่เหมาะสม (Falch *et al.*, 2007)

การใช้ความดันสูงมีหลักการทำงานคือ การบีบอัดน้ำที่ล้อมรอบอาหารความดันทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง โดยปริมาตรของน้ำจะลดลงมากขึ้นเมื่อใช้ความดันสูงขึ้น และน้ำจะเปลี่ยนแปลงเป็นของแข็งที่ความดันสูงกว่า 1,000 MPa การใช้ความดันสูงจะทำลายหรือมีการสร้างพันธะนอนโควาเลนต์ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และพันธะไฮโดรโฟบิกของโครงสร้างอาหารจากสาเหตุที่ปริมาตรลดลง จึงทำให้โปรตีน โพลีแซ็กคาไรด์ และ เอนไซม์ เสียสภาพ ส่วนสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและไม่ได้ประกอบด้วยพันธะนอนโควาเลนต์เช่น วิตามิน และ กลิ่นรส จึงไม่เกิดการเสียสภาพ การใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหารทำให้อาหารคงคุณค่าทางด้านวิตามินและกลิ่นรสมากกว่าการต้ม การใช้ความดันสูงให้ผลคล้ายกับการใช้ความร้อนแต่มีข้อดีคือความดันไม่ทำลายพันธะโควาเลนต์ และไม่ทำให้เกิดกลิ่นไหม้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (วิล, 2545) การใช้ความดัน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตกระดูกสัตว์ป่น โดยวิธีนี้จะทำให้โครงสร้างของกระดูกเปราะและง่ายต่อการบด

6.3 การทำแห้ง

การทำแห้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเศษเหลือจากการแปรรูปปลา เนื่องจากช่วยลดปริมาณความชื้น และค่าออกซิเจนอิสระ ซึ่งค่าออกซิเจนอิสระต่ำกว่า 0.8 การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์จะลดลง และค่าออกซิเจนอิสระต่ำกว่า 0.6 จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อค่าออกซิเจนอิสระอยู่ในช่วง 0.2-0.6 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจะลดลง (Falch *et al.*, 2007)

6.4 การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมี เช่น การใช้กรด หรือการปรับค่ากรด-เบสให้ต่ำลง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ เนื่องจากสภาวะไม่เหมาะสมของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตมีสาเหตุหลักๆ คือ ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ เอนไซม์ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน การลดกิจกรรมของจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การใช้ความร้อน การลดค่าออกซิเจนอิสระ การปรับค่ากรด-เบส และใช้กระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ การลดกิจกรรมของเอนไซม์สามารถทำได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การใช้ความร้อน การลดค่าออกซิเจนอิสระ การปรับค่ากรด-เบส เช่นเดียวกัน และสามารถใส่สารเคมีเพื่อช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ โดยทำให้สารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต และการลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสามารถทำได้โดยลดอุณหภูมิการเก็บรักษา ลดปริมาณออกซิเจน และควบคุมไม่ให้สัมผัสกับตัวอย่าง รวมทั้งการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (antioxidant) ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับกรด เช่น การหมักเศษเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง (Falch *et al.*, 2007)

จากวิธีการข้างต้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ Ishikawa *et al.* (1987) ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 -140 องศาเซลเซียส ต่อก้างปลาแมคเคอเรลเพื่อศึกษาความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการละลายของสารอินทรีย์และเถ้า โดยนำระยางค์ส่วนบนของก้างปลาแมคเคอเรลมาต้มด้วยน้ำกลั่นในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 80 -140 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส และ สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของก้างปลาโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด scanning electron microscope (SEM) พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นก้างปลาจะมีการอ่อนตัวเพิ่มขึ้น การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้เกิดรูและรอยแตกบนกระดูก โดยขอบของรูจะเรียบและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อต้มนาน 40 นาที การอ่อนตัวของกระดูกเกิด

จากการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนเป็นเจลาติน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาจะส่งผลให้การละลายของสารอินทรีย์ของก้างปลาเพิ่มขึ้น จึงสามารถลดปริมาณโปรตีนและไขมันในก้างปลา โดยอุณหภูมิและเวลาไม่ส่งผลต่อปริมาณเถ้า ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาจึงไม่ทำให้ปริมาณของแคลเซียมลดลง เนื่องจากแคลเซียมมีจุดเดือดที่อุณหภูมิที่สูงคือ 1484 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่ 842 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าก้างปลามีความอ่อนตัวมากขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง สังเกตได้จากการลดลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันระหว่างการให้ความร้อนโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด scanning electron microscope (SEM)

Ishikawa *et al.* (1990) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความแข็งของก้างปลาและเนื้อปลา โดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 1.2, 1.6 และ 1.9 kgf.cm⁻² และที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 1.6, 2.0 และ 2.7 kgf.cm⁻² พบว่าไอน้ำทำให้น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างสูงขึ้นรวมทั้งเมื่อเพิ่มความดันทำให้ชิ้นตัวอย่างนุ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความดันจะช่วยเพิ่มแรงกดทำให้ก้างปลาแตกเปราะง่าย

เอกชัย (2543) นำก้างปลาโอแถบ *Katsuwonus pelamis* มาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารว่าง โดยก้างปลาที่นำมาศึกษานั้นเป็นเศษเหลือจากการผลิตทูนากะป๊อง ก้างปลาเหล่านี้จึงผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงมาแล้ว ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมก้างปลาทูนากะป๊องโดยการให้ความร้อนภายใต้แรงดันสูงที่อุณหภูมิ 120, 125 และ 130 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 30, 40, 50 และ 60 นาที นำมาวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด (shear force) ด้วยเครื่อง Texture Analyser โดยใช้ blade set with knife probe (HDP/BSK) และปริมาณโปรตีน นำก้างปลาทูนากะป๊องที่สภาวะที่เหมาะสมมาศึกษาภาพถ่ายพื้นผิวของระยางค์ส่วนบนด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ต่อจากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที จากนั้นนำมาบดด้วยไม้หินแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh ประเมินคุณภาพโดยทดสอบทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น นำตัวอย่างที่ผ่านกรรมวิธีที่เหมาะสมไปศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 55 องศาเซลเซียส สุ่มวิเคราะห์ค่า TBA และ PV ทุกๆ 2 สัปดาห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 นาที เมื่อสังเกตภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าก้างปลาที่ผ่านความร้อนมีรูและรอยแตกเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระดูกที่ไม่ผ่านความร้อน สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 นาที เนื่องจากมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นยังเป็นที่

ยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์บรรจุในถุง OPP/Metallized/PP สภาวะสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 11 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ช่อผกา (2546) ศึกษา น้ำยาก้อนเสริมแคลเซียมจากก้างปลา โดยการเติมแคลเซียมจาก ก้างปลาน้ำดอกไม้ ลงในน้ำยาก้อนที่รับประทานกับขนมจีน นำปลาทั้งตัวไปนึ่งเป็นเวลา 20 นาที ก่อนแกะก้างออก และนำไปผ่านความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ เป็นเวลา 60, 90 และ 120 นาที ศึกษาระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180, 240 และ 300 นาที นำก้างปลามาบดด้วยเครื่องบดของแห้ง และเครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 14 mesh นำไปวิเคราะห์ความชื้น พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนภายใต้ความดันนานขึ้นก้างปลาจะมีสีเข้มขึ้นและมีความอ่อนตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงใช้เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที และใช้ระยะเวลาในการอบ 300 นาที เนื่องจากมี ปริมาณความชื้นและสีที่เหมาะสม โดยก้างปลามีสีน้ำตาลและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.51

Ishikawa *et al.* (1989) ศึกษาผลของกรดอะซิติกต่อการอ่อนตัวและการละลายของ สารอินทรีย์ในระยางค์ส่วนบนของก้างปลาแมคเคอเรล โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 0.00, 0.04, 0.75, 1.50 และ 3.00 ที่เวลาแตกต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะทำให้ก้างปลา นิ่มมากขึ้น เนื่องจากการละลายของสารอินทรีย์ในก้างปลาเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเถ้ามีการเปลี่ยนแปลง เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

นิติพงศ์ (2543) ศึกษาการผลิตแคลเซียมและเจลาตินจากเศษเหลือของโรงงานซูริมิ โดยการแช่เศษเหลือจากปลาทรายแดงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่องกันโดยเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกๆ 4 ชั่วโมง สังเกต การเปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 นาที เปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมและเจลาตินกับการแช่สารละลายกรด ไฮโดรคลอริกพร้อมด้วย พบว่าการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกพร้อมด้วย ส่งผลให้ปริมาณ แคลเซียมน้อยกว่าการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงชนิดเดียว ซึ่งปริมาณแคลเซียมของ ทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ส่วนปริมาณเจลาตินของทั้ง 2 วิธีไม่ แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จึงเลือกวิธีการแช่สารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.8 นาน 90 นาที เพียงชนิดเดียว จากนั้นทำการศึกษาการใช้ความร้อนในการสกัดเจลาตินที่ อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60, 90, 120 และ 150 นาที พบว่าสภาวะที่ เหมาะสมในการสกัดคือ อุณหภูมิการสกัดที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที จากนั้นนำเศษ

เหลือจากการสกัดเจลาตินที่ประกอบด้วย ก้าง ครีบ และเกล็ดมาล้างน้ำและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส ร่วมกับการตากแดด พบว่าการตากแดด 48 ชั่วโมง ร่วมกับการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที มีความเหมาะสมเนื่องจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60-150 นาทีไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาปริมาณแคลเซียม แต่การใช้กรดไฮโดรคลอริกในการแช่เศษเหลือจากปลาทรายแดงทำให้ปริมาณแคลเซียมลดลง

Park and Lee (1982) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของสารอาหารที่พบในก้างปลาสด mackerel, flounder, pomfret, chub mackerel และก้างปลา Alaskan Pollack แช่แข็ง พบว่าการเติมน้ำส้มสายชูในน้ำที่ใช้ในการต้มก้างปลาร้อยละ 1 ทำให้การละลายของแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 3 มิลลิกรัม เป็น 44 มิลลิกรัมต่อก้างปลา 100 กรัม และมีอัตราส่วนปริมาณแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 ต่อ 1.3 รวมทั้งการให้ความร้อนที่ความดันบรรยากาศและการให้ความร้อนภายใต้ความดันไม่ส่งผลต่อการละลายของแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญ

Kanehama and Shimamori (2006) พบว่าการแช่ก้างปลาในสารละลายกรดตามด้วยการแช่ในสารละลายด่าง ทำให้ก้างปลาเกิดการอ่อนตัว

7. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมง

ปลาสดเป็นวัตถุดิบที่เสื่อมเสียง่าย ซึ่งเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์เป็นหลัก แต่ถ้าวัตถุดิบมีการป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์อย่างดีแล้ว วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ก็อาจเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องมาจากเอนไซม์ ซึ่งระดับการยอมรับในการเกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับผู้บริโภค (Falch *et al.*, 2007)

7.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากจุลินทรีย์

ลักษณะทางชีววิทยาของปลาส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยวัตถุดิบอาจปนเปื้อนจุลินทรีย์จากกระบวนการผลิต เนื่องจากคน อุปกรณ์ และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จึงเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค กระบวนการผลิตเศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ประมงนั้นต้องใช้วิธีการเก็บรักษาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ถูก

สุขภาพดี เพราะแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบสามารถผลิตเอนไซม์ที่ทำลายคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ เช่น โลเปส โปรติเอส เปปติเดส และ รีดักเตส ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ (Falch *et al.*, 2007)

7.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากเอนไซม์

สำหรับปลาที่มีชีวิตเอนไซม์เป็นระบบชีวเคมีที่ช่วยป้องกันการทำลายจากจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อม แต่เมื่อปลาตายเอนไซม์เหล่านั้นจะหยุดทำงาน ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ จึงเป็นสาเหตุทำให้ปลาเสื่อมเสีย เกิดกลิ่น และรสชาติผิดปกติ ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสเศษเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาเป็นสาเหตุหลักของการเกิดเอนไซม์ โลเปส โปรติเอส เปปติเดส การเกิดปฏิกริยาโปรติโอไลซิส ทำให้โปรตีนถูกย่อยเป็นเปปไทด์สายสั้นและกรดอะมิโน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ปฏิกริยาไลโปไลติกเป็นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษา เอนไซม์ไลเปสจะไฮโดรไลส์กรดไขมันอิ่มตัว ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของไขมันในผลิตภัณฑ์ประมง ซึ่งน้ำมันปลาใช้ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นปัจจัยในการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Falch *et al.*, 2007)

7.3 การเกิดออกซิเดชันของไขมัน

อัตราการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ซึ่งปฏิกริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดสารอัลดีไฮด์ คีโตน และกรด ซึ่งเป็นปฏิกริยาในขั้นที่สอง ที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของไขมัน พบว่าปฏิกริยาออกซิเดชันในน้ำมันปลาสามารถรับรู้ได้โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งสารประกอบที่ได้ในปฏิกริยาขั้นที่สองมีปริมาณ 10^{-5} - 10^{-2} ไมโครกรัมต่อน้ำมันหนึ่งกรัม โดยปกติแล้วเศษเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาจะเสื่อมเสียจากสารพิษที่แบคทีเรียสร้างขึ้นหรือจากเอนไซม์ก่อนที่จะเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันจนไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของน้ำมันจากผลิตภัณฑ์ประมง และผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันสูง (Falch *et al.*, 2007)

การเกิดออกซิเดชันของไขมันเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิด peroxide linkage ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองอย่างต่อเนื่อง เป็นสาเหตุให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จัดอยู่ในกลุ่มโอเมก้า-3 ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากมีความสำคัญต่อสมองและระบบประสาท ป้องกันการอุดตันของเส้นเลือด เช่น eicosapentaenoic (EPA) และ docosahexaenoic (DHA) (มัทนา, 2545) ถูกทำลาย คุณค่าทางโภชนาการจึงลดลง (นิธิยา, 2545) การเกิดออกซิเดชันของไขมันยังเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เนื่องจากการเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเกิดการสลายตัว โพลีเมอร์ไรเซชันเป็นสารประกอบ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นผิดปกติของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ และเกิดการเสื่อมเสีย (Hamilton, 1994)

7.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

7.3.1.1 ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งส่งผลต่อจำนวนพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า เช่น ในปลาแห้งและปลาแช่แข็ง จำนวนพันธะคู่ในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นสาเหตุหลักให้เกิด oxidative rancidity เช่น eicosapentaenoic (EPA) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่เท่ากับ 20:5 ตามลำดับ docosahexaenoic (DHA) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่เท่ากับ 22:6 ตามลำดับ หากปลาที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากจะเกิดกลิ่นหืนง่ายในการเก็บรักษา ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบก็มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณไขมันขึ้นกับชนิดของปลาและฤดูกาล (Harris and Tall, 1994) และกรดไขมันในรูป -ซิส (-cis) ถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่ากรดไขมันในรูป -ทรานส์ (-trans) รวมทั้งพันธะคู่ในตำแหน่งที่เป็น conjugated double bond จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตำแหน่งที่เป็น nonconjugated double bond (นิธิยา, 2545)

7.3.1.2 ความเข้มข้นของออกซิเจน ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันเฉพาะสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งยังขึ้นกับอุณหภูมิและพื้นที่ผิว Andersson and Lingnert (1999) ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันจาก rape seed ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 0.5 และมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 1 พบว่าที่ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่ความเข้มข้นของออกซิเจนสูง

7.3.1.3 อุณหภูมิ อัตราการเกิดออกซิเดชันขึ้นกับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงอัตราการเกิดออกซิเดชันจะเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (นิธิยา, 2545; Hamilton, 1994) แต่การเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดกลิ่นหืนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า -5 องศาเซลเซียส น้ำจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นผลึกน้ำแข็ง แต่อุณหภูมิยังไม่สูงพอที่สารที่เป็นสาเหตุของกลิ่นหืนเกิดการแข็งตัว ดังนั้นสารเหล่านั้นยังคงเป็นของเหลว ที่เข้มข้นขึ้นเป็นสาเหตุให้มีอัตราการเกิดกลิ่นหืนสูงขึ้น (Harris and Tall, 1994a) ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีอัตราการเกิดกลิ่นหืนต่ำ (Harris and Tall, 1994b)

7.3.1.4 พื้นที่ผิว การเกิดออกซิเดชันจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวที่ไขมันสัมผัสกับอากาศมากขึ้น เช่น เนื้อปลาจะมีอัตราการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อปลาแล่ เนื่องจากเนื้อปลามีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศสูงกว่าเนื้อปลาแล่ (Harris and Tall, 1994a)

7.3.1.5 ความชื้น อัตราการเกิดออกซิเดชันขึ้นกับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ (0.1) อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเร็ว และลดลงเมื่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเท่ากับ 0.3 แต่เมื่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตีอยู่ในช่วง 0.55-0.85 ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วอีกครั้ง เนื่องจากปริมาณน้ำมีมากเพียงพอในการเคลื่อนที่ของคะตะลิสต์ และออกซิเจน (นิธิยา, 2545)

7.3.1.6 Pro-oxidants ที่ความเข้มข้น 0.1 ppm ของ metal ions เช่น โคบอลต์ เหล็ก แมกนีเซียม ทองแดง และนิกเกิล ส่งผลให้อัตราการเกิดออกซิเดชันเร็วขึ้น (นิธิยา, 2545; Hamilton, 1994)

จากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้างต้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ เอกชัย (2543) ทำการเก็บรักษาแก้มปลาทูน่าในถุง OPP/Metalized/PP ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 30 45 และ 55 องศาเซลเซียส สุ่มวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid number (TBA) และ Peroxide value (PV) ทุก 2 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น โดยใช้ค่า PV เท่ากับ 20 มิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม (meq/kg) เป็นค่าที่ใช้ตัดสินการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ เนื่องจาก Pearson (1976) กล่าวว่าค่า PV เท่ากับ 20 มิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม เป็นปริมาณที่ผู้ทดสอบเริ่มรับรู้ในกลิ่นหืน มีค่า TBA เท่ากับ 1.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นแก้มปลาทูน่าบรรจุในถุง OPP/Metalized/PP สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ได้เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

Sinnhuber and Yu (1958) ได้ศึกษากลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ประมงโดยใช้ 2-Thiobarbituric acid พบว่า ปลากระป๋องและปลาแช่แข็งที่มีค่า TBA น้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยังมีคุณภาพดี

และผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียเมื่อค่า TBA เพิ่มขึ้นเป็น 4-27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาป่นมีค่า TBA เริ่มต้นเท่ากับ 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เริ่มเสื่อมเสียเมื่อค่า TBA ประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้ำมันปลาแซลมอนมีค่า TBA เริ่มต้นเท่ากับ 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เริ่มเสื่อมเสียเมื่อค่า TBA เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Baik *et al.* (2004) ศึกษาผลของการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชันและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเกิดออกซิเดชันของผงน้ำมันปลา โดยทำการวิเคราะห์ค่า PV และ TBA ของผงน้ำมันปลาที่ไม่เติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เติม alpha-tocopherol 250 ppm 1,000 ppm และ ascorbyl palmitate 250 ppm เก็บรักษาในเคซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0, 11, 33 และ 43 พบว่า alpha-tocopherol เป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และการใช้ alpha-tocopherol มากกว่า 200 ppm ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 10-30 สามารถลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จึงยืดอายุของผลิตภัณฑ์ผงน้ำมันปลาได้

Tokur *et al.* (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเบอร์เกอร์ปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เบอร์เกอร์ปลานิลมีองค์ประกอบเป็นโปรตีนร้อยละ 17.82 ไขมันร้อยละ 5.29 ความชื้น 66.68 เถ้า 2.56 และ Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 7.95 พบว่าเบอร์เกอร์ปลานิลมีอายุการเก็บรักษา 8 เดือน จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีค่า peroxide value (PV) เริ่มต้นเท่ากับ 0.18 มิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 5.03 มิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน และลดลงเป็น 0.82 มิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน และมีค่า TBA สูงสุดเท่ากับ 0.142 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อกิโลกรัม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (กรดโอเลอิก) เริ่มต้นร้อยละ 2.73 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.14 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน และร้อยละ 5.92 เมื่อสิ้นอายุการเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ก้างปลานิล (*Tilapia nilotica*) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท จีราด้า เลเซอร์ จำกัด

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท วิทยาศาสตร์ จำกัด เกรด B.P. (British Pharmaceutical)

- 2.1.2 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ บริษัท วิทยาศาสตร์ จำกัด

2.2 เครื่องมือ

- 2.2.1 กรรไกรตัดกระดูก

- 2.2.2 เตาแก๊ส

- 2.2.3 ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3. อุปกรณ์ในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียม

- 3.1 หม้อนึ่งความดันสูงภายใต้ความดัน (Retort) บริษัท โอนเนอร์ ฟู้ดส์ แมชชีนเนอร์ จำกัด รุ่น 60 ROFM

- 3.2 ตู้อบแห้งลมร้อนชนิดแบบถาด (Tray dryer) บริษัท ห.จ.ก. ปีดัมบลิวเอสเทรดดิ้ง ประเทศไทยรุ่น B.W.S.

- 3.3 ถุงพลาสติก ชนิด High Density Polyethylene (HDPE)

- 3.4 อุปกรณ์เครื่องครัว

- 3.5 เครื่องบดผสม ของ Nesco รุ่น Tarantura NC-4695

- 3.6 เครื่องบดละเอียด ของ Retsch รุ่น ZM100

- 3.7 เครื่องเขย่าร้อน ของ Retsch รุ่น AS 200 digit

- 3.8 รางบรรจุแคปซูล

4. อุปกรณ์ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาปลานิลผงบรรจุแคปซูล

4.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส

4.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 45 ± 2 องศาเซลเซียส

4.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียส

5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

5.1 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

5.1.1 เครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer ของ Minolta รุ่น CM-3500d

5.1.2 เครื่องวัด Water activity ของ AquaLab รุ่น 3TE

5.1.3 เครื่องถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning electron microscope (SEM) ของ JEOL รุ่น JSM 5600LV

5.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

5.2.1 สารเคมี

- สารเคมีในการวิเคราะห์แคลเซียม
- สารเคมีในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส
- สารเคมีในการวิเคราะห์ตะกั่ว
- สารเคมีในการวิเคราะห์สารหนู
- สารเคมีในการวิเคราะห์ Thiobarbituric acid number (TBA)
- สารเคมีในการวิเคราะห์โปรตีน
- สารเคมีในการวิเคราะห์ไขมัน

5.2.2 อุปกรณ์

- ตู้อบวิเคราะห์ความชื้น ของ Binder รุ่น FD-115
- เตาเผา ของ Stuart Scientific
- ชุดย่อยโปรตีน ของ Tecator รุ่น 2006 Digestor
- เครื่องกลั่นโปรตีน ของ Buchi รุ่น B-324
- เครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer ของ Shimadzu UV-Vis รุ่น UV-160A
- เครื่องสกัดไขมัน ของ Tecator รุ่น Soxtec Avanti 2050
- โอคูดความชื้น

5.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

5.3.1 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (autoclave-steam sterilizer) ของ Omron รุ่น

STMN-Y222

5.3.2 อุปกรณ์เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

5.3.3 ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน ของ Binder รุ่น FD-115

5.3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

5.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

5.4.2 แบบสอบถาม

วิธีการ

1. การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

นำก้างปลาที่ผ่านการตัดหัว หางและครีบออก จากนั้นทำการขูดเนื้อที่ติดมาออกล้างและนำมาศึกษาคุณภาพดังนี้

1.1 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (2000)
- โปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

1.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Escherichia coli* ตามวิธีของ BAM (2001)

นำก้างปลานิลไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที (นิติงศ์, 2543) และนำไปศึกษาคุณภาพดังนี้

1.3 คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสีในระบบ CIE L* C* h ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของ Minolta รุ่น CM-3500d โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข
- ถ่ายภาพพื้นผิวของก้างปลานิลด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ของ JEOL รุ่น JSM 5600LV โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข

2. การศึกษากรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบ

การศึกษากกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบมีวัตถุประสงค์เพื่อลดโปรตีน ไขมัน รวมทั้งลดจำนวน จุลินทรีย์เบื้องต้นที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ โดยนำก้างปลานิลที่ผ่านการตัดหัว หางและครีบออก ขูด เนื้อที่ติดมา ล้าง และศึกษากกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น 3 วิธี คือ ต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 10 ppm (Codex, 2000) และแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที (นิติงศ์, 2543) ใช้ปริมาณก้างปลาต่อน้ำหรือสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 5 จากนั้นสะเด็ดน้ำ 5 นาที และนำไปศึกษาคุณภาพดังนี้

2.1 คุณภาพทางจุลินทรีย์

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Escherichia coli* ตามวิธีของ BAM (2001)

นำก้างปลานิลที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมทั้ง 3 วิธี ไปให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดัน สูง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ 121 องศาเซลเซียส เพื่อให้โครงสร้างก้างปลานิลมีความพูนมากขึ้น ง่ายต่อการบดละเอียด (Ishikawa *et al.*, 1990) และนำไปศึกษาคุณภาพดังนี้

2.2 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (2000)

- โปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

นำก้างปลานิลไปทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (นิตินพ, 2543) และนำไปศึกษาคุณภาพดังนี้

2.3 คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสีในระบบ CIE L* C* h ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของ Minolta รุ่น CM-3500d โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข
- ถ่ายภาพพื้นผิวของก้างปลานิลด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ของ JEOL รุ่น JSM 5600LV โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข

คัดเลือกกรรมวิธีการเตรียมที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความพรุนของโครงสร้างก้างปลามากที่สุด ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมันหลงเหลือน้อยที่สุด และปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

นำก้างปลาที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมที่เหมาะสมจากข้อ 2 มาล้างน้ำไหลผ่าน และให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3x3 in Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ระยะเวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ; 30, 60 และ 90 นาที และอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ ที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง ดังนั้นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก้างปลานิลมีทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง โดยบรรจุก้างปลาลงในถุงพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) จำนวน 2 ชั้น อัตราส่วนก้างปลา 1 ส่วนต่อน้ำ 4 ส่วน ให้ความร้อน นำแต่ละสิ่งทดลองมาทำการวิเคราะห์ค่าดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) AquaLab รุ่น 3TE สุ่มวัดค่าทุกๆ 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 และ 300 นาที โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข

- วัดค่าสีในระบบ CIE L* C* h ด้วยเครื่อง Minolta Spectrophotometer CM-3500d ของ
ก้างปลา ก่อนและหลังกระบวนการนึ่งความดันสูงและหลังกระบวนการอบแห้ง โดยมีวิธีวัดค่าดัง
ภาคผนวก ข

- ถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลก่อนการอบด้วยเครื่อง Scanning electron
microscope (SEM) ของ JEOL รุ่น JSM 5600LV โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข

3.2 คุณภาพทางเคมี

- ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000) สุ่มวัดค่าทุกๆ 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180,
240 และ 300 นาที
- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000)

คำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างกรอบแห้งก้างปลานิลโดยใช้สมการที่ 1
และหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นโดยใช้ Lewis model ดังสมการที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวน
โดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test คัดเลือก
สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมก้างปลานิลโดยพิจารณาจากปริมาณแคลเซียม ความพรุนของ
โครงสร้างก้างปลา และค่า kinetic rate constant สูงที่สุด จากนั้นนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

$$MR = (M_t - M_e) / (M_o - M_e) \quad (1)$$

โดยค่า MR คือ สัดส่วนความชื้น (moisture ratio)

M_t คือ ปริมาณความชื้นที่เวลา t (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

M_o คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

M_e คือ ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) กำหนดให้เท่ากับ 0 (Ozbek and
Dadali, 2007)

$$MR = \exp(-kt) \quad (2)$$

โดยค่า MR คือ สัดส่วนความชื้น

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิ t ใดๆ (นาที⁻¹)

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (นาที)

4. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลเพื่อให้เป็นไปตามประกาศ กระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

นำสิ่งทดลองที่ผ่านสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลตามขั้นตอนในข้อ 3 มาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.1 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณสารหนูทั้งหมด (Total arsenic) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณตะกั่ว (Lead) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

- *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Clostridium* spp. ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Salmonella* spp. ตามวิธีของ BAM (2001)
- *Escherichia coli* โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number) ตามวิธีของ BAM

(2001)

ตามประกาศ กระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต้องตรวจไม่พบ *Staphylococcus aureus*, *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 กรัม ตรวจไม่พบ *Salmonella* spp. ต่ออาหาร 25 กรัม พบ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 colony ต่ออาหาร 1 กรัม ปริมาณสารหนูในรูปอนินทรีย์ ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ปริมาณตะกั่ว (lead) ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และมีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดไม่เกิน 800 มิลลิกรัม ต่อ 1 แคปซูล

5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาก้างปลานิลผงบรรจุแคปซูล

นำก้างปลานิลผงบรรจุแคปซูลปริมาณ 600 มิลลิกรัมต่อแคปซูล และขวดสีชาจำนวน 100 แคปซูลต่อขวด และนำไปเก็บรักษาที่สภาวะควบคุมที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4200 ชั่วโมง สุ่มตรวจสอบคุณภาพดังนี้

5.1 คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าออปติคัลแอททินิวตี้ (a_w) AquaLab รุ่น 3TE โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข
- วัดค่าสีในระบบ CIE $L^* C^* h$ ด้วยเครื่อง Minolta Spectrophotometer CM-3500d โดยมีวิธีวัดค่าดังภาคผนวก ข

5.2 คุณภาพทางเคมี

- วิเคราะห์ค่า TBA ตามวิธีของ Pearson (1976) และ Rossell (1994)
- ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000)

5.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ BAM (2001)
- ยีสต์และรา ตามวิธีของ BAM (2001)

5.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- วิเคราะห์ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล โดยมีวิธีการประเมินดังภาคผนวก ข

นำผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพระหว่างการเก็บรักษาก้างปลานิลบรรจุแคปซูลมาสร้างแบบจำลองโดยใช้ kinetic model และ Arrhenius equation พิจารณาปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียจากค่า kinetic rate constant สูงสุด และค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ต่ำสุด นำปัจจัยนั้นมาคำนวณอายุการเก็บรักษาต่อไป

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

ก้างปลานิลแช่แข็งส่งมาจากโรงงานแปรรูปโดยบรรจุด้วยถุงพลาสติกชนิด Low Density Polyethylene (LDPE) ที่มีความยืดหยุ่นเหมาะแก่การบรรจุอาหารแช่แข็ง และบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกอีกครั้งเพื่อรักษาอุณหภูมิในระหว่างการขนส่ง นำก้างปลานิลแช่แข็งที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการเนื้อและหนังปลานิลมาตัดแต่งโดยตัดหัวปลา ครีบ และหางออก ชูดเนื้อที่ติดก้างปลาออกโดยใช้ช้อนอลูมิเนียม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอศึกษาในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3 วัตถุดิบก้างปลานิล

นำก้างปลาที่ผ่านขั้นตอนการตัดแต่งและชูดเนื้อออกแล้วมาศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 10-12 และภาพที่ 4-5

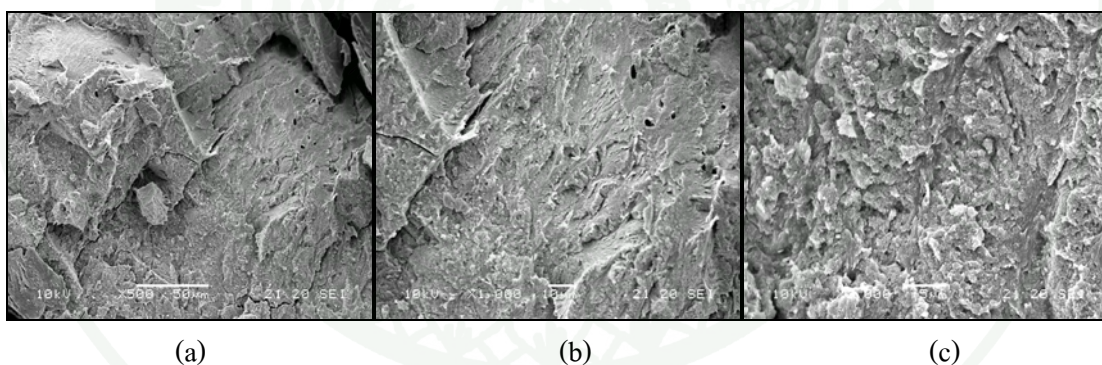
1.1 คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1 ค่าสีของก้างปลานิล

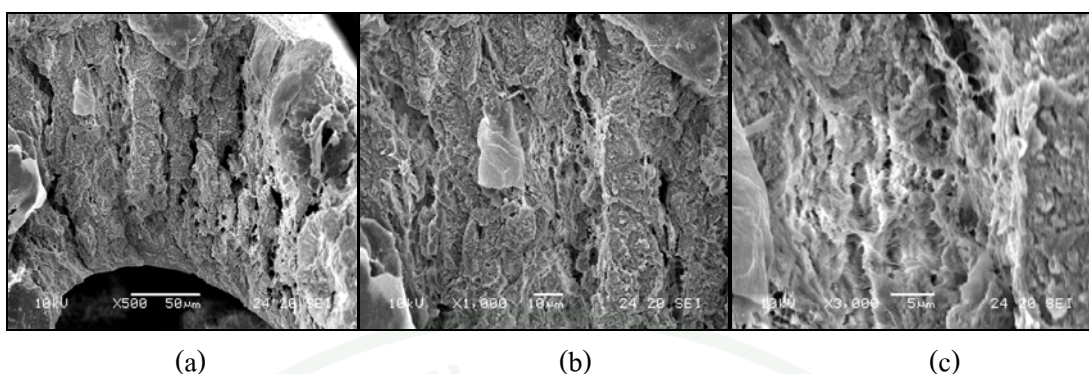
จากการวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* C* h พบว่าก้างปลามีค่าสี L* เท่ากับ 50.25 ± 2.70 ค่าสี C* เท่ากับ 19.63 ± 0.68 และค่าสี h เท่ากับ 79.25 ± 2.97 แสดงให้เห็นว่าก้างปลามีสีเหลืองคล้ำ เนื่องจากการปนเปื้อนของโปรตีนไขมัน และเลือดปลา

1.1.2 ลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิล

นำวัตถุดิบก้างปลานิล และก้างปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที (นิติงศ์, 2543) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลโดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของวัตถุดิบหลังผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูงและอบแห้ง โดยใช้ SEM (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า

จากภาพที่ 4-5 แสดงให้เห็นลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวของก้างปลานิลก่อนและหลังขั้นตอนการผ่านความร้อนภายใต้ความดันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ที่กำลังขยาย 500 1,000 และ 3,000 เท่า พบว่าโครงสร้างของก้างปลานิลมีลักษณะแน่นและมีรูพรุนขนาดเล็กแทรกอยู่บางส่วน เมื่อพิจารณาพร้อมกับภาพถ่ายพื้นผิวของวัตถุดิบหลังผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูง พบว่าโครงสร้างก้างปลาที่ผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนมีลักษณะแน่นน้อยลงมีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งมีจำนวนรูพรุนมากขึ้น เนื่องจากความร้อนสูงก่อให้เกิดการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โปรตีน และไขมันที่เป็นส่วนประกอบภายในก้างปลา จึงทำให้โครงสร้างก้างปลานิลเกิดรูพรุนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย (2543) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างก้างปลาทรายแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าพื้นผิวที่ผ่านการให้ความร้อนมีรูและรอยแตกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นขั้นตอนการผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูงจึงมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล เพราะทำให้โครงสร้างของก้างปลานิลเกิดรูพรุน จึงเกิดการอ่อนตัวมากขึ้น ซึ่งสะดวกต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป

1.2 คุณภาพทางเคมี

นำก้างปลานิลที่ผ่านการตัดแต่งและขูดเนื้อมาทำการศึกษาค่าประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัส ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบก้างปลานิล

ส่วนประกอบของก้างปลานิล	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	130.97 $\pm$ 2.94
โปรตีน	38.75 $\pm$ 0.75
ไขมัน	19.10 $\pm$ 0.14
แคลเซียม	9.48 $\pm$ 3.01
ฟอสฟอรัส	3.72 $\pm$ 0.49

จากการศึกษาพบว่าก้างปลานิลมีปริมาณความชื้นร้อยละ 130.97 โปรตีนร้อยละ 38.75 ไขมันร้อยละ 19.10 ปริมาณแคลเซียม 9.48 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม และปริมาณฟอสฟอรัส 3.72 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Gonzales and Brown (2006) พบว่าเศษเหลือจากการแปรรูปปลานิลมีโปรตีนร้อยละ 48.1 ไขมันร้อยละ 30.5 ปริมาณแคลเซียม 0.65 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม และปริมาณฟอสฟอรัส 0.035 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ผลจากการทดลองนี้พบว่าก้างปลานิลมีโปรตีน ไขมันต่ำกว่า ส่วนปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงกว่า เนื่องจากการดูดน้ำในขั้นตอนช่วยลดปริมาณไขมันและโปรตีนที่เหลือมาจากกระบวนการแปรรูปปลา ทำให้ก้างปลาสะอาดมากขึ้น จึงสามารถวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมันได้น้อยลง แต่วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสได้มากขึ้น โดยแคลเซียมที่พบในก้างปลานี้เป็นแคลเซียมฟอสเฟต สอดคล้องกับการรายงานของ (Hamada *et al.*, 1995) โดยฟอสฟอรัสมีหน้าที่ช่วยในกระบวนการดูดซึมแคลเซียมของร่างกาย

1.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

นำก้างปลานิลที่ผ่านการตัดแต่งและดูดน้ำเพื่อมาศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของวัตถุดิบก้างปลานิล

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของก้างปลานิล	จำนวน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	1.3×10^5 cfu/กรัม
<i>Escherichia coli</i>	< 3 MPN/กรัม
<i>Staphylococcus aureus</i>	ไม่พบ/0.1 กรัม

จากการศึกษาพบว่าก้างปลานิลมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.3×10^5 cfu/g โดยพบ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม และไม่พบ *Staphylococcus aureus* ต่อวัตถุดิบ 0.1 กรัม ซึ่งจำนวน *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ตรงตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

จากการทดลองแม้จะตัดแต่งและขูดเนื้อปลาที่ติดมากับก้างปลาในเบื้องต้นแล้ว แต่พบว่าก้างปลายังมีปริมาณโปรตีน และไขมันตกค้างอยู่มาก ดังนั้นจึงทำการศึกษากรรมวิธีการเตรียมในขั้นตอนต่อไป เพื่อลดปริมาณโปรตีนและไขมัน ทำให้ได้ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสต่อก้างปลานิลเริ่มต้นเพิ่มขึ้น รวมทั้งลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น ทำให้ก้างปลาสะอาดมากขึ้น

2. การศึกษากรรมวิธีในการเตรียมวัตถุดิบ

นำก้างปลามาศึกษากรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี ได้แก่ การต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที การแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 10 ppm นาน 90 นาที และวิธีสุดท้ายโดยการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 นาน 90 นาที โดยทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ จากนั้นเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เหนียว และจุลินทรีย์ เพื่อคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดเพื่อใช้เตรียมวัตถุดิบก้างปลานิลต่อไป

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

2.1.1 ผลของกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบต่อสีของก้างปลานิล

จากการนำก้างปลาที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมต่างๆไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที (นิติงศ์, 2543) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าสี L* C* และ h ของวัตถุดิบและก้างปลาหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี
นำไปผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง และอบแห้ง

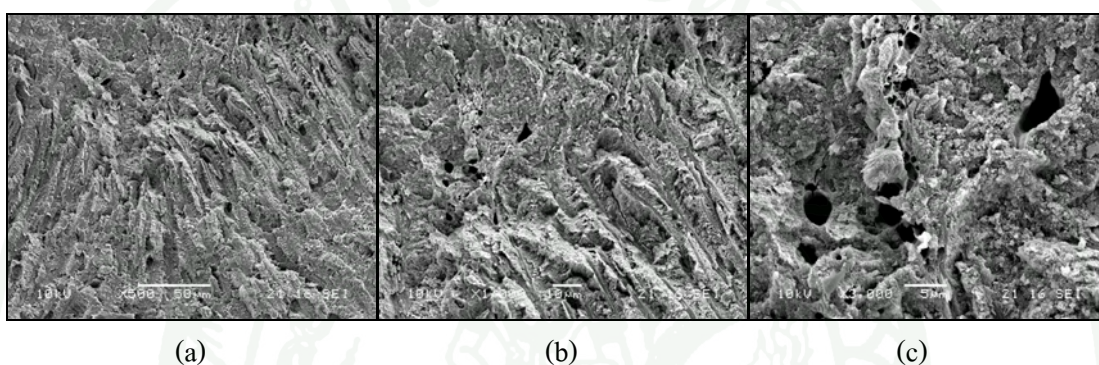
ตัวอย่างก้างปลานิล	ค่าสี		
	L*	C*	h
ไม่ผ่านกรรมวิธีในการเตรียม	67.02 ^c ± 8.86	17.59 ^b ± 0.57	86.22 ^c ± 1.94
ผ่านการต้ม	62.34 ^d ± 7.51	17.93 ^b ± 0.95	83.98 ^d ± 2.18
ผ่านการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์	68.38 ^b ± 6.70	16.87 ^c ± 0.51	87.10 ^b ± 1.37
ผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์	73.46 ^a ± 2.08	18.75 ^a ± 1.80	87.59 ^a ± 1.20

หมายเหตุ ตัวอักษร^{a-c} ที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

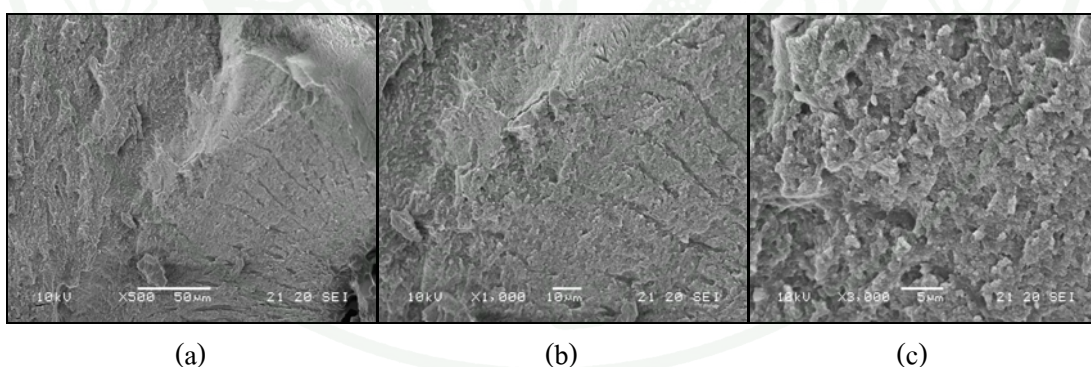
จากตารางที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าสีระหว่างกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธีกับตัวอย่างควบคุมคือ ก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนแต่ไม่ผ่านกรรมวิธีในการเตรียม พบว่าการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ก้างปลามีค่าความสว่าง (L*) ความเข้มของสี (C*) และค่าสี (h) เพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากก้างปลาที่ไม่ผ่านการเตรียม (p≤0.05) เนื่องจากสารละลายต่างสามารถชะล้างคราบเลือด และโปรตีนได้ดี และเมื่อใช้ร่วมกับความร้อนและความดันทำให้โปรตีนเสียสภาพง่ายขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของนิติงศ์ (2543) ในขณะที่โซเดียมไฮโปคลอไรท์มีผลทำให้ก้างปลามีค่า C* ลดลง แตกต่างจากก้างปลาที่ไม่ผ่านการเตรียม (p≤0.05) เนื่องจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีคุณสมบัติในการฟอกสี ซึ่งคลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์เป็นสารฟอกสี ซึ่งทำหน้าที่ออกซิไดซ์รงควัตถุต่างๆทำให้มีสีซีดและขาวมากขึ้น (ศิวาพร, 2535) สำหรับการต้ม พบว่าก้างปลา ยังคงมีคราบเลือดติดอยู่ ทำให้มีสีเหลืองอมส้มมากขึ้น ค่าความสว่างลดลง เนื่องจากการต้มทำให้เลือดปลาแข็งตัวและกำจัดออกได้ยาก

2.1.3 ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวของก้างปลานิล

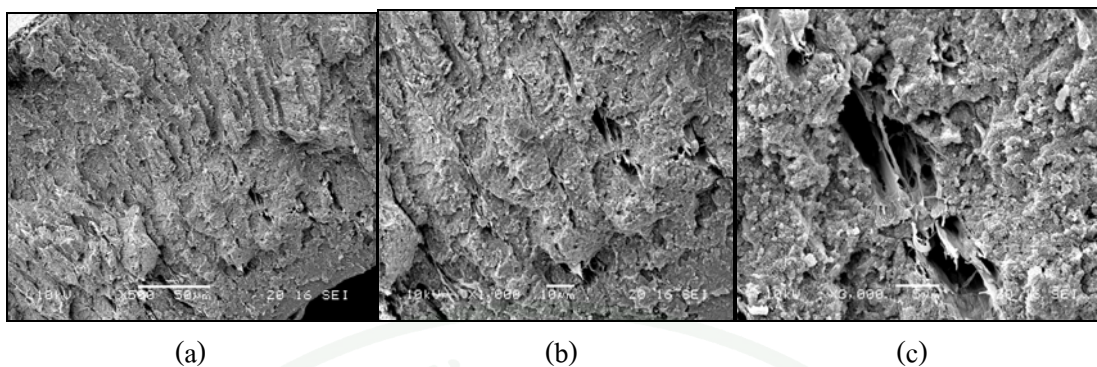
นำก้างปลานิลที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบ 3 วิธี และก้างปลานิลที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมก่อนนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 60 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวของก้างปลานิลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscope) ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 6 – 11



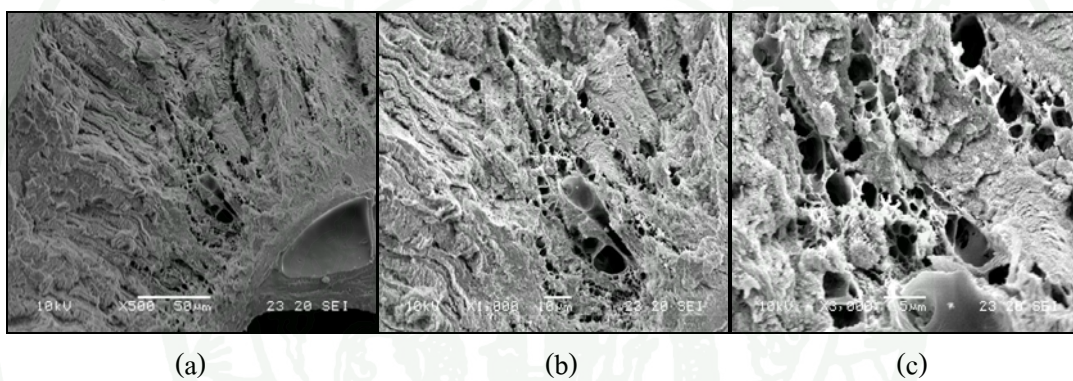
ภาพที่ 6 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลหลังผ่านการต้มโดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



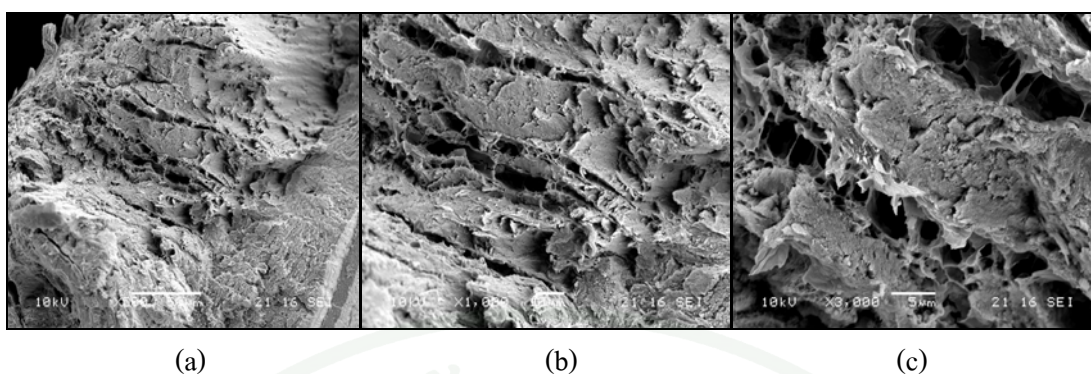
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลานิลหลังการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์โดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



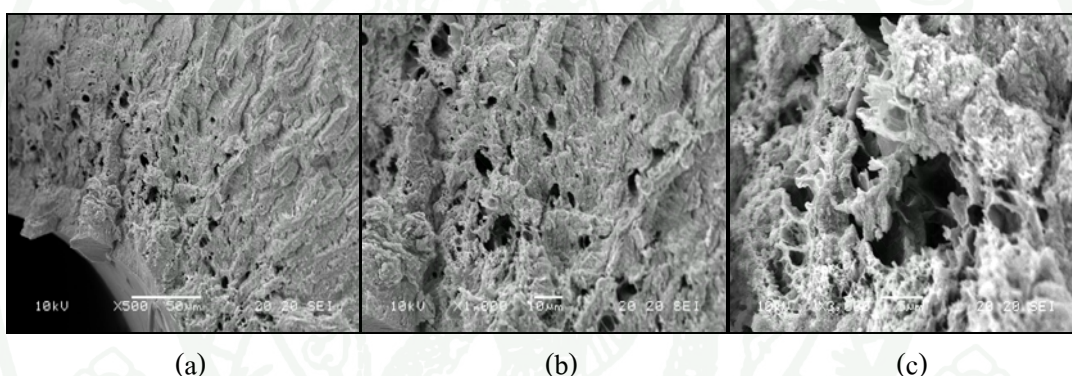
ภาพที่ 8 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้านปลานิลหลังการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ SEM
กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้านปลาหลังผ่านการต้มนำไปผ่านความร้อนภายใต้ความดัน
สูง และอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาหลังการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์นำไปผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูง และอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า



ภาพที่ 11 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาหลังผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์นำไปผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูง และอบแห้งโดยใช้ SEM กำลังขยาย (a) 500 (b) 1,000 และ (c) 3,000 เท่า

จากการศึกษาภาพถ่าย SEM ของภาคตัดขวางของก้างปลานิคมบริเวณที่เรียกว่า rib เปรียบเทียบลักษณะความพรุนของก้างที่ผ่านการเตรียมวิธีต่างๆ พบว่าการเตรียมโดยการต้ม (ภาพที่ 6) และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ภาพที่ 8) ทำให้ก้างปลา มีรูพรุนที่ชัดเจน มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของวัตถุดิบ (ภาพที่ 4) และก้างปลาที่ผ่านการเตรียมโดยการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (ภาพที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ishikawa *et al.* (1987) และ เอกชัย (2543) นอกจากนี้เมื่อนำก้างปลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 60 นาที ก่อนการอบแห้ง (ภาพที่ 9-11) พบว่าความร้อนและความดันส่งผลต่อโครงสร้างและความพรุนของพื้นผิวก้างปลาที่ชัดเจนมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่าย ก่อนผ่าน

การให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง (ภาพที่ 6-8) เนื่องจากความร้อนสูงก่อให้เกิดการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เป็นส่วนประกอบภายในก้างปลา จึงทำให้เกิดครุพุนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย (2543) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างก้างปลาทรายแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าพื้นผิวที่ผ่านการให้ความร้อนมีรูและรอยแตกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

2.2 คุณภาพทางเคมี

2.2.1 ผลของกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบต่อปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในก้างปลานิล

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสของก้างปลานิลหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียมทั้ง 3 วิธี และผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสของก้างปลานิลหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี และนำไปผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูง

ตัวอย่างก้างปลานิล	ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านกรรมวิธีในการเตรียม	22.21 ^{ns} ± 1.65	9.89 ^{ns} ± 0.30
ผ่านการต้ม	21.82 ^{ns} ± 0.15	9.39 ^{ns} ± 0.41
ผ่านการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์	22.60 ^{ns} ± 0.33	9.75 ^{ns} ± 0.24
ผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์	23.90 ^{ns} ± 1.80	10.36 ^{ns} ± 0.63

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{ns} ในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสของก้างปลาสด ดังตารางที่ 9 พบว่าก้างปลานิลที่ได้จากการเตรียมทุกวิธีมีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งหมายถึงกรรมวิธีในการเตรียมทั้ง 3 วิธีไม่ทำให้ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูญหาย เนื่องจากแคลเซียมมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงทำให้แคลเซียมสูญหายได้ยากในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ishikawa *et al.* (1987) และนิติพงศ์

(2543) โดยทั่วไปก้างปลานิลจะมีแคลเซียมอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งก้างปลาทั่วไปมีปริมาณแคลเซียม 33.9-35.9 กรัมต่อน้ำหนักเก๋า 100 กรัม และมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 16.9-18.6 กรัมต่อน้ำหนักเก๋า 100 กรัม (Hamada *et al.*, 1995)

2.2.2 ผลของกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบต่อปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันในก้างปลานิล

นำก้างปลานิลที่ผ่านการเตรียมด้วยกรรมวิธีต่างๆและผ่านการให้ความร้อนสูง ภายใต้อุณหภูมิความชื้น โปรตีน และไขมัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณภาพทางเคมีก้างปลานิลหลังผ่านกรรมวิธีในการเตรียมต่างๆ และนำไปผ่านความร้อนที่ความดันสูง

ตัวอย่างก้างปลานิล	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน
	(ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)		
ไม่ผ่านกรรมวิธีในการเตรียม	137.85 ^a ± 2.18	39.04 ^a ± 0.50	15.37 ^a ± 0.40
ผ่านการต้ม	145.43 ^a ± 6.64	37.78 ^a ± 2.16	12.54 ^b ± 1.55
ผ่านการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์	119.14 ^b ± 3.60	33.27 ^b ± 0.25	15.41 ^a ± 0.79
ผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์	83.72 ^c ± 4.27	25.86 ^c ± 0.21	6.60 ^c ± 1.22

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 คุณภาพทางด้านเคมี ความชื้น โปรตีน และไขมัน พบว่าทั้ง 3 วิธีมีปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยก้างปลาที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันต่ำกว่าอีก 2 วิธี ซึ่งการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิตินพงศ์ (2543) ที่กล่าวว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติในการทำให้ไขมันมีขี้ ไขมันจึงละลายน้ำได้ และเมื่อใช้ร่วมกับความร้อนและความดันจึงช่วยให้โปรตีน รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเกิดการเสียสภาพ ทำให้มีปริมาณโปรตีน และไขมันที่ตกค้างที่ก้างปลานิลน้อยกว่าการเตรียมโดยใช้วิธีอื่นๆ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังช่วยกำจัดสารอื่นๆเช่น mucopolysaccharide, elastin และ albumin เป็นต้น เมื่อโปรตีนถูกกำจัดออกไป

ความสามารถในการอุ้มน้ำของก้างปลาจึงลดลง เนื่องจากไมโอไฟบริลลาร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในกล้ามเนื้อปลาคือ แอ็กติน และไมโอซิน เป็นสาเหตุทำให้เกิดการอุ้มน้ำในเนื้อปลา (จักรี, 2540) การอุ้มน้ำเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ซึ่งความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนขึ้นกับชนิดและจำนวนของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน (นิธิยา, 2545) ดังนั้นเมื่อโปรตีนถูกกำจัดออกไปจึงทำให้ความชื้นของก้างปลาที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยกว่าวิธีอื่น

เมื่อพิจารณาร่วมกับภาพถ่ายโครงสร้างของก้างปลานิลที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าโครงสร้างก้างปลานิลที่มีรูพรุนมากขึ้น เนื่องจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับการให้ความร้อนทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โปรตีน และไขมันที่เป็นส่วนประกอบภายในก้างปลาเสื่อมสภาพ เป็นสาเหตุให้โครงสร้างก้างปลานิลเกิดรูพรุน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโปรตีน และไขมันที่ลดลง

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการศึกษาผลของกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์ของก้างปลานิลได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของวัตถุดิบและก้างปลาหลังจากผ่านกรรมวิธีในการเตรียม 3 วิธี

ตัวอย่าง	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	<i>E. coli</i> (MPN/g)	<i>S. aureus</i> (cfu/0.1g)
วัตถุดิบ	1.3×10^5	< 3	ไม่พบ
ก้างปลาที่ผ่านการต้ม	1.1×10^4	< 3	ไม่พบ
ก้างปลาที่ผ่านการแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์	7.6×10^4	< 3	ไม่พบ
ก้างปลาที่ผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.3×10^3	< 3	ไม่พบ

จากตารางที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพทางจุลินทรีย์ของวัตถุดิบ พบว่า กรรมวิธีการเตรียมทั้ง 3 วิธี สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ โดยการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นได้มากที่สุด โดยพิจารณาจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 1.3×10^3 เนื่องจากสารละลายโซเดียม

ไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติเป็นเบส ดังนั้นการแช่ก้างปลานิลในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสาเหตุให้ความเป็นกรด-เบสของก้างปลานิลไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพราะความเป็นกรด-เบสมีผลต่อเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ จึงเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทำให้จุลินทรีย์มีช่วงเวลาพักตัว (Lag phase) นานขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในสถานะที่เป็นกลาง (ค่ากรด-เบส 6.6-7.5) โดยแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงกรด-เบส เท่ากับ 6.0-8.0 ตามปกติปลาจะมีกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.5 (สุเมธธา, 2545) วัตถุประสงค์ก้างปลานิลจึงมีสถานะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ทำให้สารละลายมีค่ากรด-เบสเท่ากับ 13.30 ซึ่งสารละลายมีสภาพเป็นเบส มีค่ากรด-เบสสูงเกินกว่าช่วงกรด-เบสที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ดังนั้นการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นกรรมวิธีการเตรียมที่เหมาะสมต่อการลดจำนวนจุลินทรีย์เบื้องต้น

จากการศึกษากรรมวิธีในการเตรียมวัตถุดิบ เพื่อการผลิตแคลเซียมจากก้างปลานิล พบว่ากรรมวิธีในการเตรียมที่เหมาะสมคือ การแช่ก้างปลาในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 นาน 90 นาที ซึ่งช่วยลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ และสามารถกำจัดโปรตีน ไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ที่ติดมาจากวัตถุดิบก้างปลานิลที่ผ่านกระบวนการแล่นเนื้อและหนังออกได้ โดยสังเกตได้จากความเป็นรูพรุนของพื้นผิวก้างปลานิลที่มากขึ้น เมื่อก้างปลาผ่านการเตรียมโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าก้างปลาปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันร้อยละ 83.72 25.86 และ 6.60 ตามลำดับ ซึ่งความชื้นสามารถกำจัดได้โดยการอบแห้ง โดยทำการศึกษาเป็นขั้นตอนต่อไป

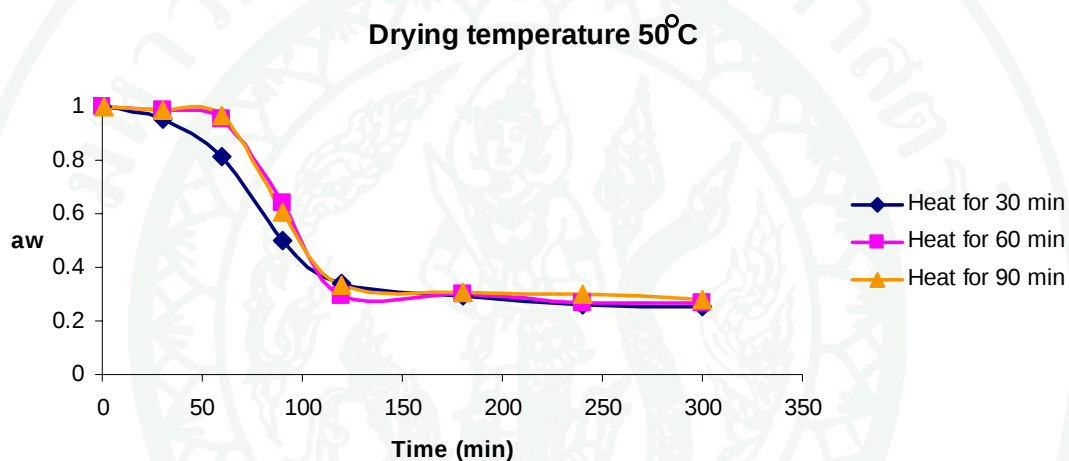
3. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตแคลเซียมจากก้างปลานิล

นำก้างปลานิลที่ผ่านการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 มาผ่านการให้ความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส สุ่มวิเคราะห์คุณภาพที่ระยะเวลาในการอบแห้งที่ 0 10 20 30 60 90 120 180 240 และ 300 นาที ได้ผลดังนี้

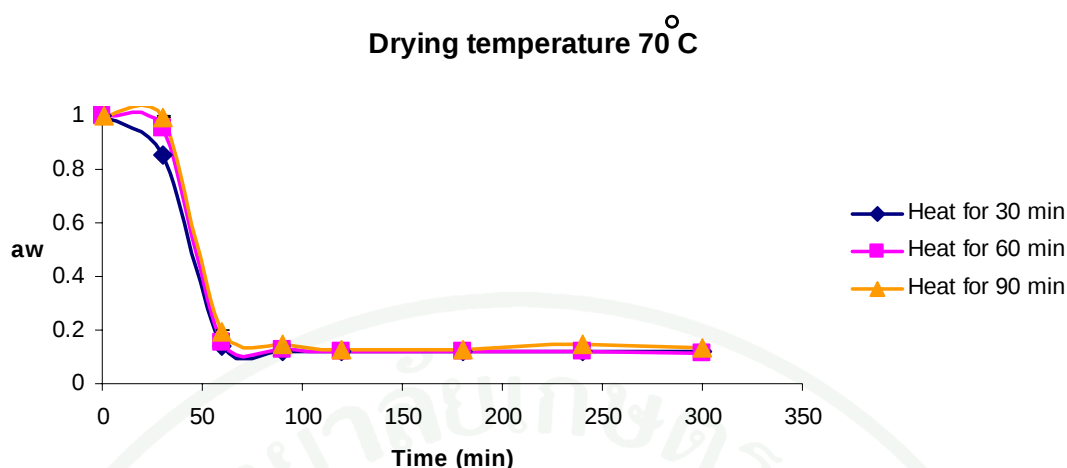
3.1 คุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตีของก้างปลาชนิดที่ผ่านสภาวะของกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

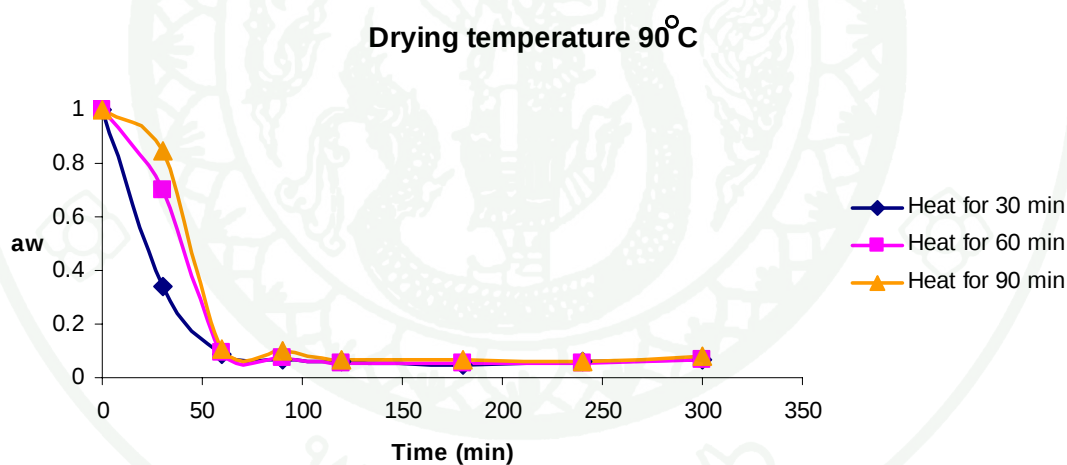
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตีระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวิตีมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นดังแสดงในภาพที่ 12-14



ภาพที่ 12 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของตัวอย่างก้างปลาชนิดที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 ค่าแวลอร์เอกทิวิตี้ของตัวอย่างก้างปลาสดที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 14 ค่าแวลอร์เอกทิวิตี้ของตัวอย่างก้างปลาสดที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 12-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแวลอร์เอกทิวิตี้ของตัวอย่างก้างปลาสดที่ผ่านกระบวนการผลิตในสถานะที่แตกต่างกัน ซึ่งก้างปลาสดผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้ง พบว่ามีค่าแวลอร์

แอกทิวิตีลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้งที่นานขึ้น โดยก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงในระยะเวลาสั้นมีอัตราการลดลงของค่าแอกทิวิตีเร็วกว่าการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงในระยะเวลาสั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิสูงส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแอกทิวิตีที่เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในตู้อบสูงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบลดลง ส่งผลให้น้ำระเหยออกจากก้างปลาเพื่อรักษาสมดุลของความชื้นไอระหว่างอากาศในตู้อบและในอาหาร จึงทำให้ค่าแอกทิวิตีในก้างปลามีแนวโน้มลดลง

3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของก้างปลาหลังการให้ความร้อนและการอบแห้งที่สภาวะต่างๆกัน

เมื่อนำก้างปลาสดที่ผ่านสภาวะในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมาทำการวิเคราะห์ค่าสี L^* C^* และ h ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าสี L^* C^* และ h ของก้างปลาสดที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที

ค่าสี	เวลาในการให้ความร้อน ภายใต้ความดันสูง (นาที)	อุณหภูมิในการอบแห้ง		
		50°C	70°C	90°C
L^*	30	89.70 ^{ba} ± 1.54	87.80 ^{bb} ± 0.88	84.52 ^{bc} ± 2.18
	60	86.86 ^{ca} ± 1.43	85.92 ^{cAB} ± 0.13	83.37 ^{cb} ± 2.97
	90	92.27 ^{aA} ± 0.87	90.65 ^{aA} ± 0.51	88.49 ^{aB} ± 3.31
C^*	30	12.58 ^{abC} ± 1.69	16.42 ^{bb} ± 0.06	21.19 ^{aA} ± 2.17
	60	14.27 ^{aC} ± 0.74	16.88 ^{aB} ± 0.24	19.80 ^{bA} ± 1.12
	90	10.52 ^{bc} ± 2.34	14.55 ^{cb} ± 0.21	16.49 ^{ca} ± 2.49
h	30	89.38 ^{aA} ± 0.19	88.19 ^{nsB} ± 0.50	87.03 ^{cC} ± 0.39
	60	88.94 ^{ba} ± 0.14	88.44 ^{nsAB} ± 1.41	87.49 ^{bb} ± 0.27
	90	88.63 ^{cNS} ± 0.15	88.13 ^{nsNS} ± 0.89	88.16 ^{aNS} ± 0.29

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a,b,c} ที่ต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A,B,C} ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

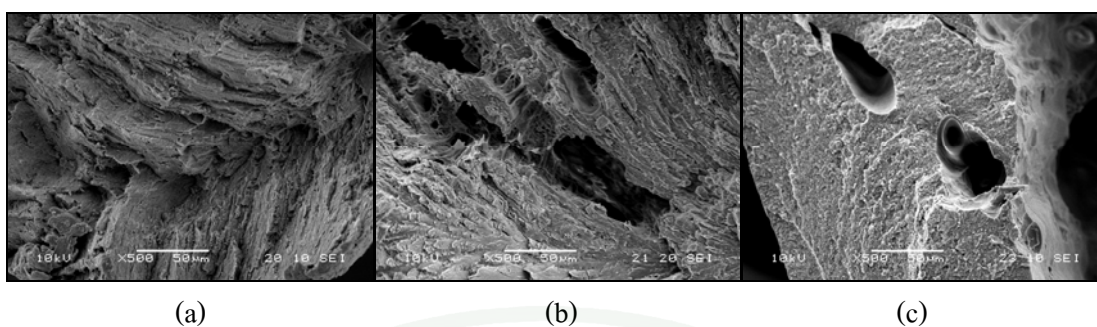
จากตารางที่ 12 พบว่าก้างปลามีสีเหลืองอ่อน และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าสี L^* C^* และ h มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ทำให้ก้างปลามีค่าความสว่างมากกว่าการใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 30 และ 60 นาที ส่วนค่าสี C^* และ h แสดงให้เห็นว่าก้างปลาที่ให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันเป็นระยะเวลานานจะมีสีเหลืองอ่อนกว่าก้างปลาที่ให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันโดยใช้ระยะเวลาน้อยกว่า เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานจะช่วยลดปริมาณ โปรตีน ไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ติดอยู่ที่ก้างปลา เป็นสาเหตุให้

ก้างปลาที่มีความขาวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเอกชัย (2543) ที่ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมก้างปลาเพื่อนำไปใช้เสริมแคลเซียมในอาหารว่าง พบว่าการให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้มีผลต่อปริมาณโปรตีน โดยอุณหภูมิที่สูงและเวลาที่นานขึ้นมีผลต่อการสูญเสียปริมาณโปรตีนของก้างปลาที่มากขึ้น และงานวิจัยของช่อผลา (2546) ซึ่งศึกษาสภาวะที่ใช้ในการนึ่งก้างปลาน้ำดอกไม้ที่ระดับความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าระยะเวลาในการนึ่งนานขึ้นส่งผลให้ก้างปลาเกิดการสูญเสียไขมันเพิ่มขึ้นและหลังอบแห้ง ก้างปลาที่มีสีน้ำตาลอ่อนกว่าระยะเวลาในการนึ่งสั้น

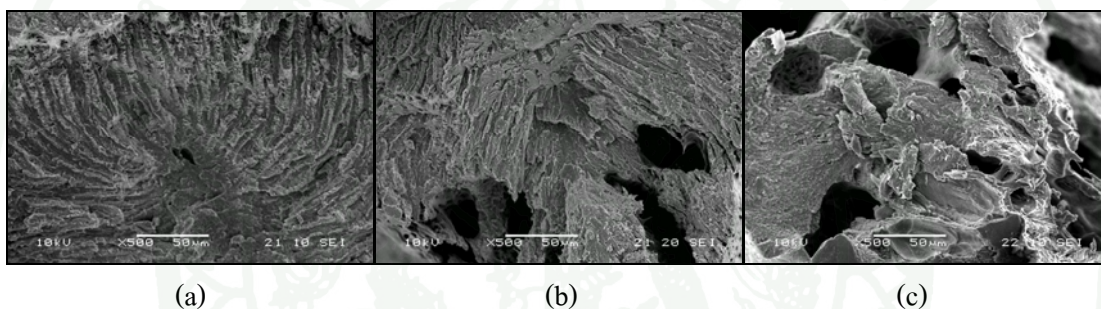
เมื่อเปรียบเทียบค่าสี L^* C^* และ h ของก้างปลาที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในกระบวนการอบแห้งส่งผลให้ค่าสี L^* C^* และ h มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการอบแห้งส่งผลให้ค่าความสว่างของก้างปลาลดลง ความเข้มของสี และค่าสีเหลืองอมส้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิติพงศ์ (2543) และ เอกชัย (2543) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งก้างปลาสูงขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ดังนั้นการอบแห้งก้างปลาด้วยอุณหภูมิสูงทำให้ก้างปลามีสีคล้ำมากขึ้น เพราะกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิง ได้สารประกอบที่ไม่คงตัวเรียกว่าไกลโคซิลเอมีน เกิดปฏิกิริยาจนเกิดสารที่ระเหยง่ายและเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ก้างปลามีสีเข้มขึ้น

3.1.3 โครงสร้างของก้างปลาหลังผ่านกระบวนการผลิตที่สภาวะแตกต่างกัน

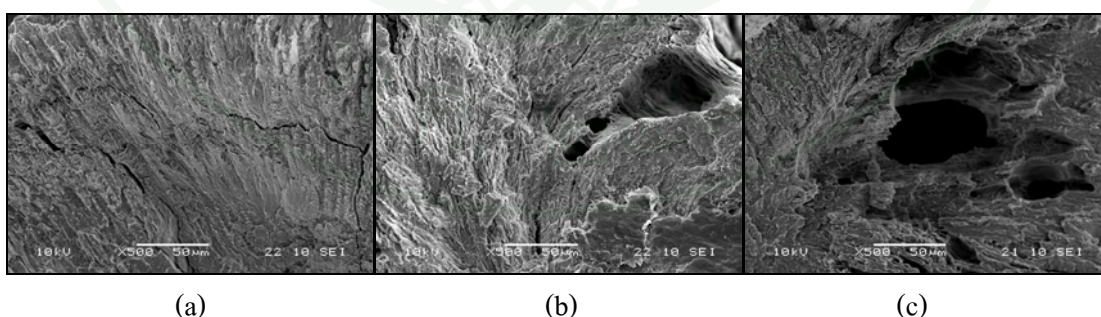
นำตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ผ่านสภาวะในการผลิตที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิในการอบแห้ง 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 120, 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พิจารณาจากปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 (ข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 156 พ.ศ. 2537 เรื่อง นมดัดแปลงสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก) มาทำการตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscope) ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 15-17



ภาพที่ 15 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (a) 30, (b) 60 และ (c) 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (x500)



ภาพที่ 16 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (a) 30, (b) 60 และ (c) 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (x500)



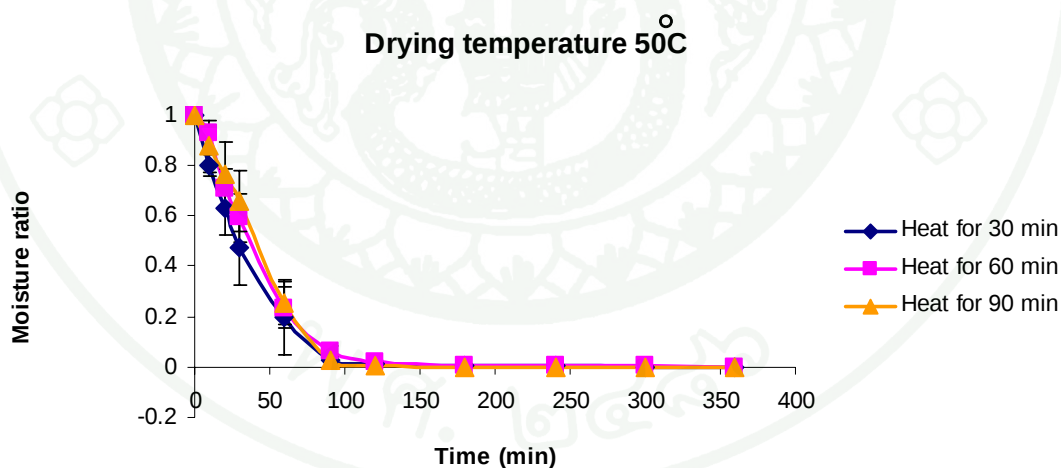
ภาพที่ 17 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (a) 30, (b) 60 และ (c) 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (x500)

จากภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของก้างปลา พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงนานขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างของก้างปลาที่มีความพรุนมากขึ้น โดยการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันเป็นระยะเวลา 90 นาที ทำให้โครงสร้างของก้างปลาที่มีความพรุนมากที่สุด เนื่องจากความร้อนสูงก่อให้เกิดการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เป็นส่วนประกอบภายในก้างปลา จึงทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย (2543) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างก้างปลาทรายแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าพื้นผิวที่ผ่านการให้ความร้อนมีรูและรอยแตกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โครงสร้างก้างปลาที่มีความพรุนมาก ส่งผลให้ก้างปลาเปราะ จึงช่วยให้บดได้ง่าย และละเอียดมากขึ้น

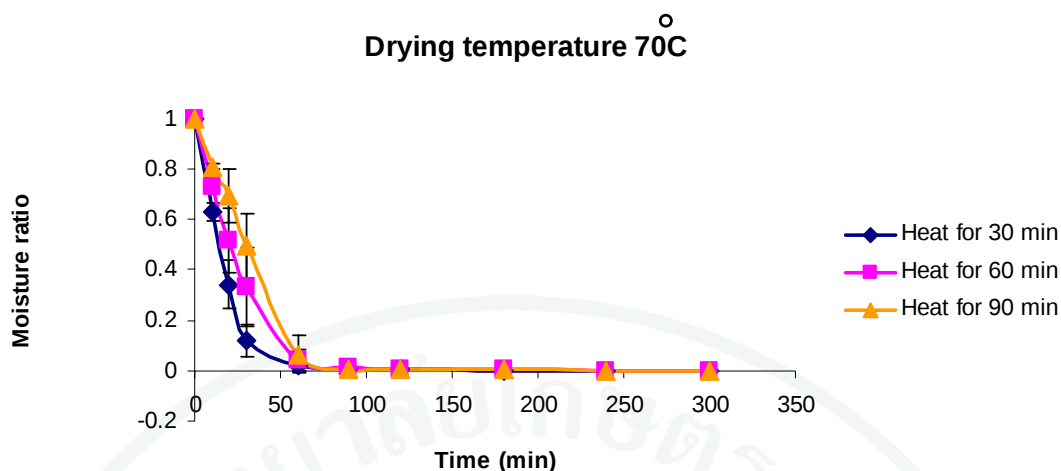
3.2 คุณภาพทางเคมี

3.2.1 ปริมาณความชื้นของก้างปลานิระหว่างรอบแห้งที่สภาวะแตกต่างกัน

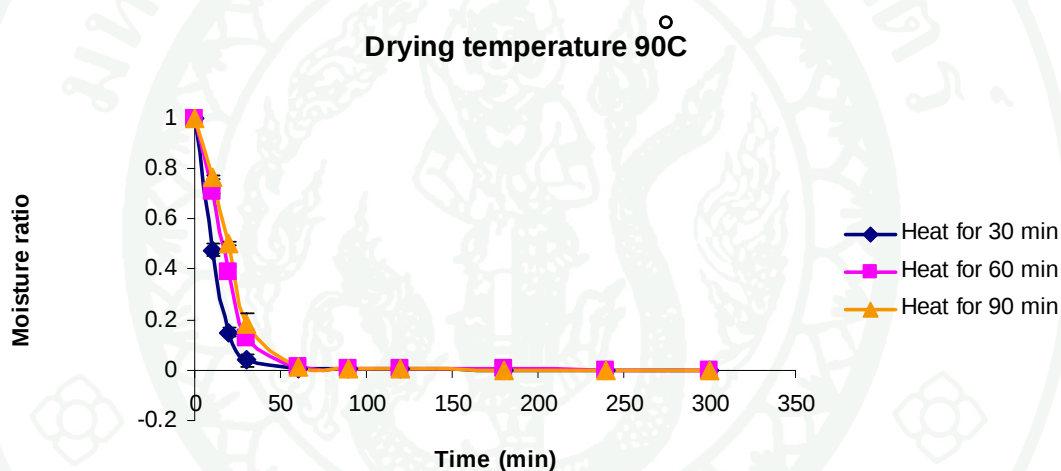
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างรอบแห้งก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 18-20



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของระหว่างรอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของก้างปลาระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของก้างปลาระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 18-20 พบว่าปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้งที่นานขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นไม่ขึ้นกับระยะเวลาในการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิสูงส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ก้างปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง ระยะเวลา 30 60 และ 90 นาทีมีปริมาณความชื้นร้อยละ 18.55 22.72 และ 23.59 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.99 5.53 และ 7.32 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นร้อยละ 1.65 1.91 และ 1.86 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด

เป็นการทำแห้งอาหาร โดยใช้อากาศร้อนเพื่อกำจัดน้ำออกจากอาหาร โดยการพาความร้อน ซึ่งการใช้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการสูญเสียของน้ำภายในอาหาร ทำให้ kinetic constant (k) ของ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 เพราะ ในช่วงแรกอุณหภูมิของผิวหน้าอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก จากนั้นน้ำ ในอาหารจะมีการเคลื่อนที่ออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกไปจากผิวหน้าของอาหาร ดังนั้นการอบด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูง จึงเกิดการระเหยน้ำที่ ผิวหน้าอาหารเร็วขึ้นและน้ำในอาหารก็มีการเคลื่อนที่ออกมาด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ อาหารแห้งเร็วขึ้น (วิไล, 2545) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของนิตพงศ์ (2543) ซึ่งพบว่า การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเคลเซียมที่เป็นเศษเหลือจากปลาทรายแดงที่ 90 องศาเซลเซียส ส่งผล ให้เคลเซียมที่เป็นเศษเหลือจากปลาทรายแดงมีความชื้นต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศา เซลเซียส จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ค่า Drying kinetic rate constant (k) มีค่าสูงที่สุด แสดงว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ ก้างปลานิลมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นเร็วที่สุด

ตารางที่ 13 ค่า Drying kinetic rate constant ของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของก้างปลาที่ ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

กรรมวิธีการเตรียมก่อนอบแห้ง	k (min ⁻¹) ที่อุณหภูมิอบแห้ง		
	50°C ^{ns}	70°C ^{ns}	90°C ^{ns}
ผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นเวลา 30 นาที	0.0133 ^C	0.0164 ^B	0.0206 ^A
ผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นเวลา 60 นาที	0.0125 ^C	0.0159 ^B	0.0200 ^A
ผ่านความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นเวลา 90 นาที	0.0139 ^C	0.0163 ^B	0.0198 ^A

หมายเหตุ ตัวอักษร^{ns} ในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
ตัวอักษร^{A-C} ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2.2 ปริมาณแคลเซียมของก้างปลาชนิดที่ผ่านสภาวะของกระบวนการที่แตกต่างกัน

นำก้างปลาชนิดที่ผ่านการให้ความร้อน (121 องศาเซลเซียส) ภายใต้ความดันสูง (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียสมาทำการศึกษ ปริมาณแคลเซียมได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของก้างปลาชนิดที่ผ่านการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการให้ ความร้อนภายใต้ความดันสูง	ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)		
	50	70	90
30 นาที	25.18 ^a ± 0.39	24.20 ^{bc} ± 0.27	24.09 ^c ± 0.26
60 นาที	24.92 ^{abc} ± 0.26	24.73 ^{abc} ± 0.79	24.66 ^{abc} ± 0.31
90 นาที	24.60 ^{abc} ± 0.31	24.72 ^{abc} ± 0.08	25.01 ^{ab} ± 0.12

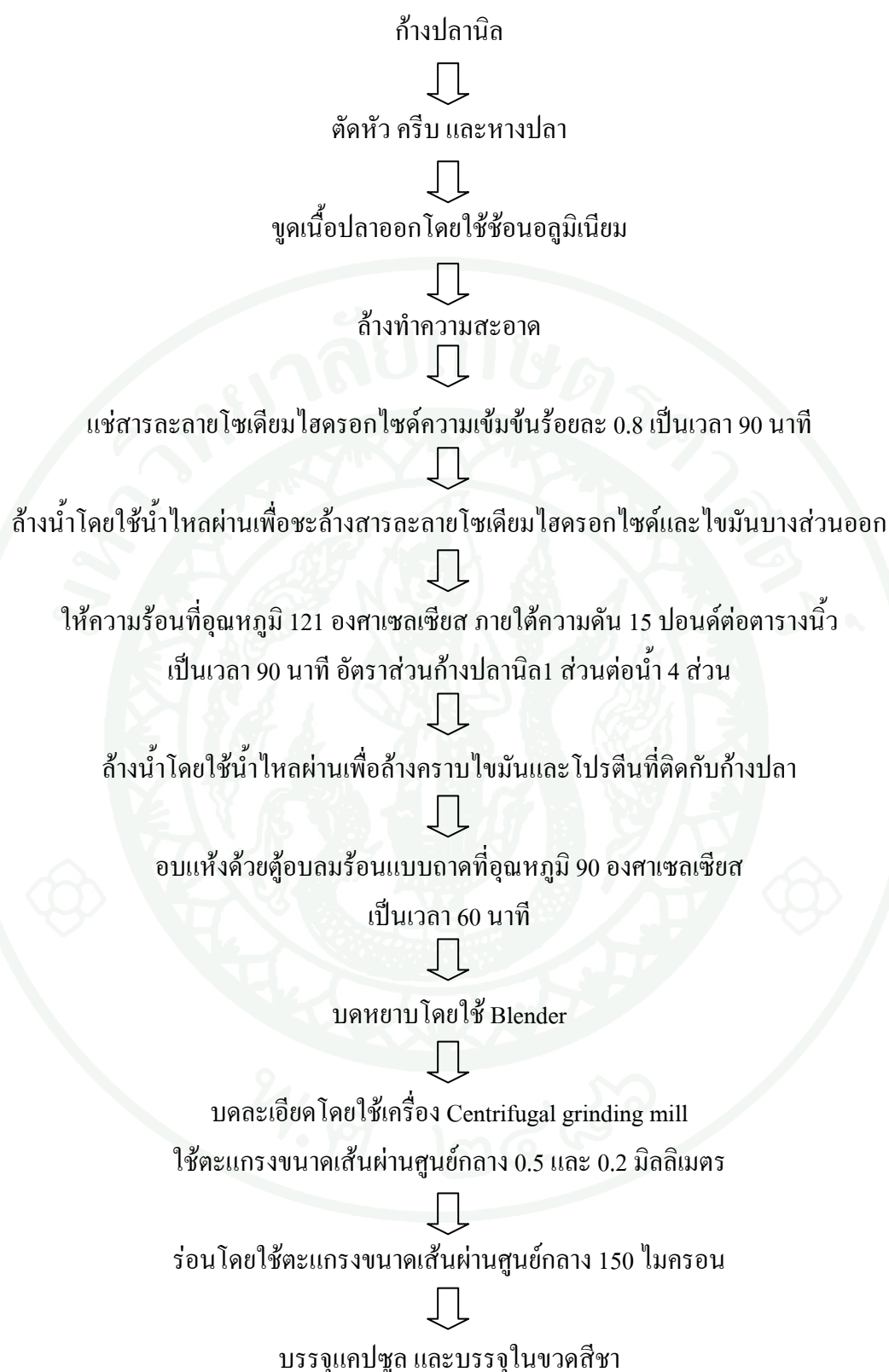
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันหมายถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 14 พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงภายใต้ความดันที่ 30 60 และ 90 นาที ไม่ส่งผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ได้จากการอบแห้งก้างปลาที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ($p > 0.05$) นอกจากนี้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณแคลเซียมของก้างปลาที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นเวลา 60 และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลาชนิดและทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 90 นาที และอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมโดยการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที เนื่องจากการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นระยะเวลานานส่งผลให้โครงสร้างของก้างปลามีรูพรุนมากขึ้นจึงเปราะมากขึ้น ซึ่ง

สามารถบดให้มีอนุภาคขนาดเล็กได้มากขึ้น รวมทั้งระยะเวลาในการให้ความร้อนภายใต้ความดันสูงเป็นเวลานานทำให้ก้างปลาที่มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น มีค่าสีเหลืองและความเข้มของสีเหลืองต่ำกว่า การให้ความร้อนเป็นระยะเวลาดสั้น เนื่องจากระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้นช่วยลดปริมาณโปรตีน ไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ติดอยู่ที่ก้างปลา นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งทำให้ค่า Drying kinetic rate constant สูงขึ้น เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 30 60 และ 90 นาที กับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 90 นาที และอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 25.01 ดังตารางที่ 14

จากการคัดเลือกสภาวะในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่เหมาะสม ทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีขั้นตอนดังภาพที่ 21 ซึ่งมีร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 4.00 และมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 150 ไมครอน



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

4. การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลเพื่อให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

จากการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล ได้ผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

	ข้อกำหนด เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร แคลเซียมจากก้างปลานิล
คุณภาพทางเคมี		
สารหนู (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≤ 2	0.36
ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≤ 1	0.28
ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัมต่อ 1 แคปซูล)	$120 \text{ mg} < \text{Ca} \leq 800 \text{ mg}$	150
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
<i>Clostridium</i> spp. (ต่ออาหาร 0.1 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Escherichia coli</i> (MPN ต่อกรัม)	< 3	< 3
<i>Salmonella</i> spp. (ต่ออาหาร 25 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Staphylococcus aureus</i> (ต่ออาหาร 0.1 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ

จากการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลกับข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่าประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมีปริมาณสารหนูไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 15 เมื่อนำก้างปลานิลไปบรจแคปซูลเบอร์ศูนย์สามารถบรจก้างปลานิลได้ 600 มิลลิกรัม ซึ่งคำนวณเป็นปริมาณแคลเซียมได้ 150 มิลลิกรัมต่อแคปซูล เมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมบรจแคปซูลที่กำหนดภายในประเทศ พบว่าแคลเซียมบรจแคปซูลที่กำหนดภายในประเทศมีปริมาณบรจอยู่ระหว่าง 350 ถึง 1500 มิลลิกรัมต่อแคปซูล เป็นปริมาณแคลเซียม 130 ถึง 250 มิลลิกรัมต่อแคปซูล (นุชสุรางค์ และ ดวงทิพย์, 2542) โดยประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมหนึ่งแคปซูลบรจได้ไม่เกินปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทย

อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) และไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป ซึ่งปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปสำหรับแคลเซียมคือ 800 มิลลิกรัมต่อวัน (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2548) ดังนั้นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมควรมีปริมาณบรรจุต่อหนึ่งแคปซูลมากกว่า 120 มิลลิกรัมแต่ไม่เกิน 800 มิลลิกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีปริมาณบรรจุต่อหนึ่งแคปซูลตรงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนด เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดว่าต้องไม่พบ *Clostridium* spp. และ *Staphylococcus aureus* ต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 0.1 กรัม ไม่พบ *Salmonella* spp. ต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 25 กรัม และพบ *Escherichia coli* ไม่เกิน 3 MPN ต่อ กรัม จากตารางที่ 15 พบว่า ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับดังกล่าว

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลพบว่าก้างปลานิลมีค่าสี L^* C^* และ h เท่ากับ 88.49, 16.49 และ 88.16 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอคติวิตีเท่ากับ 0.34 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 150 ไมครอน และค่า TBA เท่ากับ 0.53 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ เอกชัย (2543) พบว่าก้างปลาโอแถบที่ได้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 210 ไมครอน ช่อผกา (2546) พบว่าปลาน้ำดอกไม้ที่ได้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 1410 ไมครอน และ Sinnhuber and Yu (1958) พบว่าปลาป่นมีค่า TBA เริ่มต้นเท่ากับ 21 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อกิโลกรัม

จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

องค์ประกอบ	(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
เถ้า	65.75 $\pm$ 0.04
โปรตีน	24.51 $\pm$ 0.56
ไขมัน	7.63 $\pm$ 0.09
ความชื้น	1.55 $\pm$ 0.03
คาร์โบไฮเดรต	0.56 $\pm$ 0.51

ข้อมูลดังตารางที่ 16 พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีค่าเป็นองค์ประกอบร้อยละ 65.75 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 24.51 ปริมาณไขมันร้อยละ 7.63 และปริมาณความชื้นร้อยละ 1.55 ซึ่ง Hamada *et al.* (1995) ทำการศึกษาแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของก้างปลา 14 ชนิด พบว่าค่าของก้างปลา 100 กรัมประกอบด้วย แคลเซียม 33.9-35.9 กรัม ฟอสฟอรัส 16.9-18.6 กรัม โซเดียม 0.38- 2.22 กรัม แมกนีเซียม 0.42-0.77 กรัม เหล็ก 0.194-0.997 ppm สังกะสี 85-339 ppm แมงกานีส 11-218 ppm และทองแดง 0.2-69.0 ppm จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อคำนวณปริมาณแคลเซียมที่พบในก้างปลานิลเป็นหน่วยต่อ 100 กรัมของถั่ว พบว่าปริมาณแคลเซียม 25.01 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม เท่ากับปริมาณแคลเซียม 38.04 กรัมต่อถั่ว 100 กรัม

5. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาก้างปลานิลผงบรรจุแคปซูล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลในรูปของผงก้างปลาบรรจุแคปซูลจำนวน 100 เม็ดในขวดสีชา (ภาพที่ 22) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4200 ชั่วโมง (10 สัปดาห์) และทำการสุ่มวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ภายนอก เคมี และประสาทสัมผัส พบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้



ภาพที่ 22 ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

5.1 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากตารางที่ 17-18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 ถึง 1.1×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่างหนึ่งกรัม จำนวนโคโลนียีสต์และราอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 ถึง 1.5×10^1 โคโลนีต่อตัวอย่างหนึ่งกรัม ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาป่นปรุงรสได้กำหนดให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่างหนึ่งกรัม และ ยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่างหนึ่งกรัม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิเคราะห์เป็นอาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.34 ถึง 0.45 (การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส) 0.31 ถึง 0.37 (การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และ 0.23 ถึง 0.34 (การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส) ดังตารางที่ 19 ซึ่งค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นอยู่ในช่วง 0.6 ขึ้นไป ดังนั้นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลจึงไม่เสี่ยงต่อการเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจาก
ก้างปลานิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา ในการเก็บรักษา (ชั่วโมง)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g) อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	35	45	55
0	<10 [*]	<10 [*]	<10 [*]
420	1.5x10 [*]	0.5x10 [*]	1.5x10 [*]
840	2.0x10 [*]	5.5x10 [*]	3.0x10 [*]
1260	<10 [*]	1.2x10 [*]	8.0x10 [*]
1680	1.5x10 [*]	1.5x10 [*]	<10 [*]
2100	3.0x10 [*]	7.0x10 [*]	1.1x10 ^{2*}
2520	3.5x10 [*]	1.0x10 [*]	<10 [*]
2940	1.5x10 [*]	1.0x10 [*]	4.0x10 [*]
3360	<10 [*]	2.0x10 [*]	<10 [*]
3780	<10 [*]	3.0x10 [*]	0.5x10 [*]
4200	1.0x10 [*]	1.5x10 [*]	0.5x10 [*]

หมายเหตุ * Estimated Standard Plate Count (ESPC)

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และราของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลา
 นิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา ในการเก็บรักษา (ชั่วโมง)	จำนวนยีสต์และรา (cfu/g)		
	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	35	45	55
0	<10*	<10*	<10*
420	<10*	<10*	<10*
840	0.5x10*	1.5x10*	0.5x10*
1260	<10*	<10*	<10*
1680	<10*	<10*	<10*
2100	1.0x10*	<10*	<10*
2520	<10*	<10*	<10*
2940	1.5x10*	1.0x10*	1.0x10*
3360	0.5x10*	<10*	<10*
3780	0.5x10*	<10*	<10*
4200	<10*	<10*	<10*

หมายเหตุ * Estimated Standard Plate Count (ESPC)

5.2 คุณภาพทางกายภาพ

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เปลี่ยนแปลงไปในการเก็บรักษา ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 23 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ 1680 ชั่วโมง หรือ 4 สัปดาห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยแตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45°C ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มคงที่โดยค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของชั่วโมงที่ 4200 หรือ 4 สัปดาห์ไม่แตกต่างจากวันที่ 0 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 55 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บรักษาที่ 2520 ชั่วโมง หรือ 6 สัปดาห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ลดลงโดยแตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาดังแต่สองสัปดาห์ขึ้นไป (840 ชั่วโมง) อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่

แตกต่างกันส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ และความดันไอ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส อาหารมีความดันไอลดต่ำกว่าอากาศรอบๆ อาหารจึงดูดไอน้ำในอากาศส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 55 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง ส่งผลให้เกิดการระเหยและทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาที่ 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส อาหารมีความดันไอลดใกล้เคียงกับความดันไอบรรยากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเพียงเล็กน้อย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะในการเก็บรักษาปกติของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลคือ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งในประเทศไทยมีอุณหภูมิประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณร้อยละ 73-75 (กลุ่มภูมิอากาศ, 2552) ซึ่งสภาวะนี้ผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากอากาศทำให้ผลิตภัณฑ์จับตัวกันเป็นก้อนและเกิดการเสื่อมเสียได้ ดังนั้นควรป้องกันโดยการใส่ซิลิกาเจลซึ่งช่วยดูดความชื้นในบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้		
	35°C	45°C	55°C
0	0.34 ^{NSb} ± 0.03	0.34 ^{NSab} ± 0.03	0.34 ^{NSa} ± 0.03
840	0.35 ^{Ab} ± 0.04	0.32 ^{ABb} ± 0.02	0.29 ^{Cabc} ± 0.03
1680	0.43 ^{Aa} ± 0.01	0.37 ^{Ba} ± 0.00	0.30 ^{Cab} ± 0.02
2520	0.39 ^{Aab} ± 0.02	0.32 ^{Bab} ± 0.01	0.23 ^{Cc} ± 0.00
3360	0.41 ^{Aab} ± 0.02	0.31 ^{Bb} ± 0.01	0.25 ^{Cbc} ± 0.00
4200	0.44 ^{Aa} ± 0.02	0.34 ^{Bab} ± 0.01	0.26 ^{Cbc} ± 0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

($p > 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อใช้ First order kinetic model (สมการอันดับ 1) ดังสมการที่ 3 อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกัน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า kinetic rate constant ต่ำที่สุด (ตารางที่ 24)

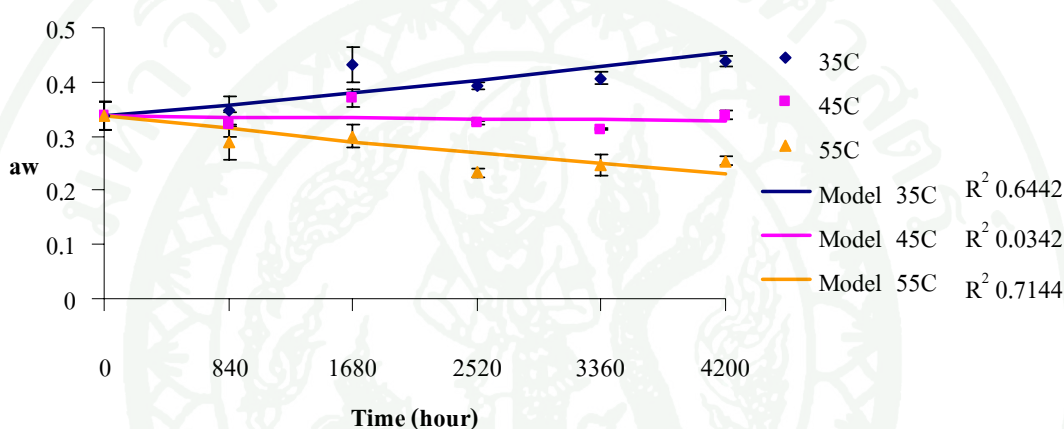
$$\ln(a_w/a_{w0}) = -kt \quad (3)$$

โดยค่า a_{w0} และ a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เริ่มต้น ($t=0$) และที่เวลาใดๆ

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour^{-1})

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 23 พบว่า First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าอวอเตอร์แอคติวิตีในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 และ 55 องศาเซลเซียส ได้ แต่ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 45 องศาเซลเซียสได้ โดยพิจารณาจากค่า R^2 ที่ต่ำมาก เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ 45 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอวอเตอร์แอคติวิตีแบบเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0.31-0.37 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเวลาไม่ชัดเจนทำให้ความสามารถในการทำนายของสมการลดลงอย่างมาก



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอวอเตอร์แอคติวิตีของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ค่าสี L^* , C^* และ h ที่เปลี่ยนแปลงไปในการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 20 และภาพที่ 24-28 ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลงระหว่างเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิ โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างของสีมีค่าใกล้เคียงกันในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3360 ชั่วโมง (8 สัปดาห์) เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการเก็บรักษาที่ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความสว่างของสีแตกต่างจากวันที่ 0 เมื่อเก็บรักษาไป 2520 ชั่วโมง (6 สัปดาห์) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างของสีลดลง และอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า kinetic rate constant จาก First order kinetic model (ตารางที่ 24) พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี (C^*) พบว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองและความเข้มของสีเหลืองมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เริ่มมีสีเหลืองและความเข้มของสีเหลืองแตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงเวลาที่ 2520, 1680 และ 1260 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสีเหลืองต่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า kinetic rate constant ในตารางที่ 24

ค่ามุมของสี (h) บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองและมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นสีแดงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เริ่มมีค่ามุมของสีเป็นสีแดงมากขึ้นแตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงเวลาที่ 3360, 3360 และที่ 1680 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของมุมของสีซึ่งเข้าใจถึงความเข้มเป็นสีแดง เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิสูงส่งผลให้มุมของสีซึ่งเข้าใจถึงความเข้มเป็นสีแดงเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับค่า kinetic rate constant ในตารางที่ 24

เมื่อพิจารณาค่า L^* , C^* และ h ร่วมกัน พบว่าการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น สีกด้าขึ้น แต่สีของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงช้าลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning) เรียกว่า maillard reaction ซึ่งกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิงในผลิตภัณฑ์ ได้เป็นไกลโคซิลเอมีนเป็นสารประกอบที่ไม่คงตัวเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เกิดการเปลี่ยนรูป จัดเรียงตัวใหม่ และการแตกตัวจนเกิดสารที่ระเหยง่ายและเมลานอยดิน เกิดจากอนุพันธ์ฟูแรนวงแหวนเกิดพอลิเมอร์หรืออย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น โดยอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ความชื้น ออกซิเจน โลหะ ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (นิธิยา, 2545) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเร็วกว่าและเกิดสีคล้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์จะเกิดได้ในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าออกซิเจนอิสระต่ำกว่า 0.20 - 0.75 โดยค่าออกซิเจนอิสระในช่วง 0.20 - 0.60 เป็นช่วงที่ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามค่าออกซิเจนอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดสูงสุดในช่วงวอเตอร์แอคทีวิตี้เท่ากับ 0.60 (นิธิยา, 2545) จากค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 19) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.23 - 0.44 จึงทำให้เกิด maillard reaction ได้

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* C* และ h ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ค่าสี		
	35°C	45°C	55°C
L*			
0	90.64 ^{Nsa} ± 0.27	90.64 ^{Nsa} ± 0.27	90.64 ^{Nsa} ± 0.27
1260	90.33 ^{NSab} ± 0.09	90.26 ^{NSab} ± 0.02	89.86 ^{NSab} ± 0.14
1680	90.42 ^{NSab} ± 0.00	90.19 ^{NSab} ± 0.08	89.78 ^{NSab} ± 0.33
2520	89.81 ^{ABb} ± 0.32	90.10 ^{Aab} ± 0.61	89.31 ^{Bb} ± 0.67
3360	89.84 ^{Aab} ± 0.53	89.44 ^{Ab} ± 0.32	88.13 ^{Bc} ± 0.23
4200	89.78 ^{Ab} ± 0.35	89.68 ^{Ab} ± 0.45	87.95 ^{Bc} ± 0.40
C*			
0	7.86 ^{NSc} ± 0.60	7.86 ^{NSc} ± 0.60	7.86 ^{NSd} ± 0.60
1260	9.17 ^{Bbc} ± 0.19	9.74 ^{Bbc} ± 0.03	11.07 ^{Ac} ± 0.27
1680	9.36 ^{Bbc} ± 0.02	10.29 ^{ABb} ± 0.18	12.21 ^{Abc} ± 1.01
2520	10.84 ^{Bab} ± 0.67	11.20 ^{Bab} ± 1.29	13.46 ^{Ab} ± 1.53
3360	11.25 ^{Ba} ± 0.94	13.04 ^{Ba} ± 0.94	16.53 ^{Aa} ± 0.01
4200	11.43 ^{Ba} ± 1.02	12.59 ^{Ba} ± 1.24	17.17 ^{Aa} ± 0.53
h			
0	89.98 ^{NSab} ± 0.12	89.98 ^{NSa} ± 0.12	89.98 ^{NSa} ± 0.12
1260	90.17 ^{Aa} ± 0.21	89.86 ^{ABa} ± 0.03	89.33 ^{Bab} ± 0.04
1680	89.99 ^{Aab} ± 0.04	89.80 ^{Aa} ± 0.07	89.17 ^{Bbc} ± 0.04
2520	89.73 ^{NSbc} ± 0.02	89.41 ^{NSab} ± 0.33	88.52 ^{NSc} ± 0.64

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ค่าสี		
	35°C	45°C	55°C
3360	89.46 ^{Acd} ± 0.16	89.19 ^{Ab} ± 0.29	87.76 ^{Bd} ± 0.33
4200	89.21 ^{Ad} ± 0.15	88.87 ^{Ab} ± 0.38	87.26 ^{Bd} ± 0.36

หมายเหตุ ตัวอักษร^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ตัวอักษร^{A-C} ที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

ตัวอักษร^{a-d} ที่ต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

เมื่อใช้ First order kinetic model ดังสมการที่ 4 อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี (L*) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 24)

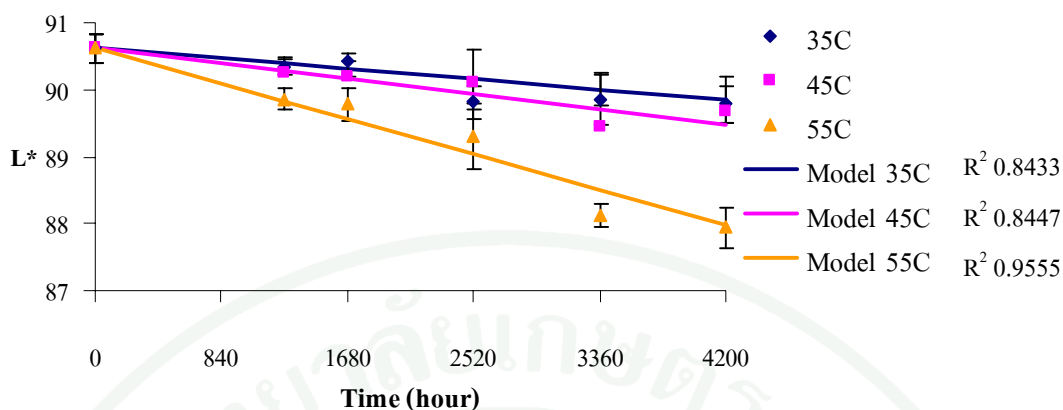
$$\ln (L^*/L^*_0) = -kt \quad (4)$$

โดยค่า L^*_0 และ L^* คือ ค่า L^* เริ่มต้น (t=0) และที่เวลาใดๆ

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour⁻¹)

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 24 แสดงว่า First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ได้ โดยพิจารณาจากค่า R² ซึ่งมีค่าสูง



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

เมื่อใช้ First order kinetic model ดังสมการที่ 5 อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี (C^*) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 24)

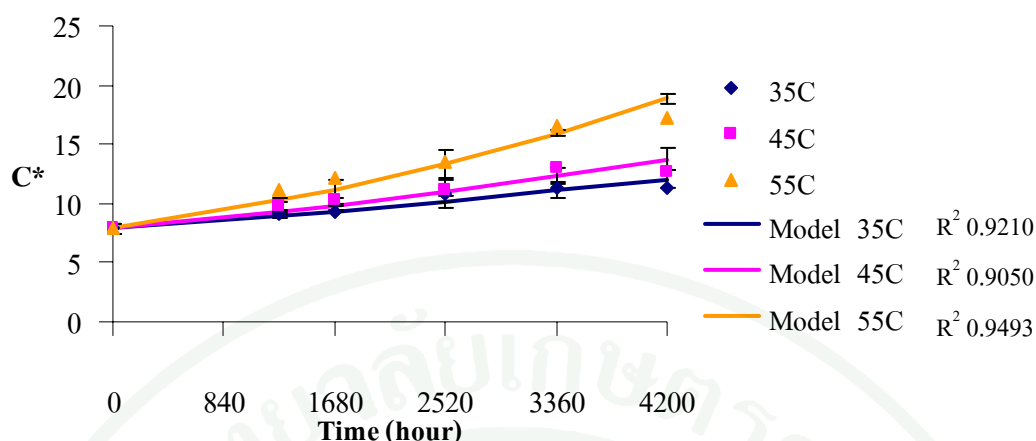
$$\ln (C^*/C^*_0) = -kt \quad (5)$$

โดยค่า C^*_0 และ C^* คือ ค่าความเข้มของสี (C^*) เริ่มต้น ($t=0$) และที่เวลาใดๆ

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour^{-1})

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 25 แสดงว่า First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ได้ เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูง



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่า C^* ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

เมื่อใช้ First order kinetic model ดังสมการที่ 6 อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่ามูมของสี (h) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 24)

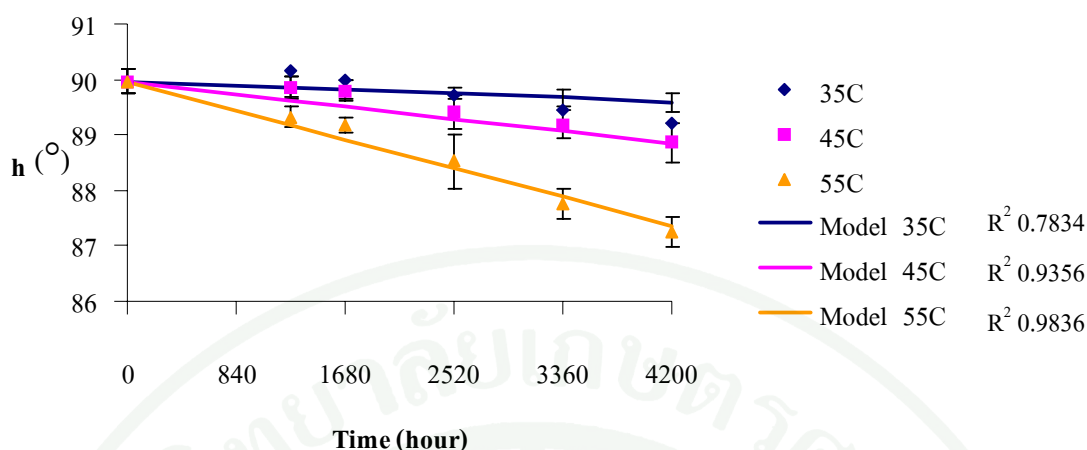
$$\ln (h/h_0) = -kt \quad (6)$$

โดยค่า h_0 และ h คือ ค่ามูมของสี (h) เริ่มต้น ($t=0$) และที่เวลาใดๆ

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour^{-1})

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 26 First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงค่ามูมของสีในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ได้ เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูง



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงค่า h ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

5.3 คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 30 และภาพที่ 29 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 4200 ชั่วโมง แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส ทำให้ความชื้นมีแนวโน้มลดลงโดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1680 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์เริ่มมีความชื้นสูงกว่าวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เริ่มพบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษานาน 840 ชั่วโมง ($p \leq 0.05$) แสดงว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาดำความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากอากาศรอบๆ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำลง ส่งผลให้เกิดการระเหยไอน้ำออกจากอาหาร เป็นผลให้ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้นทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	35°C	45°C	55°C
0	3.13 ^{NSns} ± 0.10	3.13 ^{NSa} ± 0.10	3.13 ^{NSa} ± 0.10
840	3.13 ^{Ans} ± 0.19	2.91 ^{ABab} ± 0.03	2.57 ^{Bb} ± 0.18
1680	3.08 ^{NSns} ± 0.11	2.83 ^{NSbc} ± 0.10	2.37 ^{NSbc} ± 0.24
2520	3.18 ^{Ans} ± 0.13	2.95 ^{Aab} ± 0.31	2.27 ^{Bbc} ± 0.11
3360	3.29 ^{Ans} ± 0.22	2.64 ^{ABc} ± 0.15	1.95 ^{Bc} ± 0.18
4200	3.32 ^{Ans} ± 0.18	2.85 ^{Bbc} ± 0.15	2.07 ^{Cc} ± 0.06

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

($p > 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อใช้ First order kinetic model ดังสมการที่ 7 อธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 24)

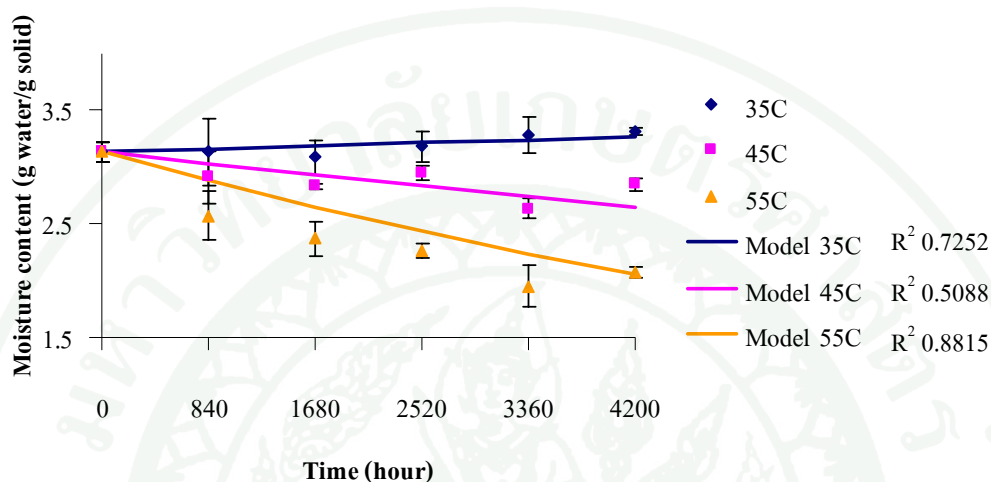
$$\ln (M / M_0) = -kt \quad (7)$$

โดยค่า M_0 และ M คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น ($t=0$) และที่เวลาใดๆ

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour^{-1})

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 27 First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสได้ เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่การเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปตาม First order kinetic model



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (ตาราง 22) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่างกัน ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณแคลเซียม ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 22 เนื่องจากแคลเซียมมีจุดเดือด 1484 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 842 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษา ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาในช่วงที่ศึกษาจึงไม่ส่งผลต่อปริมาณแคลเซียม

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	35°C	45°C	55°C
0	32.79 ^{NSc} ± 0.25	32.79 ^{NSc} ± 0.25	32.79 ^{NSb} ± 0.25
840	34.65 ^{NSb} ± 0.21	34.63 ^{NSb} ± 0.08	34.88 ^{NSa} ± 0.50
1680	35.05 ^{ABab} ± 0.18	35.27 ^{Aa} ± 0.18	34.96 ^{Ba} ± 0.28
3360	35.64 ^{NSa} ± 0.22	35.77 ^{NSa} ± 0.02	35.58 ^{NSa} ± 0.21
4200	30.94 ^{NSd} ± 0.27	31.42 ^{NSd} ± 0.26	31.34 ^{NSc} ± 0.60

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ตัวอักษร ^{A-B} ที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลง Thiobarbituric acid number (TBA) ดังตารางที่ 23 และภาพที่ 30 พบว่ามีค่า TBA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (p≤0.05) โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ซึ่งค่า TBA แสดงถึงปริมาณ malonaldehyde ในผลิตภัณฑ์ เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นหืน ทำผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย เนื่องจากไม่เป็นที่ยอมรับในการบริโภค เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2520 2520 และ 840 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำให้ผลิตภัณฑ์มี TBA แตกต่างจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) สำหรับอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยา oxidative rancidity ระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ เช่น กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก กรดปาล์มิโตเลอิก กรดไมริสโตเลอิก เป็นต้น ที่มีรายงานว่าไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในปลานิลทั้งตัวเนื้อปลานิล และเศษเหลือจากการแปรรูปของปลานิล (Gonzales and Brown, 2006) ซึ่งไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมจึงเกิดอนุมูลอิสระ และออกซิเจนจึงเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิด diradical และ

เกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระและออกซิเจนต่อไปเรื่อยๆ ได้อนุมูลเพอร์ออกไซด์ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นของออกซิเดชัน โดยเกิดการสลายตัวและทำปฏิกิริยากับสารอื่นทำให้เกิดสารที่ให้อกลิ่นในกลุ่ม aldehyde ketone ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นหืนและการไม่ยอมรับของผู้บริโภค ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด lipid oxidation ในอาหารคือ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เพราะจำนวนพันธะคู่มากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว กรดไขมันอิสระ อุณหภูมิ พื้นที่ผิว ความชื้น แร่ธาตุบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล เป็นต้น (นิธิยา, 2545; Hamilton, 1994)

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	TBA (มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม)		
	35°C	45°C	55°C
0	0.53 ^{NSc} ± 0.06	0.53 ^{NSc} ± 0.06	0.53 ^{NSe} ± 0.06
840	0.60 ^{NSbc} ± 0.06	0.73 ^{NSc} ± 0.25	0.83 ^{NSd} ± 0.13
1680	0.55 ^{Bbc} ± 0.04	0.77 ^{ABc} ± 0.10	0.94 ^{Ad} ± 0.01
2520	0.90 ^{Bab} ± 0.20	1.36 ^{Bb} ± 0.04	1.67 ^{Ac} ± 0.03
3360	1.00 ^{Ba} ± 0.26	1.90 ^{Ba} ± 0.41	3.48 ^{Aa} ± 0.05
4200	1.04 ^{Ca} ± 0.29	1.43 ^{Bb} ± 0.18	3.24 ^{Ab} ± 0.14

หมายเหตุ ตัวอักษร^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

(p>0.05)

ตัวอักษร^{A-C} ที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

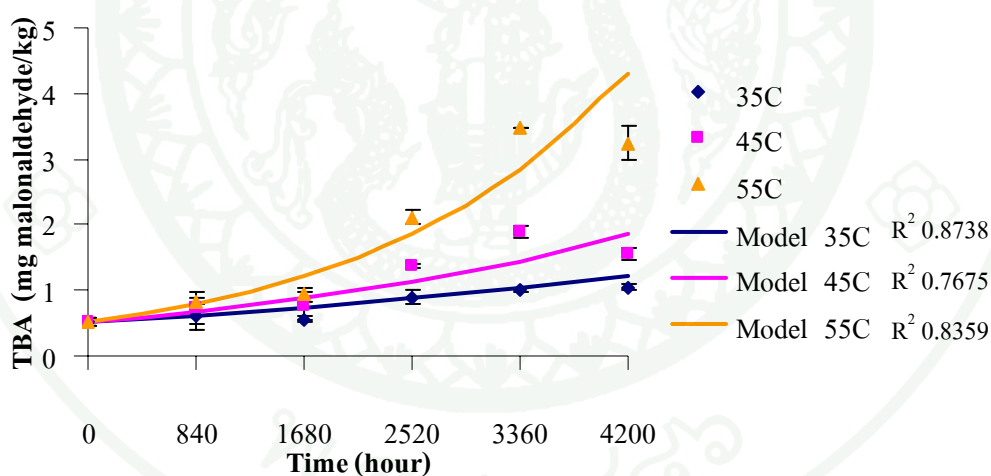
ตัวอักษร^{a-c} ที่ต่างกันแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

เมื่อใช้ First order kinetic model ดังสมการที่ 8 อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าค่า kinetic rate constant แตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 24)

$$\ln (TBA/TBA_0) = -kt \quad (8)$$

โดยค่า TBA_0 และ TBA คือ ค่า Thiobarbituric acid number เริ่มต้น ($t=0$) และที่เวลาใดๆ
 k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour^{-1})
 t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากภาพที่ 28 First order kinetic model ทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ได้เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูง



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากก้างปลานิล พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ มีค่า kinetic rate constant ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 24 โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพส่วนใหญ่ มักขึ้นกับอุณหภูมิด้วย จึงใช้สมการอาร์เรเนียส

(Arrhenius) ดังแสดงในสมการที่ 9 อธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่า kinetic rate constant ของคุณภาพด้านต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 24

$$k_i = k_{0i} \exp (-E_a/RT) \quad (9)$$

เมื่อ k_i คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ของคุณลักษณะ i
 โดย $i = 1$ (ค่า a_w), $i = 2$ (ค่า Moisture content), $i = 3$ (ค่า L^*), $i = 4$ (ค่า C^*), $i = 5$ (ค่า h),
 $i = 6$ (ค่า TBA)
 k_{0i} คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของคุณลักษณะ i โดย $i = 1$ ถึง 6
 E_a คือ พลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะ i (J/mol)
 R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/mol.K)
 T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า E_a ของค่า C^* มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นค่า C^* ถูกกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการปรับอุณหภูมิการเก็บรักษาได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุอยู่ในแคปซูล ดังนั้นสีจึงไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญ จึงพิจารณาปัจจัยที่รองลงมาคือ ค่า TBA ซึ่งแสดงถึงอัตราการเกิดกลิ่นหืน ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิ สำหรับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อค่าออกซิเดชันและปริมาณความชื้นไม่สามารถอธิบายได้โดยสมการอาร์เรเนียส กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มในการสูญเสียความชื้น ในขณะที่เมื่อผลิตภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลงผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มดูดความชื้นกลับทำให้ความชื้นสูงขึ้น

ตารางที่ 24 Kinetic rate constant และ Ea ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	k ที่ 35°C (hour ⁻¹)	k ที่ 45°C (hour ⁻¹)	k ที่ 55°C (hour ⁻¹)	Ea (kJ/mol)	k ₀ (hour ⁻¹)
a _w (i=1)	-0.07 x 10 ⁻³	0.07 x 10 ⁻⁴	0.09 x 10 ⁻³	-	-
Moisture content(i=2)	-0.01 x 10 ⁻³	0.04 x 10 ⁻³	0.01 x 10 ⁻²	-	-
L* (i=3)	0.02 x 10 ⁻⁴	0.03 x 10 ⁻⁴	0.07 x 10 ⁻⁴	52.40	1.43 x 10 ³
C* (i=4)	0.01 x 10 ⁻²	0.13 x 10 ⁻³	0.21 x 10 ⁻³	30.63	1.51 x 10 ¹
h (i=5)	0.01 x 10 ⁻⁴	0.03 x 10 ⁻⁴	0.07 x 10 ⁻⁴	81.80	7.71 x 10 ⁷
TBA (i=6)	-0.02 x 10 ⁻²	-0.03 x 10 ⁻²	-0.05 x 10 ⁻²	38.42	6.43 x 10 ²

เมื่อพิจารณาให้ค่า TBA เป็นปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากก้างปลานิลเกิดการเสื่อมเสีย จึงแทนค่า kinetic rate constant ของ TBA (จากตารางที่ 24) ลงในสมการที่ 10 เพื่อกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ค่า TBA ที่บ่งบอกการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของเอกชัย (2543) ที่ศึกษาอายุของก้างปลาโอแถบที่ใช้เสริมแคลเซียมในอาหารว่าง พบมีการเสื่อมเสียจากกลิ่นหืนมีค่า PV เท่ากับ 20 และค่า TBA เท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อกรัม

$$-\ln (C_A/C_{A0}) = kt \quad (10)$$

โดยค่า C_A คือ ค่า Thiobarbituric acid number ที่เริ่มเกิดกลิ่นหืนจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

C_{A0} คือ ค่า Thiobarbituric acid number เริ่มต้น ($t=0$)

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิใดๆ (hour⁻¹)

t คือ เวลาของการเปลี่ยนแปลง (hour)

จากการคำนวณพบว่าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลสามารถมีอายุการรักษาทันทีอุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4290, 2860 และ 1716 ชั่วโมงตามลำดับ

เมื่อนำค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส และ E_a ของการเปลี่ยนแปลงค่า TBA (ตารางที่ 24) แทนค่าในสมการที่ 9 สามารถหาค่า kinetic rate constant ของค่า TBA ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 40 และ 50 องศาเซลเซียสได้ เท่ากับ $0.0249 \times 10^{-2} \text{ hour}^{-1}$ และ $0.0393 \times 10^{-2} \text{ hour}^{-1}$ นำไปแทนค่าในสมการที่ 10 สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียสได้ 3445 และ 2181 ชั่วโมง ตามลำดับ

5.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการวิเคราะห์ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล โดยทำการทดสอบลักษณะพวงก้างป่นภายในแคปซูล โดยใช้ผู้ทดสอบ 10 คน ซึ่งผ่านการฝึกฝนแล้ว ใช้สเกลเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ในการทดสอบ คุณลักษณะที่ทำการทดสอบมีกลิ่นคาวปลา และกลิ่นหืน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจาก
ก้างปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (ชั่วโมง)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส		
	35°C	45°C	55°C
กลิ่นคาวปลา (ความเข้มของกลิ่นคาวปลาน้อย = 0, ความเข้มของกลิ่นคาวปลามาก = 15)			
0	2.24 ^{NSbc} ± 0.20	2.24 ^{NSbc} ± 0.20	2.24 ^{NSc} ± 0.20
840	2.08 ^{NSc} ± 0.20	2.14 ^{NSc} ± 0.11	2.17 ^{NSc} ± 0.06
1680	2.41 ^{NSbc} ± 0.12	2.61 ^{NSab} ± 0.02	2.81 ^{NSb} ± 0.27
2520	2.35 ^{NSbc} ± 0.32	2.59 ^{NSab} ± 0.22	3.14 ^{NSa} ± 0.20
3360	3.06 ^{Aa} ± 0.18	2.74 ^{Aa} ± 0.04	1.82 ^{Bd} ± 0.05
4200	2.68 ^{Aab} ± 0.14	2.86 ^{Aa} ± 0.20	1.88 ^{Bd} ± 0.01
กลิ่นหืน (ความเข้มของกลิ่นหีนน้อย = 0, ความเข้มของกลิ่นหีนมาก = 15)			
0	1.00 ^{NSc} ± 0.11	1.00 ^{NSd} ± 0.11	1.00 ^{NSf} ± 0.11
840	2.00 ^{Bb} ± 0.30	2.33 ^{Bc} ± 0.24	3.53 ^{Ae} ± 0.05
1680	2.60 ^{Bb} ± 0.14	4.17 ^{Aa} ± 0.24	4.38 ^{Ad} ± 0.18
2520	3.55 ^{NSa} ± 0.33	3.29 ^{NSb} ± 0.41	4.84 ^{NSc} ± 0.22
3360	3.72 ^{Ca} ± 0.31	4.91 ^{Ba} ± 0.40	7.99 ^{Aa} ± 0.29
4200	3.32 ^{Ca} ± 0.02	4.31 ^{Ba} ± 0.36	7.12 ^{Ab} ± 0.01

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
ตัวอักษร ^{A-C} ที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
ตัวอักษร ^{a-f} ที่ต่างกันแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 25 กลิ่นคาวปลามีการเปลี่ยนแปลงคือ ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นคาวปลาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบสามารถรับรู้ได้ว่าแตกต่างจากชั่วโมงที่ 0 ในชั่วโมงที่ 3360 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 55 องศาเซลเซียส ผู้ทดสอบรับรู้ได้ว่ามีกลิ่นคาวปลาเพิ่มขึ้นใน

ช่วงแรกคือชั่วโมงที่ 1680 และ 2520 จากนั้นรับรู้ว่าการลดลงในชั่วโมงที่ 3360 และ 4200 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทำให้กลิ่นควาลลดลง เนื่องจากกลิ่นหืนที่มากขึ้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหืนระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีกลิ่นหืนมากขึ้นเมื่ออายุในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบสามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงในชั่วโมงที่ 840 ที่ทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา และอุณหภูมิในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการเกิดกลิ่นหืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้นส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า TBA (ตารางที่ 23) เนื่องจากการเกิด malonaldehyde เพิ่มขึ้นในระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นและเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษา

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้ ศึกษากรรมวิธีการเตรียมที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลเพื่อให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมบรรจุแคปซูล สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ก้างปลานิลสดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 130.97 โปรตีนร้อยละ 34.73 ไขมันร้อยละ 19.10 ปริมาณแคลเซียม 9.48 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม และปริมาณฟอสฟอรัส 3.72 กรัมต่อก้างปลานิล 100 กรัม และพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.3×10^5 cfu/g โดยพบ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม และไม่พบ *Staphylococcus aureus* ต่อวัตถุดิบ 0.1 กรัม

2. กรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสม คือ การแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.8 เป็นเวลา 90 นาที ทำให้โครงสร้างของก้างปลา มีรูพรุนมากขึ้น มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำสุด ($p \leq 0.05$) และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ โดยไม่ส่งผลต่อปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส ($p > 0.05$) และสถานะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 90 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

3. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีร้อยละผลผลิตในขั้นตอนหลังการคัดแต่ง หลังการเตรียม หลังให้ความร้อนภายใต้ความดันสูง หลังผ่านการอบแห้ง และหลังผ่านการบดให้มีขนาดอนุภาค 150 ไมครอน เท่ากับร้อยละ 47.05, 60.86, 11.95, 4.86 และ 4.00 ของก้างปลาสดตามลำดับ

4. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลที่พัฒนาได้ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.13 โดยน้ำหนักแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.34 มีปริมาณแคลเซียม 150 มิลลิกรัมต่อแคปซูล

(บรรจุ 600 มิลลิกรัม) ขนาดอนุภาค 150 ไมครอนโดยมีคุณภาพเป็นไปตามกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ กายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุแคปซูล พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลส่งผลให้ค่า L^* และ h ลดลง แต่ค่า C^* และค่า TBA เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงแสดงได้โดยค่า kinetic rate constant นอกจากนี้สมการอาร์เรเนียสสามารถอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นหืนได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสยังสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี และเมื่อพิจารณาค่า TBA เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียพบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการรักษที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4290, 2860 และ 1716 ชั่วโมงตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาวิธีในการลดปริมาณไขมันที่ตกค้างให้น้อยลงกว่านี้ เนื่องจากไขมันที่หลงเหลืออยู่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา oxidative rancidity ดังนั้นการลดปริมาณไขมันที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุด จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้มากขึ้น
2. ควรเพิ่มสารดูดความชื้นในบรรจุภัณฑ์ เพื่อป้องกันการดูดความชื้นกลับของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในประเทศไทยมีอุณหภูมิประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้น เพราะผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากอากาศรอบๆ ดังนั้นการเพิ่มสารดูดความชื้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษา

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ปลานิล. การเลี้ยงปลานิล. แหล่งที่มา:
http://www.doe.go.th/library/html/detail/fish_nil/tilapia.htm, 23 ตุลาคม 2550.

_____. 2537. หลักเกณฑ์และสัญลักษณ์ที่ควรปฏิบัติในโรงงานผลิตสัตว์น้ำแช่เยือกแข็ง.
กองควบคุมตรวจสอบผลิตภัณฑ์และการแปรรูปสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. ความชื้นสัมพัทธ์. แหล่งที่มา:
http://www.tmd.go.th/info/knowledge_weather02_n.html, 20 ตุลาคม 2552.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง. 2550. หนังสือสถิติการ
ประมงแห่งประเทศไทย. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2545. แคลเซียมและสุขภาพ: สำหรับ
นักวิชาการและเจ้าหน้าที่สาธารณสุข. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข,
กรุงเทพฯ.

จักรี ทองเรือง. 2540. ชูริมิ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ช่อผกา สมภพตระกูล. 2546. น้ำยาก้อนเสริมแคลเซียมจากก้างปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติทิพย์ กฤษณามระ, เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ และ วาสนา แสงอำนาจ. 2436. รายงานการวิจัย
การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของลำไส้ส่วนต่างๆในการปรับการดูดซึมหรือหลัง
แคลเซียมเพื่อรักษาแคลเซียมในเลือดให้คงที่. ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล.

นิติพงษ์ จิตรีโกชนัน. 2543. การผลิตแคลเซียมจากเถ้าดินจากเศษเหลือของโรงงานชูริมิ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

นุชสุรางค์ วีระพันธุ์ และ ดวงทิพย์ ตีรรัตนาวงศ์. 2542. **อาหารเสริมสุขภาพ: แคลเซียมแคลชูจากพืชผักพื้นบ้านไทย**. ปริญญานิพนธ์เภสัชศาสตร์บัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บัญญัติ มนเทียรอาสน์. 2535. **มินิวิทยา**. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง. สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่.

ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2526. **ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

พาวัญ ทองรักษ์. 2546. **การยืดอายุการเก็บรักษาปลาทับทิมแล้แซ่เย็นโดยวิธีการจุ่มน้ำร้อนและกรดแล็กติก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพ็ญวัญ ชมปริดา. 2550. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. **ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทเท็กซ์เอนด์เจอร์นัลพับลิเคชันจำกัด, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ศิวเวช. 2535. **วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร**, ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2552. **การส่งออกของไทย**. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย. แหล่งที่มา: www.moc.go.th, 30 พฤศจิกายน 2552.

สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย. 2552. สถิติการส่งออกและนำเข้า. ความเคลื่อนไหวในอุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: www.thai-frozen.or.th, 30 พฤศจิกายน 2552.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2541. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุมนตา วัฒนสินธุ์. 2545. จุลชีววิทยาทางอาหาร. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวิมล กิริติพิบูล. 2547. ระบบการจัดการและควบคุมการผลิตอาหารให้ปลอดภัย. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2548. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 293 พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณท์เสริมอาหาร. แหล่งที่มา: <http://newsser.fda.moph.go.th/food2/file/Laws/Notification%20of%20Ministry%20of%20PublicHealth/Law03P293.pdf>, 5 พฤศจิกายน 2550.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2537. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 156 พ.ศ. 2537 เรื่อง นมดัดแปรสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก. แหล่งที่มา: <http://newsser.fda.moph.go.th/food/file/Laws/Notification%20of%20Ministry%20of%20PublicHealth/Law03P156.pdf>, 11 ตุลาคม 2552.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณท์อุตสาหกรรม. 2549. มาตรฐานผลิตภัณท์ชุมชนปลาป่นปรุงรส มพช. 1337. แหล่งที่มา: http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps1337_49.pdf, 11 ตุลาคม 2552.

เอกชัย จารุเนตรวิลาส. 2543. การนำกระดุกปลาโอแถบ *Katsuwonus pelamis* มาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมในอาหารว่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Andersson, K. and H. Lingnert. 1999. Kinetic studies of oxygen dependence during initial lipid oxidation in rapeseed. **Journal of Food Science**. 64 (2): 262-266.

Association of Official Analytical Chemists. 2000. **Official Methods of Analysis**, 17th ed. AOAC. Maryland, USA.

_____. 2005. **Official Methods of Analysis**, 18th ed. AOAC. Maryland, USA.

Baik, M. Y., E. L. Suhendro, W. W. Nawar, D. J. McClements, E. A. Decker and P. Chinachoti. 2004. Effects of antioxidants and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 81 (4): 355-360.

Codex Alimentarius Commission. 2000. **Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Fish and Fishery Products Twenty-fourth Session Ålesund, Norway, 5-9 June 2000**. Available Source: http://listproc.ucdavis.edu/archives/seafood/log0604/att-0061/01-fp00_13e.pdf. February 21, 2008.

Edem, C. A., O. Vincent, I. Grace, E. Rebecca and E. Joeseeph. 2009. Distribution of heavy metals in bones, gills, livers and muscles of (Tilapia) *Oreochromis niloticus* from Henshaw town beach market in Calabar Nigeria. **Pakistan Journal of Nutrition**. 8 (8): 1209-1211.

Falch, E., M. Sandbakk and M. Aursand. 2007. On-board handling of marine by-products to prevent microbial spoilage, enzymatic reactions and lipid oxidation, pp.47-64. *In* Shahidi, F., eds. **Maximising the value of marine by-products**. TJ International Limited, England.

Food and Drug Administration. 2001. **Bacteriological Analytical Manual of Food**. FDA, Arlington, VA.

Gildberg, A., J. A. Arnesen and M. Carlehog. 2002. Utilisation of cod backbone by biochemical fractionation. **Process Biochemistry**. 38: 475-480.

- Gonzales, J. M. and P. B. Brown. 2006. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as a food source in advanced life support systems: Initial considerations. **Advances in Space Research**. 38 : 1132–1137.
- Hamada, M., T. Nagai, N. Kai, Y. Tanoue, H. Mae, M. Hashimoto, K. Miyoshi, H. Kumagai and K. Saeki. 1995. Inorganic constituents of bone of fish. **Fisheries Science**. 61 (3): 517-520.
- Hamilton, R. J. 1994. The chemistry of rancidity in foods, pp. 1-21. *In* Allen, J. C. and R. J. Hamilton, eds. **Rancidity in foods**. Blackie Academic and Professional, London.
- Harris, P. and J. Tall. 1994a. Rancidity in fish, pp. 256-272. *In* Allen, J. C. and R. J. Hamilton, eds. **Rancidity in foods**. Blackie Academic and Professional, London.
- _____. 1994b. Rancidity in fish, pp. 256-272. *In* Allen, J. C. and R. J. Hamilton, eds. **Rancidity in foods**. Blackie Academic and Professional, London. *Cited* Ke, P. J., R. G. Ackman, B. A. Linke and D. M. Nash. 1977. Differential lipid oxidation in various parts of frozen mackrel. **Journal of Food Technology**. 12 : 37.
- Ishikawa, M., S. Mori, H. Watanabe and Y. Sakai. 1987. Softening rate and solubilization rate of organic matter from fish bone. **Journal of Food Processing and Preservation**. 11: 277-287.
- _____. 1989. Softening of fish bone II. Effect of acetic acid on softening rate and solubilization rate of organic matter from fish bone. **Journal of Food Processing and Preservation**. 13 (2): 123-132.
- _____. 1990. Effect of vapor pressure on the rate of softening of fish bone by super-heated steam cooking. **Nippon Suisan Gakkaishi**. 56 (10): 1687-1691.

- Jonna, R. 2004. Actinopterygii. **Bony fishes**. Available Source:
<http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Actinopterygii.html>.
 November 2, 2005.
- Kanehama, S. and M. Shimamori. 2006. Method for softening fish bone and system for softening fish bone. **Japanese Patent Application**. JP 2006006121.
- Kim, J. S., J. D. Choi and J. G. Koo. 1998. Component characteristics of fish bone as a food source. **Agricultural Chemistry & Biotechnology**. 41 (1): 67-72.
- Lewis, N. M., S. K. M. Marcus, A. R. Behling and J. L. Greger. 1989. Calcium supplement and milk : effects on acid-base balance and on retention of calcium, magnesium and phosphorus. **American Journal of Clinical Nutrition**. 49: 527-533.
- Nagai, T. and N. Suzuki. 2000a. Isolation of collagen from fish waste material-skin, bone and fins. **Food Chemistry**. 68: 277-281.
- _____. 2000b. Preparation and characterization of several fish bone collagens. **Journal of Food Biochemistry**. 24 (5): 427-436.
- Ozbek, B. and G. Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. **Journal of Food Engineering**. (83): 541-549.
- Park, Y. J. and D. T. Lee. 1982. Utilization of fish-bone nutrients during cooking. **Research Reports of the Office of Rural Development, Horticulture**. 24: 124-128.
- Park, Y. K., E. A. Yetley and M. S. Calvo. 1997. Calcium intake levels in the United States: issues and considerations. **Food, Nutrition and Agriculture**. 20: 34-43.
- Pearson, D. 1976. **The Chemical Analysis of Foods**. 7 th ed. Churchill Livinstone, Edinburgh.

- Petenuci, M. E., F. B. Stevanato, J. E. Laguila Visentainer, M. Matsushita, E. E. Garcia, N. Evelazio de Souza and J. V. Visentainer. 2008. Fatty acid concentration, proximate composition, and mineral composition in fishbone flour of Nile tilapia. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**. 58 (1): 87-90.
- Rossell, J. B. 1994. Measurement of rancidity, pp. 22-53. *In* Allen, J. C. and R. J. Hamilton, eds. **Rancidity in Foods**. Blackie Academic and Professional, London.
- Rustad, T. 2007. Physical and chemical properties of protein seafood by-products, pp. 3-21. *In* Shahidi, F., eds. **Maximising the Value of Marine By-Products**. TJ International Limited, England. *Cited* Lall, S. P. 1995. **Fish and Fishery Products**. CAB International, Wallingford.
- Schuette, S. A. and J. B. Knowles. 1988. Industrial absorption of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and calcium citrate compared by two methods. **American Journal of Clinical Nutrition**. 47: 884-888.
- Sinnhuber, R. O. and T. C. Yu. 1958. 2-Thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products. **Food Technology**. 12 : 9-12.
- Sharon, M. 2007. Tilapia Culture. **Aquaculture**. Available Source: http://aqua-culture.blogspot.com/2007/02/tilapia-culture.html#nile_tilapia. November 2, 2005.
- Sheikh, M. S., C. A. Santa Alan, M. S. Nicar, L. R. Schiller and J. S. Fordtran. 1987. Gastrointestinal absorption of calcium from milk and calcium salts. **The New England Journal of Medicine**. 317 (9): 532-536.
- Tokur, B., A. Polat, G. Beklevik and S. Ozkutuk. 2004. Changes in the quality of fishburger produced from tilapia (*Oreochromis niloticus*) during frozen storage (-18°C). **European Food Research and Technology**. 218 (5): 420-423.

Ward, A. G. and A. Courts. 1977. **The Science and Technology of Gelatin**. Academic Press, London.







ภาคผนวก ก

ร้อยละผลผลิตและต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

ร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

ตารางผนวกที่ ก1 ร้อยละผลผลิตหลังผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการผลิต

ขั้นตอนในการผลิต	ผลผลิตหลังจากผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ (ร้อยละ)
วัตถุดิบเริ่มต้น	100.00
หลังการคัดแต่ง	47.05
หลังผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	60.86
หลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 90 นาที	11.95
หลังผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาที	4.86
หลังผ่านการบด (150 ไมครอน)	4.00

ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

จากงานวิจัยของ Maroulis and Saravacos, 2003 กล่าวว่า ค่าวัตถุดิบ และค่าบรรจุภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 65 ของต้นทุนผันแปร ส่วนร้อยละ 35 คิดเป็นต้นทุนในการดำเนินงาน เช่น ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า ค่าพลังงาน และค่าเสื่อมราคา ดังนั้นต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลมีค่าเท่ากับ 47.42 บาทต่อขวด (100 แคปซูล) ซึ่งประกอบด้วยค่าก้างปลา 1.50 กิโลกรัม เป็นเงิน 7.50 บาท ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 28.24 กรัม เป็นเงิน 16.32 บาท ค่าภาชนะบรรจุ 7 บาท รวมค่าวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์เป็นเงิน 30.82 บาท คิดเป็นร้อยละ 65 ของต้นทุนผันแปร และต้นทุนในการดำเนินงานร้อยละ 35 เท่ากับ $(0.35 \times 30.82)/0.65 = 16.60$ บาท



ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าอเตอร์แอกทวิตี (a_w)

นำตัวอย่างก้างปลานิลทำการบดให้ละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างใส่ในตลับพลาสติกสำหรับวิเคราะห์ค่าอเตอร์แอกทวิตีปริมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณบรรจุของตลับ นำใส่ใน chamber ของเครื่องวัดค่าอเตอร์แอกทวิตีและรอจนกระทั่งเครื่องวัดค่ามีเสียงเตือน หรือค่าอเตอร์แอกทวิตีที่วัดได้มีค่าคงที่ จึงอ่านค่าอเตอร์แอกทวิตีที่จากเครื่อง

การวิเคราะห์ค่าสีระบบ CIE L* C* h

นำตัวอย่างก้างปลานิลทำการบดให้ละเอียด ใช้ aperture mask ขนาดสำหรับ Petri dish ทำการ Calibrate สีขาวและสีดำ จากนั้นนำตัวอย่างใส่ใน Petri dish สำหรับวัดค่าสีโดยเครื่อง Spectrophotometer บรรจุตัวอย่างโดยไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวอย่าง บรรจุตัวอย่างปริมาณ 2 ใน 3 ของความสูง Petri dish โดยบรรจุตัวอย่างให้มีความสูงเท่าๆกันในทุกครั้งในการวัด หมุน Petri dish เป็นมุม 90 องศา วัด 4 ครั้งก่อนเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ โดยเปลี่ยนตัวอย่าง 3 ครั้งต่อตัวอย่าง ขณะวัดครอบด้วยภาชนะทรงกระบอกสีดำทึบแสงทุกครั้ง ใช้ Pulsed xenon arc lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสง

การถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

เตรียมตัวอย่างโดยนำก้างปลานิลไปอบแห้ง จากนั้นนำก้างปลาบริเวณ ribs มาหัก และเลือกก้างปลาที่มีผิวหน้าบริเวณที่หักเรียบ จากนั้นนำไปเคลือบทองก่อนนำไปศึกษา โดยใช้ความต่างศักย์เร่ง (accelerating voltage) เท่ากับ 10 kv



การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC., 2000)

1. อบด้วยอุณหภูมิเนียมและฝสำหรับหาความชื้น โดยใช้ตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นในเดสิคเคเตอร์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักด้วยอุณหภูมิเนียมและฝจนได้น้ำหนักคงที่ โดยทำซ้ำในข้อ 1 และเปรียบเทียบผลต่างของน้ำหนักระหว่างการชั่งทั้ง 2 ครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม จดน้ำหนักคงที่ของภาชนะไว้

2. ชั่งตัวอย่างใส่ด้วยอุณหภูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วประมาณ 2 กรัม จดน้ำหนักของตัวอย่างไว้ นำเข้าตู้อบไฟฟ้าโดยเปิดฝเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดสิคเคเตอร์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่ โดยอบประมาณ 30 นาที และน้ำหนักชั่งซ้ำเช่นเดิม ให้น้ำหนักที่ได้จากการชั่งทั้ง 2 ครั้งต่างกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม จดน้ำหนักคงที่ไว้

3. คำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{100 \times \text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC., 2000)

1. อบด้วยอุณหภูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ไขมัน โดยใช้ตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นในเดสิคเคเตอร์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักด้วยอุณหภูมิเนียมและฝจนได้น้ำหนักคงที่ โดยทำซ้ำในข้อ 1 และเปรียบเทียบผลต่างของน้ำหนักระหว่างการชั่งทั้ง 2 ครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม จดน้ำหนักคงที่ของภาชนะไว้

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการอบจนได้น้ำหนักคงที่ประมาณ 1 กรัม ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ห่อและใส่ใน thimble และประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน (Soxtec Extraction Apparatus) สกัดไขมันโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการสกัด 75 นาที เมื่อครบเวลานำของเหลวที่ได้ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกทำภายในตู้ดูดอากาศ เมื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกหมดแล้ว นำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นในเดสิคเคเตอร์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

3. คำนวณปริมาณไขมันดังสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักไขมัน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC., 2000)

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N

1. บดสาร $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ประมาณ 5 กรัมให้ละเอียด นำไปบดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในเตสิคเคเตอร์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง
2. ชั่งสารที่ได้จากข้อ 1 ประมาณ 0.1 กรัม น้ำหนักแน่นอน ใส่ในพลาสติก เดิมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆจนละลาย หยดฟีนอล์ฟธาไลน์ 2-3 หยด จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N (ที่ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์) ไทเทรตจน สารละลายในพลาสติกเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่ จดปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
3. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ

$$\text{Normality (NaOH)} = \frac{1000 \times \text{น้ำหนักที่แน่นอนของ } \text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \text{ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต} \times 204.44}$$

4. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในพลาสติก หยดฟีนอล์ฟธาไลน์ 2-3 หยด
5. นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N ที่เตรียมได้ใส่ในบิวเรต ไทเทรตกับสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่ จดปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
6. คำนวณความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ดังสมการ

$$\text{Normality (HCl)} = \frac{\text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH จากข้อ 3}}{\text{ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไทเทรต}}$$

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัมลงในหลอดย่อยโปรตีน ใส่ catalysts ผสมระหว่าง CuSO_4 กับ K_2SO_4 อัตราส่วน 0.5 ต่อ 10 จำนวน 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ
2. ตั้งหลอดย่อยใน stand และสวม exhaust manifold เปิดเครื่องดูดจับไอกรด ทำภายในตู้ดูดอากาศ ตั้งลงบนเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ย่อยประมาณ 30-45 นาที จนได้สารละลายใส มีสีสม่ำเสมอทุกหลอด
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนนำไปกลั่น โดยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น ใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เปิดไอน้ำร้อยละ 100 ใช้กรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร รองรับ ใช้เวลากลั่น 4 นาที
4. เมื่อครบเวลานำฟลาสก์ที่ได้จากการกลั่นมาทำการไทเทรต โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมได้
5. คำนวณดังสมการ

$$N(\text{ร้อยละ}) = \frac{14 \times \text{ผลต่างระหว่างปริมาตร HCl ที่ไทเทรตตัวอย่างกับ blank} \times \text{Normality of HCl} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\text{Protein (ร้อยละ)} = N(\text{ร้อยละ}) \times F (\text{conversion factor} = 6.25)$$

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (AOAC., 2005)

1. ชั่งตัวอย่าง 0.25-2 กรัม เติมกรดไนตริก 5-7 มิลลิลิตร และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ทิ้งให้หมดฟอง
2. นำไปย่อยโดยใช้ microwave digestion เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง ICP-OES เทียบกับ Standard curve

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส (AOAC., 2005)

1. ชั่งตัวอย่าง 4 กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
2. ทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกต่อน้ำกลั่น อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร เพื่อชะตัวอย่างออกจาก crucible
3. เทลงบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร หยดกรดไนตริกเข้มข้น 3-5 หยด นำไปต้มให้เดือด
4. ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปตตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ลงฟลาสก์ 100 มิลลิลิตร เติม Ammonium Molybdovanadate Reagent 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
6. ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 400 นาโนเมตร
7. คำนวณดังนี้

$$P_2O_5 \text{ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิลิตร)} \times \text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times 100 \times 2.291}{20 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} \times 1000}$$

การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู (AOAC., 2005)

1. ชั่งตัวอย่าง 0.3 กรัม เติมกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. ทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร เทลงในฟลาสก์ก้นกลม เติมสารละลาย $Mg(NO_3)_2$ 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบนเตาโดยใช้ความร้อนต่ำจนแห้งจึงให้ความร้อนสูง
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็น
4. เติมกรดไฮโดรคลอริก 8 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และ KI ร้อยละ 20 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที
5. เติมสารละลาย $NaBH_4$ ร้อยละ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าเบาๆ จากนั้นนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง ICP-OES เทียบกับ Standard curve

การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (AOAC., 2005)

1. ชั่งตัวอย่าง 0.25-2 กรัม เติมกรดไนตริก 5-7 มิลลิลิตร และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ทิ้งให้หมักฟอง
2. นำไปย่อยโดยใช้ microwave digestion เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง ICP-OES เทียบกับ Standard curve

การวิเคราะห์ Thiobarbituric acid number (Pearson, 1976; Rossell, 1994)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำไปปั่นผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร 2 นาที เทลงภาชนะสำหรับกลั่นและล้างภาชนะด้วยน้ำกลั่น 47.50 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4 M ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร
3. นำไปกลั่นให้ความร้อนจนได้ปริมาณของเหลว 50 มิลลิลิตร
4. ปิเปตของเหลวที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดมีฝาปิด เติมสารละลาย TBA reagent 5 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่าให้เข้า และนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที ทำ blank โดยใช้ทำกลั่น 5 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง
5. นำไปทำให้เย็นภายใน 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร
6. คำนวณค่า TBA ดังนี้

TBA number (มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อกรัม) = $7.8 \times$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร



ภาคผนวก ง
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

1. ชั่งน้ำหนักอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงพลาสติกสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างจากข้อ 1 ไปตีปั่นโดยใช้เครื่องตีปั่น (stomacher) นาน 30 วินาที
3. นำมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนมีความเจือจางที่เหมาะสม
4. จากนั้นปิเปตตัวอย่างที่ความเจือจางต่างกันปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละจานเพาะเชื้อที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำความเจือจางละ 2 ซ้ำ
5. นำอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count agar ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เทลงจานเพาะเชื้อ จานละ 20-25 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างให้เข้ากันกับอาหาร ตั้งทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว
6. นำไปบ่มโดยคว่ำจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
7. นับจำนวนโคโลนีที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนี นำจำนวนที่นับได้คูณด้วย dilution factor ของความเจือจางที่นับได้

การวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus* (BAM, 2001)

1. ชั่งน้ำหนักอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงพลาสติกสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างจากข้อ 1 ไปตีปั่นโดยใช้เครื่องตีปั่น (stomacher) นาน 30 วินาที
3. นำมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนมีความเจือจางที่เหมาะสม
4. ปิเปตตัวอย่างที่ถูกเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ลงอาหาร Mannitol Salt agar โดยเติมไข่ไก่ร้อยละ 3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง
5. สังเกตลักษณะโคโลนีสีเหลืองที่มีสีขาวขุ่นรอบๆ โคโลนี หากมีโคโลนีต้องสงสัยนำโคโลนีนั้นไปทดสอบ Coagulase ต่อ
6. นำโคโลนีต้องสงสัยอย่างน้อย 1 โคโลนีลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain Heart Infusion ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. หลังจากนั้นเติม Coagulase plasma 0.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ใน water bath ตรวจสอบการจับตัว ทุกๆ 2 ชั่วโมง สังเกตและบันทึกผล ภายใน 6 ชั่วโมง

8. นับจำนวนโคโลนีที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนี นำจำนวนที่นับได้คูณด้วย dilution factor ของความเจือจางที่นับได้ รายงานผลโดยการคำนวณจากจำนวนโคโลนีที่ให้ผลเป็นบวก ในหน่วย CFU/g

การวิเคราะห์ *Clostridium* spp. (BAM, 2001)

1. ชั่งน้ำหนักอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงพลาสติกสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างจากข้อ 1 ไปตีปั่นโดยใช้เครื่องตีปั่น (stomacher) นาน 30 วินาที
3. ปิเปตตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Cook Meat Medium ที่ต้มไต่ออกซิเจน ออกเป็นเวลา 10-15 นาที และทำให้เย็นจำนวน 2 หลอด เททับผิวหน้าด้วย agar ร้อยละ 2
4. บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง สังเกตก๊าซที่เกิดขึ้น ความขุ่นของอาหาร และลักษณะการถูกย่อยของชิ้นเนื้อ
5. หากอาหารมีลักษณะดังกล่าวให้ทำการตรวจสอบโดยการย้อมสีแกรม *Clostridium* spp. จะติดสีแกรมบวก มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาคล้ายไม้เทนนิส

การวิเคราะห์ *Salmonella* spp. (BAM, 2001)

1. เท Lactose broth 225 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง 25 กรัม ตีปั่น 30 วินาที นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ปิเปตตัวอย่างในข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน 10 มิลลิลิตร Tetrathionate และตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม ลงใน 10 มิลลิลิตร Selenite Cystine
3. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. เชื้อเชื้อจาก Tetrathionate และ Selenite Cystine มา Streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด คือ Hektoen Enteric agar, Bismuth Sulfite agar และ Xylose Lysine Decarboxylase agar บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. สังเกตบนอาหาร Hektoen Enteric agar โคโลนีต้องสงสัยจะมีสีน้ำเงิน ตรงกลางมีสีดำหรือไม่มี บางครั้งอาจมีสีเหลืองและตรงกลางมีสีดำหรือไม่ อาหาร Bismuth Sulfite agar มีโคโลนีสีน้ำตาล เทา หรือ ดำ บางครั้งมี metallic sheen อาหารบริเวณรอบๆ มักมีสีน้ำตาลแล้วเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อบ่มไว้นาน บางชนิดมีโคโลนีสีเขียว ล้อมรอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสีเข้มหรือไม่เปลี่ยนสี

อาหาร Xylose Lysine Decarboxylase agar โคโลนีมีสีชมพู อาจมีสีดำตรงกลางหรือไม่ หรือมีโคโลนีเกือบดำทั้งโคโลนี บางชนิดสีเหลือง โดยมีตรงกลางสีดำหรือไม่ก็ได้

6. นำโคโลนีต้องสงสัย Stab ลง Triple Sugar Iron agar และ Lysine Iron agar โดยใช้เข็มเย็บเชื้ออันเดียวกัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. สังเกตบนอาหาร Triple Sugar Iron agar โคโลนีต้องสงสัยส่วนบนจะมีสีแดง ส่วนล่างมีสีเหลืองอาจมีสีดำ และเกิดก๊าซถ้ำสร้าง H_2S อาหาร Lysine Iron agar อาหารยังมีสีม่วงตามเดิม อาจมีสีดำ และเกิดก๊าซถ้ำสร้าง H_2S

8. เชื้อเชื้อจาก Triple Sugar Iron agar มา Streak บนอาหาร Mac Conkey's agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 2 จาน สังเกตโคโลนีไม่มีสี บางครั้งมีสีเข้มตรงกลาง

9. เชื้อเชื้อลงบน Urea broth และ Tryptophan broth โดย Tryptophan broth เดิม 0.4-0.6 มิลลิกรัม ของสารละลาย KOVAC บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ถ้าเป็น *Salmonella* อาหารจะไม่เปลี่ยนสี

10. นำเชื้อไปตรวจสอบทาง Serological สรุปว่าตัวอย่างมีหรือไม่มี *Salmonella*

การวิเคราะห์ *Escherichia coli* (BAM, 2001)

1. ชั่งน้ำหนักอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงพลาสติกสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร

2. นำตัวอย่างจากข้อ 1 ไปตีปั่นโดยใช้เครื่องตีปั่น (stomacher) นาน 30 วินาที

3. นำมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนมีความเจือจางที่เหมาะสม

4. จากนั้นปิเปตตัวอย่างที่ความเจือจางต่างกันปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน Lauryl Sulphate Tryptose broth ซึ่งมี Durham tube โดยทำความเจือจางละ 3 หลอด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลอดที่ไม่มีก๊าซให้บ่มต่ออีก 24 ชั่วโมง

5. เลือกหลอดที่มีก๊าซไปทำ confirm test

6. ใช้ loop เชื้อเชื้อจากหลอดที่มีก๊าซใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่มี durham tube บรรจุ บ่มที่ 45.5 องศาเซลเซียส ใน water bath นาน 48 ชั่วโมง

7. เลือกหลอดที่มีก๊าซไป Streak บน EMB agar บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8. เลือกโคโลนีที่มีสีดำอาจมีหรือไม่มี Metallic sheen เชื้อเชื้อจานละ 2 โคโลนี ลงใน Plate Count Agar slant บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

9. เชื้อเชื้อลงบน MR-VP broth บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง

10. ถ่ายเชื้อ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 13 x 100 มิลลิเมตร เติม 0.6 มิลลิลิตร ของ alpha-naphthol ในสารละลายแอลกอฮอล์ และเติม 0.2 มิลลิกรัมของสารละลาย creatinine-KOH ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง ผลบวกจะให้สีชมพูแดง

11. MR-VP broth ที่เหลือบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หยอด methyl red 5 หยด ผลบวกให้สีแดง ผลลบให้สีเหลือง

12. เชื้อเชื้อจาก Plate Count Agar slant จากข้อ 8 ลงบนอาหาร Simmon citrate agar บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง ผลบวกให้สีน้ำเงิน

13. รายงานผลโดยนำจำนวนหลอดที่แต่ละความเจือจางเปรียบเทียบกับตาราง MPN จำนวนเป็น MPN ต่อกรัมของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ยีสต์และเชื้อรา (BAM, 2001)

1. ชั่งน้ำหนักอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงพลาสติกสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร

2. นำตัวอย่างจากข้อ 1 ไปตีปั่นโดยใช้เครื่องตีปั่น (stomacher) นาน 30 วินาที

3. นำมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนมีความเจือจางที่เหมาะสม

4. จากนั้นเปิดตัวอย่างที่ความเจือจางต่างกันปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละจานเพาะเชื้อที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำความเจือจางละ 2 ซ้ำ

5. นำอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose agar ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เทลงจานเพาะเชื้อ จานละ 20-25 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างให้เข้ากันกับอาหาร ตั้งทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว

6. นำไปบ่มโดยหงายจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 120 ชั่วโมง



ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส และแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการวิเคราะห์ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล โดยใช้ผู้ทดสอบ 10 คน ซึ่งผ่านการฝึกฝนแล้ว ใช้สเกลเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตรในการทดสอบ มีคุณลักษณะที่ทำการทดสอบคือ กลิ่นคาวปลา และกลิ่นหืน มีขั้นตอนการประเมินดังภาพผนวกที่ 1 วิธีประเมินและตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบดังตารางผนวกที่ 2



ภาพผนวกที่ จ1 ขั้นตอนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ที่มา: ดัดแปลงจาก เพ็ญขวัญ (2550)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา เริ่มต้นโดยคัดเลือกผู้ทดสอบ ซึ่งผู้ทดสอบต้องมีความเต็มใจและมีเวลาในการทดสอบ ผู้ทดสอบมีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่าง และการอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อได้ผู้ทดสอบครบแล้วจึงพัฒนาคำศัพท์และสเกล ผู้นำกลุ่มทำหน้าที่อำนวยความสะดวกเพื่อให้ผู้ทดสอบมีอิสระในการตัดสินใจ อธิบายคุณลักษณะและนิยามคุณลักษณะในทุกด้านของผลิตภัณฑ์ จากนั้นกำหนดสเกลความเข้มของลักษณะต่างๆ โดยใช้เวลาพัฒนาคำศัพท์และสเกลครั้งละ 90 นาที ประมาณ 4-5 ครั้ง การฝึกฝนตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกฝนต้องมีคุณลักษณะครอบคลุมคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยฝึกผู้ทดสอบให้คะแนนจนเกิดความเคยชินกับสเกล และมีความเข้าใจในคำศัพท์และสเกลร่วมกัน

ตัดสินใจโดยใช้หลักการเดียวกัน เมื่อผู้ทดสอบมีความชำนาญและแม่นยำ จึงทำการประเมิน
ผลิตภัณฑ์ จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผล (เพ็ญขวัญ,
2550)



ตารางผนวกที่ จ1 แสดงวิธีประเมินและตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิล

ลักษณะ	ความหมาย	การประเมิน	Reference
กลิ่นคาวปลา	กลิ่นเฉพาะตัวของผงแคลเซียมที่มีกลิ่นคาวจากปลา	ดมกลิ่นผงแคลเซียมจำนวน 1 แคปซูล หลังจากแกะออกจากแคปซูล ประเมินโดยดมภายในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิททรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความสูง 3 เซนติเมตร ดมโดยเปิดฝาดมตัวอย่างทันทีเป็นเวลา 10 วินาที	ปลาเมลิแห้ง (Dried silver anchovy) ยี่ห้อ เอส พี คราย ซีฟู้ด ล้างน้ำอัตราส่วนปลาต่อน้ำ 1 ต่อ 5 และผึ่งแห้ง 1 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 0.1 กรัม ให้คะแนนเท่ากับ 4 และจำนวน 0.3 กรัม ให้คะแนนเท่ากับ 8
กลิ่นหืน	กลิ่นผิดปกติของผงแคลเซียมที่เกิดขึ้นภายหลังจากการเก็บรักษา	ดมกลิ่นผงแคลเซียมจำนวน 1 แคปซูล หลังจากแกะออกจากแคปซูล ประเมินโดยการดมภายในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิททรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความสูง 3 เซนติเมตร ประเมินโดยเปิดฝาดมตัวอย่างทันทีเป็นเวลา 10 วินาที	น้ำมันปลาชนิดแคปซูลยี่ห้อ Blackmore ปริมาณ 0.02 กรัม ให้คะแนนเท่ากับ 4 และปริมาณ 0.1 กรัม ให้คะแนนเท่ากับ 8

ใบรายงานการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

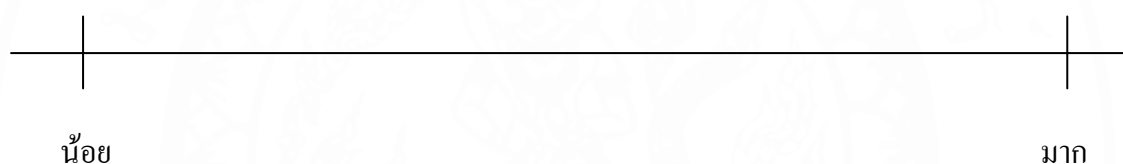
ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมจากก้างปลานิลบรรจุแคปซูล

ชื่อผู้ทดสอบ..... รหัส..... วันที่.....

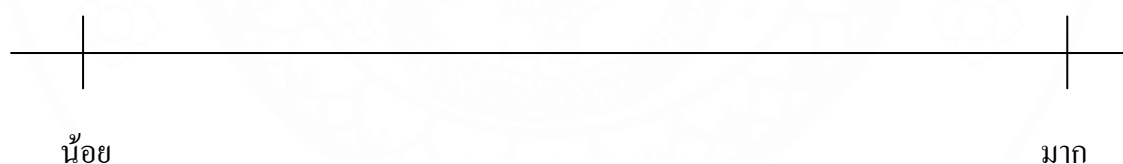
คำแนะนำ

กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์แล้วประเมินความเข้มของกลิ่นตามสเกลด้านล่าง โดยทำเครื่องหมาย () ลงบนเส้นให้ตรงกับความรู้สึกของแต่ละลักษณะ

กลิ่นดาวปลา



กลิ่นห็น



ภาคผนวก จ

รูปการบรรจุแคปซูลและผลิตภัณฑ์



ภาพผนวกที่ ฉ1 รางบรรจุแคปซูลและการบรรจุแคปซูลในราง



ภาพผนวกที่ ฉ2 การบรรจุผลิตภัณฑ์ในแคปซูล

หมายเหตุ ชั่งก้างปลานิลก่อนบรรจุเท่ากับ ปริมาณบรรจุต่อเม็ด x จำนวนเม็ดในรางบรรจุ



ภาพผนวกที่ ฉ3 การปิดแคปซูลและบรรจุลงภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ข
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาแป้นปรุงรส

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาป่นปรุงรส

1. ขอบข่าย มาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้ครอบคลุมปลาป่นปรุงรสพร้อมบริโภคที่มีปลาป่นเป็นส่วนประกอบหลักบรรจุในภาชนะบรรจุ

2. บทนิยาม ปลาป่นปรุงรส หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อปลาสดมาปรุงรสด้วยเครื่องปรุง เช่น ซีอิ๊ว น้ำตาล เกลือ นำไปอบให้แห้ง ทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ อาจมีส่วนประกอบอื่น เช่น งามา สาหร่าย พริกป่น

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป ต้องแห้ง ร่วน ไม่จับตัวเป็นก้อน ส่วนประกอบต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก

3.2 สี ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของปลาป่นปรุงรส

3.3 กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของปลาป่นปรุงรส ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

3.4 สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

3.5 วอเตอร์แอกทิวิตี ต้องไม่เกิน 0.6

3.6 วัตถุเจือปนอาหาร หากมีการใช้วัตถุกันเสีย ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด

3.7 จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Staphylococcus aureus* ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกิดาการ เตโชชัชवाल
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	เขตพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	- โรงเรียนเซนต์คาทาลีนคอนเวนต์ เขตธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2545 - ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปีการศึกษา 2549 - ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (การตลาด) มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2551
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	- Techochatchawal, K., N. Therdthai and S. Khotavivattana. Development of calcium supplement from the bone of nile tilapia (<i>Tilapia nilotica</i>). Oral Presentations at Food Innovation Asia Conference 2009, Bitech, Bangkok, Thailand. - Techochatchawal, K., N. Therdthai and S. Khotavivattana. Development of calcium supplement from the bone of nile tilapia (<i>Tilapia nilotica</i>). Asian Journal of Food and Agro-Industry . 2 (4): 539-546.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท