



การศึกษาการพองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบโดยใช้เตาอบไมโครเวฟและการทอด
Study of Salmon Skin Puffing by Microwave Oven and Frying

อรวรรณ ทิวเถาว์
Orrawan Tiwthao

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Food Science and Technology
Prince of Songkla University**

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการพองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบ โดยใช้เตาอบไมโครเวฟและ
การทอด

ผู้เขียน นางสาวอรรวรรณ ดิวเถาว์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ดร. วรพงษ์ อัสวเกสมณี)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิทยา อุดลยธรรม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ชัยจันทร์)

.....กรรมการ
(ดร. วรพงษ์ อัสวเกสมณี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีอาหาร

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องกับทุกท่านได้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....

(ดร. วรพงษ์ อัสวเกษตรณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวอรวรรณ ติวเถาว์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวอรรวรรณ ติวเถาว์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการฟองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบโดยใช้เตาอบไมโครเวฟและการทอด
ผู้เขียน	นางสาวอรวรรณ ติวเถาว์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

การศึกษาการลดกลิ่นคาวในหนังปลาแซลมอนโดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมซิเตรท (ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 น้ำหนักต่อปริมาตร) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการล้างน้ำ 4 ครั้ง พบว่า หนังปลาแซลมอนก่อนการล้างมีความชื้นร้อยละ 65.71 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.55 และปริมาณโปรตีนร้อยละ 29.10 มีค่า TVB เท่ากับ 13.36 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และค่า TBARS เท่ากับ 6.73 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง การล้างหนังปลาแซลมอนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่า สามารถลดกลิ่นคาวได้ดีกว่าการล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมซิเตรท ($p < 0.05$) การลวกหนังปลาแซลมอนที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที นำไปอบแห้งให้มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 12 - 13 และทอดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 30 วินาที พบว่า หนังปลาทอดชดควบคุม และที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้น ค่า a_w และอัตราการฟองตัว มากกว่าหนังปลาที่ลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) และค่าแรงกดของหนังปลาลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและชดควบคุม น้อยกว่าหนังปลาลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส โดยหนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีคะแนนระดับการฟองตัว ความกรอบมากและกลิ่นคาวน้อยที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนหนังปลาแซลมอนอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าแรงกด ของหนังปลาชดควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) น้อยกว่าหนังปลาลวกอุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) หนังปลาชดควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) มีอัตราการฟองตัวดีที่สุด ($p < 0.05$) และหนังปลาชดควบคุมมีคะแนนระดับการฟองตัว ความกรอบและกลิ่นคาวปลามากที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาระดับความร้อนต่อการฟองตัวของหนังปลาแซลมอนโดยใช้วิธีทอด ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที พบว่า หนังปลาทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีอัตราการฟองตัวดีที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งหนังปลาทอดที่อุณหภูมิดังกล่าว มีปริมาณความชื้น, ค่า a_w และค่าแรงกดน้อยกว่าหนังปลาทอดที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) หนังปลาแซลมอนอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ที่กำลังไฟ 800 วัตต์

ระยะเวลา 20, 30 และ 40 วินาที พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ 30 วินาที หนึ่งปลาแชลมนอบมี อัตราการพองตัวดีที่สุดใน (p<0.05) ซึ่งหนึ่งปลาอบที่เวลา 30 และ 40 วินาที มีปริมาณความชื้น, ค่า a_w และค่าแรงกดน้อยกว่าหนึ่งปลาอบที่ระยะเวลา 20 วินาที (p<0.05) การเปลี่ยนแปลงของ ผลิตภัณฑ์หนึ่งปลาแชลมนอบทอดกรอบที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ภายใต้การบรรจุแบบ บรรยากาศปกติและใช้สารดูดซับออกซิเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) เป็น เวลา 8 สัปดาห์ พบว่า หนึ่งปลาแชลมนอบทอดที่สภาวะการบรรจุสารดูดซับออกซิเจน มีการ เปลี่ยนแปลง ค่าสี L* ค่าสี b* และค่า TBARS น้อยกว่าชุดควบคุม (p<0.05) และมีค่าสี a*, ค่า a_w ความชื้นและค่าแรงกด ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (p>0.05) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ทั้ง สองสภาวะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ด้านประสาทสัมผัส คะแนนเฉลี่ย ความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมในทุกปัจจัยมีแนวโน้ม ลดลง โดยตัวอย่างที่บรรจุแบบบรรยากาศปกติและใช้สารดูดซับออกซิเจน มีคะแนนความชอบ ลดลงถึงระดับไม่เป็นที่ยอมรับหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์หนึ่ง ปลาแชลมนอบกรอบโดยไม่โครเวฟที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ภายใต้การบรรจุแบบ บรรยากาศปกติและใช้สารดูดซับออกซิเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) เป็น เวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ค่าสี b* และค่า TBARS น้อยกว่าชุด ควบคุม (p<0.05) และมีค่าสี a*, ค่า a_w , ความชื้น และค่าแรงกดไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (p>0.05) ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ไม่ เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช 316/2547) ทางด้านประสาทสัมผัส มีคะแนนเฉลี่ยความชอบ ทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมในทุกปัจจัยมีแนวโน้มลดลง โดย ตัวอย่างที่บรรจุแบบบรรยากาศปกติและใช้สารดูดซับออกซิเจน มีคะแนนความชอบลดลงถึงระดับ ไม่เป็นที่ยอมรับหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์

Thesis Title	Study of Salmon Skin Puffing by Microwave Oven and Frying
Author	Miss Orrawan Tiwthao
Major Program	Food Science and Technology
Academic Year	2013

Abstract

The study on reduction of fishy odor in salmon skin by washing with sodium chloride, sodium bicarbonate and sodium citrate solutions (0.5, 1.0 and 1.5% w/v) for 2 times followed by washing with water for 4 times were investigated. The chemical composition of initial salmon skin comprised of 65.71% moisture, 2.55% fat, 29.10% protein, TVB-N content of 13.36 mg nitrogen/100 g of salmon skin and TBARS value of 6.73 MDA/kg. The scoring test of fishy odor in washed salmon skin revealed that the samples washed with 1% w/v of sodium chloride solution could well reduce fishy odor better than washing with sodium bicarbonate and sodium citrate solution ($p < 0.05$). Moreover, it affected to reduce TVB-N, TBARS value in salmon skin. The washed salmon skins were blanched at 40, 45 and 50 °C for 30 sec and dried to reduce the moisture content to 12-13%. The dried salmon skins were fried at 170 °C for 30 sec. Fried salmon skins prepared from the control (no blanching) and blanched samples at 40°C gave significantly higher moisture content, water activity and expansion ratio than the blanched samples at 45 and 50°C ($p < 0.05$). Furthermore, they had significantly lower hardness than had samples blanched at 45 and 50 °C ($p < 0.05$). The sensory scoring test indicated that the samples blanching at 40°C gave the highest expansion ratio, crispness and the least fishy odor ($p < 0.05$). The control salmon skins heated by microwave oven at 800 W for 30 sec had significantly lower moisture content, water activity and hardness than samples blanched at 40, 45 and 50°C. It also gave a significantly higher expansion ratio ($p < 0.05$) than other samples. The sensory scoring test result showed that control was significantly higher in expansion or crispness and also high in fishy odor ($p < 0.05$). For the effect of frying temperatures (160, 170 and 180 °C) for 30 sec on puffing of salmon skins, it was showed that fried salmon skins at 180 °C gave the highest expansion ratio ($p < 0.05$). The fried sample at 180°C exhibited significantly lower moisture content, water activity and hardness than samples fried at 160 and 170°C ($p < 0.05$). The heated

salmon skins by microwave oven at 800 W for 20, 30 and 40 sec revealed that heating salmon skin for 30 sec gave the highest expansion ratio ($p < 0.05$). Salmon skins heated by microwave oven for 30 and 40 sec had significantly lower moisture content, water activity and hardness than the sample heated for 20 sec. The quality changes of fried salmon skin packed in aluminum foil laminated LLDPE bag under atmospheric condition with oxygen absorber and stored at room temperature (30 ± 2 °C) for 8 weeks found that the changes of salmon skins color (L^* , b^*) and TBARS value were lower than control ($p < 0.05$). However, the moisture content, salmon skins color (a^*), water activity, hardness and microbiological properties (total viable count, yeast and mold count) of fried salmon skin was not significantly changed ($p > 0.05$) during storage compared to control. Average sensory scores on appearance, color, odor, taste, crispness and overall liking of product were decreased to unacceptable level after 6 weeks storage. The quality changes of heated salmon skin by microwave oven, packed in aluminum foil laminated LLDPE bag under atmospheric condition with oxygen absorber and stored at room temperature (30 ± 2 °C) for 8 weeks found that the changes of salmon skins color (L^* , b^*) and TBARS value were lower than control ($p < 0.05$). During storage, the moisture content, water activity, salmon skins color (a^*) and hardness was not significantly changed ($p > 0.05$) compared to control. The microbiological properties (total viable count, yeast and mold count) of salmon skin increased by the end of storage but they still complied with the Thai community product standard. Average sensory scores on appearance, color, odor, taste, crispness and overall liking of product were decreased to unacceptable level after 5 weeks storage.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(5)
ABSTRACT.....	(7)
กิตติกรรมประกาศ.....	(9)
สารบัญ.....	(10)
LIST OF TABLE.....	(11)
LIST OF FIGURES.....	(13)
LIS OF APPENDIX FIGURES.....	(16)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำตั้งเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	22
2 วิธีการวิจัย.....	23
วัสดุและอุปกรณ์.....	23
วิธีดำเนินการ.....	26
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	30
4 สรุป.....	83
5 ข้อเสนอแนะ.....	85
อ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	100
ก การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ.....	100
ข การวิเคราะห์ค่าทางเคมี.....	102
ค การวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์.....	110
ง การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	112
จ ภาพผลิตภัณฑ์หนึ่งปลาแซลมอนทอดและหนึ่งปลาแซลมอนอบ.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	122

LIST OF TABLE

Table		Page
1	Water vapor transmission rate and oxygen transmission rate of snack package.....	21
2	Chemical assay, reagent and brand of chemical used in the experiment.....	23
3	Instrument used in the experiment.....	25
4	Proximate analysis of fresh salmon skin	30
5	Fishy odor score of washed salmon skin with sodium chloride solutions and control	33
6	Physical properties and chemical analysis of fried salmon skins blanched at 40, 45 and 50 °C.	36
7	Expansion and crispness score of fried salmon skins.....	37
8	Moisture, water activity, expansion ratio and hardness in salmon skins after blanching at 40, 45 and 50 °C and heated by microwave oven.....	40
9	Expansion, crispness and fishy odor score of salmon skins heated by microwave oven	41
10	Moisture, water activity, expansion ratio and hardness of salmon skins fried at 160, 170 and 180 °C for 30 sec.....	43
11	Expansion and crispness score of fried salmon skin at 160, 170 and 180°C for 30 sec.....	44
12	Moisture, water activity, expansion ratio and crispness of salmon skins heated by microwave oven at 800 W for 20, 30 and 40 sec.....	48
13	Expansion and crispness score of salmon skins heated by microwave oven at 800 W for 20, 30 and 40 sec.....	49
14	Total viable count, yeast and mold count of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature(30±2°C).....	65

LIST OF TABLE (Cont.)

Table		Page
15	Changes in sensory score of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) evaluated by 30 panelists using 9-point hedonic scale.....	66
16	Total viable count and yeast and mold count of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	81
17	Changes in sensory score of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) evaluated by 30 panelists using 9-point hedonic scale.....	82

LIST OF FIGURER

Figure		Page
1	Structure of fish skin	3
2	Structure of collagen.....	5
3	Tray dryer (G) hot air, product (F).....	10
4	Relationship of food deterioration rate as a function of water activity.....	17
5	TVB-N contents in salmon skin after washing with salt solutions.....	31
6	TBARS value in salmon skin after washing salt solutions.....	32
7	Microstructure of salmon skin fried at 160(A), 170(B) and 180(C) °C for 30 sec.....	45
8	Microstructure of salmon skin heated by microwave oven at 800 w for 20(A), 30(B) and 40(C) sec.....	50
9	Changes in moisture content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature (30±2 °C)	52
10	Changes in water activity of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control conditions during storage at room temperature (30±2 °C).....	52
11	Changes in hardness of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control conditions during storage at room temperature (30±2 °C).....	53
12	Changes in L* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2 °C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin	55
13	Changes in a* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin.....	57

LIST OF FIGURER (Cont.)

Figure		Page
14	Changes in b* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C):(A) Dorsal skin and (B) Ventral skin.....	59
15	Changes in TBARS content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C).....	61
16	Changes in moisture content of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control conditions during storage at room temperature (30±2°C).....	68
17	Changes in water activity of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control conditions during storage at room temperature (30±2°C).....	68
18	Changes in hardness of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control conditions during storage at room temperature (30±2°C)	69
19	Changes in L* value of heated salmon skin by microwave packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin.....	71
20	Changes in a* value of heated salmon skin by microwave packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin.....	73

LIST OF FIGURER (Cont.)

Figure		Page
21	Changes in b* value of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30 ± 2 °C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin.....	75
22	Changes in TBARS content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30 ± 2 °C)	77

LIST OF APPENDIX FIGURES

Figure		Page
1	Heated crispy salmon skins by microwave oven	121
2	Crispy salmon skins by frying	121

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จากแนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปของไทยในปี 2557 พบว่ามูลค่าการส่งออกอยู่ที่ 970,000 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.2 เมื่อเทียบกับปี 2556 (สถาบันอาหาร, 2556 อ้างโดย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2557) ผลผลิตเพื่อการส่งออกที่สำคัญของไทยที่ยังคงเป็นสินค้าส่งออก 5 อันดับแรกเหมือนในปี 2556 ได้แก่ ข้าว, น้ำตาลทราย, ผลิตภัณฑ์ปลากระป๋อง, ไข่ และ กุ้ง ในปี 2557 มีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2557) ซึ่งจากการขยายตัวการส่งออก ส่งผลให้วัสดุเศษเหลือในอุตสาหกรรมการแปรรูปเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ปลาทูน่าและปลาแซลมอน จะมีวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปร้อยละ 40 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (World Bank, 1984 อ้างโดย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) ปลาแซลมอนเป็นปลานำเข้าจากต่างประเทศที่มีแนวโน้มการแปรรูปในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเพื่อผลิตเป็นสินค้าปลาแซลมอนแช่เยือกแข็ง ปลาแซลมอนนึ่งสุกแช่เยือกแข็งและปลาแซลมอนบรรจุกระป๋อง โดยทั่วไปในการแปรรูปปลาแซลมอนจะมีเศษเนื้อ โดยเฉพาะส่วนของหนัง ปริมาตรร้อยละ 4 (Archer, 2001) หนังปลาเป็นวัสดุเศษเหลือ ที่ผ่านขั้นตอนการคัดแยกในกระบวนการแปรรูปอาหารทะเล โดยมักจะนำไปรวมกับวัสดุเศษเหลืออื่นๆ เช่น ก้าง หัวปลา เกี๊ยว นำไปจำหน่ายในราคาต่ำเพื่อใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ หนังปลาเป็นวัสดุเศษเหลือที่อุดมไปด้วยโปรตีนปริมาณสูงร้อยละ 30 - 35 (Xinrong *et al.*, 2010) โดยเฉพาะในหนังปลาแซลมอนประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Jan and Asbjorn, 2007) มีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ ได้แก่ โรคหัวใจ โรคหอบ โรคไขข้ออักเสบ และโรคมะเร็ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็นและเพิ่มความสามารถในการรับรู้ (Tomoko *et al.*, 2004; Colombo *et al.*, 2006)

สำหรับแนวโน้มการบริโภคอาหารแปรรูปภายในประเทศคาดว่าในปี 2557 จะขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.5 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2556 มูลค่าประมาณ 3.4 แสนล้านบาท โดย 5 ผลิตภัณฑ์ ที่คนไทยนิยมบริโภคสูงสุดได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์นมร้อยละ 22 ของมูลค่าภายในประเทศทั้งหมด อาหารแปรรูปแห้งร้อยละ 20, เบเกอรี่ร้อยละ 10 และผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวร้อยละ 8 (Euromonitor, 2013 อ้างโดย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2557) ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว มัก

ประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล และมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างต่ำ สารอาหารที่จำเป็นเช่น โพรตีน กลีโคแร และวิตามินมีอยู่น้อย ซึ่งหากบริโภคในปริมาณมากจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ จึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์ข้างต้นของหนังปลาแซลมอน และแนวโน้มการตลาดของอาหารขบเคี้ยว หนังปลาแซลมอนพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนให้แก่ผู้บริโภค และเป็นการนำวัสดุเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยนำมาศึกษากรรมวิธีการผลิตและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนกรอบ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากหนังปลาแซลมอนมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จึงเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

ตรวจเอกสาร

1. หนังปลา

หนังปลาเป็นอวัยวะหุ้มลำตัว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2544) คือ ชั้นนอก (epidermis) ประกอบด้วย epithelial cell ซึ่งมีรูปแบบเรียงตัวซ้อนกันหลายชั้น เมื่อเซลล์ชั้นนอกหลุดไป ผิวชั้นในก็สร้างเซลล์ใหม่ออกมาแทน ระหว่างเซลล์ประกอบด้วยต่อมเมือก เพื่อเคลือบผิวหนังปลา แต่ละชนิดจะมีปริมาณเมือกแตกต่างกัน ปลาที่มีเกล็ดโดยทั่วไปมีเมือกน้อยกว่าปลาที่ไม่มีเกล็ด

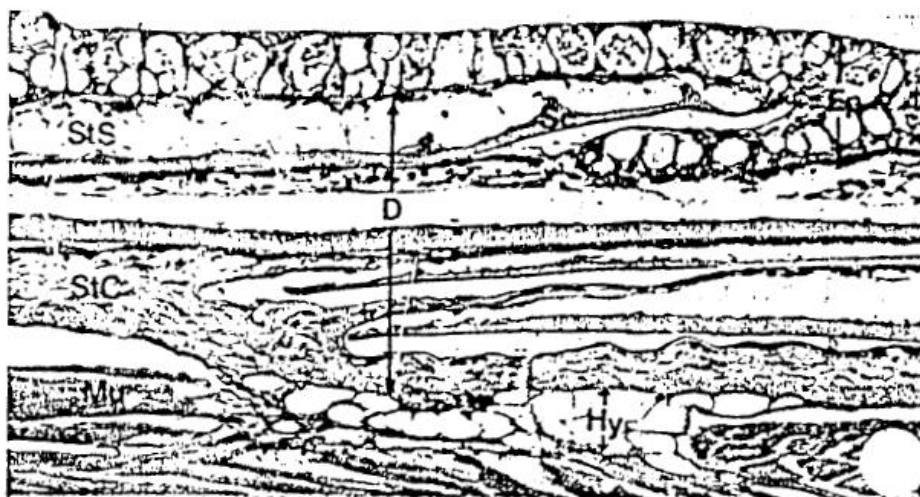
ชั้นใน (dermis) เป็นหนังปลาที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันประสานกันอย่างหนาแน่นกับคอลลาเจน โดยมีอีลาสตินกระจายอยู่ทั่วไป ผิวหนังชั้นในอยู่ถัดจากผิวหนังชั้นนอก และอยู่เหนือก้ามเนื้อประกอบด้วยเส้นเลือด เส้นประสาทและเกล็ดฝังอยู่ ผิวหนังชั้นนี้ทำหน้าที่ในการสร้างเกล็ด

หนังปลามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะโปรตีนกลุ่มเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวกคอลลาเจน และมีไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Aidos *et al.*, 2003) หนังปลาเป็นวัสดุเศษเหลือชนิดหนึ่งที่มีปริมาณร้อยละ 4 (Archer, 2001) มาจากกระบวนการคัดแยกเอาส่วนเนื้อปลาไปใช้ในกระบวนการผลิต จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล ได้แก่ อุตสาหกรรมปลากระป๋อง อาหารทะเลสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

1.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของคอลลาเจนในหนังปลา

คอลลาเจนเป็น โปรตีนซึ่งจัดอยู่ในประเภทโปรตีนโครงสร้าง (structural protein) พบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ของอวัยวะสัตว์ เช่น ผิวหนัง เส้นเอ็น กระดูกอ่อน เป็นต้น คอลลาเจนจะทำหน้าที่ สร้างความแข็งแรง และยึดเหนี่ยวภายใน โครงสร้าง พื้นฐานของเนื้อเยื่อให้คงสภาพอยู่ได้ (Gomez-Guillen *et al.*, 2005; รัชณี ตัณฑะพานิชกุล, 2542) ส่วนหนึ่งของคอลลาเจนละลายได้ในสารละลายเกลือที่เป็นกลาง บางส่วนละลายได้ในสารละลาย เกลือที่เป็นกรด และบางส่วนไม่ละลาย (Johnston-Bank, 1990)

ในหนังปลาพบคอลลาเจนในชั้น dermis ซึ่งเป็นชั้นของหนังปลาที่อยู่ถัดจาก epidermis ลงมา ส่วนของชั้น dermis สามารถแยกออกได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนเรียกว่า stratum spongiosum ชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด collagen fibers ที่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ ถัด จากชั้น stratum spongiosum เป็นชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด collagen fibers ที่เรียงตัวกันแน่น ใน ชั้นนี้ คอลลาเจนจะมีการเรียงตัวกันในแนวตั้ง แทรกเป็นระยะ ๆ ดังภาพที่ 1 (วรรณวิมล คล้าย ประดิษฐ์, 2540)



StS = Stratum Spongiosum	Mu = Muscle
StC = Stratum Compactum	Sc = Scales
Hy = Hypodermis	D = Dermis

Figure 1. Structure of fish skin

Source: Ward (1977)

คอลลาเจนมีหน่วยย่อยของโครงสร้างคือ โทรโปคอลลาเจน (tropocollagen) เป็นโมเลกุลรูปทรงกระบอกยาวประมาณ 2800 อังสตรอม และเส้นผ่านศูนย์กลาง 14-15 อังสตรอม ประกอบด้วยสายโพลีเปปไทด์ (polypeptide) 3 สาย ขดพันกันไปมาเป็นโครงสร้างแบบเฮลิคัล (triple helical) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง imino acid ดังแสดงในภาพที่ 2 ชนิดของคอลลาเจนมีอยู่อย่างน้อย 10 ชนิด แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของสายโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ได้แก่ α_1 , α_2 และ α_3 พบว่า คอลลาเจนชนิดที่พบในหนังปลา เป็นคอลลาเจนชนิดที่ 1 ประกอบด้วยโพลีเปปไทด์ α_1 2 สาย และสายโพลีเปปไทด์ α_2 1 สาย นอกจากนี้ในหนังสัตว์ คอลลาเจนชนิดที่ 1 พบในกระดูกอ่อน และเอ็น (วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์, 2540; Foegeding, 1996; Johnston-Bank, 1990)

ภายในสายโพลีเปปไทด์ของโมเลกุลคอลลาเจนประกอบด้วยกรดอะมิโนคือ ไกลซีน (glycine) เป็นหลักมีประมาณร้อยละ 33 ของกรดอะมิโนทั้งหมด ซึ่งกระจายตัวสม่ำเสมอทุกตำแหน่งที่สาม ของสายเปปไทด์เกือบตลอดสาย แต่ไม่มีการจัดเรียงตัวของไกลซีนในช่วงของกรดอะมิโน 15 แรก นับจากปลายไนโตรเจน (N-terminal) และช่วงของกรดอะมิโน 10 ตัวแรก นับจากปลายคาร์บอน (C-terminal) และมีปริมาณของ imino acid อยู่ประมาณ 1 ใน 4 โดยแยกเป็นกรดอะมิโนชนิดโพรลีน (proline) ร้อยละ 12 และไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) ร้อยละ 11 (Ward, 1977) กรดอะมิโนแต่ละชนิดเชื่อมต่อกันเป็นสายโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งคอลลาเจนจากปลาแต่ละชนิดจะมีปริมาณของ imino acid โพรลีน (proline) และไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) ในปริมาณต่ำ ปริมาณ imino acid ที่ต่ำ ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้คอลลาเจนเกิดการคลายตัวออกใช้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำลงไปด้วย (Ward, 1977) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคลายตัวของคอลลาเจน ส่งผลต่อการเกิดเจลลาติน (Gomez-Guillen *et al.*, 2002)

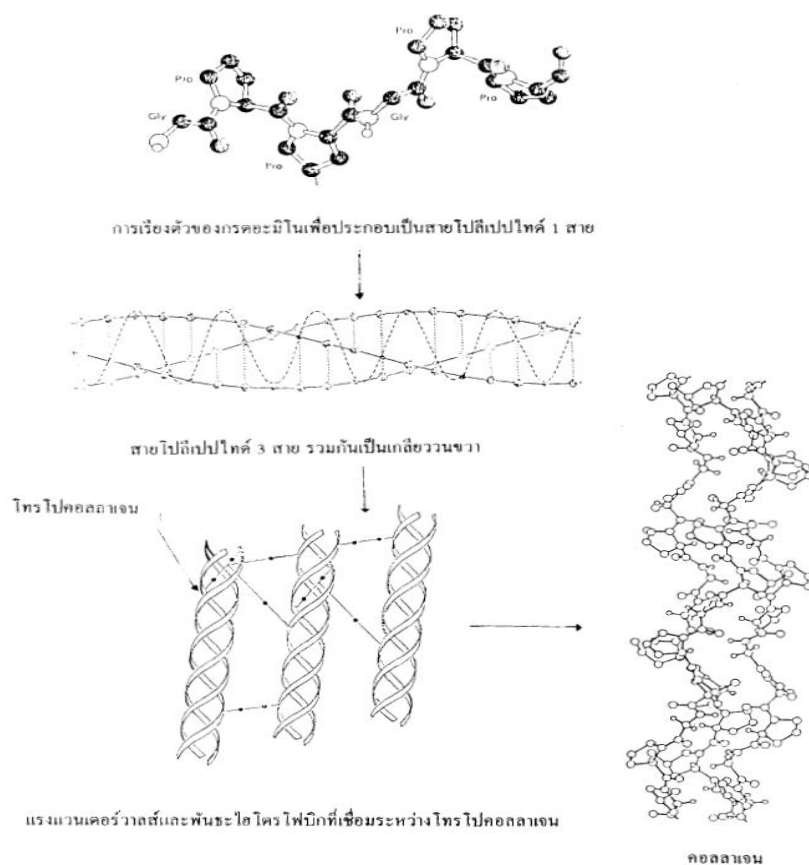


Figure 2. Structure of collagen

Source: วรณวิมล ค้ายประดิษฐ์ (2540)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพของคอลลาเจนด้วยความร้อน

ในธรรมชาติ คอลลาเจนไม่สามารถละลายได้ในน้ำ โดยเฉพาะในน้ำเย็น เนื่องจากภายในโครงสร้างของคอลลาเจนมีปริมาณกรดอะมิโนชนิดโพรลีนสูง แต่คอลลาเจนมีโครงสร้างที่ไม่ทนต่อความร้อน โดยเฉพาะความร้อนขึ้น ซึ่งทำลายพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของคอลลาเจน (วรณวิมล ค้ายประดิษฐ์, 2540) การเสียดสภาพตามธรรมชาติของคอลลาเจน เพื่อเปลี่ยนเป็นเจลาตินมี 2 ขั้นตอนดังนี้

1.2.1 การให้ความร้อนในระดับต่ำ ทำให้เกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจน และพันธะไฮโดรโฟบิก ซึ่งพันธะเหล่านี้ยึดระหว่างสายเปปไทด์ ทำให้โครงสร้างสามสายของคอลลาเจนเกิดความคงตัว มีผลทำให้เกลียวสายเปปไทด์ของคอลลาเจนแยกออกจากกัน

1.2.2 การใช้ความร้อนสูง ทำให้เกิดการหลอมเหลวและแตกออกเป็นส่วนเล็กๆ โดยที่พันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง กรดอะมิโนภายในสายเปปไทด์ถูกทำลาย ทำให้โครงสร้างคอลลาเจนที่ยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นคลายตัวออกเป็นโครงสร้างใหม่ ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเดิมและรูปร่างไม่แน่นอน แต่มีความยืดหยุ่นสูง เรียกว่า เจลาติน (Hultin, 1976; Ward, 1977)

การเปลี่ยนแปลงคอลลาเจนขึ้นกับ แหล่งที่อาศัย ชนิด และอายุของสัตว์ ซึ่งคอลลาเจนในสัตว์ที่มีอายุน้อยจะหดตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก (Gomez-Guillen *et al.*, 2011) ซึ่งเกิดจากเชื่อมประสาน (crosslink) ระหว่างสายเปปไทด์ของโทรโปคอลลาเจน คอลลาเจนในหนังปลาคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิประมาณ 0 ถึง 4 องศาเซลเซียส และหดตัวที่อุณหภูมิประมาณ 35-57 องศาเซลเซียส การหดตัวของคอลลาเจนเกิดจากการคลายเกลียวเฮลิคซ์ของสายโพลีเปปไทด์ภายในคอลลาเจน นอกจากนี้ อุณหภูมิในการหดตัวขึ้นกับปริมาณกรดอะมิโน โพรลีน (proline) ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) และอุณหภูมิของแหล่งที่อยู่อาศัยของปลาแต่ละชนิด (Rigby and Spikes, 1960) การศึกษาคอลลาเจนจากหนังปลาช่อนพบว่า อุณหภูมิในการหดตัวของคอลลาเจนเท่ากับ 59 องศาเซลเซียส (Rama and Gowri, 1983) คอลลาเจนจากปลาออสการ์ (ปลาลูกเต๋า) (*Theragra chalcogramma*) พบว่า อุณหภูมิในการหดตัวเท่ากับ 47 องศาเซลเซียส ซึ่งคอลลาเจนในหนังปลามีอุณหภูมิในการหดตัวต่ำกว่าคอลลาเจนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยคอลลาเจนในหนังวัวมีอุณหภูมิในการหดตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสและหนังแกะหดตัวที่ 60 องศาเซลเซียส (Cui *et al.*, 2007; Mingyan *et al.*, 2011)

2. กลิ่นคาวในปลา

สารประกอบเอมีนที่ระเหยได้ เช่น ไตรเมทิลเอมีน (trimethylamine) เป็นสาเหตุหลักของการเกิด กลิ่นคาวในปลา (Koizumi *et al.*, 1979) สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compounds) ที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวก็ทำให้เกิดกลิ่นคาวได้ด้วยเช่นกัน (Josephson *et al.*, 1984) Ganeko และคณะ (2008) ศึกษาสารประกอบที่ระเหยได้ในปลาซาร์ดีน พบว่า นอกจากไตรเมทิลเอมีนแล้ว ยังมีสารประกอบอีก 33 ชนิด ทั้งที่ระบุชนิดได้และยังไม่สามารถระบุชนิดได้แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นคาว ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 8 ชนิด สารประกอบคีโตน 5 ชนิด ฟิวรานอยด์ สารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ แอลดีไฮด์ 12 ชนิดและแอลกอฮอล์ 6 ชนิด (สินีนารถ สุขใจ, 2554)

วิธีการลดกลิ่นคาว

การนำหนังปลาไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ยังมีปัญหากลิ่นคาวจากหนังปลา Kawahara และ Tanihata (2005) จึงได้ศึกษาการใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และถ่านกัมมันต์ในการลดกลิ่นคาวในหนังปลาก่อนนำไปสกัดเจลาติน โดยสารละลายที่ใช้ล้างหนังปลาในการทดลองได้แก่ น้ำ, สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 5.0, 10 และร้อยละ 20, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 N และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้น 0.1 N พบว่าตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เจือจางร้อยละ 0.5 และ 1.0 สามารถลดกลิ่นคาวได้ดีที่สุด

เมื่อนำตัวอย่างมาศึกษาผลของการใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการล้างด้วยสารละลายเกลือโดยนำไฮโดรไลเซสที่ได้จากการสกัดหนังปลา 100 กรัมมาเติมถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำมาควนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมากรองเพื่อกำจัดผงถ่านออก พบว่า การใช้ผงถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวให้ผลในการลดกลิ่นคาวเทียบเท่ากับการล้างด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับการล้างด้วยสารละลายเกลือจะให้ผลในการลดกลิ่นคาวได้ดีที่สุด

การศึกษากการใช้สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.5, 1 ร่วมกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ในการลดกลิ่นคาว ของเศษตัดแต่งเนื้อปลาทูน่า (Shredded tuna) พบว่า สารละลายกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ร่วมกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 สามารถลดกลิ่นคาวและความชื้นในเศษตัดแต่งเนื้อปลาทูน่าได้ดี (Hari *et al.*, 2003) การศึกษาผลการใช้ โซเดียมซิเตรท โซเดียมแลคเตท และ โซเดียมอะซิเตทในเนื้อปลาแซลมอนแล่ โดยการแช่เป็นเวลา 10 นาที ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 พบว่าสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดกลิ่นคาวในปลา (Josephson *et al.*, 1984) และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดี (Khalid, 2007)

วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) ศึกษาการกำจัดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลออกด้วยการแช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิดคือ กรดอะซิติก เถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเกลือแกง พบว่า สารละลายทุกชนิดสามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาลงได้ โดยเฉพาะการแช่ล้างน้ำด้วยสารละลายเถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า และสารละลายเกลือแกงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลน โดยผู้ทดสอบไม่สามารถรับกลิ่นโคลนได้

นอกจากนี้ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ค่าพีเอชเท่ากับ 8.4 สามารถกำจัดเมือกบริเวณหนังปลาไหลได้ดี (Negus, 1986) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าพีเอชเป็นด่าง ในการสกัดเจลาตินมีการใช้สารละลายมีคุณสมบัติเป็นด่างในการล้างเพื่อกำจัดพวกที่ไม่ใช่คอลลาเจน เช่น keratin, globulin, mucopolysaccharide, mucins เป็นต้น สารละลายด่างทำให้ไขมันบางชนิดในหนังปลาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขี้ ซึ่งสามารถถูกล้างออกด้วยน้ำ (Ockerman, 1988)

3. การทำแห้งอาหาร (Food Dehydration)

การทำแห้งอาหาร หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อดึงเอาน้ำส่วนใหญ่มที่มีอยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำออกหรือการระเหิดของแข็ง ในการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและถนอมผลิตภัณฑ์ โดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของ ผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์

2. เพื่อลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้การขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. เพื่อเพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

กลไกการอบแห้ง เกิดขึ้นเมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหนังอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาออกไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหนังของอาหารต่ำกว่าความดันไอภายในอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอก่อเกิดขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสองและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อาหารแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหนังด้วยกลไกดังต่อไปนี้ (วิล รังสาทอง, 2547)

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงแคปิลารี
2. การแพร่ของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวทำละลายในอาหาร
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหนังของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอก่อให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารคือ น้ำที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อก้าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมไดนามิกของน้ำในอาหารพบว่ามีอยู่ 3 ประเภท

1. Monolayer water เป็นน้ำที่มีความคงตัวมาก สามารถถูกยึดเกาะได้อย่างเหนียวแน่น มีระเบียบและมีรูปทรง น้ำชนิดนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นตัวทำละลายได้และเป็นน้ำที่ไม่แข็งตัว (unfreezeable) เมื่อนำอาหารไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ดังนั้นน้ำในอาหารชนิดนี้คือ น้ำที่เหลืออยู่ในสภาพของเหลวขณะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำลงถึง -20 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารแช่เยือกแข็ง

2. Capillary water เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อ เมื่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อถูกทำลาย เช่น การแช่เยือกแข็งจะทำให้สูญเสียน้ำ (drip loss) เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อนั้นได้ เป็นต้น

3. Free water เป็นน้ำที่อยู่ในรูปอิสระและเป็นน้ำที่นำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้ น้ำชนิดนี้จะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

ระดับความยากง่ายของการกำจัดน้ำออกไปจะแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของน้ำ โดยน้ำอิสระจะระเหยและกำจัดออกไปในตอนแรก จากนั้น น้ำที่ถูกยึดโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิก จะถูกกำจัดออกตามลำดับ ดังนั้นพลังงานที่ต้องใช้ในการกำจัดน้ำแต่ละชนิดอาจจะใช้ปริมาณพลังงานที่แตกต่างกัน ขึ้นกับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2545)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

Nonhebel และ Moss (1971) กล่าวว่า สภาพะในการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการปฏิบัติและการควบคุม สภาพะภายนอกที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้งของวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน น้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ เป็นต้น

พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ (2532) ศึกษาการลดความชื้นเพื่อป้องกันการติดกันของหนังสือระหว่างการทอด พบว่า ในหนังสือที่ผ่านการอบแล้วและมีความชื้นเท่ากับหรือต่ำกว่าร้อยละ 25.3 จะไม่มีการจับตัวกันเป็นก้อนขณะการทอด การนำหนังสือมาต้มให้สุกในน้ำเดือด 15 นาที ชูดเนื้อและไขมันออกให้หมด แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 50, 60, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาต่าง ๆ กัน นำมาทอดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส พบว่า การอบหนังสือต้ม จะต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หรือ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 ถึง 100 องศาเซลเซียส

การอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาดนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ และโรงงานต้นแบบ มีลักษณะเป็นตู้ภายในเครื่องบุด้วยฉนวนกันความร้อนและมีถาดวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ (Ramaswamy and Marcotte, 2006) ถาดมีลักษณะเตี้ยและมีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่าง โดยทั่วไปแล้วถาดจะวางอยู่บนชั้นซึ่งสามารถนำออก หรือใส่เข้าไปในตู้อบแห้ง นอกจากนี้เครื่องอบแห้ง ประกอบด้วย พัดลม เครื่องทำความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ที่ช่วยควบคุมการทำงานของขดลวดให้ความร้อน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด (Nonhebel and Moss, 1971) ซึ่งการอบแห้งแบบถาด วัสดุที่จะอบแห้งนำมาจัดวางอยู่ในถาด โดยแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชั้นบาง ๆ จากนั้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะใช้พัดลมเป่าดังแสดงใน Figure 3 (Heldmen and Singh, 1981) เมื่อลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านถาดที่วางวัสดุ ลมร้อนสัมผัสกับอาหาร โดยอากาศร้อนจะไหลเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5 ถึง 5 เมตรต่อวินาที อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ มีท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำความร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาด ดังแสดงใน Figure 3 เพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีการออกแบบให้ถาดหมุนวนเพื่อช่วยให้วัสดุที่อบแห้งสามารถรับความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ (Ramaswamy and Marcotte, 2006)

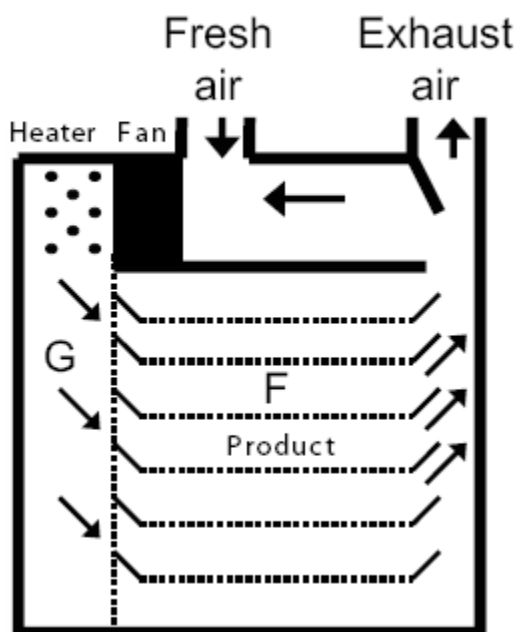


Figure 3. Tray dryer (G) hot air, (F) product

Source: Ramaswamy and Marcotte (2006)

4. การอบด้วยไมโครเวฟ

การอบด้วยไมโครเวฟเป็นการอบโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟคือ สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุ โดยการนำของไอออน (ionic conduction) ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออน (ionic polarization) ในสารละลาย เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ละลายอยู่ในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออน เมื่อเข้าไปในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัว โพแทสเซียมไอออน มีประจุประจำตัวเป็นประจุบวก และคลอไรด์ไอออน มีประจุประจำตัวเป็นประจุลบ จะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับไอออนอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน และการเกิดความร้อนโดยการหมุนของสารประกอบที่มี 2 ขั้ว ซึ่งเป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) เช่น น้ำ โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมีอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอมมีประจุบวก 1 ประจุ เกาะติดกับออกซิเจนอะตอมมีประจุลบ 2 ประจุ เรียกโมเลกุลดังกล่าวว่า ไดโพล (dipole) โดยในสภาพปกติสารประกอบต่าง ๆ จะเรียงประจุลบและประจุบวกอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและลบของสารเปลี่ยนทิศทาง เพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาเกิดอย่างรวดเร็ว ตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที (MHz) ความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกัน ทำให้เกิดความร้อนขึ้น โดยความร้อนทั้งสองรูปแบบดังกล่าว เกิดขึ้นตรงจุดที่อาหารสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟแล้วจึงค่อย ๆ กระจายตัวไปยังส่วนอื่น ๆ โดยการนำความร้อนอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (วิลโลว์ รังสาทอง, 2547; Decareau, 1985)

4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (Singh, 2001 อ้างจาก นฤพร เฟื่องฟูง, 2552)

4.1.1 ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ โดยความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมี 2 ความถี่ด้วยกัน คือ 915 และ 2,450 MHz ซึ่งมีความยาวคลื่นในอากาศ 33 และ 12.2 เซนติเมตร ตามลำดับ คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำจะมีความสามารถในการทะลุชั้นอาหารได้ดีกว่า และมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนได้มากกว่าเมื่อใช้กับอาหารที่มีไดอิเล็กทริกต่ำ

4.1.2 กำลังของไมโครเวฟ (microwave power) และอัตราเร็วในการให้ความร้อน โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กำลังการผลิตอยู่ในช่วง 5 ถึง 100 kW ซึ่งถ้าใช้กำลังมากก็จะให้ความร้อนได้รวดเร็วและใช้เวลาน้อย กำลังที่ใช้จึงเป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร

4.1.3 ปริมาณอาหาร (mass) โดยพิจารณาใน 2 ประการคือ ปริมาณอาหารทั้งหมดที่ถูกให้ความร้อนภายในครั้งเดียว และลักษณะชิ้นอาหาร ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังของไมโครเวฟ เมื่อปริมาณอาหารมีจำนวนน้อย อาจทำเป็นแบบกะ (batch) แต่หากมีปริมาณอาหารจำนวนมากอาจใช้ระบบสายพาน

4.1.4 ความชื้นในอาหาร ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากน้ำมีค่าสูญเสียไดอิเล็กทริกสูงจึงเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็ว

4.1.5 อุณหภูมิของอาหาร โดยอุณหภูมิของอาหาร จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานและมีผลต่อสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดีในอาหาร เช่น น้ำ เป็นต้น

4.1.6 รูปร่างของอาหาร โดยอาหารที่มีขนาดใหญ่หรือมีความหนามาก เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงไปอาจทำให้คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั้งชิ้น

4.1.7 การนำไฟฟ้าของอาหาร เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร จึงมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของอาหาร เมื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร เช่น เติมน้ำเกลือ หรือสารอื่นที่สามารถแตกตัวให้ประจุ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนจะสูง

อรทัย บุญทะวงค์ และคณะ (2549) ศึกษาการอบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟกำหนดระดับความร้อน 3 ระดับ คือ 550, 700 และ 990 วัตต์ พบว่า ค่าดัชนีการขยายตัวและพองตัวออก มีแนวโน้มสูงขึ้น ตามระดับความร้อนของเตาไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งระดับความร้อนที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่ระดับความร้อน 990 วัตต์ เนื่องจากที่กำลังไฟฟ้างกล่าวทำให้เกิดความร้อนสูงพอ จึงทำให้เกิดไอน้ำก่อนการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ไอน้ำดันโครงสร้างของหนังหมูที่เป็นเจลาตินเกิดการขยายตัวและพองตัวออกพอดี จากนั้นนำระดับความร้อนดังกล่าวศึกษา เวลาในการอบด้วยไมโครเวฟ กำหนดเวลาที่ 1 นาที 30 วินาที, 2 นาที, 2 นาที 30 วินาที, 3 นาที, 3 นาที 30 วินาที, 4 นาที, 4 นาที 30 วินาที และ 5 นาที พบว่า ค่าดัชนีการพองตัวในแต่ละเวลาต่างกัน คือ ที่เวลา 1 นาที 30 วินาทีไปจนถึงเวลา 5 นาที ค่าดัชนีการพองก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการอบ จนถึงเวลาที่ 4 นาที 30 วินาทีเป็นต้นไป ดัชนีการพองตัวเริ่มจะลดลง ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการอบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปคือ เวลาที่ 3 นาที ซึ่งได้แคบหมูที่มีค่าการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 71.23 ± 5.89 และค่าดัชนีการพองตัวอยู่ในระดับกลางเท่ากับ 3.69 ± 0.36 เมื่อทำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปขนาดความยาว 5, 10 และ 15 เซนติเมตร อบที่ระดับความ

ร้อน 900 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที มาทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า แคบหมูที่มีความยาว 5 และ 10 เซนติเมตร ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดเนื่องจากความร้อนสามารถกระจายตัวได้ดีตลอดทั้งเส้น ทำให้เจลาตินของหนังหมูเกิดการหลอมเหลวอย่างเพียงพอที่จะทำให้ไอน้ำคั้นตัวให้เกิดการฟองตัวได้ดี

5. การทอดแบบน้ำมันท่วม

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีการพื้นฐานและดั้งเดิมที่ใช้ในการเตรียมอาหาร ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวให้มีเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะในกระบวนการทอด เมื่อใส่อาหารลงไปน้ำมันที่ร้อน น้ำมันจะท่วมอาหารขึ้น อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวของอาหารจะเริ่มเดือดโดยทันที เมื่อเริ่มเดือดการพาความร้อนจะเพิ่มมากขึ้น โดยเกิดการระเหยของน้ำออกจากอาหาร จึงทำให้ผิวอาหารแห้งเกิดการหดตัว เกิดรูพรุนและทำให้เกิดผิวหยาบที่อาหาร โดยเฉพาะการระเหยอย่างรุนแรงทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่และอุณหภูมิที่ผิวอาหารสามารถเพิ่มได้ถึงจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายนอกและภายในของอาหาร รวมทั้งทางด้านเคมีและทางกายภาพ เช่น การระเหยของน้ำ, การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการทอด (Mayyawadee and Gerhard, 2011; Mellema, 2003)

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอด (Yamsaengsung and Moreira, 2002)

5.1.1 ปัจจัยที่ขึ้นกับกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอด และเวลาในการทอด

5.1.2 ปัจจัยที่ขึ้นกับน้ำมันที่ใช้ในการทอด ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำมันทั้งในเชิงกายภาพ และเชิงเคมี

5.1.3 ปัจจัยที่ขึ้นกับอาหาร ได้แก่ คุณสมบัติของอาหารทั้งทางกายภาพและทางเคมี การเตรียม และส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนกับน้ำมัน

5.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอดอาหาร (นิธิยา รัตนปนนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจารี, 2547; Mellema, 2003)

กระบวนการทอดอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารในลักษณะต่างๆสามารถแบ่งเป็น 4 ช่วง ดังนี้

5.2.1 ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายความร้อนจากน้ำมันไปสู่ผิวของ

อาหารเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

5.2.2 ช่วงการเดือดของน้ำที่บริเวณผิวอาหาร (surface boiling) เมื่อน้ำที่ผิวของอาหารได้รับความร้อนจนระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าแห้งกลายเป็นเปลือกแข็ง ช่วงนี้น้ำในรูปของ free water ที่บริเวณผิวอาหารและภายในอาหารอยู่ในลักษณะที่เป็นโมเลกุลอิสระจะระเหยออกมาได้ง่าย อัตราการลดลงของความชื้นในอาหารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่

5.2.3 ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิ ที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชั้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลง อาหารเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ ผิวหน้าได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัว (crust) ทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง น้ำที่อยู่ภายในอาหารจึงไม่ระเหยหรือระเหยออกมาได้น้อย ส่งผลต่อน้ำภายในเกิดการดันผิวของชั้นอาหาร เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการพองตัวของชั้นอาหาร

5.2.4 จุดยุติการเกิดฟอง (bubble end-point) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานานน้ำจะระเหยได้ช้า ทำให้ปริมาณฟองอากาศของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

6. หนึ่งปลากรอบ (มผช.316-2547)

หนึ่งปลากรอบ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำหนึ่งปลามาล้างให้สะอาดหมักกับเกลือ อาจปรุงรส ด้วยเครื่องปรุงรสอื่น เช่น ซีอิ้ว กระเทียม พริกไทย อาจทอดก่อนบรรจุหรือชุบแป้งก่อนนำไปทอดหรืออาจนำไปทำให้แห้งด้วยแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น แล้วอาจทอดก่อนบรรจุ

หนึ่งปลากรอบ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด มีลักษณะดังนี้

6.1 หนึ่งปลาพร้อมบริโภค บรรจุในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องเป็นหนึ่งปลาชนิดเดียวกันมีขนาดใกล้เคียงกัน มีการพองตัวดีและสม่ำเสมอ ไม่มีชิ้นที่ไหม้เกรียม อาจแตกหักได้บ้าง

6.2 หนึ่งปลาแห้ง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องเป็นหนึ่งปลาชนิดเดียวกัน มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่เกาะกันเป็นก้อนอาจแตกหักได้บ้าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนหนึ่งปลากรอบ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะหนึ่งปลาพร้อมบริโภคและหนึ่งปลาแห้งที่ต้องนำไปทอดก่อนบริโภค บรรจุในภาชนะบรรจุ สีของหนึ่งปลากรอบต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ และมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจาก

กลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม ลักษณะของหนังปลาพร้อมบริโภคน้ำ ต้องกรอบ ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง ส่วนหนังปลาแห้ง ต้องแห้ง ไม่แข็งกระด้างหรือนิ่มและ

6.2.1 สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือ สิ่งปนเปื้อนจากสัตว์

6.2.2 ความชื้น หนังปลาทอดกรอบต้องไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และหนังปลาอบแห้ง ต้องไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก

6.2.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (เฉพาะหนังปลาพร้อมบริโภคน้ำ) ต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม

6.2.4 จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

- สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่เกิน 100 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (เฉพาะหนังปลาแห้ง)

- เอสเชอริเชีย โคลิ โดยวิธีเอ็มทีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (เฉพาะหนังปลาแห้ง)

- ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

7. การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบและทอดกรอบ

การเสื่อมเสียคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารอบและทอดกรอบ มีสาเหตุเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตลอดจนจากปัจจัยอื่น ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้น แสง และอุณหภูมิ ทำให้เกิดกลิ่นหืน และสูญเสียความกรอบ เนื่องจากอาหารมีปริมาณความชื้นต่ำทำให้การดูดซับความชื้นจากอากาศภายนอกได้ง่าย เมื่อความชื้นเกินระดับหนึ่ง อาหารจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์

7.1 ออกซิเจน เป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ที่มีในอาหาร เช่น ไขมัน โปรตีน และวิตามิน เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น หนังปลาแชลมนอบประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวได้ง่าย กรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยเกิดขึ้นตลอดเวลาเหมือนปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) จำนวนมาก ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร จะสลายตัวทำให้ได้สารประกอบคาร์บอน เช่น คีโตน (ketone) แอลดีไฮด์ (aldehyde) แอลกอฮอล์ (alcohol) สารพวกนี้จะระเหยทำให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ วิธีการควบคุมปฏิกิริยาดังกล่าว ทำได้โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งจะต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุออกไป และเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี (Dugan, 1976) นอกจากนี้การใช้สารต้านออกซิเดชันซึ่งช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดออกซิเดชันซึ่งมีทั้งชนิดที่พบในวัสดุธรรมชาติ เช่น

polyphenol ในเครื่องเทศ (spices) สารสกัดจากเมล็ดองุ่น ชา ขมิ้น, ยูจีนอล (eugenol) ในกานพลู, วิตามินซี (vitamin C), วิตามินอี (vitamin E), แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ส่วนชนิดที่มีการสังเคราะห์มาใช้ เช่น Tertiary butyl hydro quinone (TBHQ), Ethylene diamine trichloroacetic acid (EDTA)

7.2 ความชื้น เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อเนื้อสัมผัส เช่น ความเหนียว ความกรอบ เป็นต้น เนื่องจากอาหารที่มีความกรอบจะมีความชื้นต่ำ หากเก็บในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง อาหารจะดูดความชื้นจากบรรยากาศจนกระทั่งความชื้นภายในสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่าความชื้นสมดุลหรือความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Moisture Content หรือ Equilibrium Relative Humidity, ERH) หรืออาจกล่าวในรูปของวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a_w) หมายถึง สัดส่วนของความดันไอน้ำในอาหารต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวในบรรยากาศที่คิดเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 100 ของความชื้นสมดุล (Labuza, 1982)

เมื่ออาหารดูดความชื้นเข้าไปจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยสูญเสียความกรอบ ซึ่งผู้บริโภคจะไม่ยอมรับอาหารที่ดูดความชื้นจนมี a_w เกิน 0.50 (Johnson and Peterson, 1974) สภาวะปกติของการเก็บรักษาอาหารขบเคี้ยวค่า a_w ควรอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.5 (Katz and Labuza, 1981) นอกจากนี้ ความชื้นยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อค่า a_w เท่ากับ 0.3 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะต่ำมาก เนื่องจากความชื้นในระดับนี้จะช่วยลดกิจกรรมของโลหะ โดยการจับกับอนุมูลอิสระ หรือป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจนและไขมัน เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.55 ถึง 0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคะตะลิส และออกซิเจน (Nawar, 1996) ดังแสดงใน Figure 4 ดังนั้นการยืดอายุการเก็บรักษาให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี

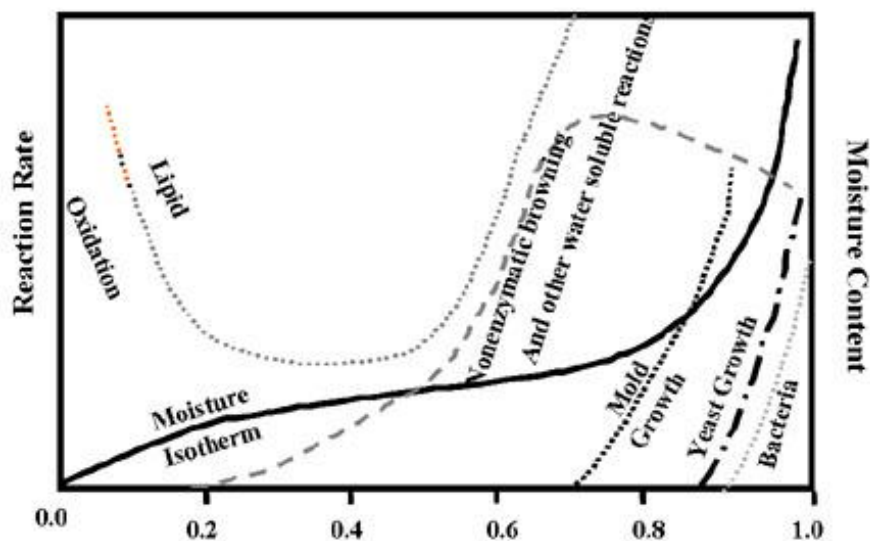


Figure 4. Relationship of food deterioration rate as a function of water activity.

Source: Piotr (2004)

7.3 แสง สามารถกระตุ้นให้อาหารเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เมื่ออาหารสัมผัสกับแสงสว่าง (Nawar, 1996) การป้องกันการเสื่อมเสียเกิดจากแสงสว่างควรเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันแสงได้ดี

7.4 ความร้อน ผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียเร็วขึ้น เมื่อความร้อนเหนี่ยวนำให้เกิดออกซิเดชัน ควรเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นฉนวนความร้อนที่ดี จะสามารถช่วยชะลอการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่อาหาร (Nawar, 1996)

7.5 ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมัน ถ้าระดับความไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น อัตราของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเร็วขึ้น เนื่องจากการสร้างไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2 คู่ ต้องการพลังงานกระตุ้นต่ำส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้รวดเร็ว พันธะคู่แบบคอนจูเกตสามารถเกิดได้ดีว่าพันธะคู่ชนิดอื่น

7.6 โลหะและตัวเร่งทางอินทรีย์ ได้แก่ ทองแดง (Cu^{2+} , Cu^+), เหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) มีคุณสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ กลไกการทำงานของโลหะ มีทั้งทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารตั้งต้นและกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนให้เกิดเป็น singlet oxygen และอนุมูลเพอร์ออกซี

นอกจากการเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว แรงกระทำจากภายนอกได้แก่ แรงกระแทก จากการขนย้ายมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ เกิดการแตกหักและเสียหายได้

8. การเกิดกลิ่นหืน

การเกิดกลิ่นหืนในอาหารเป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมี ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นหืน มีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ปฏิกิริยา คือปฏิกิริยาเคมีออกซิเดชันและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนี้

8.1 การเกิดกลิ่นหืนในสภาพที่มีความชื้น (hydrolytic rancidity) เกิดจากโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส ที่มีอยู่ในไขมัน เมื่อมีน้ำหรือความชื้นอยู่ด้วย จะเกิดกรดไขมัน ถ้ากรดไขมันที่ได้มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดคาโปรอิก (caproic acid) และกรดคาพริก (capric acid) เป็นต้น ก็จะเกิดกลิ่นหืนขึ้น ปฏิกิริยานี้สามารถป้องกันได้ โดยการหยุดปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส (รุ่งนภา วิสิษฐุครการ, 2540)

8.2 การเกิดกลิ่นหืนในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจน (oxidative rancidity) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ได้เป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวไปเป็นสารที่ระเหยง่าย มีกลิ่นหืน และมักทำให้วิตามินที่ละลายในไขมันถูกทำลาย การเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการด้วย เช่น การสูญเสียวิตามิน การหืน สามารถป้องกันโดยไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศ เก็บในอุณหภูมิต่ำ และภาชนะที่ปิดสนิทหรือมีการเติมสารกันหืน (antioxidant)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มี 3 ขั้นตอนดังนี้ (Jadhav *et al.*, 1995)

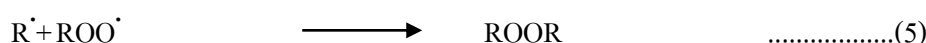
8.2.1 ขั้นตอนการเหนี่ยวนำ (initiation) เป็นขั้นที่มีอนุมูลอิสระ (free radical, R[•]) ของกรดไขมันเกิดขึ้น โดยอาจมีแสง อุณหภูมิ หรือโลหะ เป็นตัวเร่ง ดังสมการที่ 1



8.2.2 ขั้นตอนการเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นขั้นที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, ROO[•]) และอนุมูลเพอร์ออกซีที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมัน โดยการดึงไฮโดรเจน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้อีก หากมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ความร้อน แสงสว่าง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้อีก เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปเรื่อย ๆ ดังสมการที่ 2 และ 3



8.2.3 ขั้นสุดท้าย (termination) เป็นขั้นที่อนุมูลอิสระทั้งหมดรวมตัวกับอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, ROO \cdot) ซึ่งการรวมตัวเกิดเป็นสารเหนียวนำไปให้ปฏิกิริยาหยุดลงได้เป็นผลิตภัณฑ์ไม่เกิดอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 4 ถึง 6



เมื่อถึงระยะสิ้นสุดปฏิกิริยา จะมีสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จำนวนมาก โดยปกติสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวทำให้ได้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลง เช่น คีโตน อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ สารพวกนี้สามารถระเหยได้และทำให้เกิดกลิ่นหืน (oxidized flavor)

9. สารดูดซับออกซิเจน

สารดูดซับออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการเก็บรักษาอาหารเพื่อให้มีระดับก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยืดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน การเปลี่ยนสีเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Tewari *et al.*, 2002; Mitz and Perry, 2005)

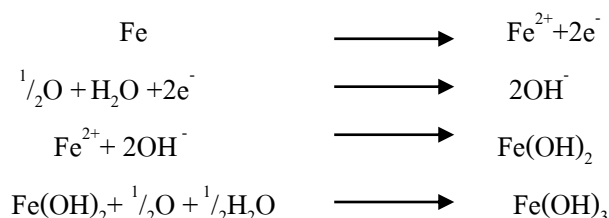
หลักการใช้สารดูดซับออกซิเจน

1. ปริมาณออกซิเจนในช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์
2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหาร
3. อัตราการซึมผ่านของบรรจุภัณฑ์

องค์ประกอบหลักของสารดูดซับออกซิเจน คือ ผงเหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ปกติแล้วผงเหล็กมักบรรจุในซองกระดาษเคลือบพลาสติก เช่น Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) แล้วจึงใส่เข้าไปในบรรจุภัณฑ์ การใช้สารดูดซับออกซิเจนต้องอาศัยความชื้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นการทำงาน เนื่องจากความชื้นจากผลิตภัณฑ์จะทำให้ผงเหล็กเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลายเป็นสนิมเหล็กก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะจึงถูกใช้ไป ส่งผลให้มีปริมาณเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.1 (Salminen *et al.*, 1996) นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้ามาระหว่างการเก็บรักษา

จะถูกดูดซับไว้ด้วย สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 0.4 ตลอดอายุเก็บรักษา (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538) ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันในผงเหล็ก (Kay, 2010)



10. ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารขบเคี้ยว

ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอายุการเก็บรักษา โดยทั่วไปคุณภาพจะต่ำลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การสูญเสียสภาพของอาหารขบเคี้ยวจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ คือ การสูญเสียความกรอบ และการเกิดกลิ่นหืน ปัจจัยที่เป็นสาเหตุจาก แสง ความชื้นสัมพัทธ์ และออกซิเจน ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ใช้จึงควรทำจากวัสดุที่สามารถป้องกันปัจจัยเหล่านี้เพื่อไม่ให้เกิดการหืน การซึมผ่านความชื้น และการสูญเสียกลิ่นรส เนื่องจากอาหารขบเคี้ยวมีลักษณะแข็ง เปราะ แตกง่าย ได้แก่ โพลีเอทิลีน มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี ถุงอลูมิเนียมฟอยด์เคลือบด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ ถุงที่ทำจากฟิล์มที่เคลือบต่าง ๆ และถุงพลาสติกขึ้นรูป เป็นต้น (Sachrow and Griffin, 1980) ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารขบเคี้ยว ควรมีออกซิเจนผ่านไม่เกินกว่า 1 มิลลิลิตร ต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตร ต่อ 24 ชั่วโมง ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 23.9 องศาเซลเซียส และมีอัตราการซึมผ่านของความชื้น (Water Vapour Transmission Rate, WVTR) ต่ำกว่า 0.4 กรัมต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตร ต่อ 24 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 37.7 อัตราการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุอาหารขบเคี้ยว แสดงดัง Table 1

Table 1. Water vapor transmission rate and oxygen transmission rate of snack package

Type of package	water vapor transmission rate ¹ (WVTR)	oxygen transmission rate ² (OTR)
Polypropylene, PP	0.60 - 0.90	-
Aluminum coated oriented Polypropylene	4.00	4.00
Aluminum foil, Al	0 - 0.02	-

¹g-mil/(day-100 in²-atm), ²cm-mil/(day-100 in²-atm)

ที่มา: Matz (1976)

อรรถัย บุญทะวงษ์ (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคบหมูอบโดยใช้ชนิดบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกไนลอน ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน และอลูมิเนียมฟอยด์ สภาวะการบรรจุ 3 สภาวะคือ บรรจุสภาวะปกติซีลปิดผนึก บรรจุในถุงแล้วใส่สารดูดซับออกซิเจนแล้วซีลปิดผนึก บรรจุในถุงแล้วใส่อากาศออก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตรวจวัดค่า TBA, จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา รวมทั้งการยอมรับผู้บริโภคด้านความกรอบและกลิ่นหืน ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า แคบหมูที่เก็บรักษาที่สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรจุโดยเติมสารดูดซับออกซิเจน บรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกไนลอนและอลูมิเนียมฟอยด์ เป็นสภาวะการบรรจุที่ดีที่สุด

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย (2550) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทอดแปงผสมโดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงโพลีโพรพิลีนและถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามีเนตเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามีเนตมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น, ค่าแรงกดเนื้อสัมผัส และปริมาณ TBARS น้อยกว่าตัวอย่างบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการลดกลิ่นคาวของหนังปลาแซลมอน โดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต และสารละลายโซเดียมซิติเรท
2. เพื่อศึกษาอุณหภูมิในการลวกต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอน
3. เพื่อศึกษาระดับความร้อนและระดับกำลังไฟฟ้าต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอนโดยใช้วิธีทอดและอบด้วยเตาอบไมโครเวฟตามลำดับ
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนกรอบในระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัสดุดิบ

- 1.1 หน้ปลาแซลมอน (Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*) จากบริษัท สงขลา แคนนิ่ง จำกัด มหาชน นำมาเก็บในห้องแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 3 เดือน
- 1.2 น้ำมันปาล์มตราโอลีน บริษัท โอลีน จำกัด
- 1.3 เกลือตราปรุงทิพย์ (โซเดียมคลอไรด์) บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
- 1.4 โซเดียมซเตรท ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จาก Sigma Chemical Co. (St Louis, MO, USA)
- 1.5 โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) จาก Sigma Chemical Co. (St Louis, MO, USA)
- 1.6 ฟิล์มเคลือบ (Laminate film) ชนิดมีฟอยล์ (40uOPP/17Al/100uLLDPE) ขนาด 12×8 ตารางนิ้ว บริษัท พี ซี ฟอยล์ อินดัสตรีส์ จำกัด
- 1.7 สารดูดซับออกซิเจนตราวันเดอร์ลิป ใช้สำหรับอาหารแห้งที่มี water activity ระหว่าง 0.00 ถึง 0.85 บริษัท เจนจรัสเคมีซัพพลาย จำกัด

2. สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบุใน Table 2-3 ตามลำดับ

Table 2. Chemical assay, reagent and brand of chemical used in the experiment.

Assay	Reagent	Company
Protein	20%(w/v) and 40%(w/v) Sodium hydroxide	Ajax Finechem, Adivision of Nuplex Industries(Aust) Pty Ltd, New Zealand
	Hydrochloric acid 0.02N	Merck KGaA, Germany
	Conc. H_2SO_4	Merck KGaA, Germany

Table 2. (Continued)

Assay	Reagent	Company
Protein	Methylene blue	Merck KGaA, Germany
	Potassium sulphate (K ₂ SO ₄)	Merck KGaA, Germany
	Boric acid	Merck KGaA, Germany
	Copper sulphate (CuSO ₄ .5H ₂ O)	Ajax Finechem, Adivision of Nuplex Industries(Aust) Pty Ltd, New Zealand
Lipid content	Bromocresol green	Merck KGaA, Germany
	Petroleum ether	Merck KGaA, Germany
	Methanol	LAB-SCAN Ltd, Ireland
	Choroform	Merck KGaA, Germany
Thiobarbituric acid content	Hydrochloric acid 4 N	Merck KGaA, Germany
	Thiobarbituric acid	LAB-SCAN Ltd, Ireland
	90% glacial acetic acid	Merck KGaA, Germany
Microbiological quality	Manitol Egg Yolk Polymyxin agar	Difco, Detroit, Michigan,USA
	0.1% Buffer peptone water	Difco, Detroit, Michigan,USA
	Tartaric acid	Ajax Finechem, Adivision of Nuplex Industries(Aust) Pty Ltd, New Zealand
	Potato Dextrose Agar (PDA)	Difco, Detroit, Michigan,USA
	Plate Count Agar (PCA)	Difco, Detroit, Michigan,USA
Total volatile base nitrogen (TVB-N) and Trimethylamine (TMA)	10% formaldehyde	LAB-SCAN Ltd, Ireland
	Magnesium carbonate (MgCO ₃)	Merck KGaA, Germany
	4 % trichloroacetic acid	Merck KGaA, Germany
	Ethanol	Merck KGaA, Germany
	Potassium carbonate (K ₂ CO ₃)	LAB-SCAN Ltd, Ireland

Table 3. Instrument used in the experiment

Instrument	Model	Company/Country
Color meter	ColorFlex	HunterLab , Reston, VA, USA
Texture analyzer	TA-XT2i	Stable Micro System, Surrey, England
pH meter	CG842	SCHOTT, Mainz, Germany
Blender	Easypower	Moulinex, China
Magnetic stirrer	BIG SQUID	IKA LABORTECHNIK, Stanfen, Germany
Overhead stirrer	RW 20.n	IKA LABORTECHNIK, Stanfen, Germany
Water activity	W350	Thermoconstanter, Novasina, Flawil, Switzerland
Vortex mixer	G-560E	Scientific Industries Inc., NY, USA
Micro centrifuge	MIKRO20	Hettich ZENTRIFUGEN, Leipzig, Germany
Microwave	M183GN	SAMSUNG, Seoul, Korea
Scanning electron microscopy (SEM)	Quanta 400	FEI, USA
Deep fat fryer	4L PRO	Princess, German
Homogenizer	T25 basic	IKA LABORTECHNIK, Selangor, Malaysia
Moisture infrared moisture meter	MA 150	Satorius, Stanfen, Germany

3. วิธีการวิจัย

3.1. ศึกษาการลดกลิ่นคาวโดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมซิเตรท

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

นำหนังปลาแซลมอนแล่ที่ผ่านการชุบเนื้อและแยกเกลือออก ตัดตัวอย่างให้มีขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร และยาว 7 เซนติเมตร โดยคัดเลือกตัดชิ้นตัวอย่างให้มีความหนาของหนังปลาใกล้เคียงกัน (อรัทัย บุญทะวงษ์ และคณะ, 2549) ล้างน้ำให้สะอาดโดยใช้อัตราส่วนหนังปลา 500 กรัมต่อน้ำปริมาตร 1 ลิตร ใส่ในตะกร้าพลาสติก และวางไว้ให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณภาพของหนังปลาแซลมอน ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน (A.O.A.C., 2000) และวิเคราะห์ความหืนของหนังปลา โดยวิเคราะห์หาค่า TBARS (Egan *et al.*, 1981) และคุณภาพของหนังปลาโดยวิเคราะห์หาค่า TMA-N และ TVB-N (Hasegawa, 1986)

3.1.2 ศึกษาการลดกลิ่นคาวโดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมซิเตรท

นำตัวอย่างหนังปลาที่ผ่านการเตรียมมาล้างด้วยน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต และสารละลายโซเดียมซิเตรท ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

ชุดควบคุม ล้างตัวอย่างด้วยน้ำ อัตราส่วนของหนังปลา 500 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร จำนวน 6 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการล้าง 5 นาที โดยการคนตลอดเวลาด้วย overhead stirrer ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

ชุดทดลองที่ 1 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/v) อัตราส่วนของหนังปลา 500 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาในการล้าง 5 นาที โดยการคนตลอดเวลาด้วย overhead stirrer ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

ชุดทดลองที่ 2 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/v) อัตราส่วนของหนังปลา 500 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาในการล้าง 5 นาที โดยการคนตลอดเวลาด้วย overhead stirrer ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

ชุดทดลองที่ 3 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (w/v) อัตราส่วนของหนังปลา 500 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมซัลเฟต ปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาในการล้าง 5 นาที โดยการคนตลอดเวลาด้วย overhead stirrer ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

นำหนังปลาแชลมอนจากทุกชุดการทดลอง ลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที อัตราส่วนน้ำต่อหนังปลา 2 :1 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

- วิเคราะห์ค่า TBARS (Egan *et al.*, 1981) และค่า TMA-N และ TVB-N (Hasegawa, 1986) คัดเลือกค่าชุดการทดลองที่มีค่า TBARS, TMA-N และ TVB-N น้อยที่สุดเพื่อศึกษาในขั้นตอนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีทดสอบความแตกต่างของกลิ่นคาว โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการกำหนดคะแนน (Scoring) ออกเป็น 5 ระดับคือ 1, 2, 3, 4, 5 ตามวิธีการของ Liu และคณะ (2004) โดย 1=ไม่มีกลิ่น, 2= กลิ่นน้อย, 3 = กลิ่นปานกลาง 4 = กลิ่นเข้ม และ 5 = กลิ่นเข้มมาก

เลือกสภาวะการล้างหนังปลาที่ทำให้หนังปลามีกลิ่นคาวน้อยที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

3.2. การศึกษาอุณหภูมิในการลวกหนังปลาต่อการพองตัวของหนังปลาแชลมอน

นำหนังปลาจากแชลมอนที่ผ่านการเตรียมและล้างที่คัดเลือกจากข้อที่ 1 ลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที อัตราส่วนน้ำต่อหนังปลา 2:1 และไม่ลวก (control) จากนั้น นำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ความชื้น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด ทุก ๆ 30 นาที จนค่าได้ความชื้นเป็นร้อยละ 12-13 หลังจากนั้น แบ่งหนังปลาแชลมอนที่ผ่านการอบแห้งเป็น สองส่วนดังนี้

ส่วนแรกนำไปทอดที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้หนังปลาจำนวน 4 กรัมต่อน้ำมัน 2 ลิตร นำไปอบไถ่น้ำมันที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

ส่วนสองนำไปอบด้วยไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้หนังปลาจำนวน 4 กรัม นำหนังปลาแชลมอนทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- วิเคราะห์การพองตัวโดยการแทนที่เมล็ดงา (Seed displacement) (Simsrisakul, 1991)
- วัดค่าความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Anon, 1996)
- วิเคราะห์หาความชื้น โดยใช้ A. O.A. C. (2000)
- วัดค่าออเตอร์แอคติวิตี (a_w)

- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีทดสอบความแตกต่างด้วยวิธีการกำหนดคะแนน (Scoring) คัดแปลงจากวิธีการของ Liu และคณะ (2004) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การpongตัว กำหนดคะแนน (Scoring) ออกเป็น 4 ระดับคือ 1, 2, 3, 4 โดย
1= pongตัวน้อย, 2 = pongตัวปานกลาง 3 = pongตัวมาก และ 4 = pongตัวมากที่สุด

ความกรอบ กำหนดคะแนน (Scoring) ออกเป็น 4 ระดับคือ 1, 2, 3, 4 โดย
1= กรอบน้อย, 2 = กรอบปานกลาง 3 = กรอบมาก และ 4 = กรอบมากที่สุด

กลิ่นคาว กำหนดคะแนน (Scoring) ออกเป็น 4 ระดับคือ 1, 2, 3, 4 โดย
1= กลิ่นคาวน้อย, 2 = กลิ่นคาวปานกลาง 3 = กลิ่นคาวมาก และ 4 = กลิ่นคาวมากที่สุด

3.3. ศึกษาระดับความร้อนต่อการpongตัวของหนังปลาแซลมอนโดยใช้วิธีทอดและอบด้วยไมโครเวฟ

3.3.1 การศึกษาระดับความร้อนที่ใช้ทอดต่อการpongตัวของหนังปลาแซลมอน

นำหนังปลาที่ผ่านการเตรียมตามสภาวะที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อที่ 1 และ 2 จำนวน 4 กรัมมาทอด โดยใช้น้ำมัน 2 ลิตร ทอดที่อุณหภูมิ 160, 170, 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที นำไปอบไอน้ำมันที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที วิเคราะห์คุณภาพของหนังปลา เช่นเดียวกับข้อที่ 2 และวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) คัดเลือกอุณหภูมิการทอดที่ให้การpongตัวของหนังปลาpongตัวมากที่สุดเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 การศึกษาระดับความร้อนของการอบโดยใช้ไมโครเวฟต่อการpongตัวของหนังปลาแซลมอน

หนังปลาที่ผ่านการเตรียมตามสภาวะที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อที่ 1 และ 2 จำนวน 4 กรัม นำมาอบโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 วินาที และวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างหนังปลาเช่นเดียวกับข้อที่ 2 และวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วย SEM คัดเลือกระดับของความร้อนที่มีผลทำให้หนังปลาpongตัวมากที่สุดเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนกรอบระหว่างการเก็บรักษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนกรอบ โดยการนำมาบรรจุในถุงอูมิเนียมพอยล์ จำนวน 20 กรัม ในสภาวะอากาศปกติและสภาวะตัดแปลงอากาศโดยการบรรจุตัวดูดซับออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส มีชุดการทดลองดังนี้

ชุดควบคุม หนังปลาทอดบรรจุในสภาวะอากาศปกติและหนังปลาอบบรรจุในสภาวะอากาศปกติ
ชุดการทดลองที่ 1 หนังปลาทอดกรอบที่บรรจุในสภาวะใช้สารดูดซับออกซิเจน
ชุดการทดลองที่ 2 หนังปลาอบกรอบที่บรรจุในสภาวะใช้สารดูดซับออกซิเจน โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของตัวอย่างทุกสัปดาห์ เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์ ดังนี้

- วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w)
- วัดค่าความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Anon, 1996)
- ค่าสีของหนังปลาแซลมอนด้วยเครื่องวัดค่าสี
- วิเคราะห์หาความชื้น โดยใช้ A. O. A. C. (2000)
- ความหืน โดยวิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (Egan *et al.*, 1981)
- ตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (Bam, 2001)
- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (อัจฉรา ชนะสิทธิ์, 2541) โดยวิธี 9-point hedonic scale ทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) วางแผนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Randomized complete block design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range test

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การลดกลิ่นคาวโดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมซิเตรท

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหนังปลาแซลมอนที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารละลายเกลือ ดังแสดงใน Table 4 พบว่า มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 65.39 – 66.03 ปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.33 - 2.81 นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในหนังปลามีปริมาณสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 28.12 - 30.08 ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมัน ในหนังปลาแซลมอนขึ้นกับสายพันธุ์ และที่อยู่อาศัย (Jan and Asbjorn, 2007) นอกจากนี้ปริมาณไขมันในปลาแซลมอนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Ashton *et al.*, 2002)

Table 4. Proximate analysis of fresh salmon skin

Proximate compositions (% wet wt.)			
Sample	Moisture	Fat	Protein
Salmon skin	65.71±0.32	2.55±0.26	29.10±0.98

Remark: Values are given as Mean±SD from triplicate determinations.

1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Trimethylamine (TMA) และการวิเคราะห์ปริมาณ volatile base nitrogen (TVB-N)

ปริมาณ TMA ไม่พบทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยสารละลายเกลือ ปริมาณ TVB-N ในหนังปลาแซลมอนลดลงหลังจากการล้างด้วยสารละลายเกลือทุกชนิด ปริมาณ TVB-N เริ่มต้น ในหนังปลาแซลมอนเท่ากับ 13.36 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และลดลง 4.55 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง หลังจากการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณและชนิดของสารละลายเกลือมีผลต่อการลดลงของปริมาณ TVB-N ซึ่งสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถลดลงของปริมาณ TVB-N ได้มากกว่า สารละลายโซเดียมซิเตรท และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hari และคณะ (2003) พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการล้างเศษเนื้อปลาทูน่า สามารถปรับปรุงสมบัติด้านกายภาพและด้านเคมี โดยลดปริมาณ TMA และ TVB-N ทั้งนี้

เนื่องจากเมื่อโซเดียมคลอไรด์ละลายน้ำ เกิดการแตกตัวของโซเดียมและคลอไรด์ไอออนจับกับโมเลกุลของน้ำทำให้เพิ่มค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) ของน้ำ สภาพความเป็นขั้วของน้ำจึงสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอไรด์ไอออนซึ่งมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่าโซเดียมไอออน ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำจับกับสารพวกไนโตรเจนที่มีขั้วด้วยพันธะโคเวเลนต์ เช่น TMA, DMA, TVB-N, แอมโมเนีย และ เอมีน (Ryuzo *et al.*, 1987; Magnusson and Martinsdttir, 1995)

ดังนั้นในการล้างหนังปลาแชลมอนด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ จึงสามารถลดค่าไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ได้ดีกว่าสารละลายโซเดียมซิเตรท และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งมีค่าพีเอชสูงมีคุณสมบัติเป็นด่าง ส่งผลต่อการละลายน้ำของโปรตีนซึ่งอาจจะเป็นสารก่อให้เกิดกลิ่นคาวลดลง แสดงดังใน Figure 5

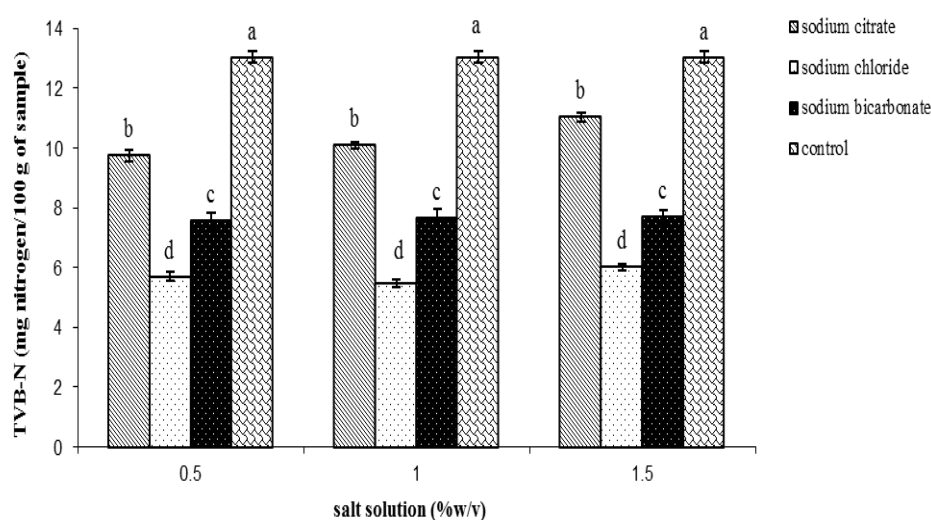


Figure 5. TVB-N contents in salmon skin after washing with salt solutions. Bars represent standard deviation from triplicate determinations. Different letters within the same concentration indicate significant differences ($p < 0.05$).

1.2 การเปลี่ยนแปลงค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

ค่า TBARS ในหนังปลาแชลมอนหลังจากการล้างด้วยสารละลายเกลือ 3 ชนิด ดังแสดงใน Figure 6 กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีในหนังปลาแชลมอนมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Alberta and Benjamin, 2009) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า TBARS ในหนังปลาแชลมอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการล้างด้วยสารละลายเกลือ เมื่อเปรียบเทียบกับชุด

ควบคุม เนื่องจากกระบวนการล้างสำคัญต่อการกำจัดไขมัน เม็ดสี สารก่อให้เกิดกลิ่น (Kristinsson *et al.*, 2005) และโลหะบางชนิด (prooxidant) เช่น ทองแดง (Cu^{2+}) และเหล็ก (Fe^{2+}) อยู่ในรูปของ ฮีมโปรตีนจากเลือดของปลา ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่า TBARS ของตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลดลงมากที่สุด ดังแสดงใน Figure 6 เนื่องมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกตัวจากโซเดียมคลอไรด์จับกับส่วนที่มีหัวของฟอสโฟลิปิดเกิดเป็นโซเดียมฟอสโฟลิปิด อาจจะจับกับฟอสโฟลิปิดในรูปแบบเดียวกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Hrynets *et al.*, 2011) ซึ่งฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นไขมันในหนังปลาที่อยู่ในรูปที่มีหัว ซึ่งในหนังปลายังมีไขมันที่อยู่ในรูปที่เป็นกลางไม่มีหัวได้แก่ triacylglycerol, glycerol-fatty acid esters (Suthasinee *et al.*, 2012) นอกจากนี้ โซเดียมและคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เมื่อละลายน้ำเพิ่มสภาพความเป็นขี้ของน้ำจับกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น พวกลิพิดไฮดรอกไซด์และ คีโตน ซึ่งเป็นสารพวกมีขี้ (Seager and Slabaugh, 2010) จึงสามารถล้างออกมาได้ ดังนั้นจึงเลือกหนังปลาที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส

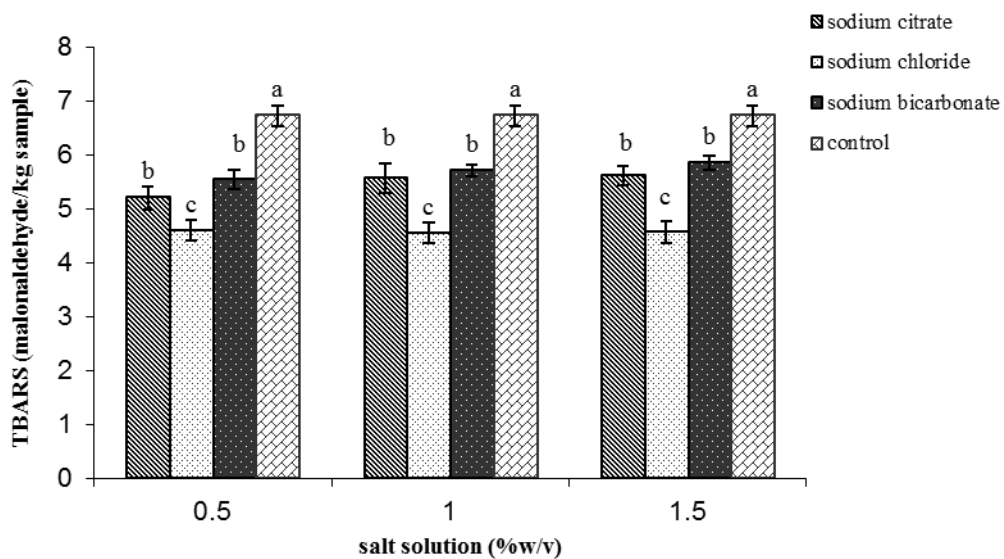


Figure 6. TBARS value in salmon skin after washing salt solutions. Bars represent standard deviation from triplicate determinations. Different letters within the same concentration indicate significant differences ($p < 0.05$).

1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของหนังปลาแซลมอนที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ แสดงใน Table 5 ผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างของระดับกลิ่นคาวปลาจากหนังปลาแซลมอนที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และชุดควบคุมได้อย่างมีนัยสำคัญ ชุดควบคุมได้รับคะแนนทางด้านกลิ่นคาวสูงอย่างมีนัยสำคัญจากผู้ทดสอบ แสดงให้เห็นว่าหนังปลาในชุดควบคุมมีกลิ่นคาวปลามาก สำหรับตัวอย่างหนังปลาที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ได้รับคะแนนกลิ่นคาวในระดับต่ำ ซึ่งหมายถึงกลิ่นคาวปลาที่น้อยถึงปานกลาง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Kawahara และ Tanihata (2005) ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และผงถ่านกัมมันต์ เพื่อลดกลิ่นคาวในหนังปลาก่อนนำไปสกัดเจลาติน ซึ่งพบว่า หนังปลาที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่สูงทำให้เกิดการแย่งจับกับน้ำส่งผลให้โปรตีนการจับกันเอง (Zhang, 2012) ทำให้ล้างเอาโปรตีนเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นคาวล้างออกมาได้น้อยทำให้กลิ่นคาวเพิ่มขึ้น การใช้ส่วนหนังปลาที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถลดกลิ่นคาวปลาได้ดี นอกจากนี้ในปลาทอดแอตแลนติกแล้ว มีการใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งสามารถปรับปรุงกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Magnus and Turid, 2012) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลายเกลือสามชนิดมีผลต่อการลดค่า TBARS และ ปริมาณ TVB-N ในหนังปลาแซลมอนและการล้างด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถลดกลิ่นคาวได้ดีที่สุด

Table 5. Fishy odor score of washed salmon skin with sodium chloride solutions and control

	Sodium chloride solution (%w/v)			
	Control	0.5	1.0	1.5
Fishy odor score	4.20±0.85 ^a	3.20±1.08 ^b	2.67±0.71 ^c	3.13±1.04 ^b

Remark: ^{a-c} Mean within a row with different letters is significantly difference (p<0.05).

2. การศึกษาอุณหภูมิในการลวกหนังปลาต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอน

2.1 ผลการลวกหนังปลาต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอนทอด

คุณสมบัติทางกายภาพของหนังปลาแซลมอนทอด

ปริมาณความชื้น

หนังปลาแซลมอนชุดควบคุมและที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปอบแห้งควบคุมความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 12-13 และทอดอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส 30 วินาที พบว่า ปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 1.982 - 2.334 ซึ่งปริมาณความชื้นหนังปลาชุดควบคุม และที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 6 เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการลวกหนังปลาแล้วจึงนำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้โครงสร้างของคอลลาเจนเสียสภาพ (Karim and Bhat, 2009) ผิวด้านนอกของหนังปลามีลักษณะเป็นเมือกเหนียวเยิ้ม จึงไม่สามารถกักเก็บไอน้ำบางส่วนไว้ภายในโครงสร้างได้ (Shunji *et al.*, 2003) เมื่อนำไปอบแห้งบริเวณผิวมีลักษณะแห้งคล้ายฟิล์มใสเคลือบ เมื่อนำไปทอด บริเวณผิวซึ่งได้รับความร้อนมีลักษณะแห้งมาก ส่งผลให้จุดหลอมเหลวสูง ทำให้การหลอมเหลวเกิดได้ช้ากว่าการเกิดไอน้ำ ทำให้ไอน้ำระเหยออกไปก่อน (Matz, 1970) ส่งผลให้หนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิสูงมีความชื้นต่ำ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อค่า a_w ของหนังปลาทอดซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.234 - 0.264 โดยค่า a_w ของหนังปลาทอดชุดควบคุม และหนังปลาที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สูงกว่า ที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งแปรผันโดยตรงกับความชื้น เนื่องจากค่า a_w เป็นการบ่งบอกปริมาณน้ำอิสระในอาหาร เมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระลง (Guillard *et al.*, 2003; Sukumar *et al.*, 2003)

อัตราการพองตัว

อัตราการพองตัวของหนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที และชุดควบคุมอยู่ในช่วง 2.46 - 4.07 การลวกหนังปลาที่ 40 องศาเซลเซียส และชุดควบคุมมีอัตราการพองตัวสูงกว่า หนังปลาที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 6 เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการลวกที่ 45 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ

60 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 12-13 เป็นการใช้อุณหภูมิในการลวกที่สูงเกินไป ส่งผลให้เกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่าง สายเฮลิคสามสายภายใน โครงสร้างของคอลลาเจน รวมทั้งทำลายพันธะโควาเลนต์และนอนโควาเลนต์ ทั้งภายในและระหว่างสายเปปไทด์ ทำให้เกิดเป็น เปปไทด์ ที่มีขนาดเล็กกลง เช่น โปรติโอส เปปโตน หรือกรดอะมิโน เพราะสภาวะเช่นนี้ ทำให้คอลลาเจนสลายเป็นกาวแทนที่จะเป็นเจลาติน (Lowe, 1937; Fonkwe and Singh, 1997; Cheow *et al.*, 2001; Karim and Bhat, 2009) ส่งผลให้เมื่อนำไปอบ บริเวณผิวหนังปลา มีลักษณะแห้งคล้ายฟิล์มใส และเมื่อได้รับความร้อนจากการทอด ทำให้เกิดไอน้ำเร็วกว่าการหลอมเหลวของเจลาตินบริเวณผิวมาก ทำให้สูญเสียไอน้ำไปบางส่วน และเมื่อไอน้ำคั้นโครงสร้างของเจลาตินที่หลอมเหลวกลายเป็นกาว ซึ่งไม่แข็งแรง จึงไม่สามารถทนแรงดันจากไอน้ำซึ่งจะดัน โครงสร้างเจลาตินให้เกิดการพองตัว ส่งผลให้อัตราการพองตัวน้อย ส่วนการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่าง สายเฮลิคสามสายภายใน โครงสร้างของคอลลาเจน ทำให้สูญเสียโครงสร้าง ทริปเปิลเฮลิค (triple helix) ไปและ ทำลายพันธะไฮโดรโพบิก ซึ่งพันธะเหล่านี้ยึดระหว่างสายเปปไทด์ ทำให้เกิดการคลายตัวส่งผลให้บางส่วนของคอลลาเจน กลายเป็นเจลาติน (Jan and Asbjorn, 2007; Karim and Bhat, 2009) อุณหภูมิที่ทำให้คอลลาเจนในหนังปลาแซลมอนเสียสภาพ อยู่ที่ 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส (Fanbin *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ปลา ที่อยู่อาศัย และปริมาณคอลลาเจนในองค์ประกอบของหนังปลา (Gomez-Guillen *et al.*, 2011) เมื่อนำหนังปลาที่ผ่านการลวกที่ 40 องศาเซลเซียส ไปทอด เมื่อหนังปลาได้รับความร้อนจะทำให้เกิดไอน้ำก่อนการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย ส่งผลให้ไอน้ำเกิดการดัน โครงสร้างเจลาตินของหนังปลา เกิดการขยายตัว และพองตัวออกพอดี

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก พบว่าค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 268.67 – 378.82 กรัม หนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าแรงกดแตกสูงกว่าหนังปลาทอดที่ลวกด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และไม่ผ่านการลวก อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 6 เนื่องจากหนังปลาทอดที่ลวกด้วยอุณหภูมิ 40 และที่ไม่ผ่านการลวก หลังจากการอบแห้งแล้วนำไปทอด เมื่อได้รับความร้อนไอน้ำเกิดการระเหย ในเวลาใกล้เคียงกับการหลอมเหลวของเจลาตินไอน้ำที่มากพอจะดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลว ทำให้เกิดการพองตัวที่ดีกว่า และโครงสร้างภายในมีฟองอากาศขนาดใหญ่ ส่งผลให้เมื่อวัดค่าแรงกดจึงมีแรงในการเจาะทะลุน้อยกว่า หนังปลาทอดที่ผ่านการ

ลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส การมีฟองอากาศขนาดใหญ่ อยู่ภายในโครงสร้างชั้นหนังปลาส่งผลทำให้เกิดการพองตัวและมีลักษณะกรอบ (Matz, 1970; Nath and Chattopadhyay, 2007) ส่วนหนังปลาทอดที่ผ่านการลวก ที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนด้วยการทอดทำให้อุณหภูมิบางส่วนระเหยออกไปก่อน ส่งผลต่อปริมาณไอน้ำในการดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลวให้พองตัวออกมีปริมาณน้อย การพองตัวของหนังปลาจึงน้อยและฟองอากาศภายในโครงสร้างชั้นหนังปลามีขนาดเล็ก ส่งผลให้ค่าแรงกดสูง (Matz, 1970; Rungthip *et al.*, 2008)

Table 6. Physical properties and chemical analysis of fried salmon skins previously blanched at 40, 45 and 50 °C

Temperature (°C)	Moisture	Water activity	Expansion ratio	Hardness (g)
control	2.294±0.048 ^a	0.264±0.002 ^a	4.07±0.16 ^a	280.82±28 ^b
40	2.334±0.062 ^a	0.261±0.002 ^a	3.92±0.22 ^a	268.67±31 ^b
45	2.005±0.053 ^b	0.238±0.003 ^b	2.76±0.2 ^b	378.82±26 ^a
50	1.981±0.057 ^b	0.234±0.004 ^b	2.46±0.18 ^b	365.72±31 ^a

a-c Mean within a column with different letters are significantly difference(p<0.05).

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านการพองตัวและความกรอบของหนังปลาทอดชุดควบคุม และที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะแผนกประเมินระดับการพองตัวของหนังปลาทอด พบว่า หนังปลาทอดชุดควบคุมและที่ผ่านการลวกที่ 40 องศาเซลเซียส มีคะแนนการพองตัวเฉลี่ยเท่ากับ 3.36 และ 3.31 หมายถึงพองตัวปานกลางถึงมาก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) กับหนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่ 45 และ 50 องศาเซลเซียส ที่มีคะแนนการพองตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 2.16 และ 1.93 ซึ่งหมายถึง หนังปลาพองตัวน้อยถึงปานกลาง ดังแสดงใน Table 7 เนื่องจากการลวกที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส ทำให้สูญเสียโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการพองตัว ทำให้การพองตัวไม่สม่ำเสมอ จากผลการทดลองพบว่า การลวกที่ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที ส่งผลต่อการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ส่วนด้านความกรอบพบว่า หนังปลาทอดชุดควบคุมและที่ผ่านการลวกที่ 40 องศาเซลเซียส มีคะแนนความกรอบอยู่ระหว่าง 2.96 - 3.03 หมายถึง มีกรอบปานกลางถึงกรอบมาก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับหนังปลาทอดที่ผ่านการลวกที่ 45 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.78-1.84 หมายถึง กรอบน้อย ดังแสดงใน Table 7 จากผลการทดลองพบว่า การลวกที่ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที มีผลต่อความกรอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับ ชเนศ แก้วกำเนิด (2529) และ พันธิพา จันทวัฒน์ (2532) ได้ศึกษาการทำให้หนังหมูสุกโดยการลวกด้วยไอน้ำและต้มที่น้ำเดือด 15 และ 20 นาที เพื่อผลิตแคมหมู พบว่า การใช้อุณหภูมิสูง และเวลาการให้ความร้อนนานเกินไป ส่งผลต่อความกรอบและการพองตัวหลังการทอด ทำให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคน้อยกว่า การใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยในการต้มและลวกหนังหมู

ด้านกลิ่นคาวพบว่า หนังปลาทอดชุดควบคุมมีคะแนนด้านกลิ่นคาวเท่ากับ 2.10 หมายถึง กลิ่นคาวปานกลาง ซึ่งมีคะแนนมากกว่าหนังปลาทอดที่ผ่านการลวก อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 7 ซึ่งหนังปลาที่ผ่านการลวกที่ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส มีคะแนนระดับเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.30 -1.43 หมายถึงกลิ่นคาวปลาที่น้อยถึงปานกลาง เนื่องจากการลวกช่วยลดกลิ่นคาวลงบางส่วน เมื่อได้รับความร้อน โปรตีนเกิดการคลายตัว (Yunoki *et al.*, 2004) ปลดปล่อยสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวออกมา ดังนั้นสภาวะการลวกหนังปลาแชลมอนทอดที่ดีที่สุด คือ การลวกหนังปลาที่ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที

Table 7. Expansion and crispness score of fried salmon skins

	Temperature (°C)			
	Control	40	45	50
Expansion	3.36±0.31 ^a	3.31±0.34 ^a	2.16±0.27 ^b	1.93±0.34 ^b
Crispness	3.03±0.22 ^a	2.96±0.33 ^a	1.84±0.41 ^b	1.78±0.43 ^b
Fishy odor	2.10±0.48 ^a	1.43±0.57 ^b	1.36±0.66 ^b	1.30±0.53 ^b

Remark: ^{a-b} Mean within rows with different letters are significantly difference ($p < 0.05$).

2.2 ผลการลวกหนังปลาต่อการพองตัวของหนังปลาแชลมนอบด้วยไมโครเวฟ

คุณสมบัติทางกายภาพของหนังปลาแชลมนอบ

ปริมาณความชื้น

หนังปลาแชลมนอบที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส นำไปอบแห้งโดยควบคุมความชื้นให้อยู่ที่ร้อยละ 12 - 13 และอบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 2.465 - 2.604 หนังปลาอบชุดควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) มีปริมาณความชื้นสูงกว่า หนังปลาอบที่ผ่านการลวก อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 8 ปริมาณความชื้นของหนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากหนังปลาอบที่ผ่านการลวก หลังการอบแห้งเพื่อลดความชื้น บริเวณผิวมีลักษณะคล้ายฟิล์มใสเคลือบและแห้ง เมื่อให้ความร้อนแก่หนังปลาด้วยไมโครเวฟทำให้โมเลกุลของน้ำ เกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกัน เกิดเป็นพลังงานความร้อนภายในชั้นหนังปลา (Datta and Anantheswaran, 2001) ส่วนผิวด้านนอกของหนังปลาที่มีลักษณะแห้ง มีความชื้นต่ำเนื่องจากการลวกส่งผลต่อการแพร่กระจายความชื้น (Neri *et al.*, 2011) ส่งผลให้เจลาตินมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นทำให้หลอมเหลวได้ช้า ผิวด้านนอกหนังปลาจึงยังคงเป็นเปลือกแข็ง ใช้น้ำจึงไม่สามารถดัน โครงสร้างของเจลาตินได้ (Matz, 1970; Varnalisa *et al.*, 2001) และถูกกักไว้ภายในชั้นหนังปลาส่งผลให้ในหนังปลาอบที่ผ่านการลวกมีปริมาณความชื้นสูงกว่าหนังปลาที่ไม่ผ่านการลวก ความชื้นของหนังปลาแชลมนอบ แปรผันตรงกับค่า a_w ซึ่งมีค่าอยู่ ระหว่างร้อยละ 0.294 - 0.340 หนังปลาอบชุดควบคุม มีค่า a_w ต่ำกว่า หนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 8 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Vongsawasdi และคณะ (2010) ซึ่งได้ศึกษาผลการลวกต่อค่าความชื้นและ a_w ในมะพร้าวอบแห้ง พบว่า เมื่อความชื้นสูงขึ้นส่งผลให้ค่า a_w สูงขึ้นด้วย

อัตราการพองตัว

อัตราการพองตัวของหนังปลาอบด้วยไมโครเวฟที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 4 กรัม และชุดควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) อยู่ในช่วง 1.70 - 2.50 พบว่า ชุดควบคุมมีอัตราการพองตัวสูงกว่า หนังปลาที่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 8 เนื่องการลวกเป็นการให้ความร้อนขึ้นแก่หนังปลา ทำให้คอลลาเจนบริเวณผิวด้านนอกหนังปลาเสียสภาพกลายเป็นเจลาติน เมื่อใช้อุณหภูมิในการลวกสูง

ส่งผลให้คอลลาเจนบริเวณผิวหนังนอกเสียสภาพมากขึ้น (Cheow *et al.*, 2007; Karim and Bhat, 2009) ทำให้มีลักษณะเป็นเมือกเริ่มเกิดขึ้นก่อนการนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้หนังปลา หลังการทำแห้งมีลักษณะผิวหนังด้านนอกที่แห้งคล้ายฟิล์มใส ส่งผลให้จุลหอยเหวของเจลาตินสูงขึ้น เมื่อนำหนังปลาดังกล่าวไปให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลของน้ำ ภายในชั้นหนังปลา เกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกัน เกิดเป็นพลังงานความร้อน (Datta and Anantheswaran, 2001) และลักษณะหนังปลาที่แห้งและเป็นฟิล์ม ส่งผลให้ เมื่อได้รับความร้อนจากภายในทำให้เจลาตินบริเวณผิวหอยเหวได้เข้า ผิวหนังด้านนอกหนังปลาจึงยังคงเป็นเปลือกแข็ง ใอน้ำจึงไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลาตินให้เกิดการพองตัวได้ดี (Matz, 1970; Varnalisa *et al.*, 2001) ส่งผลให้หนังปลาอบพองตัวน้อยและไม่สม่ำเสมอ ซึ่งการพองตัวไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการลวกมีผลต่อการกระจายตัวของความชื้น (Neri *et al.*, 2011) ซึ่งบริเวณที่มีการกระจายตัวของความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอการพองตัวก็จะไม่สม่ำเสมอตามไปด้วย (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2532)

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการวัดแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก พบว่า ค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 319.11– 483.92 กรัม หนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที มีค่าแรงกดแตกสูงกว่าหนังปลาอบหอยเหวควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 8 เนื่องจากการลวกหนังปลา ก่อนการอบแห้งเพื่อลดความชื้น ส่งผลให้หนังปลาหลังการอบมีลักษณะผิวหนังด้านนอกที่แห้งคล้ายฟิล์มใส เมื่อให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เจลาตินบริเวณผิวหนังด้านนอกจึงหอยเหวได้เข้า ใอน้ำที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถดันโครงสร้างเจลาตินให้พองตัวได้มากนัก (Matz, 1970; Varnalisa *et al.*, 2001) ส่งผลให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กมีผนังที่ห่อหุ้มหนาและความชื้นบางส่วนยังเหลืออยู่ภายในชั้นหนังปลาสูงซึ่งทำให้ค่าแรงกดสูงกว่าหนังปลาอบหอยเหวควบคุม (ไม่ผ่านการลวก) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) หนังปลาที่ไม่ผ่านการลวก นำมาอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ผิวหนังปลาไม่มีลักษณะแห้งเป็นฟิล์มใส เมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟส่งผลให้เจลาตินเกิดการหอยเหวเพียงพอที่ทำให้ใอน้ำดันโครงสร้างหนังปลาให้เกิดการพองตัว เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่มีผนังห่อหุ้มที่บางและมีความชื้นน้อย ทำให้ค่าแรงกดต่ำ (Wang *et al.*, 2013) ดังนั้นหนังปลาแชลมนอบด้วยเตาอบไมโครเวฟจึงไม่จำเป็นต้องลวกก่อนการทำแห้ง

Table 8. Physical properties and chemical analysis of salmon skins were blanched at 40, 45 and 50 °C for 30 sec and heated by microwave oven.

Temperature (°C)	Moisture	Water activity	Expansion ratio	Hardness (g)
control	2.465±0.038 ^b	0.294±0.003 ^b	2.50±0.21 ^a	319.11±49.58 ^b
40	2.572±0.046 ^a	0.334±0.006 ^a	1.65±0.17 ^b	483.92±35.81 ^a
45	2.604±0.046 ^a	0.340±0.007 ^a	1.64±0.11 ^b	440.72±52.12 ^a
50	2.591±0.060 ^a	0.335±0.006 ^a	1.70±0.14 ^b	420.82±38.76 ^a

Remark: ^{a-b} Mean within columns with different letters are significantly difference (p<0.05).

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านารพองตัว ความกรอบ และกลิ่นคาวปลา ของหนังปลาอบด้วยไมโครเวฟชุดควบคุมและที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะกรรมการประเมินด้านระดับการพองตัวของหนังปลาที่อบด้วยไมโครเวฟ พบว่า หนังปลาอบชุดควบคุม มีคะแนนระดับการพองตัวเฉลี่ย 2.33 หมายถึงพองตัวปานกลางถึงมาก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) กับหนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส มีคะแนนระดับการพองตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.90 - 2.06 หมายถึง พองตัวน้อยถึงปานกลาง ดังแสดงใน Table 9 เนื่องจากการลวก 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ที่ทำให้สูญเสียโครงสร้างของเจลาตินในหนังปลาที่เหมาะสมต่อการพองตัว ส่งผลให้การพองตัวได้น้อยและไม่สม่ำเสมอ จากผลการทดลองจึงพบว่า การลวกส่งผลต่อการพองตัวของหนังปลาที่อบด้วยไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ส่วนด้านความกรอบ พบว่า หนังปลาอบชุดควบคุมมีคะแนนความกรอบเฉลี่ยที่ 2.56 หมายถึง กรอบมาก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับหนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีคะแนนการพองตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.83 - 2.05 หมายถึง กรอบน้อยถึงกรอบปานกลาง จากผลการทดลองพบว่า การลวกมีผลต่อความกรอบอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังแสดงใน Table 9

ด้านกลิ่นคาว พบว่า หนังปลาอบชุดควบคุมมีคะแนนด้านกลิ่นคาวเฉลี่ยเท่ากับ 2.26 หมายถึง กลิ่นคาวปลาปานกลาง ซึ่งมีคะแนนมากกว่าหนังปลาอบที่ผ่านการลวกที่ 40, 45

และ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 9 มีคะแนนเฉลี่ยของกลิ่นคาว อยู่ระหว่าง 1.80 -1.93 หมายถึงกลิ่นคาวปลาที่น้อยถึงปานกลาง เนื่องจากผ่านการลวกช่วยลดกลิ่น คาวลงบางส่วน ดังนั้นสภาวะการลวกหนังปลาแชลมอนก่อนการนำไปทำแห้งช่วยลดกลิ่นคาวใน หนังปลาแชลมอนอบกรอบด้วยไมโครเวฟแต่ด้านการพองตัวและความกรอบลดลง ดังนั้นสภาวะ การลวกก่อนการทำแห้งจึงไม่เหมาะสมกับการทำหนังปลาแชลมอนอบกรอบด้วยไมโครเวฟ

Table 9. Expansion, crispness and fishy odor score of salmon skins heated by microwave oven

	Temperature (°C)			
	Control	40	45	50
Expansion	2.33±0.32 ^a	2.06±0.43 ^b	2.03±0.40 ^b	1.90±0.42 ^b
Crispness	2.56±0.24 ^a	2.05±0.31 ^b	2.00±0.41 ^b	1.83±0.34 ^b
Fishy odor	2.26±0.46 ^a	1.93±0.58 ^b	1.84±0.46 ^b	1.80±0.55 ^b

Remarks: ^{a-b} Mean within rows with different letters are significantly difference ($p < 0.05$).

3. ผลของระดับความร้อนต่อการพองตัวของหนังปลาแชลมอนโดยใช้วิธีทอดและอบด้วยไมโครเวฟ

3.1. ผลการศึกษาระดับความร้อนที่ใช้ทอดต่อการพองตัวของหนังปลาแชลมอน

คุณสมบัติทางกายภาพของหนังปลาแชลมอนทอด

ปริมาณความชื้น

หนังปลาแชลมอนผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่คัดเลือกจากขั้นตอนที่ 2.1 เมื่อนำหนังปลาไปอบแห้ง โดยควบคุมความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 12-13 และทอดอุณหภูมิที่ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส 30 วินาที (หนังปลาจำนวน 4 กรัม น้ำมัน 2 ลิตร) พบว่า หนังปลาทอดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.270 - 2.736 ซึ่งความชื้นมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mayyawadee และ Gerhard (2011) ศึกษาปัจจัยการทอดต่อค่าความกรอบของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบลดลง ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างน้ำมันกับชิ้นอาหารในขณะที่ทอด เมื่ออาหารได้รับความร้อนสูง ความชื้นที่อยู่ในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาในรูปของไอน้ำ ได้เร็ว

กว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการทอด (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2546) ค่า a_w ของหนังปลาทอดซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.250 - 0.298 โดยค่า a_w ของหนังปลาทอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 10 เมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Maria และคณะ (2008) ซึ่งทำการศึกษาผลการทอดแบบสุญญากาศต่อคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพและคุณค่าโภชนาการของสับประรดทอดกรอบพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น ค่า a_w ลดต่ำลง การใช้อุณหภูมิในการทอดสูง ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในชั้นหนังปลาเพิ่มขึ้นและทำให้น้ำอิสระที่อยู่ภายในมีปริมาณลดลง (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2546)

อัตราการพองตัว

อัตราการพองตัวของหนังปลาทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที มีค่าอยู่ในช่วง 2.50-4.16 การใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ วาวิชนี ลอปกุลเกียรติ และคณะ (2551) ศึกษาผลของปัจจัยในการทอดต่อคุณสมบัติบางประการของขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการทอด พบว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนน้ำซึ่งอยู่ภายในชั้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดการระเหยของน้ำกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว แรงดันไอน้ำที่เกิดขึ้นและระเหยอย่างรวดเร็วจะดันโครงสร้างภายในให้เกิดการพองตัว ซึ่งในการทอดหนังปลาถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงมากพอ เพื่อให้เกิดไอน้ำขึ้นก่อนการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย จะทำให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นมีมากเพียงพอที่จะสามารถดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลวทำให้เกิดการพองตัวออกได้และเกิดเป็นโพรงอากาศ (พันธิพา จันทวัฒน์, 2532) อุณหภูมิในการทอดที่ 160 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปส่งผลให้การหลอมเหลวของเจลาตินช้าและการเกิดไอน้ำภายในชั้นหนังปลาเกิดช้า ไอน้ำจึงไม่สามารถดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลวให้พองตัวได้ดี (Matz, 1970)

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการวัดแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักพบว่าหนังปลาทอดที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาทีค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 222.11 – 334.16 กรัม เมื่ออุณหภูมิในการทอดหนังปลาสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงกดแตกลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 10 เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำ ทำให้เจลาตินเกิดการหลอมเหลวช้า และการเกิดไอน้ำเกิดได้ช้า ทำให้ปริมาณไอน้ำเกิดน้อย ส่งผลให้ไอน้ำดันโครงสร้างเจลาตินในหนังปลาให้ขยายออกได้น้อย และความชื้นภายในหนังปลา

หลงเหลืออยู่สูง ทำให้ค่าแรงกดแตกสูงกว่าหนังปลาที่ใช้อุณหภูมิสูงในการทอด มีอัตราการพองสูงและมีความชื้นต่ำ (Matz, 1970; จันทรพีญ ไขยบุญ, 2550) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Mayyawadee and Gerhard (2011) ศึกษาผลของปัจจัยการทอดต่อค่าความกรอบของข้าวเกรียบมัน สัมผัสพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงส่งผลให้ข้าวเกรียบมีแรงกดแตกลดลง เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว เจลาตินหลอมเหลวหลังการเกิดไอน้ำเล็กน้อย ส่งผลให้เกิดแรงดันไอบางเพียงพอในการดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลว ทำให้หนังปลาเกิดการพองตัวสูง โปร่งอากาศภายในโครงสร้างมีขนาดใหญ่ และความชื้นต่ำ ส่งผลให้แรงกดแตกมีค่าลดลง ซึ่งค่าแรงกดแตกมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอัตราการพองตัว (พันธิพา จันทวัฒน์, 2532; Muhamed *et al.*, 1989)

Table 10. Moisture, water activity, expansion ratio and hardness of salmon skins fried at 160, 170 and 180 °C for 30 sec

Temperature (°C)	Moisture	Water activity	Expansion ratio	Hardness (g)
160	2.736±0.041 ^a	0.298±0.002 ^a	2.50±0.14 ^c	334.16±21.89 ^a
170	2.330±0.033 ^b	0.262±0.003 ^b	3.71±0.13 ^b	267.31±20.47 ^b
180	2.270±0.032 ^c	0.250±0.002 ^c	4.16±0.13 ^a	222.11±24.34 ^c

Remark: ^{a-c} Mean within columns with different letters are significantly difference (p<0.05).

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านการพองตัวและความกรอบของหนังปลาทอด ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จากการประเมินระดับการพองตัวของหนังปลาทอด พบว่า คะแนนการพองตัวของหนังปลาทอดในแต่ละอุณหภูมิ มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังแสดงใน Table 11 โดยหนังปลาที่ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีคะแนนระดับการพองตัว 3.53 หมายถึงพองตัวมาก ส่วนหนังปลาที่ทอดที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนระดับการพองตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.20-2.76 หมายถึง พองตัวปานกลาง เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำภายในชิ้นหนังปลาระเหยกลายเป็นไอ ในเวลาที่ใกล้เคียงกับการหลอมเหลวของ

เจลาตินในหนังปลา ทำให้มีปริมาณไอน้ำมากพอจะดัน โครงสร้างที่หลอมเหลวของเจลาติน ให้เกิดการขยายตัว (พันธิพา จันทวัฒน์, 2532) จากผลการทดลองจึงพบว่า อุณหภูมิในการทอดส่งผลต่อการพองตัวของหนังปลาทอดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สำหรับระดับความกรอบ พบว่า หนังปลาทอดที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียส มีคะแนนความกรอบอยู่ระหว่าง 3.10-3.46 หมายถึง กรอบมาก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 11 เมื่อเทียบกับหนังปลาทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีคะแนนความกรอบเฉลี่ย 2.10 หมายถึง กรอบปานกลาง ดังแสดงใน Table 9 จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการทอดส่งผลต่อความกรอบของหนังปลาทอดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ จรรยา วังนิยม และคณะ (2555) ศึกษาผลของเวลาในการต้มและอุณหภูมิในการทอดต่อคุณภาพของเห็ดฟางสวรรค์ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอด ทำให้คะแนนความกรอบด้านประสาทสัมผัสของเห็ดฟางสวรรค์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการทอดส่งผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยมากกว่าการทอดที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ชั้นผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ มีลักษณะกรอบ (Saeleaw and Schleining, 2010)

Table 11. Expansion and crispness score of fried salmon skin at 160, 170 and 180°C for 30 sec

	Temperature (°C)		
	160	170	180
Expansion	2.20±0.40 ^c	2.76±0.42 ^b	3.53±0.50 ^a
Crispness	2.10±0.48 ^b	3.10±0.49 ^a	3.46±0.56 ^a

Remark: ^{a-c} Mean within row with different letters are significantly difference ($p < 0.05$).

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในหนังปลาแชลมอนทอด

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์หนังปลาทอดที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที พบว่า ภาพตัดขวางแสดงลักษณะภายในโครงสร้างของหนังปลาทอดมีลักษณะเป็นโพรงอากาศซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน หนังปลาทอดที่ 180 องศาเซลเซียส มีลักษณะโพรงอากาศภายในขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับหนังปลาทอดที่ 160 และ 170 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 7A-7C ซึ่งลักษณะปรากฏดังกล่าวเกิดขึ้น เนื่องจากเมื่อหนังปลาได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระหว่างการทอด น้ำภายในโครงสร้างของหนังปลาเกิดการระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว

แรงดัน ไอจิ่งดัน โครงสร้างเจลาคินที่หลอมเหลวของหนังปลา ให้ขยายตัวออกเกิดเป็นช่องว่างของโพรงอากาศขึ้น (Colonna *et al.*, 1989; พันธิพา จันทวัฒน์, 2532; Yamsaengsung *et al.*, 2011) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Adedeji และคณะ (2011) ศึกษาโครงสร้างภายในของนัตเก้ทไก่ชุบแป้งทอดด้วยเครื่อง SEM พบว่า อุณหภูมิและกระบวนการทอด มีผลต่อการเกิดขนาดของโพรงอากาศขนาดเล็กและใหญ่แตกต่างกันภายใน โครงสร้างของชิ้นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการทอดที่อุณหภูมิ 180 เซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

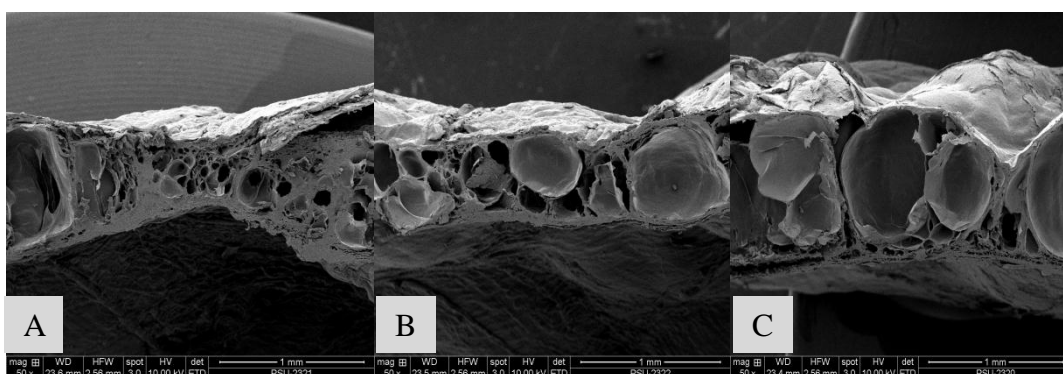


Figure 7. Microstructure of salmon skin fried at 160(A), 170(B) and 180(C) °C for 30 sec.

3.2. ผลการศึกษาระดับความร้อนของการอบโดยใช้ไมโครเวฟต่อการพองตัวของหนังปลาแชลมอน

คุณสมบัติทางกายภาพของหนังปลาแชลมอนอบ

ปริมาณความชื้น

หนังปลาแชลมอนจากสภาวะการคัดเลือกในขั้นตอนที่ 2.2 อบแห้งให้มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ร้อยละ 12-13 แล้วนำมาอบให้พองตัวโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 วินาที (ใช้หนังปลา 4 กรัม) พบว่า หนังปลาอบมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.646 - 2.491 ซึ่งเมื่อเวลาในการอบหนังปลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความชื้นในหนังปลาอบที่เวลา 20 วินาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เวลาในการอบ 30 และ 40 วินาที ดังแสดงใน Table 12 เนื่องจากชิ้นหนังปลาจะได้รับคลื่นไมโครเวฟภายในระยะเวลาสั้น และไม่สม่ำเสมอ ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือน และเสียดสีกันเกิดเป็นความร้อนในช่วงเวลาสั้น ทำให้เกิดการ

ระเหยของน้ำออกไปน้อย และทำให้เจลาตินในหนังปลายังไม่หลอมเหลวพอที่จะทำให้ไอน้ำดันโครงสร้างออกไปส่งผลให้ปริมาณความชื้น จึงหลงเหลืออยู่ภายในชิ้นหนังปลาอบมากกว่าการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Decareau, 1985; Datta and Anantheswaran, 2001; Surangat, 2006) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Therdthail และ Krajangmathekul (2011) ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง พบว่า การใช้ไมโครเวฟที่กัลังไฟฟ้า 660 วัตต์ และช่วงระยะเวลาในการอบสั้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย มีปริมาณความชื้นสูง ส่วนผลการทดลองของ Arimi และคณะ (2008) ศึกษาการพองตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟของเนยแข็งเทียมผสมสตาร์ท ใช้เวลาในการอบ 10 ถึง 100 วินาที พบว่า เมื่อเวลาในการอบเพิ่มขึ้นการสูญเสียความชื้นจะเพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อการพองตัว ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้น (วิจิตรา เหลียวตระกูล, 2546 ; Mu *et al.*, 2010) เนื่องจากระยะเวลาการให้ความร้อนนาน หนังปลาได้รับคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลานาน น้ำในหนังปลาจึงเกิดการระเหยออกไปได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับค่า a_w ของหนังปลาอบมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.260 - 0.296 โดยค่า a_w ของหนังปลาอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 12 ระยะเวลาในการอบหนังปลาเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อหนังปลาได้รับคลื่นไมโครเวฟเกิดความร้อนขึ้นภายใน ทำให้ปริมาณน้ำอิสระระเหยออกมาก่อน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดต่ำลง ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการระเหยออกไปของปริมาณน้ำอิสระที่มากขึ้นด้วย (Henry *et al.*, 1995; Datta and Anantheswaran, 2001)

อัตราการพองตัว

อัตราการพองตัวของหนังปลาอบด้วยเตาไมโครเวฟที่กัลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 วินาที อยู่ในช่วง 1.96 - 2.68 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ ส่งผลให้อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยระยะเวลาในการอบ 30 และ 40 วินาที มีอัตราการพองตัวสูงกว่าที่ 20 วินาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 12 เนื่องจาก เมื่อหนังปลาได้รับคลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลาที่พอเหมาะ เกิดการสันสะเก็อนและเสียดสีกันของโมเลกุลน้ำจากภายใน ทำให้เกิดความร้อนขึ้น น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว มีปริมาณมากพอ (Decareau, 1992) ดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลวทำให้เกิดการพองตัว (พันธิพา จันทวัฒน์, 2532) ซึ่งระยะเวลาในการอบเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัว (Nirav *et al.*, 2013) สอดคล้องกับผลการทดลองของ

อรัญญิก และคณะ (2549) ศึกษาแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยวัดอัตราการพองตัวหลังจากการไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า อัตราการพองตัวเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการอบ แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาน้อย มีอัตราการพองตัวน้อย เนื่องจาก เวลาน้อยทำให้เจลลาตินยังไม่หลอมเหลวพอที่จะทำให้ไอน้ำดันเกิดการพองตัว และผลการทดลองของ ปกรณ์พรณ เฝือกสวัสดิ์ (2545) ศึกษากระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ราโนลาบาร์ พบว่า ที่ระดับความร้อนเดียวกัน ระยะเวลาในการอบข้าวพองที่ 3 นาที มีความชื้นต่ำและการพองตัวมากกว่าที่เวลา 2 นาที ส่วนผลการทดลองของ Pawlak และคณะ (2013) ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการพองตัวด้วยไมโครเวฟสุญญากาศของหัวใช้ทำคั่วโดยใช้โปรแกรม RSM พบว่า ที่ระดับความร้อน 650 วัตต์ ระยะเวลาในการอบ 80 วินาที มีอัตราการพองตัวมากที่สุด ซึ่งหากใช้เวลานานเกินไปทำให้การพองตัวลดลง (Vamalis *et al.*, 2004)

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการวัดแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักของหนังปลาอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 วินาที พบว่าค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 324.89–505.76 กรัม เมื่อระยะเวลาในการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงกดแตกลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) พบว่า หนังปลาอบที่เวลา 30 และ 40 วินาที มีค่าแรงกดแตกน้อยกว่าที่เวลา 20 วินาที ดังแสดงใน Table 12 เนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการอบที่เหมาะสม เกิดจากการระเหยของไอน้ำที่ดันโครงสร้างเจลลาตินที่หลอมเหลว ส่งผลให้หนังปลาเกิดการพองตัวสูง (พันธิพา จันทวัฒน์, 2532) เกิดเป็นโพรงอากาศภายในชั้นหนังปลา และส่งผลให้ความชื้นภายในชั้นหนังปลามีปริมาณลดลง ทำให้ค่าแรงกดมีค่าน้อยลง ซึ่งผลิตภัณฑ์อบพองเมื่อความชื้นต่ำ และการพองตัวสูงส่งผลให้ต่อค่าแรงกดลดต่ำลง (ปกรณ์พรณ เฝือกสวัสดิ์ 2545; Maisont and Narkrugsa, 2010) สอดคล้องกับผลการทดลองของ อรัญญิก และคณะ (2549) ศึกษาข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ พบว่าเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าแรงกดแตกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลากาอบนานขึ้น ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมามากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้กรอบ และแห้งเปราะมากขึ้น ความหนาแน่นน้อยลง เมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกได้

Table 12. Moisture, water activity, expansion ratio and crispness of salmon skins heated by microwave oven at 800 W for 20, 30 and 40 sec

Time (sec)	Moisture (%)	Water activity	Expansion ratio	Hardness (g)
20	2.646±0.043 ^a	0.296±0.004 ^a	1.69±0.14 ^b	505.46±30.01 ^a
30	2.473±0.031 ^b	0.266±0.005 ^b	2.62±0.12 ^a	304.89±37.92 ^b
40	2.491±0.060 ^b	0.260±0.003 ^b	2.68±0.13 ^a	324.89±34.22 ^b

Remark: ^{a-b} Mean within columns with different letters are significantly difference (p<0.05)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านการพองตัวและความกรอบของหนังปลาอบกรอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ เวลา 30 วินาที ระดับความร้อน 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 วินาที โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะกรรมการประเมินระดับการพองตัวของหนังปลาแชลมอนทอด พบว่า ระยะเวลาในการอบหนังปลาแชลมอนด้วยไมโครเวฟส่งผลต่อการพองตัวของหนังปลาอบ อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยระยะเวลาในการอบที่ 20 วินาที มีคะแนน 1.61 หมายถึง พองตัวน้อยถึงปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการอบที่ 30 และ 40 วินาที มีคะแนนระดับการพองตัวอยู่ระหว่าง 2.46 - 2.53 หมายถึง พองตัวปานกลางถึงมาก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังแสดงใน Table 13 สอดคล้องกับผลการทดลองของ Zhang และ คณะ (2007) ศึกษาปัจจัยการให้ความร้อนในการอบปลาชัง (*Hypophthalmichthys nobilis*) แผ่นด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ระดับกำลังไฟฟ้าในการให้ความร้อน 700 วัตต์ ที่เวลา 10-25 วินาที พบว่าระยะเวลาในการอบส่งผลต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวและความกรอบ

ส่วนด้านความกรอบ พบว่า ระยะเวลาในการอบหนังปลาด้วยไมโครเวฟส่งผลต่อคะแนนความกรอบของหนังปลาอบ อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ระยะเวลาในการอบที่ 20 วินาที มีคะแนน 1.73 หมายถึง กรอบน้อยถึงปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการอบที่ 30 และ 40 วินาที มีคะแนนอยู่ระหว่าง 2.49 - 2.56 หมายถึง พองตัวปานกลางถึงมาก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังแสดงใน Table 13 สอดคล้องกับผลการทดลองของ

วิจิตร เกลียวตระกูล (2546) ศึกษาการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาที่ 45 และเวลา 75 วินาที พบว่า การใช้ระดับความร้อนไมโครเวฟสูงสุด ที่เวลา 75 วินาที ให้ค่าทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบดีที่สุด ซึ่งระยะเวลาในการอบ มีผลต่อความชื้น การพองตัว ค่าแรงกดแตก และยังมีส่งผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัส ด้านความกรอบ (Zhang *et al.*, 2007)

Table 13. Expansion and crispness score of salmon skins heated by microwave oven at 800 W for 20, 30 and 40 sec

	Time (sec)		
	20	30	40
Expansion	1.61±0.49 ^b	2.53±0.51 ^a	2.46±0.57 ^a
Crispness	1.73±0.52 ^b	2.56±0.50 ^a	2.49±0.49 ^a

Remark: ^{a-b} Mean within rows with different letters are significantly difference (p<0.05).

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของหนังปลาแซลมอนอบด้วยเตาไมโครเวฟโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์หนังปลาอบด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อน 800 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30, 40 วินาที พบว่า ภาพตัดขวางแสดงลักษณะภายใน โครงสร้างของหนังปลาอบ มีลักษณะเป็นโพรงอากาศซึ่งขนาดแตกต่างกัน หนังปลาอบด้วยไมโครเวฟนาน 30 และ 40 วินาที มีลักษณะโพรงอากาศภายในขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับหนังปลาอบที่ 20 วินาที ดังแสดงใน Figure 8A-8C ซึ่งหนังปลาอบที่ 20 วินาที มีลักษณะของโพรงอากาศขนาดเล็ก บางส่วนภายในชิ้นไม่เกิดโพรงอากาศและมีลักษณะที่อัดแน่น เนื่องจาก ระยะเวลาในการอบน้อยไม่เพียงพอสำหรับการทำให้เจลาคตินเกิดการหลอมเหลว จนกระทั่งไอน้ำดันโครงสร้างให้เกิดการพองตัว ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบสั้น ทำให้น้ำภายในโครงสร้างของหนังปลาระเหยกลายเป็นไอน้ำน้อย ส่งผลให้แรงดันไอน้ำในการดันเจลาคตินให้พองออกน้อยทำให้เกิดโพรงอากาศภายในมีขนาดเล็ก (อรทัย บุญทะวงษ์, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติด้านกายภาพและประสาทสัมผัสในข้างต้น และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Nath and Chattopadhyay (2008) ศึกษาผลของปัจจัยในกระบวนการและความเข้มข้นของแป้งถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และลักษณะคุณภาพ ในขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งผสมถั่วเหลือง โดยใช้การพองด้วยอุณหภูมิตั้งในช่วงเวลาสั้น ใช้เวลาในการพองตัว 5-30 วินาที พบว่า เวลาในการให้ความร้อนส่งผลต่อโครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้เวลาในการอบ

นานเพียงพอส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวสูง โพร่งอากาศภายในมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อบพองที่มีการพองตัวสูง มีปริมาณความชื้น และค่าแรงกดต่ำ (Qing-Bo *et al.*, 2006; Vineet and Ashim, 2011) หน้งปลาแชลมอนทีร่ะยะเวเลาเ็นการอบ 30 วินาที และ 40 วินาที มีคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส และ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังนั้นการอบหน้งปลาด้วยไมโครเวฟระดับความร้อน 800 วัตต์ เวลา 30 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

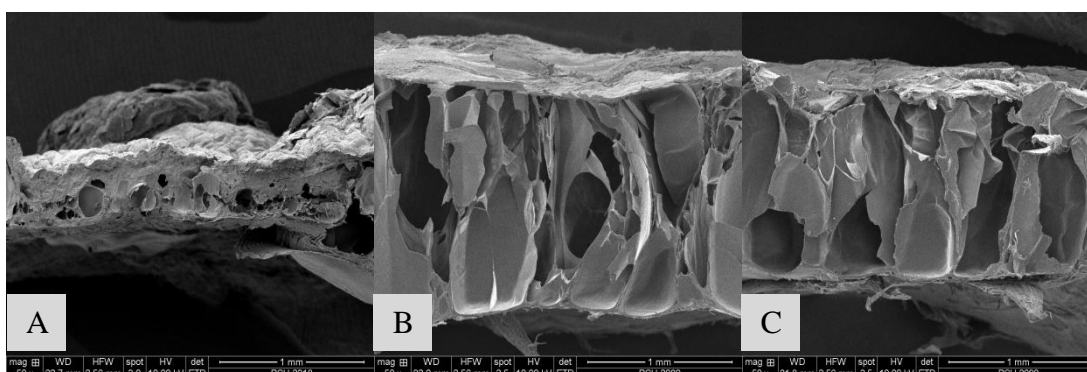


Figure 8. Microstructure of salmon skin heated by microwave oven at 800 w for 20(A), 30(B) and 40(C) sec.

4. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์หน้งปลาแชลมอนกรอบระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หน้งปลาแชลมอนอบกรอบและหน้งปลาแชลมอนทอดกรอบ โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตภายใต้สภาวะดัดแปลงอากาศโดยการใช้ตัวดูดซับออกซิเจน และสภาวะอากาศปกติเป็นชุดควบคุมที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทดสอบด้านประสาทสัมผัสทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ความชื้น ค่าแรงกด ค่าสี ค่า TBARS, ปริมาณจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา รวมทั้งทดสอบด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ การให้คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

4.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดระหว่างการเก็บรักษา

ค่าความชื้นและค่า a_w

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดกรอบ พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สถานะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังแสดงใน Figure 9. โดยค่าความชื้นของหนังปลาแซลมอนทอดกรอบ ที่สถานะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจน อยู่ในช่วงร้อยละ 2.26–2.38 และชุดควบคุมอยู่ในช่วงร้อยละ 2.26–2.40 ซึ่งมีแนวโน้มคงที่ในช่วงแรกจากนั้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า a_w พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สถานะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ค่า a_w ของหนังปลาแซลมอนทอดกรอบที่สถานะการบรรจุสารดูดซับออกซิเจน อยู่ในช่วง 0.257 – 0.276 และชุดควบคุมอยู่ในช่วง 0.256 – 0.279 ดังแสดงใน Figure 10 สอดคล้องกับผลการทดลองของ วารุณี สุวรรณจงสถิต (2546) ศึกษาการปรับปรุงกรรมวิธีการทอดและอายุการเก็บรักษาของปลาสดเค็มทอดกรอบ พบว่า สถานะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจนในการเก็บรักษาปลาสดเค็มทอดกรอบ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ซึ่งปริมาณความชื้นและค่า a_w ของหนังปลาแซลมอนทอดกรอบ ที่สถานะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจน และชุดควบคุมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ อากาศ และแสงได้ดี (Emblem, 2000) ทั้งนี้ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของหนังปลาแซลมอนทอดกรอบทั้งสองสถานะ เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของหนังปลากรอบ ซึ่งกำหนดให้ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (มผช.316/2547)

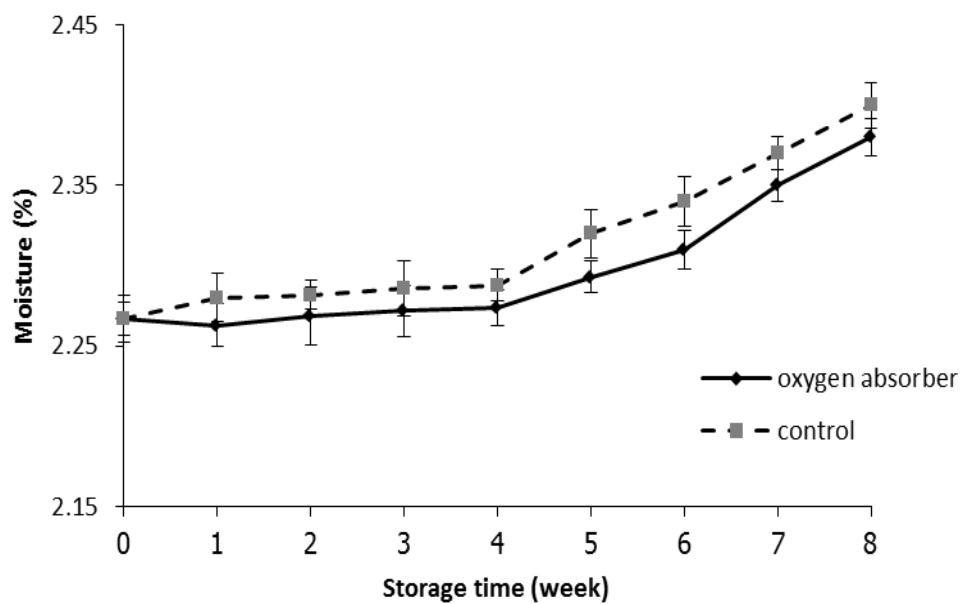


Figure 9. Changes in moisture content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature (30 ± 2 °C)

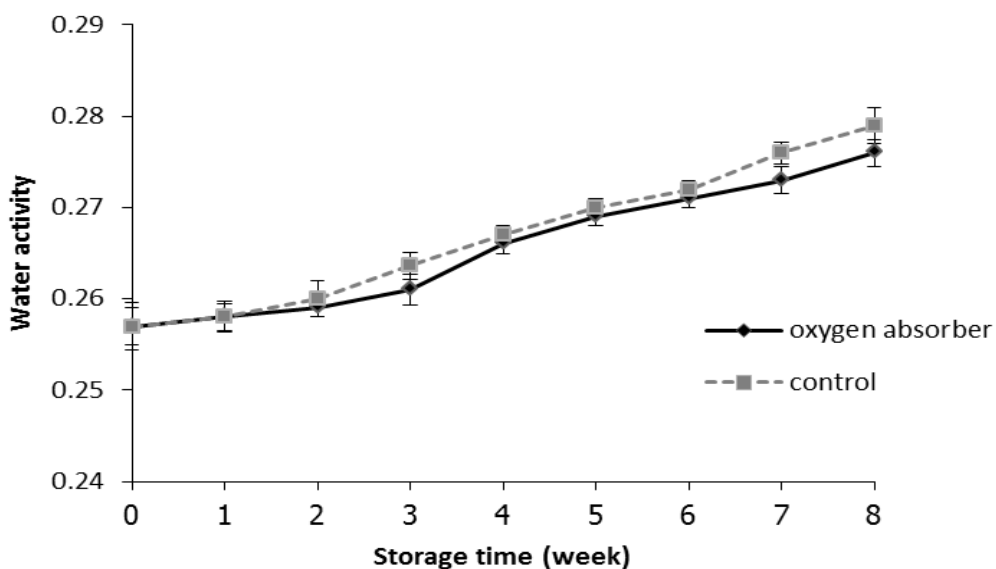


Figure 10. Changes in water activity of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature (30 ± 2 °C)

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ค่าแรงกดของหนังปลาแซลมอนทอดกรอบในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่าแรงกดของหนังปลามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะตัวอย่างหนังปลาชุดควบคุมที่มีค่าแรงกดอยู่ในช่วง 223.95 – 271.00 กรัม ในขณะที่หนังปลาแซลมอนทอดกรอบที่บรรจุในสภาวะปกติที่ใช้สารดูดซับออกซิเจนมีค่าแรงกดอยู่ในช่วง 223.78 -259.61 กรัม ดังแสดงใน Figure 11 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าหนังปลาชุดควบคุม เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าแรงกดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและ ค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา เนื่องจากความชื้นและค่า a_w มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารขบเคี้ยว ทำให้ความแข็งแรงของเนื้อสัมผัสลดลง มีความเหนียวเพิ่มขึ้น และความกรอบลดลง (Labuza and Hyman, 1998; Siripatrawan and Jantawan, 2009) และจากการศึกษา Kulchan และคณะ (2010) กล่าวว่า ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อเนื้อสัมผัสทำให้ค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมทำให้มีความเหนียวมากขึ้นและความกรอบลดลง

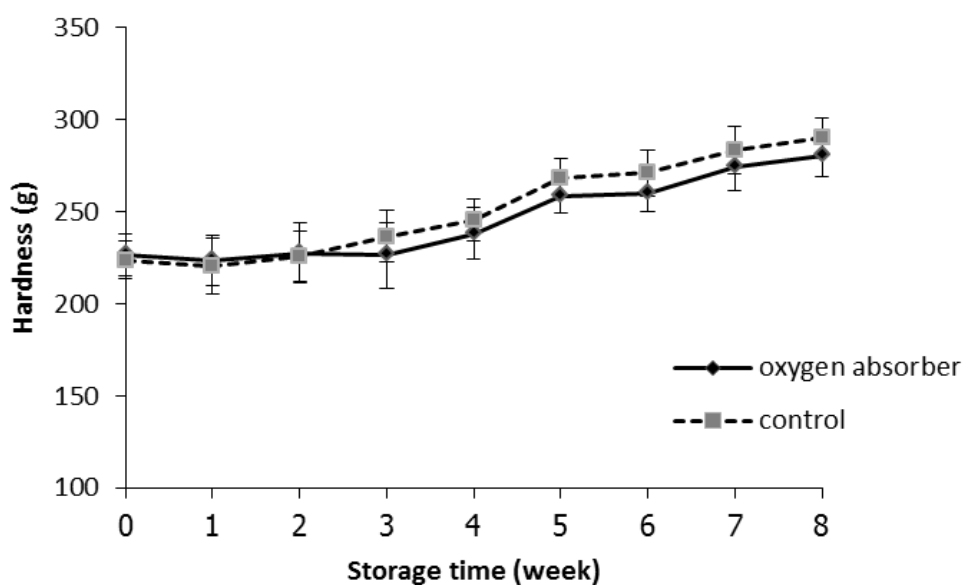


Figure 11. Changes in hardness of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature ($30 \pm 2^\circ\text{C}$)

ค่าสี

ค่า L*

ค่า L* แสดงความสว่างของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 เมื่อ L* มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงความสว่างน้อยที่สุดเป็นสีดำ จนกระทั่งความสว่างมากที่สุด L* มีค่าเท่ากับ 100 เป็นสีขาว จากการวิเคราะห์ค่า L* ของหนังปลาแซลมอนทอดบริเวณด้านท้องและหลังในระหว่างการเก็บรักษา ที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ดังแสดงใน Figure 12(A-B) พบว่า หนังปลาทอดที่เก็บรักษาในสภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงค่า L* อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่า L* ของหนังปลาแซลมอนทอดที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา โดยค่า L* ของหนังปลาแซลมอนทอดส่วนหลังอยู่ในช่วง 38.44-40.54 และส่วนท้องอยู่ในช่วง 60.44-64.30 สำหรับหนังปลาแซลมอนทอดชุดควบคุม มีค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยค่า L* ของหนังปลาส่วนหลังอยู่ในช่วง 35.52-40.53 และด้านท้องอยู่ในช่วง 57.14-64.21 แสดงว่าหนังปลาแซลมอนทอดชุดควบคุมมีความสว่างน้อยกว่าหนังปลาแซลมอนทอดที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนตลอดการเก็บรักษา เนื่องจากชุดควบคุมไม่มีสารดูดซับออกซิเจน ซึ่งช่วยดูดซับก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ ส่งผลให้ไขมันในหนังปลาแซลมอนอบสามารถถูกออกซิไดซ์ในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดสารประกอบแอลดีไฮด์และคีโตนที่สามารถทำ ปฏิกิริยา Maillard Reaction ต่อไปได้ ก่อให้เกิดสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ให้น้ำตาล (Labuza *et al.*, 1994)

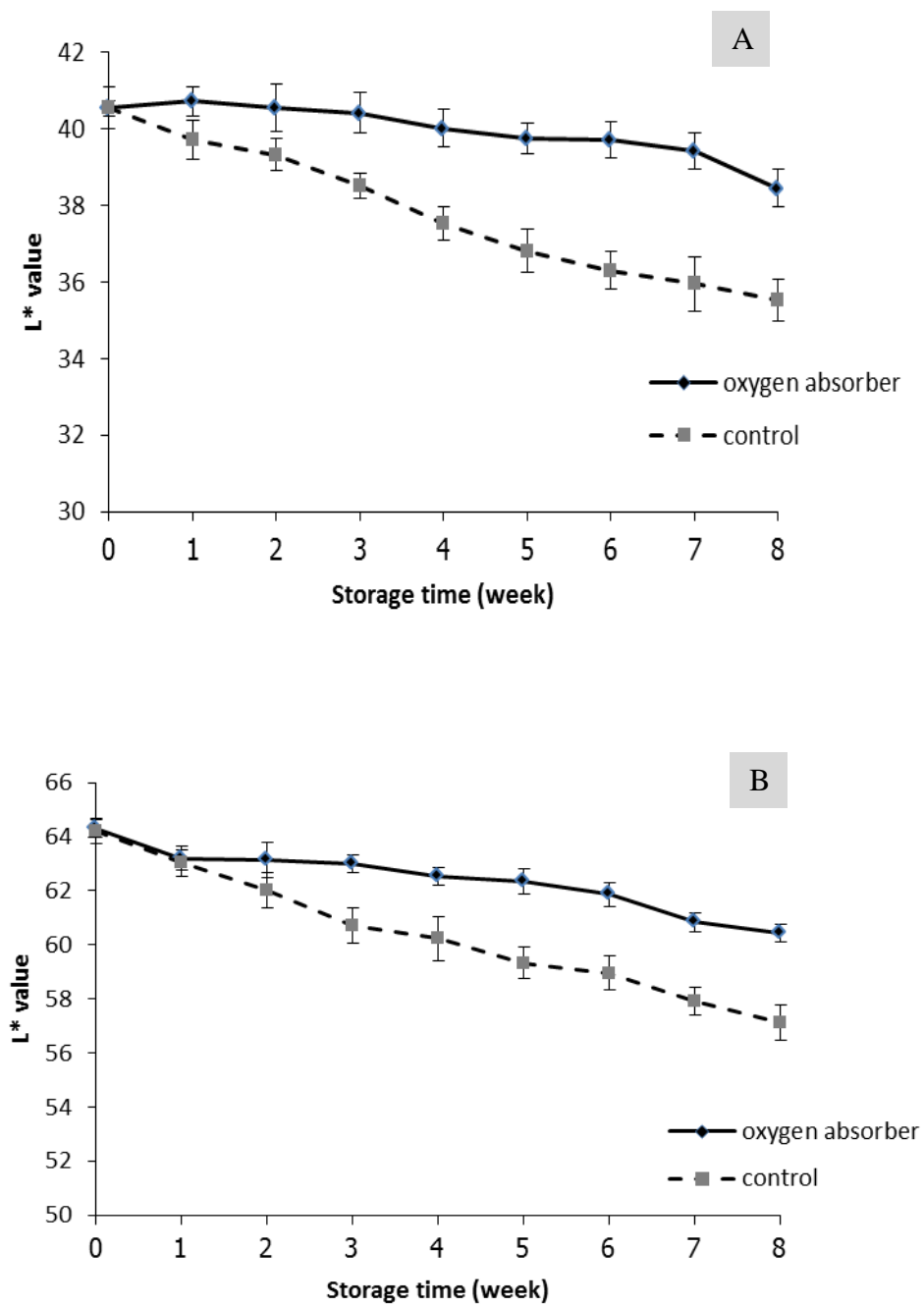


Figure 12. Changed in L* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30 ± 2 °C); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin

ค่า a^*

ค่า a^* เป็นค่าบวกระบุถึงความเข้มสีแดงของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองวัดค่า a^* ของหนังปลาแซลมอนทอดบริเวณด้านท้องและด้านหลังในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ดังแสดงใน Figure 13(A-B) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากในปลาแซลมอนมีโปรตีนครัสตาไชยานิน (crustacyanin) องค์ประกอบภายในโมเลกุลนี้จะมีรงควัตถุสีแดงชื่อ แอสตาแซนทิน (astaxanthin) เป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) การเกาะกันระหว่างโปรตีนและรงควัตถุนี้ทำให้เป็นโปรตีนเชิงซ้อน (carotenoprotein) จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นในช่วงแสงสีเขียว-ดำในสัตว์ทะเล (Ytrestoyl *et al.*, 2005) เพื่อให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมและลดความเสี่ยงในการถูกจับไปเป็นอาหาร และการมีแอสตาแซนทินจะมีผลต่อการเจริญของสัตว์นั้น ๆ เมื่อได้รับความร้อน โปรตีนเชิงซ้อนนี้จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denature) โปรตีนเกิดการคลายตัว แอสตาแซนทินซึ่งจับกับครัสตาไชยานินหลุดออกมาเป็นอิสระ ส่งผลให้หลังได้รับความร้อนและเก็บรักษาเป็นเวลานาน หนังปลาแซลมอนจึงมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น (Henmi *et al.*, 1990) และสภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยค่า a^* ของหนังปลาแซลมอนทอดที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนส่วนหลังมีค่าอยู่ในช่วง 0.24-0.45 และส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 1.24-1.61 และหนังปลาแซลมอนทอดชุดควบคุม ส่วนหลังมีค่าอยู่ในช่วง 0.24-0.48 และส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 1.23-1.71 หนังปลาแซลมอนส่วนท้องมีค่า a^* สูงกว่าหนังปลาแซลมอนในส่วนหลัง เนื่องจากหนังปลาแซลมอนส่วนท้องมีลักษณะบางเมื่อได้รับความร้อนการส่งผ่านความร้อนง่ายกว่าส่งผลให้โปรตีนมีการเสียสภาพมากกว่าหนังปลาในส่วนหลังซึ่งมีลักษณะหนา ค่า a^* ส่วนท้องของหนังปลาแซลมอนจึงมีค่าสูงกว่าส่วนหลัง

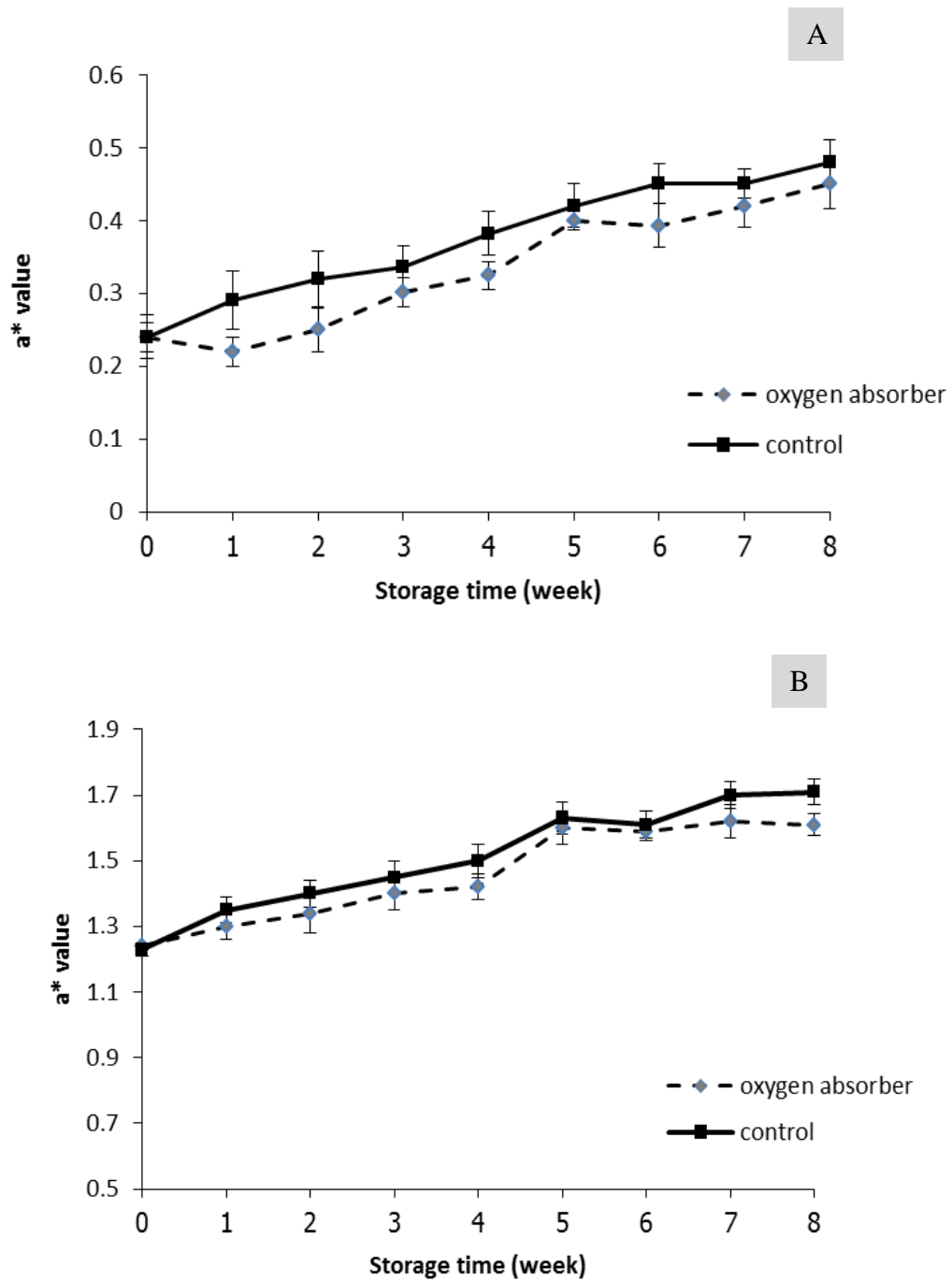


Figure 13. Changes in a^* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin

ค่า b^*

ค่า b^* เป็นค่าบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของหนังปลาแซลมอนทอดบริเวณด้านท้องและด้านหลังระหว่างการเก็บรักษา ที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ดังแสดงใน Figure 14(A-B) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในช่วง 5 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งค่า b^* ของหนังปลาแซลมอนทอดส่วนหลังที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีค่าอยู่ในช่วง 4.54-7.52 และหนังส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 8.05-11.02 ส่วนหนังปลาแซลมอนทอดชุดควบคุมหนังส่วนหลังมีค่า b^* อยู่ในช่วง 4.53-10.00 และหนังส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 8.05-13.50 เนื่องจากหนังปลาแซลมอนทอดมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Jan and Asbjorn, 2007) ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย (Jian *et al.*, 2011) ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างโปรตีนและไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีเข้มขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลงและเพิ่มค่าความเป็นสีเหลือง (Labuza *et al.*, 1994, Tananuwong and Tewaruth, 2010)

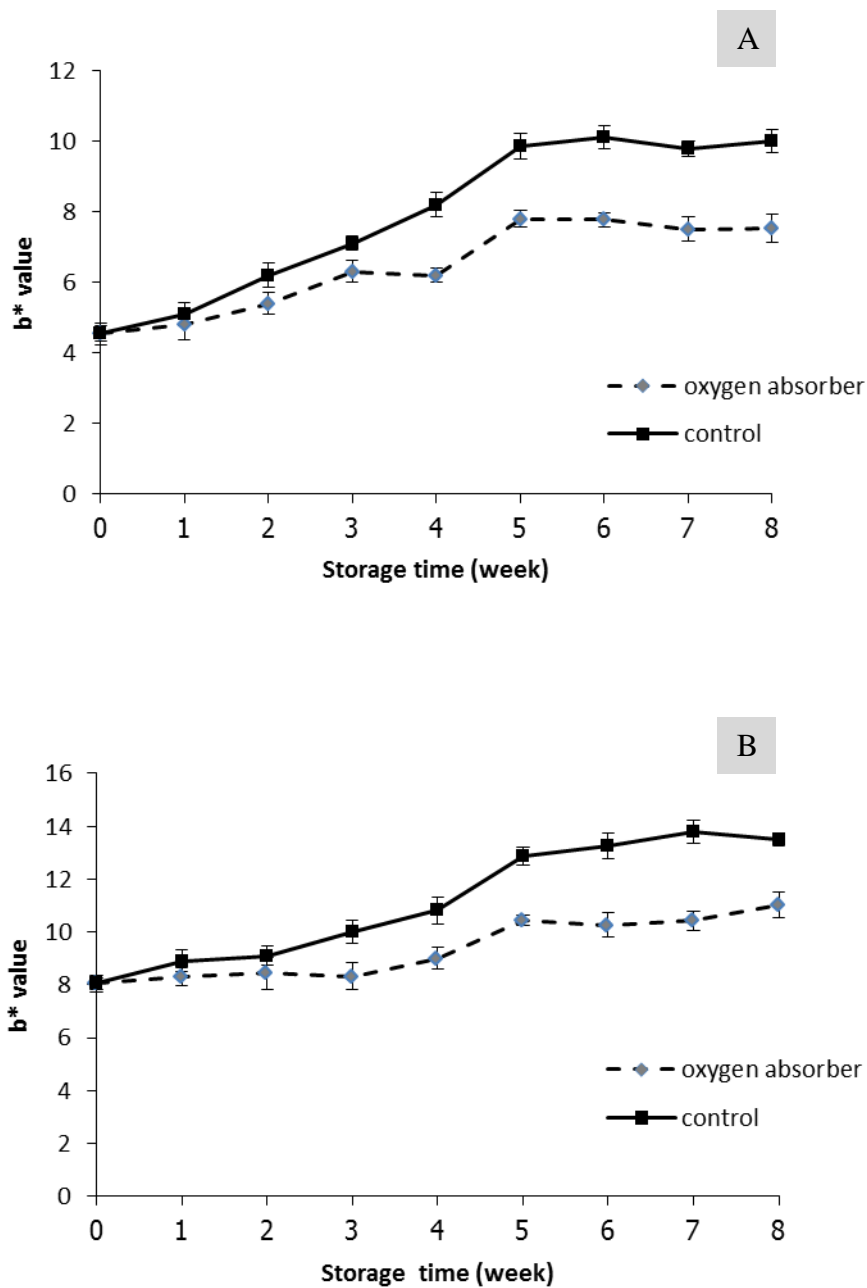


Figure 14. Changes in b^* value of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$): (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin

ค่า TBARS

ค่า TBARS เป็นดัชนีบ่งบอกถึงการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง จากผลการทดลองผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม พบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษาค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมมีค่า TBARS สูงกว่า ตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Figure 15 โดยตัวอย่างชุดควบคุมมีค่า TBARS เริ่มต้นเท่ากับ 3.04 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่า TBARS เท่ากับ 5.89 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีค่า TBARS เริ่มต้นเท่ากับ 3.04 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหลังการเก็บรักษา ในสัปดาห์ที่ 4 และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่า TBARS เท่ากับ 4.50 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุม สูงกว่าค่า TBARS ของตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากหนังปลาแซลมอนมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Jan and Asbjorn, 2007) และชุดควบคุมไม่มีการเติมสารดูดซับออกซิเจนภายในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้มีออกซิเจนเหลืออยู่ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ของไขมันภายในผลิตภัณฑ์ โดยพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจับกับออกซิเจน เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ซึ่งได้จากการวัด ปริมาณสาร secondary oxidation ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยเน้นแอลดีไฮด์ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่งคือ มาลอนแอลดีไฮด์ (MA) เป็นหลัก (Hamilton, 1994; Marzena and Mirosława, 2005) ผลิตภัณฑ์หนังปลาทอดกรอบที่สภาวะการเก็บรักษา ทั้ง 2 สภาวะยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม สำหรับอาหารทั่วไป (Shamburger *et al.*, 1977)

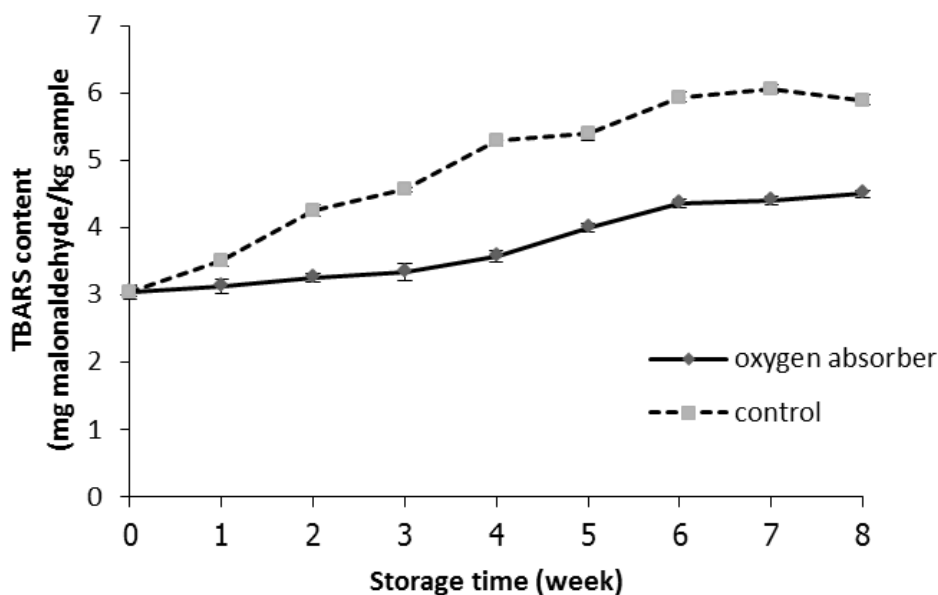


Figure 15. Changes in TBARS content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)

คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของหนังปลาแซลมอนทอดที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงที่ Table 14 จากการทดลองพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดมีค่าน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนปริมาณยีสต์และรามีน้อยกว่า 30 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของหนังปลากรอบ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มพข 316/2547) ผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ เนื่องจาก หนังปลาแซลมอนผ่านการอบแห้งที่ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ส่งผลให้ความร้อนทำลายเชื้อจุลินทรีย์ลงและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดที่สภาวะการบรรจุสาร

ดูดซับออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.257–0.276 และหาค่าควบคุมอยู่ในช่วง 0.256 – 0.279 (Figure 9) ซึ่งค่า a_w ในช่วงนี้ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม ของหนังปลาแซลมอนทอดบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและหาค่าควบคุมในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่าคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏของหนังปลาแซลมอนทอดที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับความชื้นระหว่างการเก็บรักษามีค่าอยู่ระหว่าง 5.2-7.6 และหาค่าควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.2-7.5 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 15 เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์ ตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุสารดูดซับออกซิเจน มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่หนังปลาแซลมอนทอดหาค่าควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีสีคล้ำขึ้นและมีกลิ่นหืน เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาค่าสีของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและหาค่าควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบทางด้านสีของตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะการบรรจุปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.6-7.7 และหาค่าควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.1-7.6 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 15 พบว่าที่สภาวะการบรรจุที่มีสารดูดซับออกซิเจนและระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลต่อคุณลักษณะค่าสีของหนังปลาแซลมอนทอดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องค่าสีที่วัดได้ ซึ่งสภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษายังส่งผลต่อค่าสี a^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นเมื่อประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในด้านสีของตัวอย่างที่เก็บรักษาโดยการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมากกว่าหนังปลาแซลมอนทอดหาค่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 15

การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนทอดที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและหาค่าควบคุมระหว่างการเก็บรักษา พบว่าคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นของตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.4-7.7 และหาค่าควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 3.9-7.7 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 15 โดยคะแนน

ความชอบด้านกลิ่นมีแนวโน้มลดลงมากในตัวอย่างชุดควบคุม สอดคล้องกับ ค่า TBARS ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งค่า TBARS เป็นค่าตรวจวัดปริมาณมาลอนแอลดีไฮด์ ที่เกิดขึ้น จากการแตกตัวของเพอร็อกไซด์โดยเน้นแอลดีไฮด์ เนื่องจากสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน ในผลิตภัณฑ์ทอด (Killncceker *et al.*, 2009) ดังนั้นเมื่อประเมินคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่มีการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมากกว่าหนึ่งปลาแซลมอนทอดชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์หนึ่งปลาแซลมอนทอดในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าคะแนนความชอบทางด้านรสชาติ ของตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.2-7.4 และชุดควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.4 -7.4 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 15 โดยตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนได้รับคะแนนความชอบทางด้านรสชาติสูงกว่าหนึ่งปลาแซลมอนทอดชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์ ตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์หนึ่งปลาแซลมอนทอดในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบทางด้านความกรอบของหนึ่งปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.3-7.8 และชุดควบคุมมีคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 5.4-7.6 ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบทางด้านความกรอบของหนึ่งปลาแซลมอนทอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุมมีค่าแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ดังแสดงใน Figure 11 เนื่องจากค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นแสดงถึงความแข็งและความเหนียวมากขึ้น และความกรอบลดลง (Kulchan *et al.*, 2010)

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์หนึ่งปลาแซลมอนทอดในระหว่างการเก็บพบว่า คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 5.6-7.7 และชุดควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.2-7.5 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 15 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างชุดควบคุมมีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ จากการทดสอบคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ทางด้านต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ลักษณะ

ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของหนังปลาแซลมอนทอด พบว่า การบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนสามารถเก็บรักษาหนังปลาได้ 6 สัปดาห์

Table 14. Total viable count, yeast and mold count of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature (30±2°C)

Condition	Type of microbial	Storage time (week)							
		0	1	2	4	5	6	7	8
Oxygen absorber	TVC (cfu/g)	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	Yeast and mold (cfu/g)	<10	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Control	TVC (cfu/g)	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	Yeast and mold (cfu/g)	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30

Table15. Changes in sensory score of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C) evaluated by 30 panelists using 9-point hedonic scale

Storage time (week)	Attribute											
	Appearance		Color		Odor		Taste		Crispiness		Overall	
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C
0	7.6±0.7 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	7.4±0.7 ^{Aa}	7.4±0.8 ^{Aa}	7.7±0.8 ^{Aa}	7.7±0.8 ^{Aa}	7.3±0.8 ^{Aa}	7.4±0.7 ^{Aa}	7.8±0.8 ^{Aa}	7.8±0.7 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	7.4±0.8 ^{Aa}
1	7.4±0.5 ^{Aa}	7.4±0.8 ^{Aa}	7.5±0.6 ^{Aa}	7.4±0.6 ^{Aa}	7.5±0.6 ^{Aa}	7.4±0.6 ^{Aa}	7.4±0.5 ^{Aa}	7.2±0.8 ^{Aa}	7.4±0.6 ^{Aa}	7.7±0.6 ^{Aa}	7.5±0.8 ^{Aa}	7.2±0.6 ^{Aa}
2	7.2±0.6 ^{Aa}	6.7±0.5 ^{Aa}	7.7±0.9 ^{Aa}	7.6±0.6 ^{Aa}	7.6±0.5 ^{Aa}	6.8±0.8 ^{Aa}	7.4±0.8 ^{Aa}	6.7±0.5 ^{Aa}	7.8±0.8 ^{Aa}	7.5±0.5 ^{Aa}	7.7±0.7 ^{Aa}	7.5±0.6 ^{Aa}
3	7.4±0.5 ^{Aa}	6.8±0.6 ^{Aa}	7.3±0.5 ^{Aa}	6.9±0.7 ^{Aa}	7.4±0.7 ^{Aa}	6.7±0.7 ^{Aa}	7.4±0.2 ^{Aa}	5.4±0.5 ^{Bb}	7.7±0.7 ^{Aa}	7.6±0.7 ^{Aa}	7.3±0.5 ^{Aa}	6.7±0.9 ^{Aa}
4	7.5±0.7 ^{Aa}	5.5±0.6 ^{Bb}	7.6±0.6 ^{Aa}	5.1±0.5 ^{Bb}	7.5±0.5 ^{Aa}	5.0±0.8 ^{Bb}	7.4±0.8 ^{Aa}	5.5±0.6 ^{Bb}	7.6±0.8 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	7.6±0.6 ^{Aa}	5.2±0.5 ^{Bb}
5	6.5±0.4 ^{Aa}	5.5±0.5 ^{Bb}	6.8±0.5 ^{Aa}	5.6±0.6 ^{Bb}	7.6±0.5 ^{Aa}	4.7±0.6 ^{Bb}	6.8±0.5 ^{Aa}	5.5±0.5 ^{Bb}	7.7±0.5 ^{Aa}	7.5±0.6 ^{Aa}	6.8±0.5 ^{Aa}	5.6±0.6 ^{Bb}
6	6.6±0.6 ^{Aa}	4.4±0.5 ^{Bb}	6.6±0.6 ^{Aa}	5.4±0.5 ^{Bb}	6.9±0.5 ^{Aa}	4.5±0.6 ^{Bb}	7.0±0.8 ^{Aa}	4.4±0.5 ^{Bb}	7.4±0.6 ^{Aa}	6.8±0.5 ^{Aa}	6.9±0.6 ^{Aa}	5.4±0.7 ^{Bb}
7	5.3±0.7 ^{Bb}	4.2±0.6 ^{Bb}	5.5±0.5 ^{Bb}	5.1±0.5 ^{Bb}	5.4±0.2 ^{Ba}	4.7±0.8 ^{Bb}	5.2±0.6 ^{Ba}	N	5.3±0.6 ^{Bb}	5.5±0.6 ^{Bb}	5.6±0.5 ^{Bb}	5.2±0.5 ^{Bb}
8	5.2±0.5 ^{Bb}	4.5±0.7 ^{Bb}	5.6±0.7 ^{Bb}	5.4±0.8 ^{Bb}	5.5±0.7 ^{Ba}	3.9±1.0 ^{Bb}	5.4±0.7 ^{Ba}	N	5.4±0.8 ^{Bb}	5.4±0.5 ^{Bb}	5.6±0.7 ^{Bb}	5.2±0.8 ^{Bb}

Remark: ^{A-B} Mean within columns with different letters are significantly difference (p<0.05).

^{a-b} Mean within rows with different letters are significantly difference (p<0.05).

O = Oxygen absorber, C = Control, N = No test

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบด้วยไมโครเวฟระหว่างการเก็บรักษา

ค่าความชื้นและ a_w

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบด้วยไมโครเวฟ พบว่า ความชื้นของหนังปลาแซลมอนไมโครเวฟที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน อยู่ในช่วงร้อยละ 2.35 – 2.47 และหาคความคมอยู่ในช่วงร้อยละ 2.35 - 2.49 ดังแสดงใน Figure 16 ซึ่งความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า a_w พบว่าหนังปลาแซลมอนอบกรอบด้วยไมโครเวฟที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีค่า อยู่ในช่วง 0.264 – 0.282 และหาคความคมอยู่ในช่วง 0.265 – 0.285 ดังแสดงใน Figure 17 สอดคล้องกับผลการทดลองของ พรชัย ราชตะนะพันธ์ และ วิรงรอง ทองดีสุนทร (2546) ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บข้าวซ้อมมือโดยใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และสารดูดกลิ่นออกซิเจน พบว่า ในการเก็บรักษาสภาวะที่บรรจุสารดูดซับออกซิเจนและไม่บรรจุสารดูดซับออกซิเจน ค่า a_w มีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ ค่อนข้างคงที่ โดยสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของข้าวซ้อมมือ (Modi *et al.*, 2006) ตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน และหาคความคมมีค่าความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาเก็บรักษาเป็นถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ไขมันและการส่องผ่านของแสง (Jena and Das, 2012) ทั้งนี้ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของหนังปลาแซลมอนอบกรอบทั้งสองสภาวะ เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของหนังปลากรอบ ซึ่งกำหนดให้ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (มผช.316/2547)

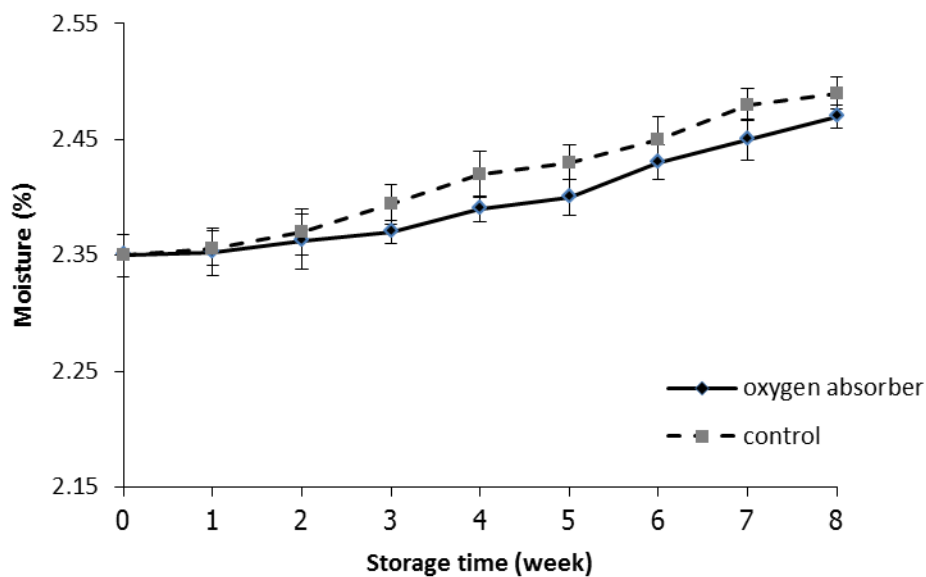


Figure 16. Changes in moisture content of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)

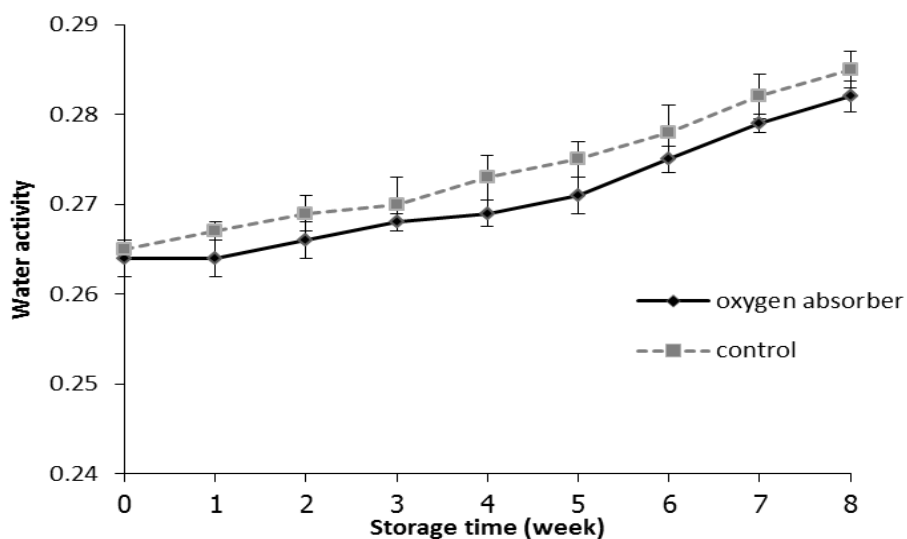


Figure 17. Changes in water activity of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)

ค่าแรงกด

จากการวิเคราะห์ค่าแรงกดของหนังปลาแซลมอนอบกรอบในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อค่าแรงกดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าแรงกดของหนังปลาแซลมอนอบกรอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีค่าอยู่ในช่วง 315.16 – 361.89 กรัม และชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 313.49–370.14 กรัม ดังแสดงใน Figure 18 เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและ ค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา เนื่องจากความชื้นและค่า a_w มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารขบเคี้ยว และมีผลโดยตรงต่อลักษณะความกรอบ โดยปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงกดสูงขึ้นทำให้ค่าความกรอบลดลง (Mazumder *et al.*, 2006; Siripatrawan and Jantawat, 2009)

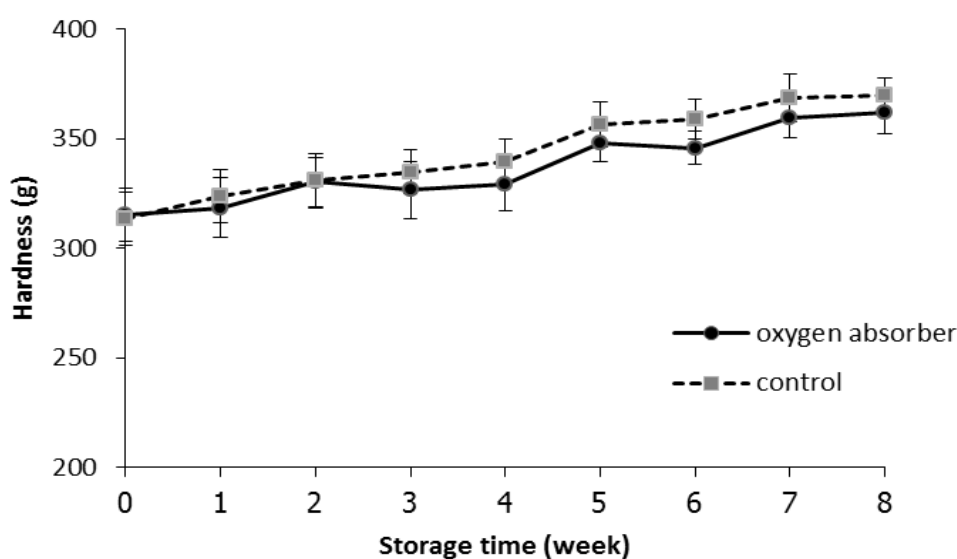


Figure 18. Changes in hardness of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and control condition during storage at room temperature ($30 \pm 2^\circ\text{C}$)

ค่าสี

ค่า L*

จากการวิเคราะห์ค่า L* ของหนังปลาแซลมอนอบบริเวณด้านท้องและด้านหลังที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงใน Figure 19 (A-B) พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของหนังปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา โดยค่า L* ของหนังปลาแซลมอนอบส่วนหลังอยู่ในช่วง 35.10-38.07 และส่วนท้องอยู่ในช่วง 49.74-54.35 ส่วนหนังปลาแซลมอนอบชุดควบคุม มีค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษา มีค่า L* ของหนังปลาด้านหลังอยู่ในช่วง 33.00-38.10 และด้านท้องอยู่ในช่วง 47.44-54.21 แสดงว่าหนังปลาแซลมอนอบชุดควบคุมมีสีคล้ำขึ้นกว่าชุดการทดลองที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน ทั้งนี้เนื่องจากชุดควบคุมไม่มีใช้สารดูดซับออกซิเจนและมีการบรรจุในสภาวะปกติส่งผลให้ไขมันในหนังปลาแซลมอนอบสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมักเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของเพอร์ออกไซด์และโปรตีน คาร์บอนิลที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากออกซิเดชันในน้ำมันปลา (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2548) ที่สามารถทำปฏิกิริยา Maillard reaction ต่อไปได้ ก่อให้เกิดสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ให้สีน้ำตาล (Labuza *et al.*, 1994)

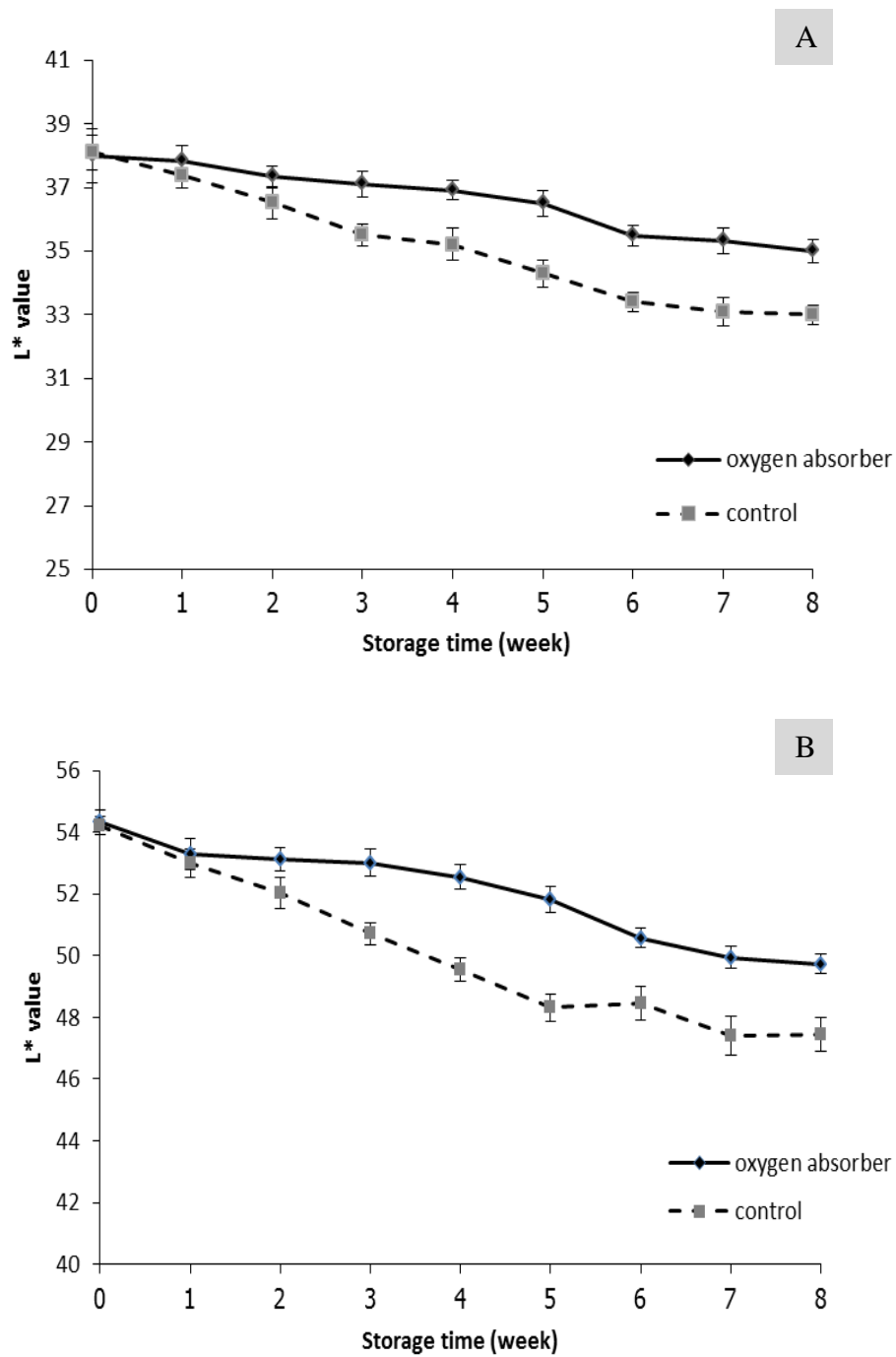


Figure 19. Changed in L* value of heated salmon skin by microwave packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin

ค่า a^*

จากการวัดค่า a^* ของหนังปลาแซลมอนอบบริเวณส่วนท้องและส่วนหลังบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์แบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม พบว่าค่า a^* ของหนังปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนบริเวณส่วนหลังมีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.69 และส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 1.32-1.59 และชุดควบคุม หนังปลาส่วนหลังมีค่าอยู่ในช่วง 0.48-0.75 และส่วนท้องมีค่าอยู่ในช่วง 1.32-1.64 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากหนังปลาแซลมอนได้รับความร้อนโดยการอบด้วยไมโครเวฟ ส่งผลให้โปรตีนเชิงซ้อน โปรตีนเชิงซ้อน (carotenoprotein) เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denature) โปรตีนเกิดการคลายตัว แอสตาแซนตินซึ่งจับกับครีตีนไซยานินในโปรตีนเชิงซ้อน โปรตีนเชิงซ้อน (carotenoprotein) หลุดออกมาเป็นอิสระ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน หนังปลาแซลมอนจึงมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น (Henmi et al., 1990) ดังแสดงใน Figure 20 (A-B)

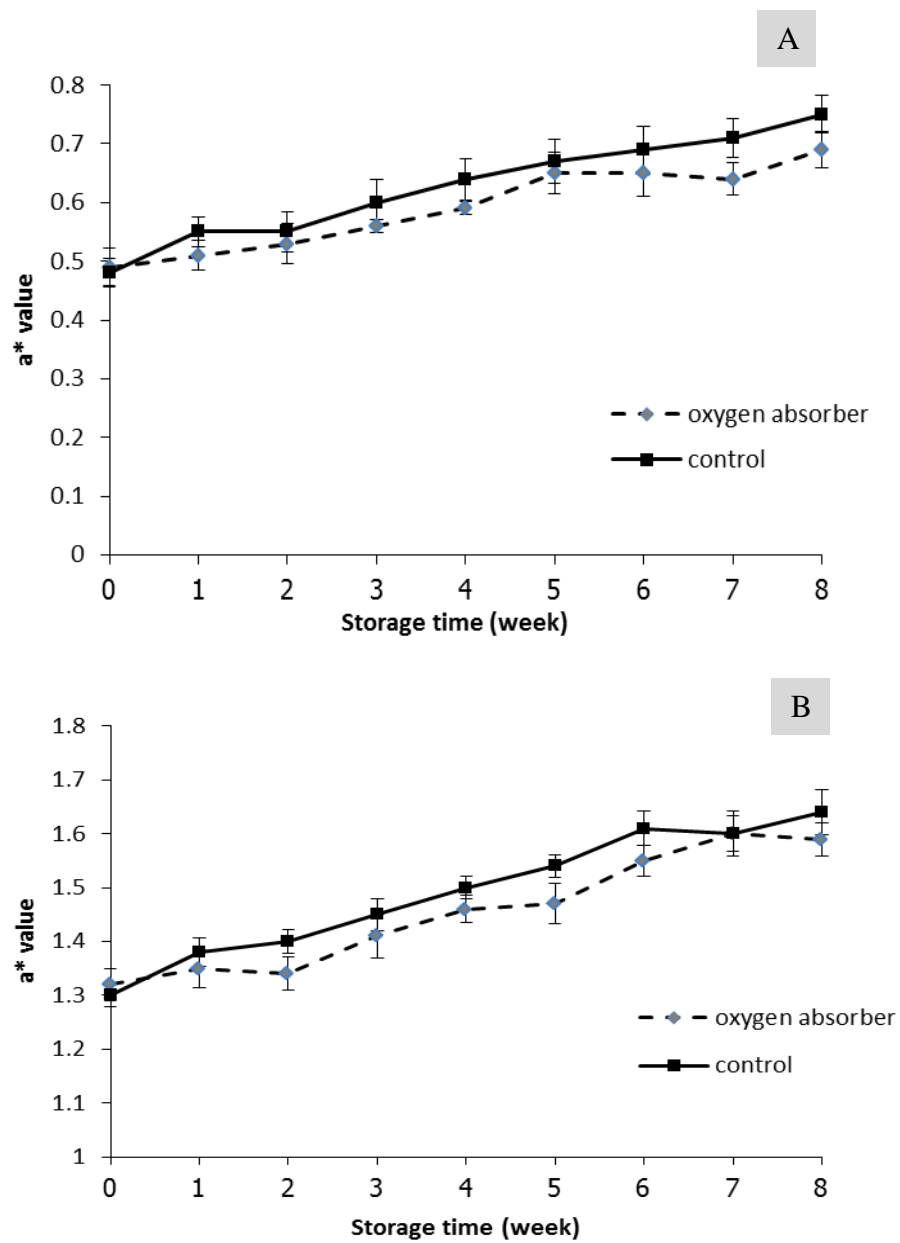


Figure 20. Changes in a^* value of heated salmon skin by microwave packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$).; (A) Dorsal skin and (B) Vental skin

ค่า b^*

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของหนังปลาแซลมอนอบบริเวณด้านท้องและหลังระหว่างการเก็บรักษา ภายใต้สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ดังแสดงใน Figure 21 (A-B) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งค่า b^* ของหนังปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนบริเวณส่วนหลังอยู่ในช่วง 3.54-6.43 และส่วนท้องอยู่ในช่วง 7.05-9.21 และหนังปลาแซลมอนอบชุดควบคุมมีค่า b^* ของหนังส่วนหลังอยู่ในช่วง 3.53-8.60 และหนังส่วนท้องอยู่ในช่วง 7.05-12.08 เนื่องจากหนังปลาแซลมอนมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Jan and Asbjorn, 2007) และผ่านการอบให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟสูงสุดถึง 800 วัตต์ ส่งผลให้ไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบในหนังปลาเกิดการสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ เมื่อผ่านการเก็บรักษาในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย (Jian *et al.*, 2011) ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างโปรตีนและไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นค่าความสว่างจึงลดลงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Labuza *et al.*, 1994) สอดคล้องกับผลการทดลองของ ประภัสสร เจริญกิจ (2555) ทำการศึกษาการเก็บรักษาข้าวพองด้วยไมโครเวฟจากข้าวสังข์หยด พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าความสว่างลดลงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น

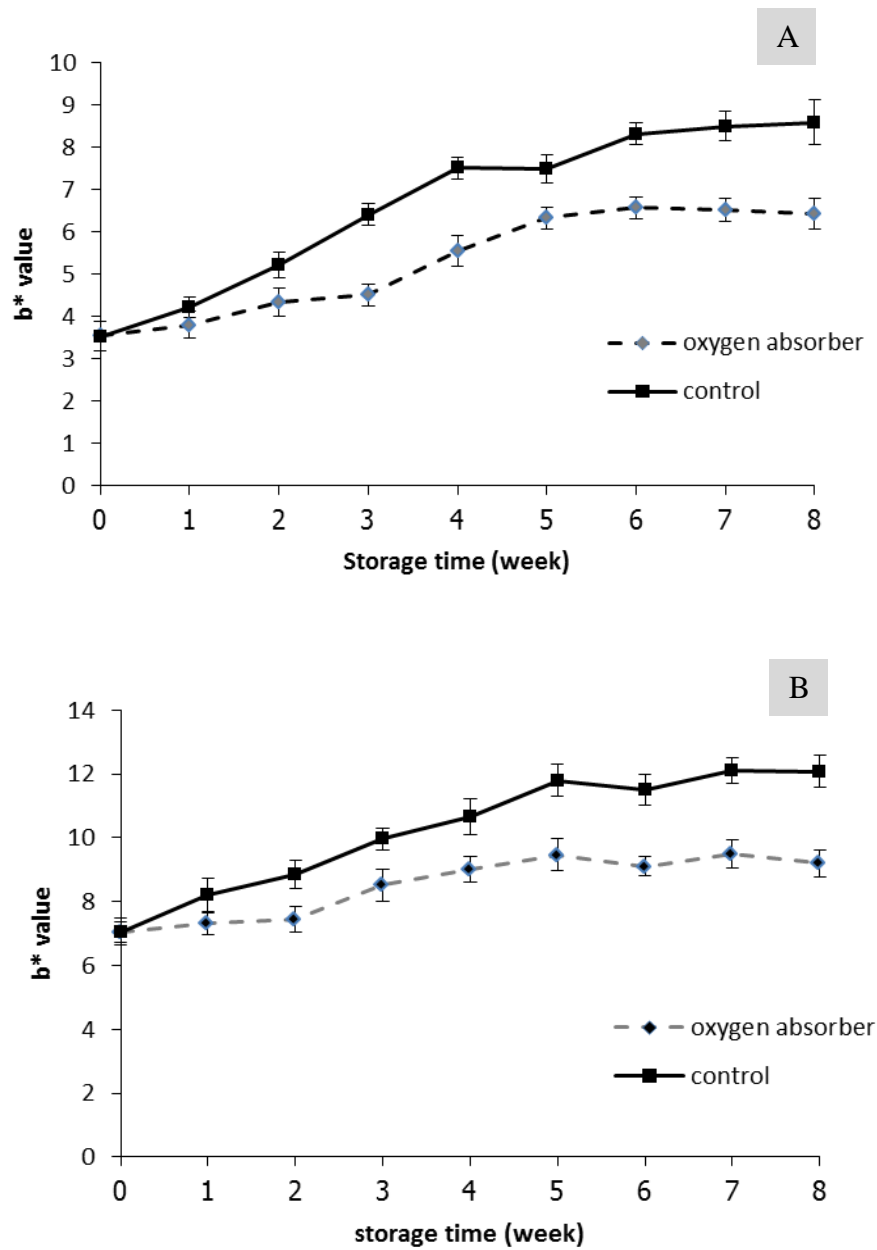


Figure 21. Changes in b* value of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$); (A) Dorsal skin and (B) Ventral skin

ค่า TBARS

จากผลการทดลองผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบกรอบบรรจุในถุง อลูมิเนียมฟอยล์ ที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม พบว่า ค่า TBARS ของตัวอย่างที่เก็บรักษาโดยไม่มีสารดูดซับออกซิเจน (ชุดควบคุม) มีค่า TBARS สูงกว่า ตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Figure 22 โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีค่า TBARS เริ่มต้นเท่ากับ 3.62 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง มีเนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีค่า TBARS เท่ากับ 4.88 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างชุดควบคุมมีค่า TBARS เริ่มต้นเท่ากับ 3.68 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง มีเนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีค่า TBARS เท่ากับ 6.45 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมสูงกว่าค่า TBARS ที่สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจาก หนังปลาแซลมอนมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Jan and Asbjorn, 2007) และผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไปสูงสุดเท่ากับ 800 วัตต์ ซึ่งการใช้ระดับกำลังไฟสูงส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Jucieli *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2013) และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมไม่มีการเติมสารดูดซับออกซิเจนภายในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้มีออกซิเจนเหลืออยู่ ซึ่งเป็นปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ภายในหนังปลา โดยพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจับกับออกซิเจน เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) ส่งผลให้ เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ซึ่งได้จากการวัด ปริมาณสาร secondary oxidation ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยเน้นแอลดีไฮด์ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่งคือ มาลอนแอลดีไฮด์ (MA) เป็นหลัก (Hamilton, 1994; Marzena and Mirosława, 2005) ผลิตภัณฑ์หนังปลาอบกรอบที่สภาวะการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะยังคงอยู่ในระดับไม่เกิน 20 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นเกณฑ์สำหรับอาหารทั่วไป (Shamburger *et al.*, 1977) จากการทดลองมีความสอดคล้องของ ผลการวัด ตั้งประดิษฐ์ (2545) ศึกษาสภาวะการบรรจุถั่วลิสงป่นอบ พบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงป่นอบโดยการบรรจุสภาวะไม่เติมสารดูดซับออกซิเจนในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ส่งผลให้ค่า TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาของสูงกว่าตัวอย่างที่บรรจุในสภาวะเติมสารดูดซับออกซิเจน

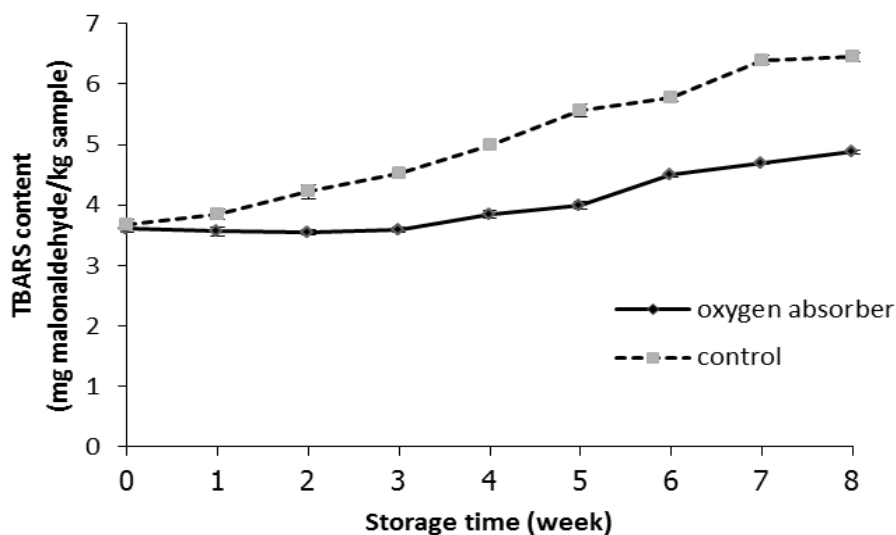


Figure 22. Changes in TBARS content of fried salmon skin packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)

คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของหนังปลาแซลมอนอบระหว่างเก็บรักษาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ดังแสดงที่ Table 14 จากการทดลองพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนปริมาณยีสต์และรามีน้อยกว่า 30 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ และชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ที่ 8 ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบมีค่า 3×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนปริมาณยีสต์และรามีน้อยกว่า 50 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ (Table 14) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของหนังปลากรอบ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มพช 316/2547)

ผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดอายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ เนื่องจาก หนังปลาแซลมอนผ่านการอบแห้งที่ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 900 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที ส่งผลให้ ความร้อนทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้ลดลงสอดคล้องกับค่า a_w ของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน อยู่ในช่วง 0.264–0.282 และชุดควบคุมอยู่ในช่วง 0.265–0.285 ซึ่งค่า a_w ในช่วงนี้ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ส่วนของปริมาณยีสต์และรา ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าไม่เกินกว่า 50 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เนื่องจากค่า a_w ที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และรา อยู่ในช่วง 0.6-0.9 (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549) ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบที่สภาวะการบรรจุสารดูดซับออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.264–0.282 และชุดควบคุมอยู่ในช่วง 0.265–0.285 ดังนั้นยีสต์และราจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม ของหนังปลาแซลมอนอบกรอบด้วยไมโครเวฟในระหว่างการเก็บรักษาที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ สภาวะการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและชุดควบคุม ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากร ภายในคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่า คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏของหนังปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนอยู่ระหว่าง 5.0-7.3 และชุดควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.2-7.3 ตามลำดับ โดยหนังปลาอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนความชอบสูงกว่าชุดควบคุม ดังแสดงใน Table 17 เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 5 สัปดาห์ ตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่หนังปลาแซลมอนอบชุดควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อผ่านไป 3 สัปดาห์

คะแนนความชอบสีของผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบ ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบทางด้านสี ที่เก็บรักษาของตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.4-7.3 และชุดควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.1-7.2 ตามลำดับ ดัง

แสดงใน Table 17 ซึ่งคะแนนความชอบด้านสีของหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 5 สัปดาห์ ในขณะที่หนังปลาแชลมนอบซูดควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ สอดคล้องกับผลการทดลองทางลักษณะทางกายภาพ โดยการวัดค่าสี พบว่า ตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนและซูดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* และค่า b^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี a^* ($p > 0.05$) จากการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านสีของตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุสารดูดซับออกซิเจนมากกว่าหนังปลาแชลมนอบซูดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หนังปลาแชลมนอบ ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ระหว่างการเก็บรักษาคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นของตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.0-7.1 และซูดควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 3.9-7.1 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 17 ซึ่งคะแนนความชอบด้านกลิ่นของหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 5 สัปดาห์ ในขณะที่หนังปลาแชลมนอบซูดควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ สอดคล้องกับ ผลการทดลองคุณลักษณะทางเคมี โดยการวัดค่า TBARS พบว่า สภาวะการบรรจุสารดูดซับออกซิเจนและระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Figure 22 ซึ่งค่า TBARS เป็นค่าตรวจวัดปริมาณมาลอน แอลดีไฮด์ ที่เกิดขึ้น จากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์โดยเน้นแอลดีไฮด์ เป็นสาเหตุของเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน (Jian *et al.*, 2011) เมื่อประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมากกว่าหนังปลาแชลมนอบซูดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในระยะการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ ซึ่งค่า TBARS ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

การเปลี่ยนแปลงด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์หนังปลาแชลมนอบในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบทางด้านรสชาติของตัวอย่างหนังปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.9-7.3 และซูดควบคุม มีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.5-7.3 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 17 พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติของหนังปลาแชลมนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บ

รักษา 5 สัปดาห์ ในขณะที่หนัปลาแซลมอนอบชุคควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านรสชาติ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์หนัปลาแซลมอนอบในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบด้านความกรอบของตัวอย่างหนัปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.3-7.5 และชุคควบคุม มีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.2-7.5 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 17 พบว่า คะแนนความชอบด้านความกรอบของหนัปลาแซลมอนอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ในขณะที่หนัปลาแซลมอนอบชุคควบคุม มีคะแนนความชอบทางด้านความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ สอดคล้องกับค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์ซึ่งพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลค่าแรงกดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นทำให้มีความเหนียวมากขึ้นความกรอบลดลง (Kulchan *et al.*, 2010)

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์หนัปลาแซลมอนอบในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า คะแนนความชอบทางความชอบโดยรวมของหนัปลาที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.3-7.3 และชุคควบคุมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.4-7.3 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 17 เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 5 สัปดาห์ ตัวอย่างหนัปลาอบที่บรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน มีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่หนัปลาแซลมอนอบชุคควบคุม มีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทางด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และ ความชอบโดยรวม พบว่า การเก็บรักษาหนัปลาอบโดยการบรรจุแบบปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าการบรรจุโดยไม่ใช้สารดูดซับออกซิเจน

Table 16. Total viable count and yeast and mold count of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal condition during storage at room temperature (30±2°C)

Condition	Type of microbial	storage time (week)							
		0	1	2	4	5	6	7	8
Oxygen absorber	TVC (cfu/g)	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	Yeast and mold (cfu/g)	<10	<10	<10	<30	<30	<30	<30	<30
Control	TVC (cfu/g)	<250	<250	<250	<250	<250	<250	<250	3×10 ²
	Yeast and mold (cfu/g)	<10	<10	<30	<30	<30	<30	<50	<50

Table 17. Changes in sensory score of heated salmon skin by microwave oven packed under atmospheric condition with oxygen absorber and normal conditions during storage at room temperature (30±2°C) evaluated by 30 panelists using 9-point hedonic scale

Storage time (week)	Attribute											
	Appearance		Color		Odor		Taste		Crispiness		Overall	
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C
0	7.1±0.7 ^{Aa}	7.2±0.7 ^{Aa}	7.0±0.8 ^{Aa}	7.0±0.6 ^{Aa}	7.0±0.6 ^{Aa}	7.1±0.7 ^{Aa}	7.3±0.8 ^{Aa}	7.3±0.7 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	7.3±0.7 ^{Aa}	7.3±0.6 ^{Aa}
1	7.3±0.5 ^{Aa}	7.3±0.8 ^{Aa}	7.1±0.6 ^{Aa}	7.2±0.6 ^{Aa}	7.1±0.7 ^{Aa}	6.9±0.6 ^{Aa}	7.2±0.5 ^{Aa}	7.2±0.7 ^{Aa}	7.4±0.6 ^{Aa}	7.4±0.6 ^{Aa}	7.2±0.7 ^{Aa}	7.2±0.7 ^{Aa}
2	7.2±0.6 ^{Aa}	7.1±0.5 ^{Aa}	7.1±0.8 ^{Aa}	7.1±0.6 ^{Aa}	6.9±0.5 ^{Aa}	6.9±0.7 ^{Aa}	7.1±0.8 ^{Aa}	7.0±0.5 ^{Aa}	7.5±0.8 ^{Aa}	7.4±0.8 ^{Aa}	7.1±0.6 ^{Aa}	7.0±0.6 ^{Aa}
3	7.0±0.5 ^{Aa}	6.9±0.5 ^{Aa}	7.3±0.5 ^{Aa}	6.9±0.7 ^{Aa}	7.1±0.7 ^{Aa}	6.8±0.6 ^{Aa}	7.2±0.6 ^{Aa}	5.4±0.7 ^{Bb}	7.3±0.6 ^{Aa}	7.3±0.7 ^{Aa}	7.0±0.5 ^{Aa}	6.7±0.8 ^{Aa}
4	7.0±0.7 ^{Aa}	5.3±0.8 ^{Bb}	7.0±0.6 ^{Aa}	5.1±0.5 ^{Bb}	7.0±0.5 ^{Aa}	5.0±0.8 ^{Bb}	7.0±0.8 ^{Aa}	5.5±0.6 ^{Bb}	7.4±0.8 ^{Aa}	7.5±0.7 ^{Aa}	6.8±0.6 ^{Aa}	5.2±0.5 ^{Bb}
5	6.5±0.4 ^{Aa}	5.6±0.5 ^{Bb}	6.9±0.6 ^{Aa}	5.6±0.6 ^{Bb}	6.9±0.5 ^{Aa}	4.7±0.6 ^{Bb}	6.8±0.5 ^{Aa}	4.5±0.5 ^{Bb}	7.5±0.6 ^{Aa}	7.5±0.5 ^{Aa}	6.9±0.5 ^{Aa}	5.1±0.6 ^{Bb}
6	5.4±0.6 ^{Ba}	4.4±0.5 ^{Bb}	5.5±0.6 ^{Ba}	4.4±0.5 ^{Bb}	5.8±0.5 ^{Bb}	4.5±0.6 ^{Bb}	4.9±0.8 ^{Bb}	N	7.4±0.5 ^{Aa}	5.3±0.5 ^{Bb}	5.3±0.6 ^{Bb}	5.0±0.7 ^{Bb}
7	5.0±0.6 ^{Bb}	4.2±0.6 ^{Bb}	5.5±0.5 ^{Bb}	4.5±0.5 ^{Bb}	5.4±0.6 ^{Ba}	4.7±0.8 ^{Bb}	N	N	5.2±0.9 ^{Bb}	5.5±0.6 ^{Bb}	5.6±0.5 ^{Bb}	4.4±0.5 ^{Bb}
8	5.1±0.5 ^{Bb}	4.3±0.6 ^{Bb}	5.4±0.7 ^{Bb}	4.1±0.7 ^{Bb}	5.0±0.7 ^{Ba}	3.9±1.0 ^{Bb}	N	N	5.4±0.8 ^{Bb}	5.4±0.5 ^{Bb}	5.6±0.7 ^{Bb}	4.3±0.8 ^{Bb}

Remark: ^{A-B} Mean within columns with different letters are significantly difference (p<0.05).

^{a-b} Mean within row with different letters are significantly difference (p<0.05).

O = Oxygen absorber, C = Control, N = No test

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. องค์ประกอบทางเคมีของหนังปลาแซลมอนประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 65.71 ปริมาณไขมัน ร้อยละ 2.55 และปริมาณโปรตีนร้อยละ 29.10 มีค่า TVB-N เท่ากับ 13.36 มิลลิกรัมในโตรเจน ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนปริมาณ TMA ไม่ตรวจพบ และค่า TBARS เท่ากับ 6.73 มิลลิกรัมมา ลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง
2. สภาพะที่ที่ดีที่สุดในการลดกลิ่นคาวในหนังปลาแซลมอน คือ การล้างหนังปลาแซลมอนด้วย สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (w/v) อัตราส่วนของหนังปลา 500 กรัม ต่อ สารละลายปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำอีก 4 ครั้ง ปริมาณ TVB-N ลดลงไป 4.55 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ค่า TBARS ลดลงไป 2 มิลลิกรัมมา ลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง
3. อุณหภูมิในการลวกหนังปลาแซลมอนก่อนการทอดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที พบว่า การลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที หนังปลาแซลมอนทอด มีอัตราการพองตัวดีที่สุด เท่ากับ 3.92, ความชื้นร้อยละ 2.334, ค่า a_w เท่ากับ 0.261 และค่าแรง กดเท่ากับ 268.67 กรัม
4. การลวกหนังปลาแซลมอนไม่ส่งผลต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอนอบด้วยเตาไมโครเวฟ ที่กำลัง 800 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที หนังปลาที่ไม่ผ่านการลวกเมื่อนำไปอบด้วยเตาอบ ไมโครเวฟ มีอัตราการพองตัวดีที่สุด เท่ากับ 2.50, ความชื้นร้อยละ 2.465, ค่า a_w เท่ากับ 0.294 และค่าแรงกดเท่ากับ 319.11 กรัม
5. อุณหภูมิในการทอดหนังปลาแซลมอนที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที หนัง ปลาแซลมอนทอด มีอัตราการพองมีอัตราการพองตัวดีที่สุด เท่ากับ 4.16, ความชื้นร้อยละ 2.270, ค่า a_w เท่ากับ 0.250 และค่าแรงกดเท่ากับ 222.11 กรัม

6. ระยะเวลาในการอบแห้งปลาแซลมอนด้วยไมโครเวฟ 30 วินาที ที่กำลังไฟ 800 วัตต์ เป็นระยะเวลาที่แห้งปลาแซลมอนอบ มีอัตราการพองมีอัตราการพองตัวดีที่สุด เท่ากับ 2.62, ความชื้นร้อยละ 2.473, ค่า a_w เท่ากับ 0.266 และค่าแรงกดเท่ากับ 304.89 กรัม
7. การเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แห้งปลาแซลมอนทอดกรอบ โดยบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ลามิเนตภายใต้สภาวะตัดแปลงอากาศ โดยการใช้ตัวดูดซับออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงค่า a_w , ความชื้น, ค่าสี L^* a^* และ b^* , ค่า TBARS และค่าแรงกด ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา ด้านประสาทสัมผัส คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมในทุกปัจจัยมีแนวโน้มลดลง โดยที่สภาวะบรรจุสารดูดซับออกซิเจนคะแนนการยอมรับลดลงหลังจากอายุการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์
8. การเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แห้งปลาแซลมอนอบกรอบ โดยบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ลามิเนตภายใต้สภาวะตัดแปลงอากาศ โดยการใช้ตัวดูดซับออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงค่า a_w , ความชื้น, ค่าสี L^* a^* และ b^* , ค่า TBARS และค่าแรงกด ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มผช 316/2547) ตลอดอายุการเก็บรักษา ด้านประสาทสัมผัส คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมในทุกปัจจัยมีแนวโน้มลดลง โดยที่สภาวะบรรจุสารดูดซับออกซิเจนคะแนนการยอมรับลดลงหลังจากอายุการเก็บรักษาผ่านไป 5 สัปดาห์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาปริมาณต่อครั้งในการอบแห้งปลาแซลมอนด้วยเตาอบไมโครเวฟเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้การพองตัวของหนังปลาสม่ำเสมอและประหยัดพลังงาน
2. ควรมีการศึกษาการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับช่วยในการพองตัวในการอบแห้งปลาแซลมอนด้วยเตาอบไมโครเวฟโดยเฉพาะ เพื่อให้หนังปลาอบมีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น
3. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาหนังปลาแซลมอนแห้งถึงสำเร็จรูปเพื่อศึกษาช่วยยืดอายุในการเก็บรักษา
4. หากมีการผลิตหนังปลาแซลมอนกรอบ ในขั้นตอนการลดความชื้นด้วยการอบแห้งไม่ควรเก็บหนังปลาแซลมอนแห้งไว้นานเกินไปเนื่องจากหนังปลาแซลมอนประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงทำให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง: ประเภทปลา. สืบค้นจาก: www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName=fish.pdf. (5 พฤษภาคม 2554)
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารไทย ปี 2557. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: dip.go.th/Portals/0/Tipmontha/eJournal/march_april2014.pdf (6 เมษายน 2557)
- จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย. 2550. ผลของสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคูต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นฤพร เฟื่องฟูง. 2552. ผลของวิธีการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของใบมะกรูดในระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 16-17. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนปนนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจारी. 2547. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. ทริโอ แอดเวอร์ไทซิ่งแอนมีเดีย. เชียงใหม่.
- ปกรณ์พรรณณ เฝือกสวัสดิ์. 2545. กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประภัสสร เจริญกิจ. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ปรุงรสน้ำด้วยปลาทุแวกหอยโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟในการทำแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- ผกาดี ตั้งประดิษฐ์. 2545. การพัฒนากระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงป่นเพื่อการค้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พันธิพา จันทวัฒน์ ณรงค์ นิยมวิทย์ และ ธเนศ แก้วกำเนิด. 2532. การลดความชื้นเพื่อป้องกันการติดกันของหนังสือระหว่างการทอด. ว. อาหาร. 19: 75-78.

พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และ วิริงรอง ทองดีสุนทร. 2550. การยืดอายุการเก็บข้าวซ้อมมือโดยใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ และสารดูดกลิ่นออกซิเจน. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 38 : 229-233.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. หนังสือปกกรอบ.(ออนไลน์). สืบค้นจาก :

http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps316_47.pdf (18 ธันวาคม 2556)

รัชนี ตันทะพานิชกุล. 2542. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนส โตร์. กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา วิสิษฐุศรการ. 2540. เอกสารประกอบการสอน. การประเมินคุณภาพอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วารวิชนี ลอปกุลเกียรติ. 2551. ผลของปัจจัยในการทอดและการผลิตเพดเลตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วารุณี สุวรรณจงสถิต. 2546. การปรับปรุงกรรมวิธีการทอดและอายุการเก็บรักษาของพลาสติกเค็มทอดกรอบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจิตรา เหลียวตระกูล. 2546. การแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไม่โครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.บริษัท แท้กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.

วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. 2540. การผลิตเจลาตินจากหนังสือปกกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรพงษ์ นลินานนท์. 2545. การกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ลีนินาถ สุขไกว. 2554. การผลิตเจลาตินและเจลาตินไฮโดรไลสจากหนังปลาสำหรับการพัฒนาเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทรวัดน์ เบญจกุล. 2544. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนหนังปลากรอบ. มผช. 316/2547. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- อรทัย บุญทะวงศ์, ลินดา จินดาการ และนภสร ชัยเจริญ. 2548. การผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบ. รายงานการวิจัยสนับสนุนการวิจัยโดยสำนักงานสนับสนุนการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง.
- อรทัย บุญทะวงศ์ และกมลรัตน์ ครุฑา. 2549. แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ. รายงานการวิจัยสนับสนุนการวิจัยโดยสำนักงานสนับสนุนการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง.
- อัจฉรา ชนะประสิทธิ์. 2541. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Adedeji, A. A., Liu, L. and Ngadi, M. O. 2011. Microstructural evaluation of deep-fat fried chicken nugget batter coating using confocal laser scanning microscopy. *J. Food Eng.* 102: 49–57.
- Aidos, I., Padt, A., Boom, R. M. and Luten, J. B. 2003. Quality of crude fish oil extracted from herring by-products of varying states of freshness. *J. Food Sci.* 68: 458-465.
- Alberta, N. A. and Benjamin K. 2009. Comparative studies on the yield and quality of solvent-extracted oil from salmon skin. *J. Food Eng.* 92: 353–358.
- Anon. 1996. Texture analysis for extruded products. *Extrusion Communique Bio-Monthly*. April: 18-21.
- A.O.A.C. 2000. *Official Methods of Analysis*, 17th ed. Association of Official Chemists. Gaithersberg.

- Archer, M. 2001. Fish Waste Production in the United Kingdom: The Quantities Produced and opportunities for Better Utilisation. Seafish Report Number SR537.
- Arimi, J. M., Duggan, E., Riordan, E. D., Sullivan, M. and Lyng, J. G. 2008. Microwave expansion of imitation cheese containing resistant starch. *J. Food Eng.* 88: 254-262.
- Ashton, I. P. 2002. Safety and quality issues in fish processing. *In Understanding Lipid Oxidation in Fish.* (Bremner, H. A., ed.), p. 254-286. Woodhead. Cambridge. UK.
- BAM. 2001. Bacteriological analytical manual. *In FDA Bacteriological Analytical Manual* (Online). Available: http://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/_ucm2006949.htm. (3 June 2012)
- Bonifer, L. J., Froning, G. W., Mandigo, R. W., Cuppett, S. L. and Meagher, M. M. 1996. Textural, color, and sensory properties of bologna containing various levels of washed chicken skin. *Poultry Sci.* 75: 1047–1055.
- Cheow, C. S., Kyaw, Z. Y., Norizah, M. S. and Howell, N. K. 2007. Preparation and characterisation of fish skin gelatin from sin croaker and sianidae. *Food Chem.* 101: 386–391.
- Colombo, J., Shaddy, D. J., Anderson, C. J., Blaga, O. M., Kannass, K. N. and Kundurthi, S. 2006. Maternal DHA and the development of attention in infancy and toddlerhood. *Child Develop.* 75: 1254–1267.
- Cui, F. X., Xue, C. H., Li, Z. J., Zhang, Y. Q., Dong, P. and Fu, X. Y. 2007. Characterization and subunit composition of collagen from the body wall of sea cucumber *Stichopus japonicus*. *Food Chem.* 100: 1120–1125.
- Datta, A. K. and Anantheswaran, R. C. 2001. Fundamentals of heat and moisture transport for microwaveable food product and product development. *In Handbook of Microwave Technology for Food Application.* (Datta, A. K. and Anantheswaran, R. C., ed.) Marcel Dekker. New York.

- Decareau, R. V. 1985. Microwave in the food processing industry. Orlando. USA.
- Decareau, R. V. 1992. Microwave Foods. *In* New Product Development. Food and Nutrition Press, Inc. Connecticut. New York. USA.
- Dugan, L. R. 1976. lipid. *In* Principle of Food Science, Part I. (Fennema, O. R.. ed.). Marcal Dekker, Inc. New York.
- Egan, H., Klrk, R. S. and Sawyer, R. 1981. Pearson' Chemical Analysis of Food. 18th ed. Churchillm Livingstone. Edinburg.
- Emblem, A. 2000. Predicting packaging characteristics to improve shelf-life. *In* The Stability and Shelf-life of Food. (Kilcast, D., Subramaniam, P., ed.). p. 145–170. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. England.
- Fanbin, K., Juming, Tang. And Barbara R. 2007. Quality changes of salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) muscle during thermal processing J. Food Sci. 72: 103–111.
- Foegeding, E.A., Lanier, T.C. and Hultin, H.O. 1996. Collagen. *In* Food Chemistry 3rd ed. (Fennema, O.R., ed) p. 902-906. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Fonkwe, L. G. and Singh, R. K. 1997. Production and characterization of gelatinous protein extracts from turkey deboner residue. Proc. Biochem. 32: 309-318.
- Ganeko, N., Shoda, M., Hirohara, I., Bhadra, A., Ishida, T., Matsuda, H., Takamura, H. and Matoba, T. 2008. Analysis of volatile flavor compounds of sardine (*Sardinops melanostica*) by solid phase microextraction. J. Food Sci. 73: 83-88.
- Gomez-Guillen, M. C., Gimenez B., Lopez-Caballero M. E., Montero, M. P. 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative. Food Hydrocolloid. 16: 1-15.

- Gomez-Guillen, M. C., Turnay, J., Fernandez-Duaz, M. D., Ulmo, N., Iizarbe, M. A. and Montero, P. 2002. Structure and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocolloid*. 16: 25–34.
- Gomez–Guillen, M. C., Gimenez, B. and Montero, P. 2005. Extraction of gelatin from fish skins by high pressure treatment. *Food Hydrocolloid*. 19: 923–928.
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S. and Gontard, N. 2003. Modelling of moisture transfer in a composite food: dynamic water properties in an intermediate aw porous product in contact with high aw filling. *Trans IChemE*. 81: 1090-1098.
- Hamilton, R. J. 1994. The chemistry of rancidity in foods. *In Rancidity in Foods*. 3rd ed. (Allen, J. C. and Hamilton, R. J.). Blakie Academic and Professional. Glasgow.
- Hari, P., Sutarjo, S. and Toni, M. 2003. Study on the effect of citric acid and sodium chloride on shredded tuna (*Thunus albacares*) meat (Abon Tuna). *Indonesia Food and Nutrition Progress*. 10: 13-18.
- Hasegawa, H. 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Marine Fisheries Research Department. SEAFDEC. Singapore.
- Heldman, D. R. and Singh, R. P. 1981. *Food Process Engineering* 2nd ed. The AV Publishing Company, Inc. New York.
- Henmi, H., Hata, M. and Hata, M. 1990. Combination of astaxanthin and canthaxanthin with fish muscle actomyosin associated with their surface hydrophobicity. *Nippon Suisan Gakk.* 56: 1821–1823.
- Henry, S., Johnny, W., Amos, N. and Joshua, M. 1995. Modelling deformation and flow during vapor-induced puffing. *J. Food Eng.* 25: 329–372.
- Hultin, O. H. 1976. *Principle of Food Science*. Marcel Dekker, Inc. New York.

- Jadhav, S. J., Nimbalkar, S. S., Kulkarni, A. D. and Madhavi, D. L. 1995. Lipid Oxidation in Biological and Food Systems. *In* Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives. (Madhavi, D.L., Deshpande, S.S. and Salunkhe D.K., ed.). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Jan, A. A. and Asbjorn G. 2007. Extraction and characterisation of gelatine from atlantic salmon (*Salmo salar*) skin. *Bio Technol.* 19: 53–57.
- Jena, S. and Das, H. 2012. Shelf life prediction of aluminum foil laminated polyethylene packed vacuum dried coconut milk powder. *J. Food Eng.* 108: 135-142.
- Jian, K., Brian P. L., Michael P. D., and Mary E. C . 2011. Control of lipid oxidation in extruded salmon jerky snacks. *J. Food Sci.* 76: 8-13.
- Johnson, A. H. and Peterson, M. S. 1974. Acidulants. *In* Encyclopedia of Food Technology. p 1–6. The AV Publishing Company, Inc. New York.
- Johnston-Bank, F. A. 1990. Gelatin. *In* Food Gels. (Harris, P., ed.). p. 233-289. Elsevier Applied Science. London.
- Josephson, D. B., Lindsay, R. C. and Stuber, D. A. 1984. Biogenesis of lipid-derived volatile aroma compounds in the emerald shiner (*Notropis atherinoides*). *J. Agric. Food Chem.* 32: 47–52.
- Jucieli, W., Vivian, C. B., Cristiane, R., Andre, M. V. and Tatiana, E. 2008. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets. *Food Chem.* 106: 140–146.
- Karim, A. A. and Bhat, R. 2009. Fish gelatin: properties challenges and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloid.* 23: 563-576.
- Katz, E. E. and Labuza, T. P. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. *J. Food Sci.* 46: 403-409.
- Kawahara, H. and Tanihata, T. 2005. Method for producing fish gelatin peptide. Patent, US 2005/0124034 A1.

- Kay, C. 2010. Oxygen scavenging packaging systems. *In Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. p. 1-3. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Khalid, I. S. 2007. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food Control*. 18: 566–575.
- Koizumi, C., Keiu, T. C. and Nonaka, J. 1979. Undesirable odor of cooked sardine meat. *Nippon Suisan Gkk*. 45: 1307–1312.
- Kramer, A., Solomos, T., Wheaton, F., Puri, A., Sirivicha, S., Lotem, Y., Fowke, M. and Ehrman, L. 1980. A gas-exchange process forextending the shelf life of raw foods. *Food Technol*. 34: 65-74.
- Kristinsson, H. G., Theodoure, A. E., Demir, N. and Ingadottir, B. 2005. A comparative study between acid-and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. *J. Food Sci*. 70: 298–306.
- Kulchan, R., Suppakul, P. and Boonsupthip, W. 2010. Texture of glassy tapioca-flourbased baked product as a function of moisture content. *In Water Properties in Food, Health, Pharmaceutical and Biological Systems*. (Sajjaanantakul, T., Lillford, P.J. and Charoenrein, S., ed.). Wiley Blackwell. New York.
- Labuza, T. P. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to deterioration of foods. *Food Technol*. 36: 66-74.
- Labuza, T. P. and Hyman, C. R. 1998. Moisture migration and control in multi-domain foods. *Trend Food Sci. Tech*. 9: 47–55.
- Labuza, T. P., Reineccius, G. A., Baynes, J. and Monnier, V. 1994. *The maillard reaction in food, nutrition and health*. Royal Chemical Society. London.
- Liu, Z., Zhou, J., Zeng, Y. and Ouyang, X. 2004. The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *J. Food Eng*. 65: 391-396.
- Lowe, B. 1937. *Experimental Cookery*. 3rd ed. The AVI publishing company, Inc. USA.

- Magnusson, H. and Martinsdottir, E. 1995. Storage quality of fresh and frozen-thawed fish in ice. *J. Food Sci.* 60: 273-278.
- Magnus, A. and Turid, M. 2012. Brines added sodium bicarbonate improve liquid retention and sensory attributes of lightly salted Atlantic cod. *J. Food Sci Technol.* 46: 196-202.
- Maisont, S. and Narkrugs, W. 2010. Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. *J. Kasetsart Nat. Sci.* 44: 251 – 261.
- Maria, R. P. T., Ana, P., Marco, S. C., Max, R. and Fabrice, V. 2008. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *J. Sci. Food Agric.* 88: 945–953.
- Marzena, D. O. and Miroslawak, T. 2005. Quality change in selected frying fats during heating in a model system. *J. Food Lipid.* 12: 159–168.
- Matz, S. A. 1970. *Cereal Technology*. The AVI publishing company, Inc. USA.
- Matz, S. A. 1976. *Snack Food Technology*. 2nd ed. The AVI publishing company, Inc. USA.
- Mayyawadee, S. and Gerhard, S. 2011. Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. *J. Food Eng.* 103: 223-236.
- Mazumder, P., Roopa, B. S. and Bhattacharya, S. 2007. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents *J. Food Eng.* 79: 511-516.
- Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends Food Sci. Technol.* 14: 364–373.
- Miltz, J. and Perry, M. 2005. Evaluation of the performance of iron-based oxygen scavenger, with comments on their optimal applications. *Packag Technol Sci.* 18: 21-27.
- Mingyan, Y., Bafang, L., Xue, Z and Jibing, Y. 2011. Physicochemical properties of gelatin gels from walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) skin cross-linked by gallic acid and rutin. *Food Hydrocolloid.* 25: 907-914.

- Modi, V. K., Gowda, G. S. S., Sakhere, P. Z., Mahendrakar, N .S. and Rao, D. N. 2006. Pre-processed spice mix formulation and changes in its quality during storage. *J. Food Sci Tech.* 39: 613-620.
- Mohamed, S., Abdullah, N. and Muthu, M. K. 1989. Expansion, oil adsorption, elasticity and crunchiness of keropok (fried crisps) in relation to the physicochemical nature starch flours. *J. Sci. Food Agri.* 49: 369–377.
- Mu, Y., Liu, C., Zheng, X. and Jin, C. 2010. Effects of microwave vacuum puffing conditions on the texture characteristics and sensory properties of blackcurrant (*Ribes nigrum. L*) snack. *Int. Agr. Eng.* 19: 45-53.
- Nath, A. and Chattopadhyay, P. K. 2008. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and micro structural changes in ready to eat potato soy snack using high-temperature short time air puffing. *Food Sci. Technol.* 41: 707–715.
- Nawar, W. W. 1996. Lipids. *In Food Chemistry* . (Fennema, O.R., ed.). P. 210-243. Elsevier Applied Science. London.
- Neri, L., Hernando, I. H., Prez-Munuera, I., Sacchetti, G. and Pittia, P. 2011. Effect of blanching in water and sugar solutions on texture and microstructure of sliced carrots. *J. Food Sci.* 76: 23-30.
- Nirav, D. J., Debandya, M., Dinesh, C. J. and Sutar, R.F. 2013 Puffing characteristics of parboiled milled rice in a domestic convective–microwave oven and process optimization. *Food Biopro Technol.* 17: 10-13.
- Nonhebel, G. and Moss, A. H. 1971. *Drying of Solid in The Chemical Industry.* Butterworth Co, Lit. London.
- Ockerman, H. W. 1988. *Animal By – Product Processing.* P. 366. Ellis Horwood International Publishers in Science and Technology. Chichester.

- Pawlak, T., Ryniecki, A. and Siatkowski, I. 2013. Optimization of process parameters for microwave-vacuum puffing of black radish slices using the response surface method. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 12: 253-262.
- Philip, A. and Sanborn, J. Gas flushing or filling packaging machine. US. Patent. No. 708809. 1976 July 26.
- Piotr, P. L. 2004. Water as the determinant of food engineering properties. *J. Food Eng.* 61: 483-495.
- Qing-Bo, D., Paul, A., Andrew, P., Gregory, T. and Harley, M. 2006. The effect of extrusion condition on the functional and physical properties of wheat based expanded snacks. *J. Food Eng.* 73: 142-148.
- Rama, S. and Gowri, C. 1983. Physico-chemical characterisation and molecular organization of the collagen from the skin of an air-breathing fish (*Ophiocephalus striatu.*). *Bio. Sci.* 5: 147-154.
- Ramaswamy, H. and Marcotte, M. 2006. *Food Processing Principles and Applications*, p. 233–277, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Rigby, B. J. and Spikes, J. D. 1960. Hydroxyproline and the shrinkage temperature of collagen. *Nature.* 187: 150-151.
- Rungthip, K., Sakamon, D. and Naphaporn, C. 2008. Effect of starch retrogradation on texture of potato chips produced by low-pressure superheated steam drying. *J. Food Eng.* 89: 72-79.
- Ryuzo, U., Tatsuo, K., Toshitaka, N. I., Kunihiko, T. and Toshio, M. 1987. Process of using a dehydration reagent for washed fish heat. US. Patent 4,749,497.
- Sachrow, S. and Griffin, R. C. 1980. *Principle of Food Packaging*. p. 484. The AV Publishing Company, Inc. New York.

- Saeleaw, M. and Schleining, G., 2010. Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. *J. Food Eng.* 100: 12–24.
- Salminen, A., Latva-Kala, K., Randell, K. Hurme, E., Linko, P. and Ahvenainen R. 1996. The effect of ethanol and oxygen absorption on the shelf-life of packed sliced rye bread. *Packag. Technol. Sci.* 9: 29–42.
- Shamberger, R. J., Shamberger, B. A. and Willis, C. E. 1977. Malonaldehyde content of food. *J. Nutr.* 107: 1404-1409.
- Seager, S. L. and Slabaugh, M. R. 2010. Aldehydes and ketones. *In Organic and Biochemistry for Today.* 4th ed. p. 3-18. USA.
- Shunji, Y., Takeshi, S. and Mitsuo, T. 2003. Stabilization of low denaturation temperature collagen from fish by physical cross-linking methods. *J. Biosci. Bioeng.* 96: 575-577.
- Simsrisakul, M. 1991. Important factors affecting puffing quality of paddy and properties of puffed rice flour. M.Sc. Chulalongkorn University.
- Siripatrawan, U. and Jantawa, P. 2009. Artificial neural network approach to simultaneously predict shelf life of two varieties of packaged rice snacks. *Int. J. Food Sci. Tech.* 44: 42–49.
- Sukumar, D., Bhat, K. K. and Rastogi, N. K. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 91–98.
- Surangrat, T. 2006. Physical properties and quality changes during microwave vacuum drying of shrimp. M.Sc. King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- Tananuwong, K. and Lertsiri, S. 2010. Changes in volatile aroma compounds of organic fragrant rice during storage under different conditions. *J. Sci Food Agr.* 90: 1590-1596.

- Tewari, G., Jayas, D. S., Jeremiah, L. E. and Holley, R. A. 2002. Absorption kinetic of oxygen scavengers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 209-217.
- Therdthai1, N. and Krajangmathekul, S. 2011. Effect of microwave assisted hot air drying on quality of dried pumpkin. *Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry.* 133-140.
- Tomoko, B. I., Zock, P. L. and Cam, A. J. 2004. Effect of fish oil on ventricular tachyarrhythmia and death in patients with implantable cardioverter defi brillators: the study on omega-3 fatty acids and ventricular arrhythmia (SoFa) randomized trial. *J. Am. Med.* 295: 2613–2619.
- Varnalisa, A. I., Brennanb, J. G. and MacDougallb, D. B. 2001. A proposed mechanism of high-temperature puffing of potato. Part I. The influence of blanching and drying conditions on the volume of puffed cubes. *J. Food Eng.* 48: 361–367.
- Varnalis, A. I., Brennan, J. G., MacDougall, D. B. and Gilmour, S. G., 2004. Optimisation of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology. *J. Food Eng.* 61: 153-163.
- Vongsawasdi, P., Nopharatana, M., Jaengkajang, J., Sangpring, Y. and Yoochareonsuk, W. 2010. Effect of blanching, citric acid and glycerol on qualities of dried Coconut . *J. Agr Sci.* 41: 145-148.
- Wang, Y. A., Min, Z. A. and Arun, S. M. 2013. Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices. *Food Hydrocolloid.* 33: 26-37.
- Ward, A. G. 1977. *The Science and Technology of Gelatin.* p. 564. Academic Press, London.
- Xinrong, P., Zhaofeng, Z., Lifang, G., Junbo, W., Yajun, X., Ming, Z., Xiaolong, H., Zhigang L. and Yong, L. 2010. Marine collagen peptide isolated from Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin facilitates learning and memory in aged C57BL/6Jmice. *Food Chem.* 118. 333-340.

- Yamsaengsung, R and Moreira, R. G. 2002. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying part I: model development. *J. Food Eng.* 53: 1-10.
- Yamsaengsung, R., Ariyapuchai, T. and Prasertsit, K. 2011. Effects of vacuum frying on structural changes of bananas. *J. Food Eng.* 106: 298-305.
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Nalinanon, S. and Kristinsson, H. G. 2012. Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants. *Food Chem.* 132: 1781–1788.
- Ytrestoyl, T., Struksnaes, G., Koppe, W. and Bjerkeng, B., 2005. Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in atlantic salmon, *salmo salar*. *Comp. Biochem. Physiol.* 142: 442–445.
- Yunoki, S., Nagai, N., Suzuki, T. and Munekata, M. 2004. Novel biomaterial from reinforced salmon collagen gel prepared by fibril formation and cross-linking. *J. Biosci Bioeng.* 98: 40-7.
- Zhang, J., Zhang, M., Liang, S. and Zhong, X. 2007. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices. *J. Food Eng.* 79: 885–891.
- Zhang, J. 2012. Protein-protein interactions in salt solutions. *In Protein-Protein Interactions - Computational and Experimental Tools.* (Weibo, C., ed.). p. 359-370. China.
- Zhang, J., Wu, D., Liu D., Fang Z., Chen, J., Hu, Y. and Ye, X. 2013. Effect of cooking styles on the lipid oxidation and fatty acid composition of gress carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillet. *J. Food Biochem.* 37: 212–219.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ด้านกายภาพ

ก1. การวัดค่าสี

อุปกรณ์และวัสดุ

เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

เตรียมหน้าปลาโดยการตัดแบ่งส่วนหน้าปลาด้านท้องและหลัง เลือกชิ้นที่มีลักษณะเรียบ นำหน้าปลาที่ผ่านการเตรียมไปวัดค่าสี โดยแยกวัดบริเวณส่วนท้องและส่วนหลัง ด้วยเครื่อง Hunter Lab รายงานค่าสีในระบบ CIE scale คือ L^* , a^* , b^* วัดจำนวน 3 ตำแหน่ง

L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)

a^* บ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียว โดยค่า a^* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีแดง แต่ถ้า a^* มีค่าลบให้ค่าสีทางเขียว

b^* บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่า b^* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีเหลือง แต่ถ้า b^* มีค่าลบให้ค่าทางสีน้ำเงิน

ก2. การวัดการฟองตัวโดยการแทนที่เมล็ดงา (Seed displacement) (Simsrisakul, 1991)

อุปกรณ์

1. กระจกบอกรวงขนาด 500 มิลลิเมตร
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า
3. แท่งพลาสติก

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักหน้าปลาแห้งจำนวน 4 ชิ้น แล้วนำไปใส่ในกระจกบอกรวงขนาด 500 มิลลิเมตรใส่เมล็ดงาและเคาะผนังกระจกบอกรวงด้วยแท่งพลาสติก จนกระทั่งเมล็ดงาแทรกเข้าในช่องว่างระหว่างชิ้นตัวอย่างจนทั่วถึง และแน่นให้ได้ 500 มิลลิเมตร
2. แยกเอาหน้าปลาแห้งออกจากเมล็ดงา แล้วนำเฉพาะส่วนของเมล็ดงาใส่ในกระจกบอกรวงอันเดิมเคาะให้แน่นเพื่อดูปริมาตรที่ลดลงซึ่งเป็นปริมาตรของตัวอย่างหน้าปลาแห้ง

3. หนึ่งปลากรอบทำวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1-2
4. กำหนดหาอัตราการพองตัวของตัวอย่าง จากสูตร

การคำนวณ

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\left(\frac{v_1}{m_1}\right)}{\left(\frac{v_2}{m_2}\right)}$$

- เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักหน้ปลาแห้งก่อนอบ (กรัม)
 m_2 คือ น้ำหนักหน้ปลาแห้งหลังอบ (กรัม)
 v_1 คือ ปริมาตรหน้ปลาแห้งก่อนอบ (มิลลิลิตร)
 v_2 คือ ปริมาตรหน้ปลาแห้งหลังอบ (มิลลิลิตร)

ก3. การวัดค่าแรงกดของเนื้อสัมผัส (Anon, 1996)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ Stable micro system รุ่น TA-XT2
2. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์ และเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป
2. ทำการ calibrate เครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 5,000 กรัม
3. ติดหัวเข็ม (spherical probe; P/5S) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) บนเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
ทำการ calibrate หัววัด
4. ทำการวัดโดยให้หัวกดลงบนตัวอย่าง ซึ่งความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้หัวกดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 3 มิลลิเมตรทดลองจำนวน 20 ซ้ำ
5. อ่านค่าแรงสูงสุดของตัวอย่างข้าวเกรียบที่วัดได้จากค่า Maximum force

ก4. การตรวจสอบโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope (Quata 200 Model, USA)
2. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูป
3. ฟอรัเซป

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบจุ่มลงในไนโตรเจนเหลวจนตัวอย่างแข็งและกรอบมาก
2. ใช้ฟอรัเซปหักตัวอย่าง นำมาติดบนแท่นเพื่อทำการเคลือบทอง
3. นำตัวอย่างเคลือบผงทองเป็นเวลา 10-15 นาที (ใน coat chamber) เพื่อให้ตัวอย่างถูกตรึงและมีลักษณะการนำไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการสะท้อนของลำแสงอิเล็กตรอนขณะถ่ายรูปด้วยเครื่อง SEM
4. นำตัวอย่างใส่ใน vacuum chamber ปิดฝาให้สนิท
5. เปิดเครื่อง SEM สแกนรูปภาพตัวอย่าง โดยกำหนดกำลังขยายที่ต่ำสุดค่อยๆเพิ่มกำลังขยายหลังจากได้รูปที่ต้องการแล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลเพื่อเก็บผลมาวิเคราะห์

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี

ข1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2002)

อุปกรณ์

1. ภาชนะสำหรับหาความชื้นพร้อมฝา
2. โถดูดความชื้น
3. ตู้อบลมร้อน

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นพร้อมฝาในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำภาชนะดังกล่าวมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นและนำมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัมใส่ลงในภาชนะสำหรับหาความชื้น

3. ออบภาชนะพร้อมตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นและนำมาชั่งน้ำหนัก
4. นำตัวอย่างไปอบและชั่งน้ำหนักซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 3 จนได้ผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม
5. กำหนดหาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง จากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

w_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข2. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

อุปกรณ์และวัสดุ

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (AW Sprint Novasina TH-500, Switzerland)
2. ตลับสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

วิธีการ

1. เปิดเครื่องและ calibrate ด้วยน้ำกลั่นสังเกตอุณหภูมิเครื่องไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำกลั่นไม่ต่ำกว่า 0.999 จึงเริ่มทำการวัดตัวอย่างได้
2. นำตัวอย่างใส่ในตลับให้ได้ปริมาณ $\frac{3}{4}$ ของตลับจากนั้นนำตลับวางบนแท่นวาง เลื่อนปิดฝาเครื่องให้สนิทแล้วหมุนปุ่ม read
3. รอให้เครื่องวัดตัวอย่างจนไฟสีเขียวกระพริบและมีเสียงร้องเตือน.
4. จดบันทึกค่า A_w ที่เครื่องทำการวัดค่าได้ ถ้าต้องการวัดตัวอย่างใหม่ให้เลื่อนเปิดฝาเครื่องโดยหมุนปุ่มกลับ และทำตามข้อ 3 และข้อ 4 ต่อไป
5. เมื่อวัดตัวอย่างเรียบร้อยแล้วทำความสะอาดและปิดเครื่องให้เรียบร้อย

ข3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. หลอดย่อยโปรตีน
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
3. บิวเรต (buret)
4. ชุดย่อยโปรตีน
5. ชุดกลั่นโปรตีน

สารเคมี

1. Kjeldahl catalyst: ผสมโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 9 ส่วนกับคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 1 ส่วน
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 40 (น้ำหนัก/ปริมาตร)
5. สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล
6. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) ความเข้มข้น 10% (ปริมาตร/ปริมาตร)
7. สารละลายอินดิเคเตอร์: ผสมเมทิลเรด (methyl red) ร้อยละ 0.1 (ในเอทานอลร้อยละ 95) ปริมาตร 100 มิลลิลิตรกับโบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green) ร้อยละ 0.2 (ในเอทานอลร้อยละ 95) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ก่อนใส่ในหลอดย่อยโปรตีน เตรียมเบดจ์โดยกระดาษกรองเบอร์ 4 ที่ไม่ใส่ตัวอย่าง
2. เติม Kjeldahl catalyst 5 กรัม และกรดซัลฟิวริก 20 มิลลิลิตรลงในหลอดย่อยโปรตีน
3. ต่อหลอดย่อยโปรตีนเข้ากับเครื่องย่อยโปรตีน ให้ความร้อนเพื่อย่อยจนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีฟ้าและใส
4. ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร
5. นำตัวอย่างไปกลั่นโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 20 จนสารละลายตัวอย่างเป็นสีดํา นำตัวอย่างเข้าเครื่องกลั่นโดยรับไอระเหยด้วยสารละลายสารละลายกรดบอริกที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ไว้แล้ว 2-3 หยด

6. นำสารที่กลั่นได้ไปไตเตรทด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล จนเป็นสีชมพูอ่อน อ่านปริมาตรกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณเป็นปริมาณโปรตีน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

- เมื่อ A คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอลที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง
- B คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอลที่ใช้ไตเตรทแบลนค์
- N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)
- W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
- F คือ แฟกเตอร์สำหรับการแปลงปริมาณไนโตรเจนเป็นโปรตีน (protein-nitrogen conversion factor) (สำหรับปลาและวัสดุเศษเหลือจากปลา = 6.25)

ข4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดก้นกลมสำหรับใส่ตัวทำละลาย, ซอกเล็ต(soxhlet), เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (desicator)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมันซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตรในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นและนำมาชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกันสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัมห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ใส่ลงในหลอด สำหรับใส่ตัวอย่างปิดทับด้วยสำลี
4. นำตัวอย่างใส่ในชอกเลต เดิมปีโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 150 มิลลิลิตรลงในขวดก้นกลมแล้ววางบนเตาให้ความร้อน
5. ใช้เวลาในการสกัด 14 ชั่วโมง โดยควบคุมให้ปีโตรเลียมอีเทอร์ระเหยและควบแน่น หยดลงมาสกัดตัวอย่างด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบเวลา นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอกเลต ระเหยปีโตรเลียมอีเทอร์ในขวดก้นกลมด้วยเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศ
7. อบขวดก้นกลมจากข้อ 6 ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียสจนตัวทำละลายแห้ง ก่อนนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นและนำมาชั่งน้ำหนัก
8. ทำซ้ำข้อ 7 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกันสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

w_2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

ข5. การวิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric reactive substances (TBARS) (Egan et al., 1981)

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่น
2. หลอดทดสอบชนิดมีจุก
3. Spectrophotometer
4. บีเปด
5. เต้าไฟฟ้า
6. ลูกแก้ว

สารเคมี

1. Thiobarbituric acid reagent: ละลายกรด thiobarbituric จำนวน 0.2883 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 90 แล้วปรับปริมาณให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยกรดอะซิติกร้อยละ 90 ใน volumetric flask
2. สารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 4 M

วิธีการ

1. ปั่นตัวอย่าง 10 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ด้วยเป็นเวลา 2 นาทีแล้วถ่ายลงในขวดกลั่น ใช้น้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง แล้วเทลงขวด
2. เติมสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 4 M จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับ pH ให้ได้ 1.5 แล้วเติม antifoaming agent ต่อ flask เข้ากับเครื่องกลั่นให้ความร้อน
4. เก็บของเหลวที่กลั่นได้จำนวน 50 มิลลิลิตร
5. บีเปดของเหลวที่กลั่นได้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เติม thiobarbituric acid reagent ลงไป 5 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่า
6. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที ทำให้เย็นภายใน 10 นาที
7. ทำ blank ไปพร้อมกันโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ของน้ำให้ความร้อน 35 นาที
8. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

คำนวณ

TBA No. = $7.8 \times \text{O.D.}$ (as mg malonaldehyde / kg sample)

ข6. การวิเคราะห์หาปริมาณรวมของด่างที่ระเหยได้ โดยหาค่า Total volatile base nitrogen (TVB-N) and Trimethylamine (TMA)

อุปกรณ์

1. คอนเวย์
2. ไมโครบิวเรต
3. กระจกคกรอง
4. ปิเปต

สารเคมี

1. Mixed indicator
2. Inner ring solution L
3. Saturated K_2CO_3

วิธีการ

ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม บดผสม 4% TCA 8 มิลลิลิตร ในถ้วยบด บดให้ทั่วตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วกรอง ด้วยกระจกคกรองเบอร์ 41 (หรือเข้าเครื่องแยกเหวี่ยงที่ 3000 rpm เวลา 10 นาที) ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร ถ้าต้องรอวิเคราะห์เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส

วิธีการหาค่า TVB-N

1. ทา grease หรือ vasaline ที่ฝาขอบจาน conway
2. ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ชั้นนอก conway unit
3. ดูด Inner ring solution 1 มิลลิลิตร ลงในวงกลมชั้นในของจาน conway
4. เอียงจาน conway
5. ดูด saturated K_2CO_3 1 มิลลิลิตร ใส่ชั้นนอก แต่ให้อยู่คนละด้านกับสารละลาย
6. ตัวอย่างที่ดูดใส่ ใส่ชั้นนอก conway unit ก่อนหน้า แล้วปิดจาน conway ให้สนิท
7. เอียงหรือหมุนจาน conway เบาๆ ให้ potassium carbonate ผสมกับสารละลาย
8. ตัวอย่างระงับอย่าให้เกิดการผสมกับ indicator ที่วงกลมชั้นในเป็นอันขาด
9. บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 45-60 นาที หรือ ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง
10. เปิดฝา conway แล้วไตเตรทวงกลมชั้นในด้วย 0.02 N HCl จนกระทั่งสีเขียวจาง หายไป จดปริมาณการใช้ HCl ไว้คำนวณ

11. ทำ Blank โดยใช้ 4% TCA จำนวน 1 มิลลิลิตร แทนสารสกัดตัวอย่าง แล้วดำเนินการตามวิธีการตั้งแต่ข้างต้นจนจบ

การคำนวณ TVB-N

$$\text{TVB-N (มก. ไนโตรเจน/100กรัมตัวอย่าง)} = \frac{(N)(14)(A-B)(V)(100)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N = Normality ของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท

A = มล. HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = มล. HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่าง และ TCA ที่ใช้ในการไตเตรท

วิธีการหาค่า TMA-N

1. ทำเช่นเดียวกับการหา TVB-N ตั้งแต่ ขั้นที่ 1-3
 2. เติม 10% formaldehyde solution 1 มิลลิลิตร ผสมกับตัวอย่าง
 3. คุก saturated K_2CO_3 1 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ ใส่ชั้นนอก ปิดฝาหมุนให้สารละลายผสมกันทิ้งไว้ที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง
 4. ไตเตรทส่วนที่อยู่ในวงแหวนในด้วย 0.02 N HCl จนกระทั่งสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีชมพู
 5. ทำ Blank โดยใช้ 4 % TCA จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นทำการทดลองเหมือนกับตัวอย่าง
- การคำนวณ TMA-N

$$\text{TMA-N (มก. ไนโตรเจน/100กรัมตัวอย่าง)} = \frac{(N)(14)(C-B)(V)(100)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N = Normality ของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท

C = มล. HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = มล. HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและ TCA ที่ใช้ในการไตเตรท

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ค1. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Viable Count) ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางและจุลินทรีย์ที่ไม่ชอบอากาศในการเจริญเติบโต

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (PCA)
2. Peptone water ร้อยละ 1

วิธีการ

1. ชั่งน้ำตัวอย่าง 25 กรัม ลงในถุงที่มี peptone water ร้อยละ 0.1 ที่ปลอดเชื้อจำนวน 225 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
2. ทำการเจือจางให้ได้ 10^{-1} - 10^{-6} โดยใช้ peptone water ร้อยละ 0.1
3. ดูดตัวอย่างที่เจือจางอย่างละ 1 มิลลิลิตร (3ซ้ำ) ลงในจานเพาะเชื้อ ที่ฆ่าเชื้อแล้ว
4. เทอาหาร PCD ซึ่งหลอมเหลวและมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อ จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร
5. เขย่าจานเพาะเชื้อให้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมกับตัวอย่างที่เจือจางโดยหมุนจานเพาะเชื้อทวน และตามเข็มนาฬิกา 5 ครั้ง อย่างระมัดระวังและรวดเร็วเพื่อไม่ให้อาหารแข็งตัวก่อน
6. ตั้งทิ้งไว้ให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว
7. สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต นำไปใส่ใน anaerobic jar แล้วกำจัดอากาศออก
8. บ่มเพาะเชื้อที่ 4 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำและ 35-37 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่ชอบอากาศในการเจริญ ให้คว่ำจานเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อประมาณ 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็น

โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง

โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง = ค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี × ระดับความเจือจาง

ค2. การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001)

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Potato dextrose agar (PDA)
2. Peptone water ร้อยละ 1
3. Tartaric acid ร้อยละ 10

วิธีการ

1. ชั่งน้ำตัวอย่าง 25 กรัม ลงในถุงที่มี peptone water ร้อยละ 0.1 ที่ปลอดเชื้อจำนวน 225 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
2. ทำการเจือจางให้ได้ 10^{-1} - 10^{-6} โดยใช้ peptone water ร้อยละ 0.1
3. คุดตัวอย่างที่เจือจางอย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ลงในงานเพาะเชื้อที่มีอาหาร PDA ที่ฆ่าเชื้อแล้ว (3ซ้ำ)
4. ใช้แท่งแก้วปราศเชื้อเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วจาน
5. บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ในลักษณะหงายจานงานเพาะเชื้อเป็นเวลา 5-7 วัน
6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากงานเพาะเชื้อประมาณ 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นโคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง

โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง = ค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี \times ระดับความเจือจาง

ภาคผนวก ง การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง 1. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นควาแบบ Scoring test ของหนัง
ปลาแซลมอน

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

กรุณาประเมินตัวอย่างต่อไปนี้โดยการดมกลิ่น แต่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับความ
เข้มของกลิ่นที่รับรู้ได้ โดยการทำความเครื่องหมายกากบาทลงบนจุดที่ผู้ทดสอบคิดว่าเหมาะสมต่อ
ตัวอย่างนั้น ๆ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อยมาก (1)	_____	_____	_____	_____
น้อย (2)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (3)	_____	_____	_____	_____
มาก (4)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (5)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง 2. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการฟังตัวแบบ Scoring test ของหนังสือ ปลาแซลมอนทอด

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

ผลิตภัณฑ์ หนังสือปลาแซลมอนทอด

กรุณาประเมินตัวอย่างโดยการพิจารณาการฟังตัวของหนังสือปลาแซลมอนทอด แต่ละตัวอย่างจาก
ซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับการฟังตัว โดยการทำเครื่องหมายกากบาทลงในช่องว่างที่ผู้ทดสอบ
คิดว่าเหมาะสมต่อตัวอย่างนั้น ๆ

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง 3. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบแบบ Scoring test ของหนังปลาแซลมอนทอด

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

ผลิตภัณฑ์ หนังปลาแซลมอนทอด

กรุณาประเมินตัวอย่างโดยการกัดเพื่อพิจารณาความกรอบของหนังปลาแซลมอนทอด แต่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับความกรอบ โดยการทำเครื่องหมายกากบาทลงในช่องว่างที่ผู้ทดสอบคิดว่าเหมาะสมต่อตัวอย่างนั้นๆ

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณค่ะ

ง 4. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นควาแบบ Scoring test ของหนัง
ปลาแซลมอนทอด

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

กรุณาประเมินตัวอย่างต่อไปนี้อย่างระมัดระวัง โดยการดมกลิ่น แต่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับความ
เข้มของกลิ่นที่รับรู้ได้ โดยการทำความเครื่องหมายกากบาทลงบนจุดที่ผู้ทดสอบคิดว่าเหมาะสมต่อ
ตัวอย่างนั้น ๆ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง 5. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการฟังตัวแบบ Scoring test ของหนังสือ
ปลาแซลมอนอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

ผลิตภัณฑ์ หนังสือปลาแซลมอนอบ

กรุณาประเมินตัวอย่างโดยการพิจารณาการฟังตัวของหนังสือปลาแซลมอนอบ แต่ละตัวอย่างจาก
ซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับการฟังตัว โดยการทำเครื่องหมายกากบาทลงในช่องว่างที่ผู้ทดสอบ
คิดว่าเหมาะสมต่อตัวอย่างนั้น ๆ

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง 6. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบแบบ Scoring test ของหนังปลาแซลมอนอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

ผลิตภัณฑ์ หนังปลาแซลมอนอบ

กรุณาประเมินตัวอย่างโดยการกัดเพื่อพิจารณาความกรอบของหนังปลาแซลมอนอบ แต่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับความกรอบ โดยการทำเครื่องหมายกากบาทลงในช่องว่างที่ผู้ทดสอบคิดว่าเหมาะสมต่อตัวอย่างนั้นๆ

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณค่ะ

ง 7. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นควาแบบ Scoring test ของหนัง
ปลาแซลมอนอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบแบบ Scoring test

กรุณาประเมินตัวอย่างต่อไปนี้อย่างระมัดระวัง โดยการดมกลิ่น แต่ละตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนระดับความ
เข้มของกลิ่นที่รับรู้ได้ โดยการทำความหมายจากบาทลงบนจุดที่ผู้ทดสอบคิดว่าเหมาะสมต่อ
ตัวอย่างนั้น ๆ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....เวลา.....

	รหัส	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
น้อย (1)	_____	_____	_____	_____
ปานกลาง (2)	_____	_____	_____	_____
มาก (3)	_____	_____	_____	_____
มากที่สุด (4)	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง 8. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้วยวิธี 9 –point hedonic scale ของ
 หนึ่งปลาแซลมอนทอด

เรื่องการให้คะแนนความชอบ

ผลิตภัณฑ์ หนึ่งปลาแซลมอนทอด

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

ขอแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้าย ไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบตัวอย่างใน
 แต่ละปัจจัยที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

- 9 = ชอบมากที่สุด 6 = ชอบน้อยที่สุด 3 = ไม่ชอบปานกลาง
 8 = ชอบมาก 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 2 = ไม่ชอบมาก
 7 =ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ	
	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ		
สี		
กลิ่น		
รสชาติ		
ความกรอบ		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณค่ะ

ง 9. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้วยวิธี 9 –point hedonic scale ของ
หนังสือปลาแซลมอนอบ

เรื่องการให้คะแนนความชอบ

ผลิตภัณฑ์ หนังสือปลาแซลมอนอบ

ชื่อ..... วันที่..... เวลา.....

ขอแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบตัวอย่างใน
แต่ละปัจจัยที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

- 9 = ชอบมากที่สุด 6 = ชอบน้อยที่สุด 3 = ไม่ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 2 = ไม่ชอบมาก
7 = ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ	
	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ		
สี		
กลิ่น		
รสชาติ		
ความกรอบ		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ ภาพผลิตภัณฑ์หนังปลาแซลมอนอบและหนังปลาแซลมอนทอด

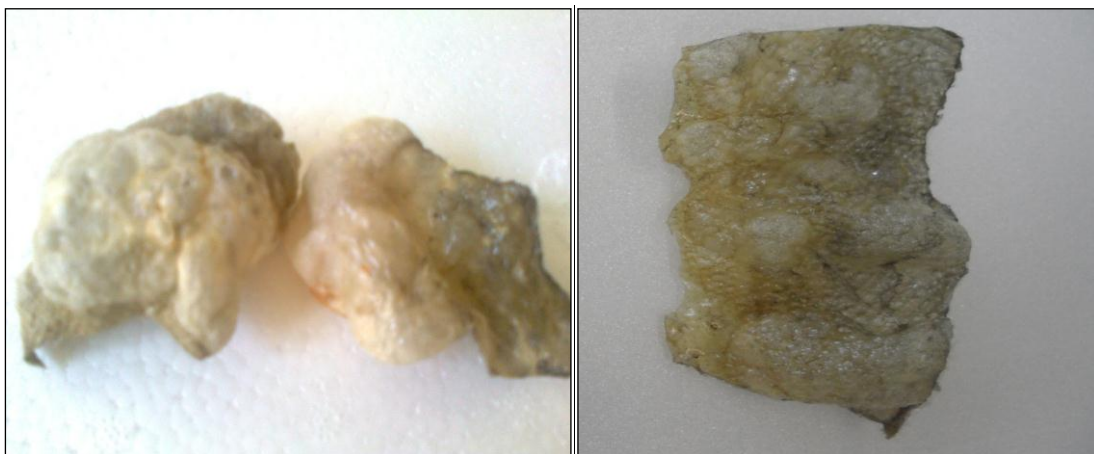


Figure 1. Heated crispy salmon skins by microwave oven



Figure 2. Crispy salmon skins by frying

