



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรส

Quality Improvement and Shelf Life Extension of Seasoned Fried Anchovy Products

นามผู้วิจัย นางสาวศรัญญา นิสากกร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, Dr.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากระดี่ทอดปรุงรส

Quality Improvement and Shelf Life Extension of Seasoned Fried Anchovy Products

โดย

นางสาวศรัญญา นิสภากร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรัญญา นิสากกร 2554: การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอด
ปรุงรส ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr. 91 หน้า

ปัญหาออกซิเดชันและการสูญเสียความกรอบในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสระหว่างการเก็บมี
ความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร มอลโทเดกซ์ทรินและโทโคฟีโนลหรือที่เรียกว่าวิตามินอีทำหน้าที่เป็นตัว
ต้านออกซิเดชันใช้ในการศึกษาเพื่อชะลอหรือแก้ไขปัญหาดังกล่าว น้ำเชื่อมทั้งที่มีการเติมและไม่เติมมอลโท
เดกซ์ทริน (5 DE) มีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน ความหนืดของน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นมอลโท
เดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพของปลากระดักทอดปรุงรสที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน (0-20%) ให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี
ดี (a_w) และความชื้นอยู่ในช่วง 0.13-0.15 และ 1.2-1.42% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันของปลากระดักปรุงรสทั้ง
ที่มีการเติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผลของ sorption isotherm
(20°C) ของปลากระดักปรุงรสที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น มีปริมาณความชื้นลดลงที่ค่า a_w เดียวกัน จาก
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่ปรุงรสด้วยน้ำเชื่อมที่เติมและไม่เติม
วิตามินอีเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านออกซิเดชัน ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดนำมาเคลือบด้วยน้ำเชื่อมปรุงรสที่เติม
วิตามินอี (0, 1000, 2000 ppm) อบแห้งที่ 100°C เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุง PP เก็บในตู้ควบคุม
อุณหภูมิ 40°C 80%RH เพื่อเร่งการเสื่อมเสียในที่มีดเป็นเวลา 120 วัน สุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ค่าปริมาณ
ความชื้น ค่า a_w ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และค่ากรดไขมัน (AV) ตลอดช่วงเวลาของการเก็บ พบว่า ค่าเหล่านี้
เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น ค่า PV และ AV ของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยน้ำเชื่อมที่เติมวิตามินอีมีค่าต่ำกว่า
ตัวอย่างที่ไม่เติมวิตามินอีในระหว่างการเก็บ ซึ่งให้เห็นถึงการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของวิตามินอีในผลิตภัณฑ์
ทอดได้ โดยค่า PV และ AV ในผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อน้ำเชื่อมปรุงรสเติมวิตามินอีมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่
ปริมาณความชื้น และ a_w ของตัวอย่างที่เติมและไม่เติมวิตามินอีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า
การเติมวิตามินอีในน้ำเชื่อมปรุงรสสามารถใช้ยับยั้งความหืนในผลิตภัณฑ์ทอดระหว่างการเก็บได้ จากการ
ทดสอบความคงตัวของตัวอย่างที่มีทั้งมอลโทเดกซ์ทริน (10%) และ วิตามินอี (2000 ppm)
โดยใช้ฟิล์มลามิเนตและเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40°C เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า ปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่า
PV AV และกรด thiobabituric เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น แต่ระดับการเพิ่มขึ้นของค่าเหล่านี้ลดลงเมื่อเก็บ
ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งให้เห็นว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

Sarunya Nisapagon 2011: Quality Improvement and Shelf Life Extension of Seasoned Fried Anchovy Products. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Rungnaphar Pongsawatmanit, D.Agr. 91 pages.

The problems of oxidation and loss of crispness in dried seasoned fried anchovy fish found during storage are important in food industry. Maltodextrin (MD) and tocopherols referred vitamin E (Vit E) acting as antioxidants were investigated to solve such problems. Syrups with and without maltodextrin exhibit newtonian behavior. Apparent viscosity of the syrups increased with increasing maltodextrin concentration. The quality of dried seasoned fried anchovy containing 5DE maltodextrin (0-20%) was found that water activity (a_w) were about 0.13-0.15, 1.2-1.42% moisture content and 20.8-21.9 % (db) oil content without significant difference among different MD concentrations ($p>0.05$). The sorption isotherm (20°C) of dried seasoned fried anchovy containing higher MD exhibited the lower moisture content at the same a_w . For the effect of added antioxidant, fried anchovy was seasoned by syrup containing 0, 1000 and 2000 ppm Vit E, dried at 100°C for 3-4 h., then packed in PP plastic bag and kept in storage chamber controlled at 40°C 80%RH to accelerate the deteriorations in the dark for 120 days. The samples then were randomly taken out for measurements of moisture content, a_w , peroxide value (PV) and acid value (AV) at some certain periods of storage time. These values increased with increasing storage time. The PV and AV of products seasoned with syrups containing Vit E were lower than those of products coated with syrup without Vit E during storage indicating the oxidation retardation of Vit E in fried products. The PV and AV also decreased with increasing Vit E concentration. Moisture content and a_w of syrups with and without Vit E were not different ($p>0.05$) at the same storage time. The results imply that addition of Vit E in the seasoning syrup can be used to retard the rancidity in the seasoned fried anchovy during storage. The storage stability of the products containing both maltodextrin (10%) and Vit E (2000 ppm) was tested by packing in laminated film and kept at 5, 20, 30 and 40°C for 2 months. The results revealed that moisture content, a_w , PV, AV and thiobabitoric acid increased with increasing storage time but the degree of increments was lower with decreasing storage temperatures indicating keeping at lower temperature retarded the deterioration of the product.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุนทรี สุวรรณสิขินน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และขอกราบขอบพระคุณประธานการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชา พัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญาเอกทุกท่านที่ช่วยเหลือตลอดจนเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณตา คุณยาย น้องสาว น้องชาย และขอขอบคุณ คุณคมกฤช วงษ์แก้ว ที่ให้การสนับสนุน ความห่วงใย ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครู อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัย และขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ศรัณญา นิสากกร

มิถุนายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	84
ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	87
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพของน้ำเชื่อมปรุงรสทั้งที่เดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE (5DE MD)	44
2	คุณภาพของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE	45
3	คุณภาพเริ่มต้นของปลากะตักทอดก่อนปรุงรสและอบแห้ง	56
4	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งเมื่อเก็บไว้ 67 วัน	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	15
2	15
3	16
4	21
5	42
6	43
7	47
8	48
9	50
10	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
11 ผลของวิตามินอีที่มีต่อความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่อุณหภูมิ 5 และ 40 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ (a) และค่ากรดไขมัน (b) ของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง	53
12 คุณภาพด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งเดิมและไม่เติมวิตามินอี ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส; ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นเวลา 120 วัน	54
13 ปริมาณความชื้น (a) และค่าออกเทอร์แอคทิวิตี (b) ของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	57
14 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากค่า major peaks (a) และ linear distance (b)	58
15 ผลของปริมาณความชื้นต่อจำนวน major peaks ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	59
16 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	60
17 ผลของอุณหภูมิการเก็บที่แตกต่างกันต่อความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ (a) และค่ากรดไขมัน (b) ของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง	62
18 ค่ากรดไทโอบาพิทริกของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	63
19 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง (จำนวน 10 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ยของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้ง (จำนวน 10 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	67
21	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝน (จำนวน 50 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	69
22	คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ยของผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝน (จำนวน 50 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส	70

การปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรส

Quality Improvement and Shelf Life Extension of Seasoned Fried Anchovy Products

คำนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเกษตรมีมูลค่าการส่งออกทำรายได้ให้กับประเทศเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมูลค่าเพิ่ม (value added product) ด้วยเหตุนี้การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ที่มีความหลากหลายและมีคุณภาพสูง เช่น รสชาติ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่ดีขึ้น และคุณภาพที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคตลอดช่วงอายุการเก็บจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและพลวัตในสังคมและก่อให้เกิดการสร้างงานสร้างรายได้เพิ่มขึ้นในประเทศ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายและมีคุณภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ready-to-eat ที่ผ่านกระบวนการทอด มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ คือ เนื้อสัมผัสไม่กรอบและมีกลิ่นรสหืนเกิดขึ้น เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน (Fennema and Tannenbaum, 1996) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการดูดซับความชื้นจากการส่งผ่านภาชนะบรรจุ (Robertson, 2006) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเวลาผ่านไป ส่งผลต่อต้นทุนและการเรียกคืนสินค้า เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรสที่มักพบปัญหาอายุการเก็บสั้น และมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ กล่าวคือ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรสไว้ 3 เดือนขึ้นไป พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งมีความกรอบลดลง กลิ่นรสความสดใหม่ลดลงและเริ่มมีกลิ่นหืน ทำให้จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตหรือการเลือกใช้ส่วนผสมประกอบในการแปรรูปที่มีบทบาทต่อการยืดอายุการเก็บในกรณีของอาหารที่ผ่านการทอดจะมีปริมาณน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่สูงและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบอาจเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอมจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บ (Gordon, 2004)

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพและเพิ่มอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งด้วยการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่สามารถแก้ไขได้ในสายการผลิต โดยการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเดกซ์ทริน และวิตามินอีที่เติมใน

น้ำเชื่อมปรุงรส เพื่อลดการดูดซับความชื้นและการเกิดกลิ่นหืน อันเป็นสาเหตุของความกรอบที่ลดลงและการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างปรุงรส รวมทั้งทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งตามที่กำหนดไว้ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อคุณภาพของน้ำเชื่อม ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งและซอร์ปชั้นไอโซเทอม
2. เพื่อศึกษาผลของวิตามินอีที่มีต่อออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง
3. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

การตรวจเอกสาร

1. การทอด (Frying)

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร และการถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าออกเทอร์เอกทิวิตีที่ผิวอาหาร หรือตลอดชิ้นอาหาร (Fellows, 2000) น้ำมันหรือไขมันที่ใช้ในการทอดอาหารจะเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ ด้วยการแทนที่น้ำที่ระเหยไปเป็นไอน้ำและกลายเป็นองค์ประกอบหนึ่งในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคุณภาพของน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด คุณภาพของน้ำมันจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งหากมีการนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาใช้น้ำที่อุณหภูมิการทอดสูงๆจะส่งผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ทอด เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และทางประสาทสัมผัส (Manral *et al*, 2008) ดังนั้นอายุการเก็บของอาหารทอดจึงขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำมันของผลิตภัณฑ์ขณะการเก็บรักษาอาหารที่ยังมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ภายในชิ้นอาหารมาก เช่น ปลาทอด โดนัท หรือเนื้อไก่ชุบแป้ง หรือชุบขนมปังป่นทอดจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา และอาหารที่ทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพดหรือมันฝรั่ง อาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งระยะเวลาการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับการใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม ปัจจัยที่กำหนดอุณหภูมิในการทอด คือ ลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ การใช้อุณหภูมิสูงสำหรับการทอดอาหารทำให้มีเปลือกนอกแห้งและมีความชื้นภายในการเกิดเปลือกนอกอย่างรวดเร็วจะเป็นการปิดกั้นไม่ให้น้ำเคลื่อนที่ออกไปจากอาหาร และลดอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังด้านในอาหาร ชิ้นอาหารจะยังคงรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มชื้นและกลิ่นรสของอาหารไว้ได้ การทำให้อาหารแห้งโดยการทอดจะใช้น้ำมันที่อุณหภูมิต่ำลง จึงทำให้การระเหยเคลื่อนที่ลดลงไปในอาหารก่อนเกิดเปลือกนอก อาหารจึงแห้งก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น สี ที่รุนแรง (Fellows, 2000)

วิธีการทอดที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมมี 3 วิธี ได้แก่ การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) และการทอดในสภาวะสูญญากาศ ซึ่งการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการถ่ายเทความร้อนทั้งแบบการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่อาหาร โดยผิวหน้าทุกด้านของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยน

แปลงของสีและลักษณะปรากฏของอาหารสม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปร่างต่างๆ ใ้ใช้กับอาหารทุกชนิด แต่ถ้าอาหารที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารแบบที่มีรูปร่างแน่นอน ในช่วงแรกของการทอดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยเท่ากับ 250-300 วัตต์/ตารางเมตรเควิน และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 วัตต์/ตารางเมตรเควิน เมื่อทอดไปนานๆ เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าสู่อาหารอย่างรวดเร็วพร้อมกับการระเหยออกของน้ำในอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (Fellows, 2000) Kita *et al.*, (2007) กล่าวว่าชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดมีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมันและลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) ของอาหารที่แตกต่างกัน เช่น ถ้าทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิสูง 190 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าทอดที่อุณหภูมิสูง 150 องศาเซลเซียส และลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) ของอาหารดีขึ้น และหากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูง การอมน้ำมันก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารทอดให้มีปริมาณการดูดซับน้ำมันน้อยลง โดยใช้วิธีต่างๆ อาทิเช่น การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (ได้แก่ แอลจินต เพคติน และ CMC) มาช่วยในการลดปริมาณการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดกล้วยฉาบ ผลที่ได้คือ กล้วยฉาบที่เคลือบด้วยเพคติน CMC และแอลจินตมีปริมาณน้ำมันลดลงจาก 40 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เหลือเพียง 23 และ 38 กรัม/100 กรัม ตัวอย่าง ตามลำดับ นั้นแสดงว่า เพคติน และ CMC ช่วยในเรื่องของการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดกล้วยฉาบได้ดีกว่ากล้วยที่ไม่ได้แช่ไฮโดรคอลลอยด์หรือกล้วยที่ถูกแช่ด้วยแอลจินต อีกทั้งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส กลับพบว่า ตัวอย่างที่ถูกเคลือบด้วยเพคตินจะมีคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเพคตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อการช่วยลดปริมาณไขมันของกล้วยฉาบมากที่สุด (Singthong and Thongkaew, 2009)

การนำผลิตภัณฑ์มาผ่านกรรมวิธีการทอดในสภาวะสุญญากาศก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจของนักวิจัยและผู้ประกอบการรวมทั้งผู้บริโภค เนื่องจากการทอดแบบสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวจากผักและผลไม้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันต่ำและมีคุณภาพที่น่าพอใจ ซึ่งกระบวนการทอดที่ความดันสุญญากาศ จะทำให้สามารถระเหยน้ำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส หรือสามารถระเหยน้ำได้เร็วกว่าการทอดในสภาวะบรรยากาศและการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำกว่า ซึ่งจะทำให้คุณภาพและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงอยู่มากกว่า (Mariscal and Bouchon, 2008) อีกทั้งยังช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหารทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ

ของน้ำมันที่ใช้ทอดได้ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงสี เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งก่อให้เกิดการเหม็นหืน ประโยชน์ที่ได้จากการทอดแบบสุญญากาศ (Mariscal and Bouchon, 2008) คือ ลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร และรักษาคุณภาพของน้ำมันระหว่างการทอด

การทอดแบบใช้เครื่องทอดสุญญากาศเริ่มเป็นที่สนใจในวงการศึกษาศึกษาและอุตสาหกรรมอาหารมานานพอสมควร สังเกตได้จากในปี 1976 ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการทดลองทอดแอปเปิ้ลสไลด์ ให้มีความกรอบเหมือนกับมันฝรั่งทอดกรอบ และมีกลิ่นรสเหมือนผลแอปเปิ้ลสด โดยนำแอปเปิ้ลสไลด์มาทอดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ประมาณ 685.8-736.6 mm.Hg (abs) อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอด 98.9-104.0 องศาเซลเซียส พร้อมกับเติมมอลโทเดกซ์ทริน 10% ลงไปจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์แอปเปิ้ลสไลด์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและรสชาติดีมีความชื้นต่ำประมาณ 2% (Salunkhe, 1976) หรือแม้กระทั่งการทดลองทอดอาหารประเภท ผักปวยเล้ง มันมือเสือ มันฝรั่ง แอปเปิ้ล สตอเบอรี่ ไข่กรอกปลา เส้นก๋วยเตี๋ยว แครอท พริกหยวก ถั่วลิสง เต้าหู้ ถั่วแขก แตงกวา มะเขือยาว และเห็ดหอม ฯลฯ ด้วยเครื่องทอดแบบ Batch-type vacuum fryer และใช้แก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนกับน้ำมันและทำการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการพิจารณาจากสี ความกรอบ และรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ชำนาญในการทดสอบชิม พบว่า อาหารส่วนใหญ่ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จะให้สี กลิ่นรสและคุณภาพดีกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (Oka and Ueoka, 1981) ปัจจุบันได้มีการนำมันฝรั่ง ถั่วเขียว มะม่วง มาทอดในเครื่องทอดแบบสุญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิการทอดที่ 120-130±1 องศาเซลเซียส เทียบกับการทอดแบบน้ำมันท่วมทั่วไป โดยใช้อุณหภูมิการทอดที่ 160-165±1 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวอย่างที่ทอดในเครื่องทอดแบบสุญญากาศจะมีคุณภาพสูงและมีปริมาณการอมน้ำมันน้อยกว่าการทอดแบบน้ำมันท่วมทั่วไป และเมื่อนำตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี hedonic scale (1-9 scale) ใช้คุณลักษณะด้านสี เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณภาพโดยรวม เป็นเกณฑ์ในการตัดสินคุณภาพของตัวอย่างแต่ละชนิด ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่ผ่านการทอดแบบสุญญากาศจะได้รับการยอมรับมากกว่า (Silva and Moreira, 2008)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารทอด คือ คุณภาพน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาที่ใช้ทอด ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และขนาดของการเกิด crust เช่น ในผลิตภัณฑ์

ทอดชิปส์ (Tortilla Chips) ทอดจะมีน้ำมันสะสมอยู่ที่ผิวมากเมื่อทอดในน้ำมันเก่า อีกทั้งความหนืดสูงและ/หรือแรงตึงผิวต่ำของน้ำมันยังส่งผลต่อการเกาะติดของน้ำมันที่ผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งปริมาณน้ำมันสุดท้ายทั้งหมด 20% จะถูกดูดซับระหว่างการทอดอีก 64% จะถูกดูดซับระหว่างการ cooling และเหลือเพียง 36% ที่ติดอยู่ที่ผิว (Rosana, 1996)

2. การเหม็นหืนในอาหารระหว่างการเก็บ

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติและสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ คือ Hydrolytic rancidity, Oxidative rancidity และ Ketonic rancidity ซึ่งสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนดังกล่าว ส่งผลให้ผู้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องมีวิธีควบคุมคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีก่อนออกจากโรงงาน โดยผู้ผลิตอาหารจะต้องแน่ใจว่าน้ำมันหรือไขมันที่จะเข้าสู่โรงงานเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพและถูกเก็บไว้ในสถานะที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปผสมกับส่วนประกอบอื่นๆ จนได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุดท้าย (finished food products) ปัจจุบันมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่ศึกษาหาวิธีการปรับปรุงการเกิดกลิ่นหืนในไขมัน น้ำมัน และอาหาร โดยเฉพาะการเพิ่มความสามารถในการชะลอการเกิดกลิ่นหืนของอาหาร เช่น การเติมสารต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Hydrolytic rancidity และ Oxidative rancidity เช่น อาหารพวกธัญพืช นม เนย เนื้อสัตว์ และปลา เป็นต้น ส่วนการหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Ketonic rancidity เช่น ผลิตภัณฑ์พวกขนมหวาน (confectionery)

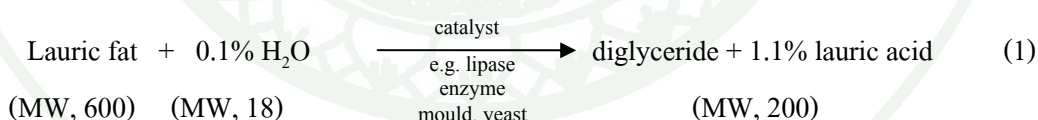
ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการหืนขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้น ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ขนาดของอนุภาค สภาพการผลิต สภาพการเก็บรักษา (ได้แก่ อุณหภูมิ และค่าออกซิเจนที่วัดได้) ความชื้นในบรรยากาศ ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Allen and Hamilton, 1994)

2.1 Hydrolytic rancidity (หรือ lipolytic rancidity)

Hydrolytic rancidity หรือ lipolytic rancidity เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญมากในน้ำมันทอดและอาหารทอด เพราะมันมักจะทำให้น้ำมันหรืออาหารมีคุณภาพที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา hydrolytic rancidity สามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหน้าที่ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ หรือแม้แต่ว่าความปลอดภัยของอาหารทอด โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มัก

ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ลดลงอันเนื่องมาจากการที่ผลิตภัณฑ์ถูกออกซิไดซ์ (Allam and Sayed, 2004) เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทธัญพืชและอาหารขบเคี้ยวที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบและมีค่าออกซิเดชันต่ำกว่า 0.6 จะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ แต่การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีอันเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียจะยังสามารถดำเนินต่อไป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง เพราะมันจะไวต่อการหืนแบบ lipid oxidation ส่งผลให้อาหารเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติระหว่างการเก็บ (Jensen and Risbo, 2007)

Hydrolytic rancidity เป็นปัญหาที่มักพบในผลิตภัณฑ์จำพวก lauric oil เช่น น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม เกิดจากการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ด้วยเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในไขมัน และเมื่อน้ำมันหรือความชื้นอยู่ด้วย จนเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid ; FFA) โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดเล็กในผลิตภัณฑ์จำพวก lauric oil เช่น กรดคาพริก (capric acid) กรดลอริก (lauric acid) และกรดไมริสติก (myristic acid) จะมีกลิ่นหืนมาก เนื่องจากกรดไขมันอิสระมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล การหืนของผลิตภัณฑ์จำพวก lauric oil ได้แก่ การหืนของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป ซึ่งหากมีกรดไขมันอิสระพวกกรดคาพริก กรดลอริก และกรดไมริสติก ในปริมาณที่สูงขึ้นกว่าปกติ จะทำให้มีกลิ่นคล้ายสบู่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการหืนแบบ hydrolytic rancidity แสดงดังสมการที่ 1 คือ



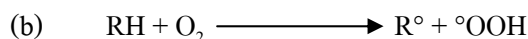
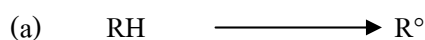
การเกิดปฏิกิริยา hydrolytic rancidity มักเกิดขึ้นในขณะทอดอาหารที่มีน้ำหรือความชื้น และใช้อุณหภูมิสูง แต่จะไม่ค่อยพบในอาหารที่มีส่วนประกอบไขมันที่มีระดับของกรดไขมันอิสระต่ำ จากสมการที่ 1 แสดงว่าเมื่อผลิตภัณฑ์พวก lauric fat ทำปฏิกิริยากับน้ำ 0.1% จะได้เป็นไตรกลีเซอไรด์และกรดลอริก โดยมีเอนไซม์ไลเปส ยีสต์และราเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากสมการดังกล่าวเห็นได้ชัดว่าแม้ปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดกรดลอริกที่มากเพียงพอที่จะทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติได้ ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถป้องกันได้ โดยการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining) และการทำลายเอนไซม์นั้นเสีย และระวังอย่าให้น้ำปนในไขมัน (Allen and Hamilton, 1994)

อย่างไรก็ตาม การเกิด hydrolytic rancidity บางครั้งไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่นหรือชิมรส จึงต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ ต้องวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น เรียกว่า กรดไขมัน (Acid value; AV) โดยค่ากรดไขมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1 กรัม ถ้าไขมันหรือน้ำมันมีค่าของกรดสูง แสดงว่ามีกรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันนั้นอยู่มาก แสดงว่าเกิดการหืนมาก (Allen and Hamilton, 1994)

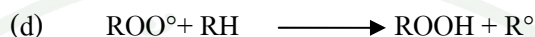
2.2 Oxidative rancidity (autooxidation)

การเกิดกลิ่นหืนขึ้นในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนนี้ มีความสำคัญต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารมาก เพราะส่วนมากน้ำมันและไขมันสำหรับผู้บริโภคเกือบทุกชนิดจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประกอบอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการทำลายคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ด้วย เนื่องจากวิตามินชนิดที่ละลายในไขมันและกรดไขมันที่จำเป็นถูกทำลาย การเกิด Oxidative rancidity เกิดขึ้นเนื่องจากออกซิเจนเข้าไปแทนที่ตำแหน่งที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดทั้งสารประกอบที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ เช่น สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (primary oxidation products) สารประกอบนี้สามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติไปเป็นสารประกอบที่มีชีวพวงแอลดีไฮด์ คีโตน เปอร์ออกไซด์ (secondary oxidation products) (Allam and Sayed, 2004) ปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองโดยไม่ต้องมีสารอื่นเกี่ยวข้อง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า autooxidation (Naz *et al.*, 2004) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นตลอดเวลาเหมือนปฏิกิริยาลูกโซ่ มีผลให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวให้สารที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลง เป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน และกรด สารพวกนี้จะระเหยและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในอาหาร อธิบายได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้นซึ่งได้อนุมูลอิสระ ($R^\bullet$) เกิดขึ้นแล้วอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical, $ROO^\bullet$) แล้วจะทำปฏิกิริยาต่อตรงพันธะคู่ของกรดไขมันอีกเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, $ROOH$) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่ได้ $ROO^\bullet$ และ $ROOH$ นี้จะเป็นขั้นที่เรียกว่า propagation โดยทั่วไปไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะไม่มีการสลาย แต่จะไม่คงตัวมักสลายให้สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน พอลิเมอร์ ลิพิดเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระ อนุมูลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และเมื่อใดที่อนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาจะหยุดลง แต่หากมีออกซิเจนมากพอปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ก็จะเริ่มต้นอีกครั้ง (Perkins, 1996) ดังสมการที่ 2 คือ

Initiation :



Propagation



Termination



ที่มา: Perkins (1996); Fernandez *et al.* (1997)

อิทธิพลที่มีต่อการเกิด Oxidative rancidity ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ทองแดง สังกะสี โลหะทรานซิชันพวกตะกั่ว เป็นต้น การหีบแบบ Oxidative rancidity สามารถยับยั้งหรือทำให้ช้าลง โดยการบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum packaging) หรือบรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อยพร้อมกับดึงก๊าซออกซิเจนออกไป (modified atmosphere) (Naz *et al.*, 2004) เช่น การบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่ปราศจากก๊าซออกซิเจนหรือก๊าซเฉื่อย กระบวนการเติมไฮโดรเจนในไขมันนั้นจะไปกำจัดกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวช่วยให้ไขมันไม่เกิดปฏิกิริยาการหืนได้ (Adahikary *et al.*, 2001) หรือทำการแช่เย็นหรือแช่แข็งไว้ เนื่องจากอัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำแห้ง ไม่เก็บไว้ในที่ที่มีความชื้นสูง อัตราการเหม็นหืนเนื่องมาจากน้ำและก๊าซออกซิเจนในอาหารระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอัตราการย่อยสลายไขมันในอาหารจะช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง และปริมาณของกรดไขมันอิสระจะมีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ลดลงโดยทำการเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Njobeh and Nsahlai, 2006) ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Oxidative rancidity หรือไม่ ทำได้โดยการหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value ; PV) และค่ากรดไทโอบาบิฟูริก(TBA) เป็นต้น (Allen and Hamilton, 1994) ค่าเปอร์ออกไซด์คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม กล่าวคือ ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูง แสดงว่าน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากก๊าซออกซิเจนมาก (Kirk and Sawyer, 1991)

2.3 Ketonic rancidity

การหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Ketonic rancidity เป็นปัญหาที่พบบ่อยๆ ในอาหารที่กรดไขมันอิสระสายสั้นเป็นส่วนประกอบ มักเกิดจากน้ำ ออกซิเจน และเชื้อจุลินทรีย์ (เช่น *Eurotium amstelodami*, *E. chevalieri*, *E. herbariorum* และ *Pencillium citrinum* เป็นต้น) โดยทำปฏิกิริยาร่วมกับ lauric fat และกรดไขมันอิสระสายสั้น ทำให้เกิดปฏิกิริยา β -oxidation ขึ้นในไขมันและผลจากการหืนแบบนี้จะได้สารประกอบคีโตน มักเกิดในน้ำมันมะพร้าวที่ขึ้นรา มีความชื้นและสารอาหารพวกไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อการเจริญของราด้วย เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะได้สารประกอบ methyl-amyl ketone นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดกับผลิตภัณฑ์นม/เนย การหืนนี้พบน้อยมากในอาหารที่แปรรูปและบรรจุในภาชนะบรรจุที่ถูกต้องและมีสุลักษณะที่ดี การป้องกันการหืนแบบนี้จึงทำได้โดยการกำจัดเชื้อรา หรือกำจัดสิ่งที่จะช่วยส่งเสริมการเจริญของเชื้อรา เช่น อากาศ ความชื้นและสารประกอบไนโตรเจน

การวัดค่าการหืนแบบ Ketonic rancidity จะคล้ายกับแบบ hydrolytic rancidity ได้แก่ การวิเคราะห์ความชื้น กิจกรรมของจุลินทรีย์ และปริมาณกรดไขมันอิสระ (Acid value ; AV) (Allen and Hamilton, 1994)

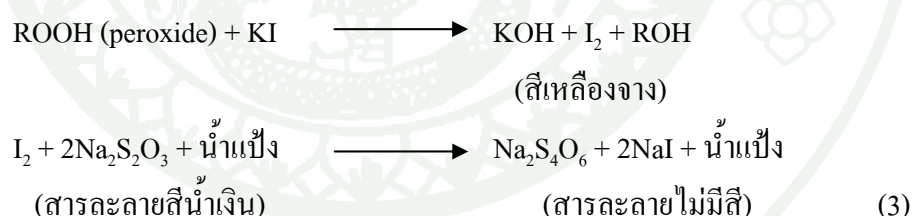
3. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันหรือไขมัน

เนื่องจากลิพิดที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งวิธีวิเคราะห์ค่าคุณภาพด้านต่างๆ มีหลายวิธี เช่น การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV), ค่ากรดไขมัน (Acid value; AV), ค่ากรดไทโอบาบิทริก (Thiobarbituric acid number; TBA), Anisidine value, Iodine value, Totox value และ Kreis test (rancidity index) เป็นต้น (Allen and Hamilton, 1994; Rossell, 2001) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการทอดและสถานะในการทอดของน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ แต่วิธีที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันและไขมันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

3.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV)

ในระหว่างการเก็บรักษาไขมันและน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดกลิ่นและรสที่ไม่ต้องการ เรียกว่า เหม็นหืน (rancidity) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ (oxidation rancidity) โดยมีความร้อน แสง ความชื้น และโลหะพวกเหล็กและทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ แม้ว่าเปอร์ออกไซด์ไม่ใช่สารที่ให้กลิ่นเหม็นหืนโดยตรง แต่เป็นประโยชน์ในการประเมินหาการเสื่อมเสียของไขมันและน้ำมัน

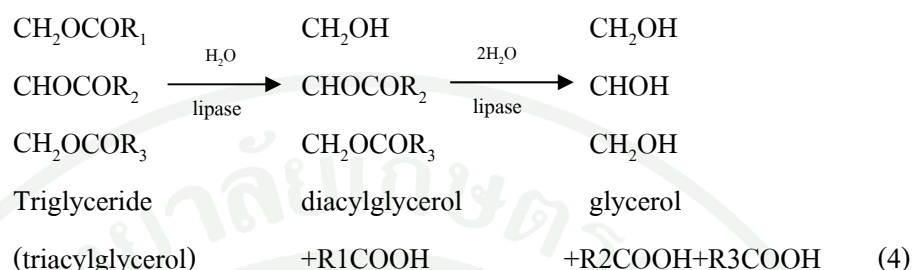
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV) เป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ของปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนในระยะที่ 1 (primary oxidation products) (Jonnalagadda *et al*, 2001) ในน้ำมันและไขมันระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเปอร์ออกไซด์จะเกิดช้าๆ ในระยะแรกของการเก็บรักษา อาจใช้เวลาไม่กี่สัปดาห์หรือหลายเดือนขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันและน้ำมัน อุณหภูมิ เป็นต้น ไขมันและน้ำมันที่มีค่า iodine value สูง จะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงด้วย การวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์หาได้จากปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไอโอไดด์ใน acid solution กับ bound oxygen ทำให้เกิด iodine ขึ้น ซึ่งสามารถไทเทรตหาปริมาณของ iodine ที่เกิดขึ้นด้วย sodium thiosulphate (Kirk and Sawyer, 1991) ดังสมการที่ 3 คือ



3.2 ค่ากรดไขมัน (Acid value; AV)

การวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน (Acid value : AV) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FAA) เป็นการตรวจการสลายตัวและการหืนของไขมันและน้ำมัน ซึ่งค่านี้ใช้บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่ากรดไขมันสูง แสดงว่าโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก นั่นคือมี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมัน ความร้อนหรือแสงช่วยเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น

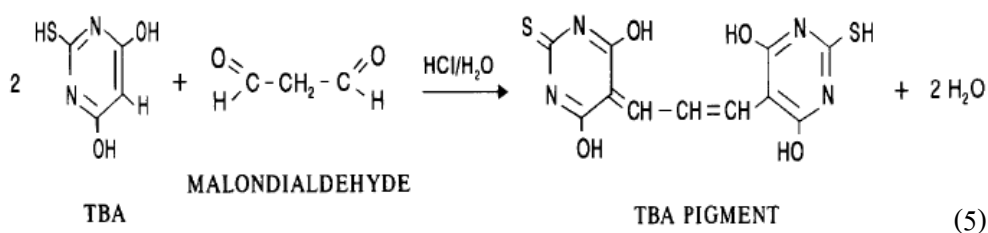
โดยทั่วไปน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ 0.5-1.5% ในรูปกรดโอเลอิก จะเริ่มสังเกตเห็นการหืนได้ (Kirk and Sawyer, 1991) ดังสมการที่ 4 คือ



ที่มา: Allen and Hamilton (1994)

3.3 ค่ากรดไทโอบาบิทริก (Thiobarbituric acid number; TBA)

นี่คือหนึ่งในวิธีการวัดค่าที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางสำหรับวิเคราะห์ค่าลิพิดออกซิเดชันในอาหารที่มีไขมันสูงเช่นเดียวกับการหาในไขมันโดยตรง (Fennema, 1996) ซึ่งการทดสอบการหืนด้วยวิธี TBA นั้นก็เพื่อตรวจสอบปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนในระยะที่ 2 (secondary products) ของปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกไซด์ โดยค่าที่วิเคราะห์ได้จะถูกนำมาใช้บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันหรืออาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบไขมันและน้ำมันที่ถูก oxidized จะเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากสารประกอบ aldehyde คือ malonaldehyde และส่วนใหญ่จะพบในรูปที่จับกับสารอื่นซึ่งแยกออกได้โดยใช้ความร้อน สาร malonaldehyde ดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับ 2-thiobarbituric acid (TBA) เกิดเป็นสารสีแดง ความเข้มของสารสีแดงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ oxidation rancidity ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้ spectrophotometer ที่ค่าการดูดกลืนแสงต่างๆ เช่น ช่วง 450-532 nm เป็นต้น โดยสมการที่ 5 ได้แสดงปฏิกิริยาระหว่าง TBA และ MDA จนเกิดเป็น TBA pigment ไว้ดังนี้



ที่มา: Fernandez *et al.* (1997)

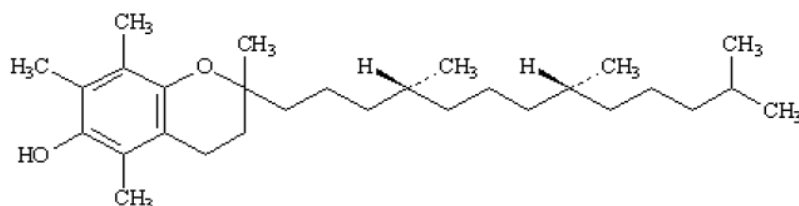
การทดสอบการหืนด้วยวิธีกรดไทโอบาบิฟูริก (TBA) สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ วัดจากน้ำมันที่สกัดออกจากตัวอย่าง และวัดจากตัวอย่างโดยตรงที่ไม่ต้องสกัดน้ำมันออก โดยค่ากรดไทโอบาบิฟูริกจะวัดเป็น mg malonaldehyde ต่อ กิโลกรัมตัวอย่าง (Kirk and Sawyer, 1991)

4. สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

การที่อาหารเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ของน้ำมันหรืออาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบนั้น เนื่องจากน้ำมันเข้าไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เช่น การหืนจากปฏิกิริยา oxidative rancidity หรือ hydrolytic rancidity โดยมีเอนไซม์ไลเปสจากอาหารหรือจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Naz *et al.*, 2004) ดังนั้นการใช้สารต้านออกซิเดชันเป็นวิธีการที่มีความสำคัญมากสำหรับการหยุดยั้งการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติในน้ำมันหรืออาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Allam and Sayed, 2004) ซึ่งหมายถึง สารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้นหรือชะลอการเกิดออกซิเดชันหรือออกซิเดชันของไขมันได้อย่างช้าๆ โดยสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) จะเป็นตัวไปจับกับอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรมากกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นมาอีก เพราะมันจะรวมกันเองกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร (Rossell, 2001)

4.1 วิตามินอี (Tocopherol)

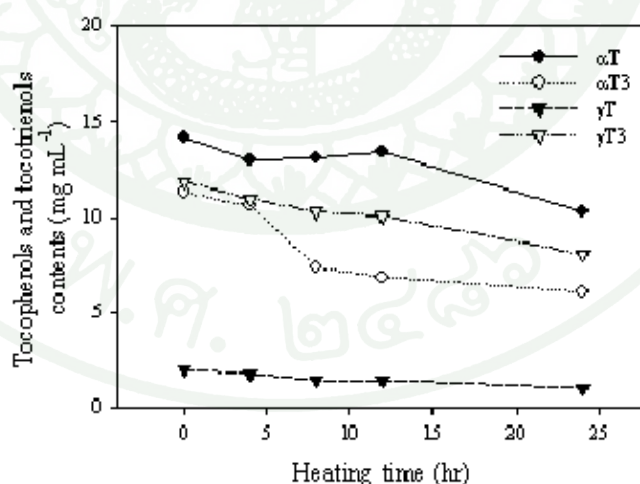
วิตามินอีที่พบในธรรมชาติมีอยู่ทั้งในอาหารที่ได้จากพืชและสัตว์อยู่ 4 ชนิด คือ แอลฟา บีตา แกมมา และเดลตา-โทโคเฟอรอล มีสูตรทางเคมี $C_{29}H_{50}O_2$ วิตามินอีที่บริสุทธิ์จะมีสีเหลืองอ่อนค่อนข้างเหนียวเหมือนน้ำมัน สามารถละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายไขมัน โดยความไวต่อปฏิกิริยาของวิตามินอีแต่ละชนิด คือ แอลฟา>บีตา>แกมมา>เดลตา แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะตรงกันข้าม คือ เดลตา>แกมมา>บีตา>แอลฟา วิตามินอีมีความคงตัวดีต่อกรด ทนความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส และภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและออกซิไดส์ลิพิด แต่ไม่ทนต่อด่าง แสงอัลตราไวโอเลต และจะสลายตัวมากขึ้นเมื่อมีออกซิเจน (Fennema, 1996; Park *et al.*, 2004)



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของแอลฟา-โทโคเฟอรอล

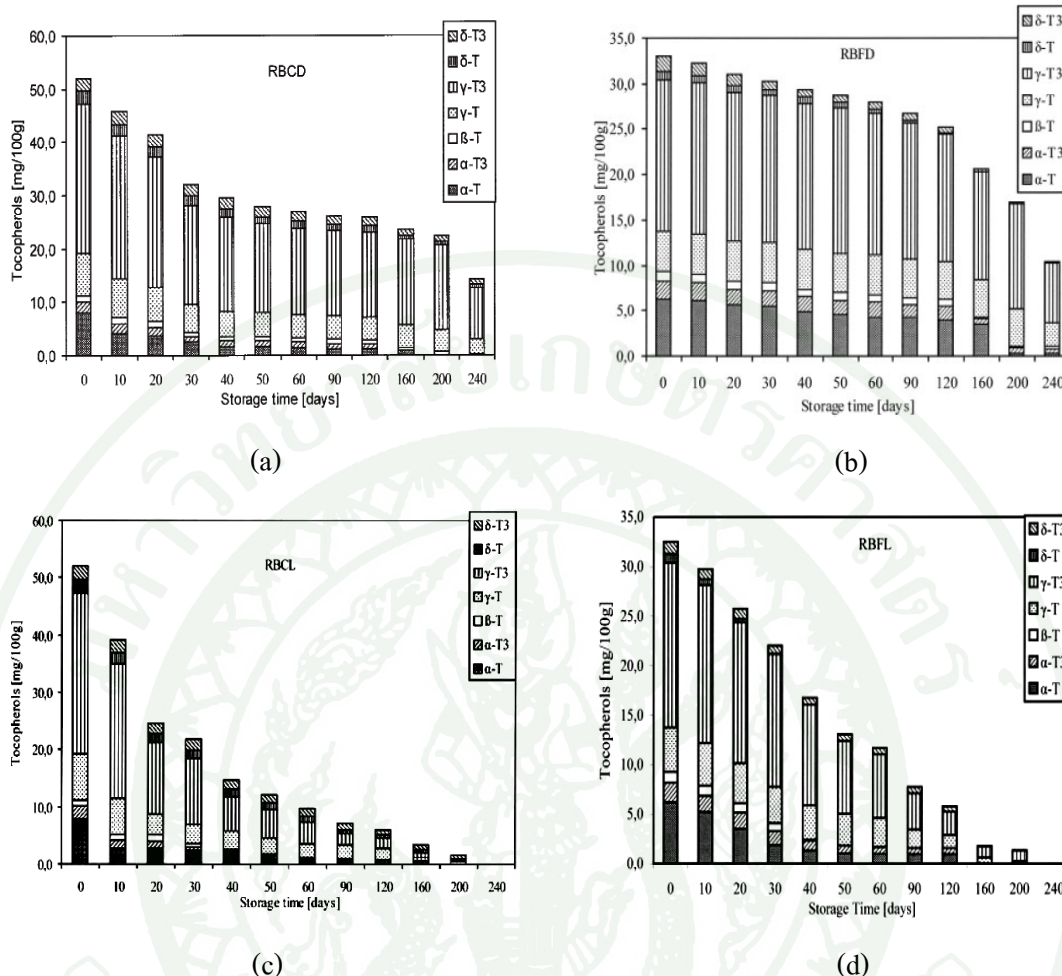
ที่มา: Park *et al.* (2004)

Park *et al.* (2004) ได้ทำการทดสอบความคงตัวต่อความร้อนและออกซิเจนของวิตามินอีในน้ำมันรำข้าว พบว่า แกมมา-โทโคเฟอรอล ในตัวอย่างมีการสูญเสียน้อยกว่าแอลฟา-โทโคเฟอรอล นั้นแสดงว่า แกมมา-โทโคเฟอรอล สามารถทนต่อความร้อนสูงได้มากกว่าแอลฟา-โทโคเฟอรอล ดังแสดงในภาพที่ 2 และหากทำการเก็บน้ำมันรำข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 240 วันในที่มืด พบว่า โทโคเฟอรอลแต่ละชนิดจะลดลงเรื่อยๆ โดยเคลตา>แกมมา>แอลฟา-โทโคเฟอรอล แต่หากเก็บไว้ในที่มีแสง โทโคเฟอรอลแต่ละชนิดจะลดลงมากกว่า โดยเคลตา>แกมมา>แอลฟา-โทโคเฟอรอล ดังแสดงในภาพที่ 3 (Mezouari and Eichner, 2007)



ภาพที่ 2 ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงของโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอลจากน้ำมันรำข้าวภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง

ที่มา: Park *et al.* (2004)



ภาพที่ 3 การลดลงของโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอลในน้ำมันรำข้าวดิบและน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ โดยเก็บไว้ 240 วัน เมื่อ (a)=น้ำมันรำข้าวดิบที่เก็บในที่มืด; (b)=น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ที่เก็บในที่มืด; (c)=น้ำมันรำข้าวดิบที่เก็บในที่มืด และ (d)=น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ที่เก็บในที่มืด

ที่มา: Mezouari and Eichner (2007)

เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันมีทั้งสารที่ได้จากธรรมชาติและสารสังเคราะห์ ดังนั้นการนำสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารจะต้องมีการควบคุมปริมาณที่ใช้อย่างเข้มงวด เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ปัจจุบันจึงได้มีนักวิจัย ผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ความสนใจในการใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติมากขึ้น เช่น วิตามินซี วิตามินอี เป็นต้น เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อร่างกายมากกว่า การเติมสารต้านออกซิเดชันจาก

ธรรมชาติ (natural antioxidant) และจากสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) เช่น TBRQ วิตามินอี และวิตามินซี เป็นต้น สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เช่น ในการทอดมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบในน้ำมันที่เติมและไม่เติมสารต้านออกซิเดชันระหว่างการทอด 8 ชั่วโมงแรก โดยศึกษาสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ TBRQ (ปริมาณ 1000 ppm เติมในน้ำมันที่ใช้ทอด) วิตามินอีและวิตามินซี (ปริมาณ 1000 ppm ต่อกลีโกรัมไขมัน ใช้จุ่มในผลิตภัณฑ์ทอด) พบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบสามารถเก็บได้นานขึ้น เมื่อเติมสารต้านออกซิเดชัน (ได้แก่ วิตามินอี และวิตามินซี) อย่างใดอย่างหนึ่งลงไป ในผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะทำการบรรจุในถุงออลูมิเนียม และเก็บรักษา โดยการนำผลิตภัณฑ์มาจุ่มและคลุกกับสารต้านออกซิเดชัน จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันที่ไม่เติม TBRQ มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาต่ำ แต่จะมีความคงตัวเพิ่มขึ้นหากมีการเติมสารต้านออกซิเดชันจำพวกวิตามิน (antioxidant vitamins) ลงไปในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น วิตามินอี และวิตามินซี (Allam and Sayed, 2004)

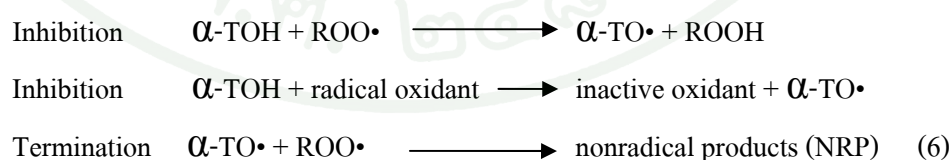
จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาและระดับความเข้มข้นต่างๆ ของวิตามินอีต่อการเกิดลิพิดออกซิเดชันในไข่ผง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของไข่ไก่ โดยการเติมวิตามินอีที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50, 75, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกลีโกรัมของอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มปริมาณของสารต้านออกซิเดชันในไข่ผง ซึ่งหลังจากเก็บไข่ผงเป็นเวลา 18 เดือน พบว่า วิตามินอีในไข่ผงค่อยๆ ลดลงทีละนิด หลังจากเก็บไว้แล้ว 6 เดือน โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไข่ผงเกี่ยวกับการเกิดลิพิดออกซิเดชัน ได้แก่ กรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), oxidized fatty acids และ oxysterols เป็นต้น จากการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ข้างต้น พบว่า oxidized fatty acids จะปรากฏขึ้นเมื่อเก็บได้ 0-2 เดือน ส่วนกรดไขมันอิสระจะปรากฏขึ้นเมื่อเก็บได้ 4-8 เดือน และ TBARS จะปรากฏขึ้นเมื่อเก็บได้ 8-12 เดือน (Wahle *et al.*, 2006)

การศึกษาผลของสารต้านออกซิเดชันที่มีต่อความคงตัวของการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์แคปซูลน้ำมันปลา ทำการเติมวิตามินอีลงไปในตัวอย่าน้ำมันปลาที่ระดับความเข้มข้น 0, 250 และ 1000 ppm โดยพิจารณาผลของวิตามินอีจากการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ เช่น ค่า TBARS และค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น พบว่า น้ำมันปลาที่เติมวิตามินอีมีค่า TBARS และค่าเปอร์ออกไซด์ ต่ำกว่าน้ำมันปลาที่ไม่ได้เติมวิตามินอี และน้ำมันปลาที่เติมวิตามินอี 1000 ppm สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าตัวอย่างที่เติมวิตามินอีเพียง 250 ppm (Baik *et al.*, 2004)

Kulas and Ackman (2001) ได้ทำการศึกษาโทโคเฟอร์รอลแต่ละชนิดในน้ำมันปลา กะดักและพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ (primary oxidation products) โดยเติมโทโคเฟอร์รอล (วิตามินอี) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 50, 1000 และ 2000 ppm พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ที่ ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างน้ำมันปลากะดักจะลดลงเมื่อ ระดับความเข้มข้นของโทโคเฟอร์รอล(วิตามินอี)เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาปฏิกิริยาของโทโคเฟอร์รอล แต่ละชนิดจากค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า ตัวอย่างที่ไม่เติมโทโคเฟอร์รอลจะสูงกว่าตัวอย่างที่เติม โทโคเฟอร์รอล ส่วนตัวอย่างที่เติมคลตา-โทโคเฟอร์รอล จะมีค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าแกมมาและ แอลฟา-โทโคเฟอร์รอล ตามลำดับ

4.2 กลไกของสารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ มีทั้งสารต้าน ออกซิเดชันในธรรมชาติ และสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งวิตามินอีถือเป็นสาร ต้านออกซิเดชันตัวหนึ่งที่ถูกประกอบการอาหารนิยมนำมาใส่ในอาหาร เพื่อช่วยชะลอจุดเริ่มต้นหรือ ชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยวิตามินอี (α -tocopherol; α -TOH) จะไปทำ ปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกไซด์ ($ROO\cdot$) ทำให้วิตามินอี (α -TOH) สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมกับ อนุมูลเพอร์ออกไซด์ ($ROO\cdot$) ได้เป็นอนุมูล α -tocopheroxyl (α -TO $\cdot$) ทั้งนี้เนื่องจาก α -TOH จะมี ปฏิกิริยาโต้ตอบโดยตรงกับขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระด้วยการไปขัดขวางอนุมูลเพอร์ออกไซด์ ($ROO\cdot$) ทำให้ไขมันหรืออาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้าลง และ เมื่อใดที่อนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากับอนุมูล α -tocopheroxyl (α -TO $\cdot$) ก็จะทำให้เกิดเป็น สารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาก็จะหยุดลง (Upston *et al.*, 1999) ดังสมการที่ 6 คือ



ที่มา: Upston *et al.* (1999)

ซึ่งกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน (ได้แก่ วิตามินอี) สามารถอธิบายได้ดีจากช่วง เวลาของการขัดขวางหรือยับยั้งการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในเทอมของ lag-time และเมื่อวิตามิน

อีที่เติมลงในอาหารถูกใช้หมดไปก็จะทำให้ปฏิกิริยาฟีดแบ็คออกซิเดชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งคุณลักษณะสำคัญของวิตามินจะกระทำภายใต้เงื่อนไขการส่งเสริมผลของการยับยั้งการเกิดฟีดแบ็คออกซิเดชัน โดยสังเกตได้จากช่วงเวลาของ lag-time ยาวนานขึ้น (Upston *et al.*, 1999)

5. มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโทเดกซ์ทริน คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลของสตาร์ช ด้วยกรดหรือเอนไซม์ จนได้สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเข้มข้น จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dried) เพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทรินผงสีขาวละเอียด มอลโทเดกซ์ทรินจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ซึ่งเกิดจาก D-glucose หลายๆ โมเลกุลเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (Tonon, 2009) แต่มีค่า dextrose equivalent (DE) อยู่ในระดับต่ำ (DE ไม่เกิน 20) มีสูตรทางเคมี $(C_6H_{12}O_5)_n H_2O$ โดยค่า DE คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณของน้ำตาลรีดิวซิงส์ (reducing sugar) และอยู่ในรูปของเด็คโตรสภายใต้สภาวะที่ถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอน ค่านี้เกือบจะไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเด็คโตรสที่แท้จริงในผลิตภัณฑ์ และจะมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลรีดิวซิงส์ทั้งหมดของน้ำตาลในสารละลาย Fehling's (Maiden, 1970) ซึ่งค่า DE ของมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกันจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติในการทำหน้าที่ของมอลโทเดกซ์ทรินที่เตรียมได้ เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะใช้แทนที่ไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดเพราะมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมาก อีกทั้งยังใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกลูกกวาด ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น เพื่อลดอัตราการดูดซับความชื้นในบรรยากาศของผลิตภัณฑ์ ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูงนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) เพิ่มขึ้น แต่มีความหนืดลดลง อีกทั้งยังมีความสามารถในการละลาย และ bulking properties ใกล้เคียงกับน้ำเชื่อม โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 5-19 มอลโทเดกซ์ทรินอาจอยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาว ไม่มีกลิ่นรส ไม่มีรสหวานหรือหวานได้เล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่ร่างกายสามารถย่อยสลายได้ง่าย และดูดซึมได้เร็วเช่นเดียวกับกลูโคส (Knight, 1969; Macrae *et al.*, 1993) ตัวอย่างมอลโทเดกซ์ทรินทางการค้า เช่น Paselli SA2, Matrin M040 และ Star Dri[®] (Frye and Setser 1993; White 1993)

5.1 สมบัติบางประการของมอลโทเดกซ์ทริน

คุณสมบัติบางประการของมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และผลิตภัณฑ์อาหารทอดปรุงรส ได้แก่

5.1.1 การดูดความชื้น

มอลโทเดกซ์ทรินมีความสามารถในการดูดซับความชื้นจากอากาศได้ต่ำ (nonhygroscopic) เนื่องจากมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่น้อย ซึ่งความสามารถในการดูดความชื้นของมอลโทเดกซ์ทรินจะเพิ่มตามค่า DE ที่สูงขึ้น (Kenyon and Anderson, 1988) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva *et al.* (2006) ที่กล่าวว่า การเติม 20DE มอลโทเดกซ์ทริน 30% ลงไปในผง camu-camu อบแห้งแบบประเหิด (freeze-dried camu-camu pukup) ช่วยลดการดูดซับความชื้นในบรรยากาศได้ โดยพิจารณาจากซอร์ปชันไอโซเทอมที่ 25 องศาเซลเซียส ร่วมกับสมการ GAB model และเมื่อทำการเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงไปในเนื้อสับประดง พบว่า เมื่อนำไปวิเคราะห์ซอร์ปชันไอโซเทอมที่ 20 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้สมการ GAB model เนื้อสับประดงจะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยกว่าเนื้อสับประดงที่ไม่ได้เติมมอลโทเดกซ์ทริน (Gabas *et al.*, 2007)

ในการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอมของผงอะไซอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dried acai) ที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน 10DE, มอลโทเดกซ์ทริน 20DE, กัมอะราบิก, แป้งมันสำปะหลัง ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน คือ 6% พบว่า มอลโทเดกซ์ทริน 10DE สามารถดูดความชื้นได้น้อยกว่ามอลโทเดกซ์ทริน 20DE และกัมอะราบิก เนื่องจากความสามารถในการดูดความชื้นของมอลโทเดกซ์ทรินจะเพิ่มขึ้นตามค่า DE ที่สูงขึ้น (Tonon *et al.*, 2009)

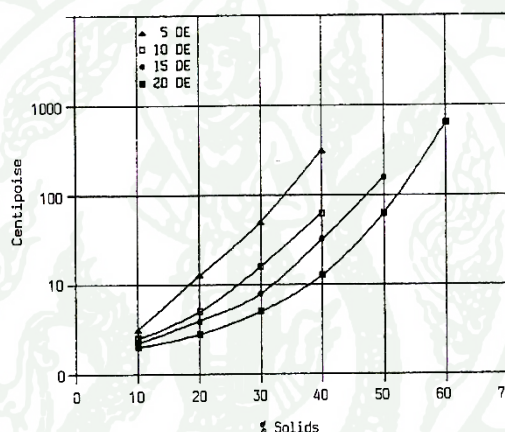
5.1.2 ความสามารถในการละลาย

มอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE สูงจะละลายน้ำได้ดีกว่าชนิดที่มีค่า DE ต่ำ (Lloyd and Nelson, 1984) ทั้งนี้เนื่องมาจากมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำกว่า จะมีปริมาณแฉีกคาร์ไนด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมากกว่าพวกที่มีค่า DE สูง (Howling and Jackson, 1990) ดังนั้นเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้นมอลโทเดกซ์ทรินจะมีปริมาณแฉีกคาร์ไนด์ขนาดเล็ก (DP1-8) มากขึ้นและ

ปริมาณแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ ($\geq DP10$) น้อยลง ซึ่งแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่เหล่านี้จะละลายน้ำได้ยากและเป็นสาเหตุให้มอลโทเดกซ์ทรินมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยเมื่อระดับ DE มีค่าต่ำลง

5.1.3 ความหนืด

สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินจะแสดงลักษณะความหนืดเป็นแบบนิวโตเนียน กล่าวคือ เมื่อสารละลายได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ความหนืดมีค่าลดลง โดยระดับ DE และความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินมีผลต่อความหนืด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความหนืดของสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน 5, 10, 15 และ 20DE ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ที่มา: Kenyon and Anderson (1988)

จากภาพที่ 4 สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำจะมีความหนืดสูงและความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Klinkesorn *et al.* (2004) กล่าวว่า หากเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงใน corn oil-in-water emulsions จะทำให้เกิดความหนืดสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้นและค่า DE ที่ต่ำลง

5.2 การใช้ประโยชน์จากมอลโทเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีสมบัติที่ดีหลายประการ จึงมีการนำมอลโทเดกซ์ทรินไปใช้ในอาหารประเภทต่างๆ เช่น ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย นิยมใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารตัวกลางสำหรับห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสต่างๆ ได้แก่ ไขมันเนย น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ในอุตสาหกรรมสารให้กลิ่นรสและสารให้ความหวานสังเคราะห์ นิยมใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารเพิ่มปริมาณ (bulking agent) มอลโทเดกซ์ทรินจะช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำตาล ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ทำให้เนื้อสัมผัสเนียน รักษาความชุ่มชื้น ละลายได้ดี ไม่มีผลต่อกลิ่นรส ช่วยให้อาหารไม่เหนียวติดกัน เป็นตัวเชื่อมชิ้นอาหาร และยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ลูกกวาดชนิดแข็ง ขนมหวานชนิดอัดตัว (compressed confections) เป็นต้น มอลโทเดกซ์ทรินจะช่วยควบคุมการเพิ่มขนาดของเกล็ดน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์แช่แข็งและเนื่องจากการที่มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารเคลือบ จึงมีคุณสมบัติในการเกิดแผ่นฟิล์ม ให้ความเหนียว เป็นสารยึดเกาะอาหารได้ดีมาก มีความมันวาว และไม่มีกลิ่นรส โดยใช้เป็นตัวกลางให้กับสารให้ความหวาน สารให้กลิ่นรส เป็นตัวเชื่อมชิ้นอาหาร ช่วยควบคุมความชื้นเนื่องจากดูดความชื้นจากอากาศได้น้อย ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้บางส่วน และช่วยยืดอายุการเก็บในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและอาหารว่าง (snack food) นอกจากนี้ยังใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารทดแทนไขมันในอาหารประเภทไขมันต่ำ เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินให้พลังงานเพียง 3.8 กิโลแคลอรี/กรัม ตัวอย่างการใช้มอลโทเดกซ์ทรินในอาหารประเภทต่างๆ เช่น สารเคลือบผิวหน้าขนม สารเคลือบเมล็ดถั่วและอาหารว่าง อาหารว่าง (snack) ขนมหวานชนิดเคี้ยวได้นาน (chewy confections) ไล้ขนมชนิดครีม เครื่องเทศ และสารเคลือบ เป็นต้น (Macrae *et al.*, 1993) ซึ่งมอลโทเดกซ์ทรินมีข้อได้เปรียบกว่าสารตัวกลางพากลิ่นรสชนิดอื่น (ได้แก่ กัมอะราบิก) คือ สามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่ข้อเสีย คือ ขาดความเป็นอิมัลซิไฟเออร์อย่างแท้จริง ทำให้มอลโทเดกซ์ทรินต้องอาศัยความเหนียวซึ่งเกิดจากแซ็กคาไรด์โมเลกุลใหญ่ในการรักษาภาพอิมัลชันในอาหาร (Kenyon and Anderson, 1988; Friedman, 1991) ทั้งนี้การนำมอลโทเดกซ์ทรินไปใช้ประโยชน์ในอาหารแต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่ต้องการให้มีในอาหารนั้นๆ ซึ่งจะต้องพิจารณาเลือกมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE เหมาะสมด้วย

มีนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจที่จะศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยเฉพาะการเติมมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อลดอัตราการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศของผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้เป็นสารช่วยทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dried) หรืออบแห้งแบบระเหิดในผลิตภัณฑ์ประเภทผง โดย

Kurozawa *et al.* (2009) ได้ทดลองนำมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิกที่ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30% (w/w) เติมในโปรตีนที่สกัดจากเนื้อไก่ก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dried) เพื่อศึกษาอิทธิพลของมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิกที่มีต่อซอร์ปชันไอโซเทอม ความคงตัว (stability) และ glass transition temperature (Tg) ของผลิตภัณฑ์โปรตีนผงจากเนื้อไก่ พบว่า การเติมมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิก จะช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์โปรตีนผงจากเนื้อไก่ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์โปรตีนผงจากเนื้อไก่มีค่า Tg เพิ่มขึ้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังมีความสามารถในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศต่ำลง ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์โปรตีนผงจากเนื้อไก่จะมีความคงตัวระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้นนั่นเอง และจากการพิจารณาค่าซอร์ปชันไอโซเทอมของผลิตภัณฑ์ที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิก พบว่า ยิ่งผลิตภัณฑ์มีระดับความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอะราบิกมากขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่อเทียบกับค่าวอเตอร์แอคติวิตีเดียวกัน ส่วน Mosquera *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อความคงตัวของ borojo ผง (freeze-dried borojo powder) โดยพิจารณาจากค่าซอร์ปชันไอโซเทอม (20 องศาเซลเซียส) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับค่า glass transition temperature (Tg) ของผง borojo ทั้งที่มีการเติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งมอลโทเดกซ์ทรินที่ใช้ทำการศึกษา คือ มอลโทเดกซ์ทริน DE 4.0-7.0 (ML) และ มอลโทเดกซ์ทริน DE 16.5-19.5 (MH) จากการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอมของ borojo ผง (B), borojo ผงที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน DE 4.0-7.0 (B-ML), borojo ผงที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน DE 16.5-19.5 (B-MH), ML และ MH พบว่า ปริมาณความชื้นของ B-ML และ B-MH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่าง B ส่วนปริมาณความชื้นของตัวอย่าง ML จะน้อยกว่า MH, B-MH, B-ML และ B ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์หาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ด้วยการวิเคราะห์ค่า Tg พบว่า เมื่อทำการเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงไปในผลิตภัณฑ์ ปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้ค่า Tg สูงขึ้น แสดงว่าการเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้อายุการเก็บก็จะเพิ่มขึ้นตาม ทั้งนี้เนื่องจากค่า Tg เป็นตัวบ่งชี้ถึงความคงตัวของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

6. ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์

ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นการบรรจุและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว เพื่อรักษาและคงคุณภาพไว้จนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จึงมีบทบาทสำคัญในการลดหรือป้องกันปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเสื่อมคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะขนมอบ-

เดี่ยว เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำ มีความกรอบ เปราะแตกง่าย ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ต้องสามารถป้องกันการแตกหัก ป้องกันความชื้นและสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากขนมขบเคี้ยวสามารถดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อมได้ง่ายทำให้ผลิตภัณฑ์หยาบกรอบจากปริมาณความชื้นของอาหารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น การเกิดออกซิเดชัน การเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราได้ อีกทั้งก๊าซทำให้เกิดปฏิกิริยากับไขมันในอาหาร ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นหืน หากอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ready-to-eat ที่ผ่านกระบวนการทอด มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ คือ เนื้อสัมผัสไม่กรอบและมีกลิ่นรสหืนเกิดขึ้น เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการดูดซับความชื้นจากการส่งผ่านภาชนะบรรจุ (Robertson, 2006) ดังนั้นการตัดสินใจเลือกชนิดของภาชนะบรรจุเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารทอดกรอบ ควรคำนึงถึงคุณสมบัติในการป้องกันความชื้น ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและระยะเวลาในการวางจำหน่าย เช่น การใช้ถุงออลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารว่าง เนื่องจากออลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี มีความมันวาว นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบากว่ากระป๋อง แก้ว และโลหะ แต่มีข้อเสีย คือ ในขณะลำเลียงขนส่งเกิดรอยยับได้ง่าย

Man *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาผลของฟิล์มที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาของ intermediate-moisture deep-fried mackerel โดยมีฟิล์มที่ใช้ในการศึกษา 3 ชนิด คือ PP, HDPE, LDPE ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ฟิล์ม PP ดีที่สุด เนื่องจากมีออกซิเจนซึมผ่านได้ช้ากว่า มีค่าการคไทโอบาบิทรินน้อยกว่า มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีก็น้อยกว่าและผลิตภัณฑ์ยังมีความแข็งแรงมากกว่า เก็บได้นานถึง 8 สัปดาห์ อีกทั้งการซึมผ่านของไอน้ำยังน้อยด้วย

Srinivasa *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของปลากระดี่แห้งในแผ่นฟิล์มที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยมีฟิล์มที่ใช้ในการศึกษา 2 ชนิด คือ LDPE และ PEST/PE laminate ซึ่งจากการทดสอบ พบว่า PEST/PE laminate มีประสิทธิภาพมากกว่า LDPE เนื่องจากมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจน ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ปริมาณความชื้น ค่า total volatile nitrogen ค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) และค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ที่น้อยกว่า อีกทั้งยังพบว่า ค่า acetic acid soluble color จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเวลาผ่านไป 8 เดือน ทั้งนี้แผ่นฟิล์มที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมมีอยู่หลาย

ชนิดและแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตที่จะเลือกใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เนื่องจากมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบสามารถดูดซับน้ำมันได้เป็นจำนวนมากระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีดังกล่าวจะส่งผลต่อการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้น George *et al.* (2011) จึงได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บต่ออายุการเก็บของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบจากมันฝรั่งของประเทศเคนย่า 4 ชนิด โดยนำมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ 150 กรัม บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและอลูมิเนียมฟอยด์จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 สัปดาห์ ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระและปริมาณความชื้นเป็นเกณฑ์ การพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บ จากการทดลอง พบว่า ถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีผลต่อการควบคุมค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระและปริมาณความชื้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่เก็บในถุงโพลีเอทิลีนและเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบไว้ในอุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระและปริมาณความชื้นที่เก็บในตู้ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่เก็บในอุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ทั้งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและอลูมิเนียมฟอยด์ และหากมีการนำผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์คัดแปลงบรรยากาศจะสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องให้ช้าลงได้ (Silva *et al.*, 2004)

7. อายุการเก็บ

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ซึ่งการศึกษาอายุการเก็บรักษาจำเป็นมากสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงหากต้องการปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือต้องการให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในตลาดได้ยาวนานขึ้น โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์คงความสดใหม่ได้นาน เช่น ลักษณะปรากฏ กลิ่นและกลิ่นรส ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษานานจะส่งผลให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปได้ ปัจจัยหนึ่งที่ทำ

ให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่แตกต่างกันไป คือ น้ำมันที่ใช้เป็นตัวกลางในการทอดอาหาร เพราะมันจะถูกดูดซับเข้าไปยังภายในของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันชนิดต่างๆ โดยน้ำมันพืชจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในระหว่างการทอดเมื่อเทียบกับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดโอเลอิกอยู่สูง เช่น น้ำมันปาล์มโอลีน (palm olein oil) (Allam and Sayed, 2004) ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สามารถปรับปรุงได้จากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบและรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการปรับระบบของการบรรจุ เป็นต้น ซึ่งอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จะถูกควบคุมจาก 3 ปัจจัย คือ 1) คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ 2) คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ และ 3) สภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บผลิตภัณฑ์ (Raisi and Abdolreza, 2007)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยอาศัยหลักการทางจลนพลศาสตร์สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษา โดยทั่วไปสามารถใช้ในรูปสมการอันดับ 0 สมการอันดับ 1 หรือสมการอันดับ 2 ดังแสดงในสมการที่ 7 ถึง 9 (รุ่งนภา, 2550)

$$\text{เมื่อ } n = 0; \quad CA - CA_0 = -kt \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } n = 1; \quad \ln(CA/CA_0) = -kt \quad (8)$$

$$\text{เมื่อ } n = 2; \quad 1/CA - 1/CA_0 = -kt \quad (9)$$

โดย CA คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

CA_0 คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

K คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant)

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บรักษาสามารถแสดงโดยใช้แบบจำลองสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 10

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (10)$$

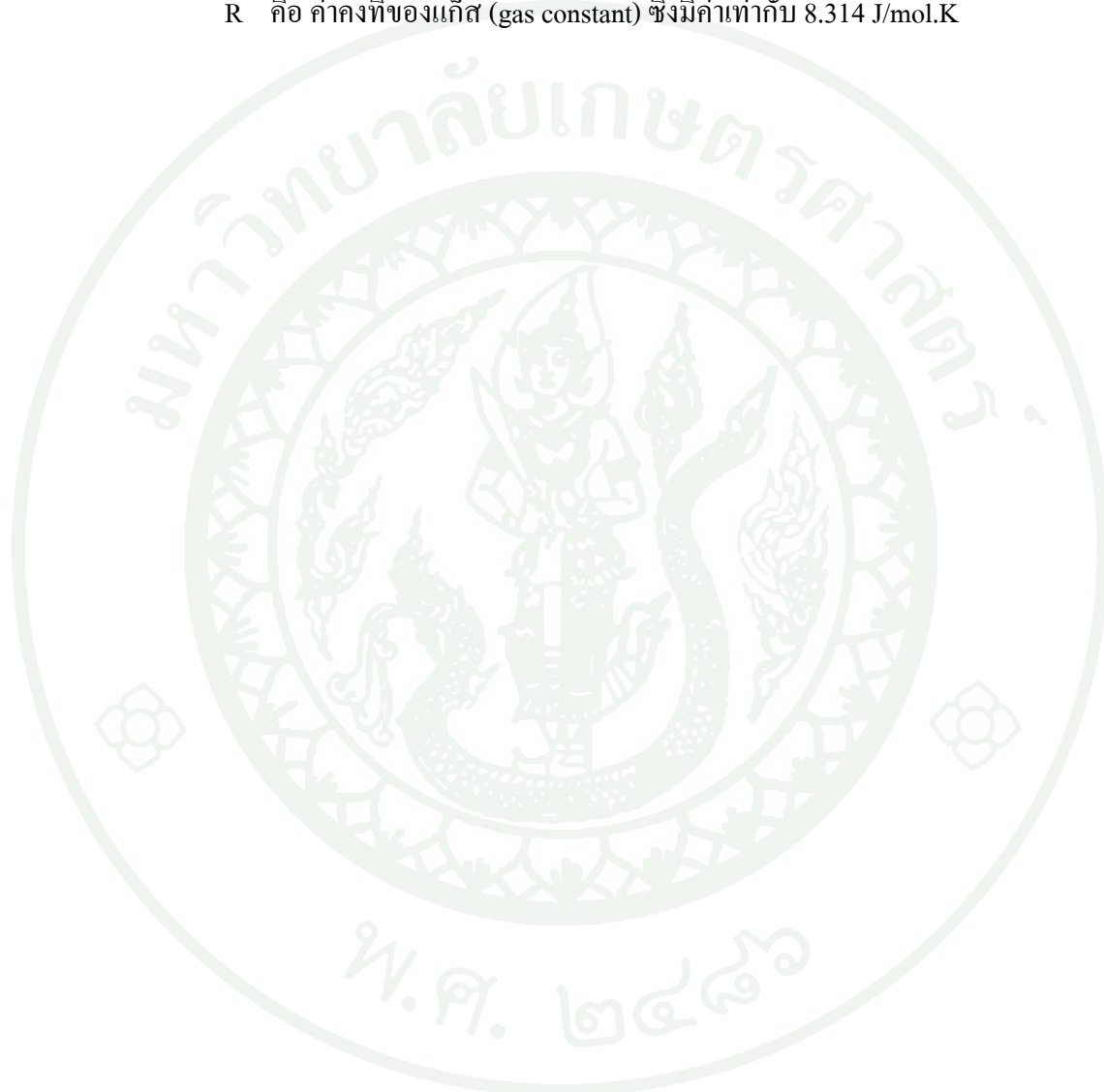
โดย k คือ ค่าคงที่อัตรา

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

k_0 คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ปลากระตักทอด
- 1.2 มอลโทเดกซ์ทริน DE 5 (บริษัท Corn Product, Tate & Lyle, USA)
- 1.3 วิตามินอี (บริษัท Cognis, USA)
- 1.4 น้ำตาล ตรามิตรผล
- 1.5 ซอสปรุงรส ตราแม่ไก่
- 1.6 พริกป่น ตรามือ
- 1.7 เกลือ ตราประทีพ
- 1.8 กรดซิตริก
- 1.9 ผงชูรส (Monosodium Glutamate) ตราอายิโนะโมะโต๊ะ
- 1.10 STPP (Sodium tripolyphosphate)

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์
- 2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน
- 2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่ากรด 2-Thiobarbituric Acid Value
- 2.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบปลากระตัก

- 3.1.1 อุปกรณ์เครื่องครัว
- 3.1.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (DS-425P, TERAOKA SEIKO CO, LTD., Japan)

3.1.3 เครื่องอบลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (Tray dryer) (BWS, B.W.S. Trading, Ltd. (partnership), Thailand)

3.2 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

- 3.2.1.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ Peroxide value
- 3.2.1.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ Acid value
- 3.2.1.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ 2-Thiobarbituric Acid Value
- 3.2.1.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Binder, USA)
- 3.2.1.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxtec automatic) (2050 Soxtec automatic extraction, Soxtec™ Systems, Sweden)
- 3.2.1.6 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (BS 224S, Sartorius, Thailand)
- 3.2.1.7 เครื่อง Rotary Evaporator (Rotavapor R-200/B490, Buchi, USA)
- 3.2.1.8 เครื่อง Hand Refractometer (2110-W07, ATAGO, Japan)

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

- 3.2.3.1 เครื่องวัดค่าออกเทอร์แอคทีวิตี (AQUA Lab, CX3TE, USA)
- 3.2.3.2 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) (CM 3500d, Minolta, Japan)
- 3.2.3.3 เครื่องวัดความหนืด (rotational viscometer) (DV-III, Brookfield-RVT, USA)
- 3.2.3.4 เครื่องวัด pH (pH meter) (Cyber Scan pH 510, EUTECH, Singapore)
- 3.2.3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA.XT.plus texture analyzer, Stable Micro system Ltd., Surrey UK, England)

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.2.4.1 เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.2.4.2 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) (3850M, Tuttanauer, USA)

3.2.4.3 ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน (FD-115, Binder, Germany)

3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.5.1 อุปกรณ์ทดสอบ

3.2.5.2 แบบสอบถามและแบบทดสอบ

3.2.6 อุปกรณ์ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.2.6.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.6.3 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

วิธีการ

1. การศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของน้ำเชื่อม ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง และซอร์ปชันไอโซทอม

มอลโทเดกซ์ทริน (MD) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% (w/w) เติมน้ำเชื่อมปรุงรสและศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำเชื่อมปรุงรส และปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง ดังนี้

1.1 การศึกษาความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของน้ำเชื่อม

น้ำเชื่อม 200 กรัม ประกอบด้วยน้ำตาล 60% ซอสปรุงรส 5% พริกป่น เกลือ ผงชูรส กรดซิตริก STPP (4.6%) และ น้ำ 30.4% โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นมอลโทเดกซ์ทริน 5 ระดับ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 % (w/w) ทั้งนี้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินจะถูกแทนที่ในน้ำตาลซูโครสของแต่ละสูตร

ในการเตรียมน้ำเชื่อม ละลายมอลโทเดกซ์ทริน 5DE น้ำตาล เกลือ ผงชูรส และ STPP ในน้ำ จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำเชื่อมกลายเป็นสารละลายใส เติมน้ำเชื่อมปรุงรส พริกป่นลงในน้ำเชื่อมพร้อมกับให้ความร้อนต่อจนกระทั่งเดือด จากนั้นปิดไฟและเติมกรดซิตริก คนให้สารละลายเข้ากัน บรรจุใส่ขวดแก้วปิดฝาให้สนิท นำน้ำเชื่อมไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ ได้แก่ วอเตอร์แอคทิวิตี pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) ค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ความหนืด และ syrup pickup เป็นต้น

1.1.1 วอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity; a_w) นำตัวอย่างน้ำเชื่อมมาวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยใช้เครื่อง Water activity (AQUA Lab, CX3TE, USA) ทำการปรับเทียบเครื่องมือโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวมาตรฐาน ดังนี้คือ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($a_w = 0.328$) แมกนีเซียมไนเตรท ($a_w = 0.529$) และลิเทียมคลอไรด์ ($a_w = 0.113$) ก่อนนำตัวอย่างเข้าไปวัดในเครื่องและบันทึกค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตัวอย่างน้ำเชื่อมจะถูกทดลองในถ้วยใส่ตัวอย่าง (plastic sample holder) ในปริมาณ 1/3 ของถ้วยใส่ตัวอย่าง เมื่อเครื่องอ่านค่าคงที่แล้ว ให้ทำการอ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (ดัดแปลงจาก Zamora, 2006)

1.1.2 pH (pH meter) เตรียมตัวอย่างน้ำเชื่อมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาณ 15-20 มิลลิลิตร โดยวัดค่า pH ของน้ำเชื่อมด้วยเครื่อง pH meter (Cyber Scan 510) ทำการจุ่มหัววัดลงในบีกเกอร์ที่มีตัวอย่าง โดยทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดตัวอย่างทุกครั้งด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ pH 7 และ pH 4 (Anupama *et al.*, 2003) อ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง เมื่อเครื่องอ่านค่าคงที่ วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

1.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) นำตัวอย่างน้ำเชื่อมปรงรส 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 2 กรัม (อัตราส่วน 1:1) จากนั้นนำสารละลายมาหาปริมาณ TSS ด้วย hand refractometer โดยนำของเหลวที่ได้หยดลงในช่องวัดค่า แล้วอ่านค่า TSS ที่ปรากฏ นำค่าที่อ่านได้มาคูณด้วย 2 จะได้ปริมาณ TSS ของน้ำเชื่อมปรงรส

1.1.4 สี (Color measurement) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM 3500d ประเทศญี่ปุ่น) นำตัวอย่างน้ำเชื่อมเทลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง (glass cell) โดยใช้ Path length 10 มิลลิเมตร และเลือกช่องวัด (Target mask) ชนิด CM-A123 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 มิลลิเมตร ที่การส่องผ่านของแสงชนิด Transmittance (%T) โดยใช้สภาวะในการวัด คือ D_{65} ที่มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา และทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดตัวอย่างทุกครั้ง ทั้งนี้จะเลือกใช้ระบบการวัดสี CIE L^* , a^* , b^* ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำๆละ 3 ตำแหน่ง

1.1.5 ความหนืด (Viscosity) เตรียมน้ำเชื่อมที่เดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินในระดับความเข้มข้นต่างๆ (0, 5, 10, 15, 20 % w/w) เพื่อวัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield DV-II Viscometer (DV-III, Brookfield-RVT, USA) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ชุด Small sample adapter เจ็มวัด SC-29 ที่ความเร็วรอบ $2.5-62.5 \text{ s}^{-1}$ (ดัดแปลงจาก Ketjarut *et al.*, 2010)

1.2 การศึกษาความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรงรสอบแห้ง

นำปลากระดักทอด (150 กรัม) ที่ผ่านการอบใน Tray dryer อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที มาเคลือบกับน้ำเชื่อมแต่ละสูตรจากข้อ 1.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD เพื่อทำการศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อคุณภาพของปลากระดักทอดปรงรสอบแห้ง โดยศึกษา มอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน 5 ระดับ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 % (w/w) ที่อัตรา

ส่วนในการเคลือบปลากะตัก : น้ำเชื่อม (1:1) จากนั้นนำปลากะตักปรงรสไปอบใน Tray dryer ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง (ทำการควบคุมค่าวอเตอร์แอคทิวิตีและปริมาณความชื้นให้มีค่าเท่ากันทุกสูตร) ทิ้งให้ตัวอย่างเย็นและบรรจุใส่ในถุงพลาสติก (film PP) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 ชั่วโมงก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ระบบ CIE L* a* b* และปริมาณไขมัน เป็นต้น

1.2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำการบดตัวอย่างปลากะตักทอดปรงรสให้ละเอียดในถุงพลาสติก จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 5 ± 0.1 กรัม อบที่อุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (AOAC, 2000)

1.2.2 วอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity; a_w) นำตัวอย่างปลากะตักทอดปรงรสแห้งที่บดในถุงพลาสติกมาวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ตามวิธีในข้อ 1.1.1

1.2.3 สี (Color measurement) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM 3500d ประเทศญี่ปุ่น) นำตัวอย่างปลากะตักที่หักเป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร ใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง (Petri Dish) เลือกช่องวัด (Target mask) ชนิด CM-A128 ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 30 มิลลิเมตร สำหรับใช้กับ Petri Dish โดยเลือกการส่องผ่านของแสงชนิด Reflectance (%R) ใช้สภาวะในการวัด D_{65} ที่มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา และทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดตัวอย่างทุกครั้ง ทั้งนี้จะเลือกใช้ระบบการวัดสี CIE L*, a*, b* ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำๆ ละ 3 ตำแหน่ง (Silva and Moreira, 2008)

1.2.4 ปริมาณไขมัน (Oil content) นำตัวอย่างปลากะตักทอดปรงรสอบแห้งที่บดละเอียด อบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างปราศจากความชื้น จากนั้นปริมาณไขมันของตัวอย่างปลากะตักทอดปรงรสอบแห้งจะถูกสกัดด้วยปิโตเลียมอีเทอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (SoxtecTM Avanti 2050 automated extraction system) ชั่งตัวอย่างปลากะตักทอดปรงรสอบแห้งประมาณ 3 ± 0.1 กรัม บนกระดาษกรองเบอร์ 4 (ϕ 12.5 cm, Whatman) และใส่ใน cellulose thimbles เทตัวทำละลายปิโตเลียมอีเทอร์ประมาณ 70 ± 1 มิลลิลิตร ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบไล่ความชื้นและชั่งน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำ cellulose thimbles และถ้วยอลูมิเนียมใส่เข้าไปในเครื่อง Soxtec ตั้งสภาวะในการสกัด

น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการสกัดไขมันทั้งหมด 60 นาที ได้แก่ ต้มเดือด (Boiling) 20 นาที ชะล้าง(Rinsing) 40 นาที และ คืนสภาพ (Recovery) 10 นาที นำด้วยอลูมิเนียมที่สกัดน้ำมันได้เข้าอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนกระทั่งน้ำหนักคงที่และคำนวณหาค่าปริมาณไขมัน วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

1.3 การศึกษาความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินต่อซอร์ปชันไอโซเทอมของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เคลือบน้ำเชื่อมเติมมอลโทเดกซ์ทริน ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันจากข้อ 1.2 มาวิเคราะห์ค่าซอร์ปชันไอโซเทอม เพื่อศึกษาผลของการดูดซับความชื้นที่มีต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ปลากะตักปรุงรส เมื่อมีการเติมปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วย proximity equilibration cell (PEC) คือ ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งประมาณ 1-2 กรัม บนกระดาษกรอง Ø 4.5 cm (Whatman เบอร์ 4) ที่วางบนด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีตัวอย่างวางในถ้วยพลาสติกปิดสนิทที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว (ดัดแปลงจาก Lang *et al.*, 1981) 8 ชนิด ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมไนเตรด โพแทสเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมไนเตรด โพแทสเซียมไอโอไดด์ โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลเฟต จากนั้นนำด้วยพลาสติกปิดสนิทไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 0.2 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เตรียมไว้ทุกๆ 48 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่ (ดัดแปลงจาก Mehta and Singh, 2006) แล้วนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของอาหารและค่าวอเตอร์เอกทิวิตี เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB model) ดังสมการที่ 11

สมการของ GAB equation (Myhara, 1998) :

$$EMC = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]} \quad (11)$$

โดย X_m คือ ปริมาณความชื้นอิ่มตัวจากการดูดซับ

C_{GAB} คือ ค่าคงที่ของ Guggenheim

K_{GAB} คือ ค่าแฟกเตอร์ที่ปรับสมบัติของโทเลกุลหลายชั้นที่เทียบกับของเหลวส่วนใหญ่
 a_w คือ a_w ของอาหารหรือผลิตภัณฑ์

2. การศึกษาผลของวิตามินอีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

ศึกษาผลของวิตามินอีในน้ำเชื่อมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ด้วยการเติมวิตามินอี 3 ระดับ (0, 1000 และ 2000 ppm) ในสูตรน้ำเชื่อมที่คัดเลือกจากข้อ 1 จากนั้นนำปลากระดักทอดที่วิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นแล้ว (ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี ค่าสีระบบ CIE L^* a^* b^* ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน เป็นต้น) จำนวน 1.2 กิโลกรัม/สูตร มาเคลือบด้วยน้ำเชื่อมที่มีวิตามินอีระดับต่างๆ ด้วยสัดส่วนการเคลือบปลากระดัก : น้ำเชื่อม = 5:4 จากนั้นอบแห้งใน Tray dryer ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 2% บรรจุใส่ในถุง PP (ขนาด 11.4 x 17.8 เซนติเมตร; หนา 0.04 มิลลิเมตร; WVTR = 6.41 g/m² day at 38°C and 90% RH) ถุงละ 70 กรัม และเก็บเพื่อเร่งสภาวะการเสื่อมเสียในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% พร้อมเก็บตัวอย่างบางส่วนในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ซึ่งในระหว่างการเก็บมีการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 10 วัน เป็นเวลา 120 วัน โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

2.1 ปริมาณความชื้นตามวิธีในข้อ 1.2.1 โดยวิเคราะห์ค่าของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งทุกๆ 10 วัน

2.2 วอเตอร์แอกทिवิตีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งตามวิธีในข้อ 1.2.2 ทุกๆ 10 วัน

2.3 สีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งตามวิธีในข้อ 1.2.3 ทุกๆ 10 วัน

2.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันและค่ากรดไทโอบาบิฟูริก

การสกัดน้ำมันจากปลากระดูกทอดปรุงรสอบแห้ง (Lipid extraction) เพื่อวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันและค่ากรดไทโอบาบิฟูริก โดยการแบ่งเฮกเซนสกัดน้ำมันออกจากตัวอย่าง เพื่อใช้เวลาสกัดสั้นลง 3 ชั้น คือ เฮกเซน+เวลาในการสกัด เท่ากับ 150 มิลลิลิตร+60 นาที, 100 มิลลิลิตร+30 นาที และ 150 มิลลิลิตร+60 นาที ตามลำดับ ตัวอย่างปลากระดูกทอดปรุงรสอบแห้งจากแต่ละสูตรที่เดิมและไม่เติมวิตามินอีและเก็บไว้เป็นเวลาต่างๆ กันจำนวน 40 กรัม จะถูกนำไปบดละเอียด แขนในตัวทำลายเฮกเซนปริมาณ 400 มิลลิลิตร เขย่าตลอดเวลาประมาณ 2.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมากรองด้วยเครื่องกรองภายใต้แรงดันสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ (filtrate) ไประเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporator ภายใต้สถานะแรงดันสุญญากาศ 247.52 mm Hg ที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อแยกเฮกเซนออกจากน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันและค่ากรดไทโอบาบิฟูริก โดยดัดแปลงจาก Duarte and Quintanar (2009)

ค่าเปอร์ออกไซด์ : ชั่งตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทอดปรุงรสอบแห้งมา 5.00 ± 0.05 กรัม เติมสารละลายผสมที่ได้จากกรดอะซิติกกับไอโซออกเทนอัตราส่วน 3:2 จำนวน 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ตัวอย่างละลาย จากนั้นเติมสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์จำนวน 0.5 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric pipet ตั้งสารละลายไว้ 1 นาที พร้อมกับเขย่าสารละลายผสมอย่างน้อย 3 ครั้ง ในช่วง 1 นาที ทำการเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ทันทีกและไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N ค่อย ๆ ไทเทรตอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสีเหลืองเกือบจางหายไป และเติมน้ำแข็ง 2 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป (จุดยุติ) ในการเตรียม blank ทำเหมือนการทดลองข้างต้น แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างลงไป ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N ซึ่งไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิลิตร (AOCS Official Method Cd 8b-90, 1997) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ค่ากรดไขมัน : น้ำมันที่สกัดได้ $1-2 \pm 0.01$ กรัม ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน โดยเติมตัวทำลายผสมที่เตรียมจากไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร และแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และไทเทรตตัวทำลายผสมให้เป็นกลาง (ได้สีชมพูอ่อน) ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ทำการละลายตัวอย่างในตัวทำลายผสมที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M เขย่าฟลัสก์ให้แรงอย่างต่อเนื่อง จนได้สีชมพูที่คง

ตัวนาน 15 วินาที การไทเทรตไม่ควรใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M เกิน 10 มิลลิลิตร (Kirk and Sawyer, 1991) วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่ากรดไทโอบาบิฟูริก (Thiobarbituric Acid reactive substance; TBARS) : วิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC official method Cd 19-90 (1997) โดยชั่งน้ำมันที่สกัดได้จำนวน 0.5 กรัม ใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นละลายตัวอย่างใน 1-butanol เล็กน้อย (ให้ตัวอย่างละลาย) แล้วค่อยๆ ปริมาตรครบ 25 มิลลิลิตร ด้วย 1-butanol เขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้น pipet สารละลายตัวอย่างมา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิดแห้ง เติม 0.2% TBA reagent (จากภาคผนวก ก) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่ ปิดฝาและเขย่า ตัวอย่างให้มันผสมกันทั่ว (ใช้เครื่องเขย่าประมาณ 3 นาที) นำไปให้ความร้อนใน water bath ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที นำหลอดแก้วออก แล้วทำให้หลอดเย็นลงด้วยน้ำก๊อกที่กำลังไหลนานประมาณ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างไปวัดค่า Absorbance ที่ 530 nm (ในกรณีเตรียม Blank ให้เตรียมไปพร้อมกับตัวอย่างและวัดที่ 530 nm) ส่วนกราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับคำนวณค่ากรดไทโอบาบิฟูริก เตรียมจาก 0.2 mM TMP (1,1,3,3-tetramethoxypropane) โดยปริมาณของ 0.2 mM TMP ที่ใช้วิเคราะห์อยู่ในช่วง 0.1-1 มิลลิลิตร ผลที่ได้จะถูกแสดงเป็น mg malonaldehyde/kg of oil (ดัดแปลงจาก Selmi and Sadok, 2008)

2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คัดเลือกผู้ทดสอบที่สามารถรับรู้กลิ่นหืน จากตัวอย่างปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งอ้างอิงที่มีกลิ่นหืน 3 ระดับ (คือ 1 = ไม่มีกลิ่นหืน, 2 = มีกลิ่นหืนน้อย และ 3 = มีกลิ่นหืนมาก) ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Ranking test โดยตัวอย่างปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งอ้างอิงทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 4.15, 13.5 และ 75.9 mEq/kg oil ตามลำดับ เมื่อผู้ทดสอบสามารถเรียงลำดับกลิ่นหืนได้ถูกต้องจึงเสิร์ฟตัวอย่างปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในน้ำเชื่อม (0, 1000, 2000 ppm) ครั้งละตัวอย่าง โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 5-point category scaling (0 = ไม่มีกลิ่นหืน, 1 = มีกลิ่นหืนน้อยมาก 2 = มีกลิ่นหืนน้อย 3 = มีกลิ่นหืนปานกลาง และ 4 = มีกลิ่นหืนมาก) ใช้ผู้ทดสอบที่สามารถแยกแยะระดับของกลิ่นหืนได้จำนวน 50 คน (ดัดแปลงจาก Quintanar *et al.*, 2003; Meilgaard *et al.*, 2007)

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

สูตรน้ำเชื่อมที่คัดเลือกจากข้อ 1 และ 2 มาเตรียมตัวอย่างปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่อุณหภูมิต่างๆ โดยบรรจุในถุงฟิล์มลามิเนตสูงละ 100 กรัม เก็บตัวอย่างไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส และตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นตัวอย่างควบคุม สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก 2 เดือน, 1 เดือน, 20 วัน และ 15 วัน สำหรับตัวอย่างที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี (ปริมาณความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมัน และค่ากรดไทโอบาบิทริก (TBARS) เป็นต้น) คุณภาพทางด้านกายภาพ (ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ค่าสี CIE L* a* b* และเนื้อสัมผัสด้านความกรอบ เป็นต้น) และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ทั้งนี้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสจะถูกสุ่มออกมาทำการทดสอบทุกเดือน

3.1 ปริมาณความชื้นปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งตามวิธีในข้อ 1.2.1

3.2 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งตามวิธีในข้อ 1.2.2

3.3 ค่าสีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งตามวิธีในข้อ 1.2.3

3.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีในข้อ 2.4

3.5 ค่ากรดไขมัน ตามวิธีในข้อ 2.4

3.6 ค่ากรดไทโอบาบิทริก (Thiobarbituric Acid reactive substance; TBARS) ตามวิธีของ AOCS (1997) Method Cd 19-90 ตามวิธีในข้อ 2.4

3.7 คุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความกรอบ (Texture Analysis)

ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งประมาณ 40 กรัม เทใส่ในบล็อคลีเหลี่ยม (7x7 cm) จากนั้นปรับผิวหน้าของตัวอย่างให้สม่ำเสมอ วัดเนื้อสัมผัส (ด้านความกรอบ) ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT.plus, 10580) หัววัด Ottawa Shear Cell

(7x7 cm) โดยใช้ความเร็วของหัววัดก่อนกดลงบนปลากะตักทดสอบแห้ง (Pre-Test Speed) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วที่หัววัดกดปลากะตักทดสอบแห้ง (Test Speed) เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วที่หัววัดเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ (Post-Test Speed) เท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางที่ต้องการให้หัววัดกดตัวอย่างลง (Distance) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร และแรงเริ่มต้นที่กำหนดให้เป็นจุดแรกที่หัววัดกระทบกับปลากะตักทดสอบแห้ง (Trigger Force) เท่ากับ 1500 กรัม วัดตัวอย่าง 3 ซ้ำการทดลอง ประมวลผลโดยโปรแกรม Texture Exponent 32 เพื่อแสดงค่า Major Peaks (ขนาดของ Peaks เท่ากับ 300 กรัม) และ Linear Distance

3.8 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ด้วยวิธีการ pour plate โดยชั่งตัวอย่างปลากะตักทดสอบแห้งที่บดละเอียด 10 กรัม ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ 90 มิลลิลิตร ตีปนด้วยเครื่อง stomacher ความเร็วปานกลาง นาน 60 วินาที เจือจางจนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ± 2 ชั่วโมง (BAM, 2001) ทำการวิเคราะห์ในครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของระยะเวลาในการศึกษาผลของอุณหภูมิ

3.9 จำนวนยีสต์และรา (Yeast and molds count) ด้วยวิธีการ pour plate โดยชั่งตัวอย่างปลากะตักทดสอบแห้งที่บดละเอียด 10 กรัม ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ 90 มิลลิลิตร ตีปนด้วยเครื่อง stomacher ความเร็วปานกลาง นาน 60 วินาที เจือจางจนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar ที่ปรับ pH ด้วยกรดทาร์ทาริก 1% บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน (BAM, 2001) ทำการวิเคราะห์ในครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของระยะเวลาในการศึกษาผลของอุณหภูมิ

3.10 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทดสอบแห้ง โดยทดสอบคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ สี และคะแนนความชอบรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ โดยใช้สเกล 9 ระดับ (9-point hedonic scaling) คะแนนความชอบ 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) ทดสอบกลิ่นหืน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 5-Point Category Scaling (0 = ไม่มีกลิ่นหืน ถึง 4 = มีกลิ่นหืนมาก) (ดัดแปลงจาก Quintanar *et al.*, 2003; Meilgaard *et al.*, 2007) จากผู้ทดสอบ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกใช้ผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอด

ปฐมนิเทศ 10 คน กลุ่มสองใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทำการประเมินปลา
กะตักทอดปฐมนิเทศที่บรรจุในถุงฟิล์มลามิเนตทุก 1 เดือนของระยะเวลาในการศึกษาผลของ
อุณหภูมิ

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

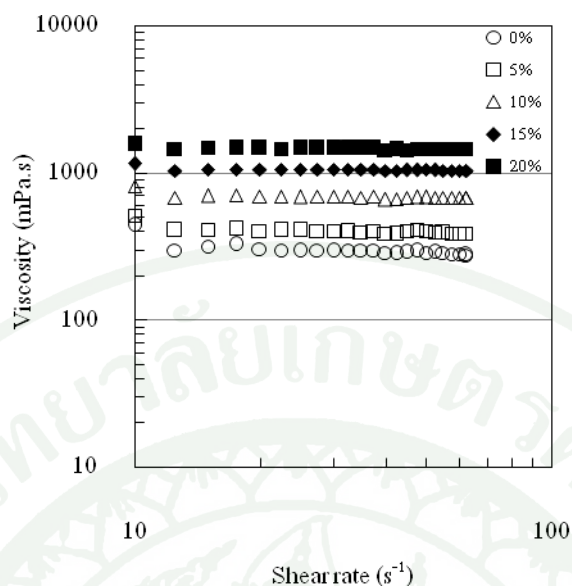
วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomization design: CRD) ทำการ
ทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ สำหรับการเปรียบเทียบผลของมอลโทเดกซ์ทริน วิตามินอี และแซน
แทนกัมที่มีต่อคุณภาพของน้ำเชื่อมและปลากระตักทอดปฐมนิเทศ ทำการทดสอบความแตกต่าง
ของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS Version 12

ผลและวิจารณ์

1. ผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อคุณภาพของน้ำเชื่อมปรุงรส ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง และซอร์ปชั่นไอโซโทม

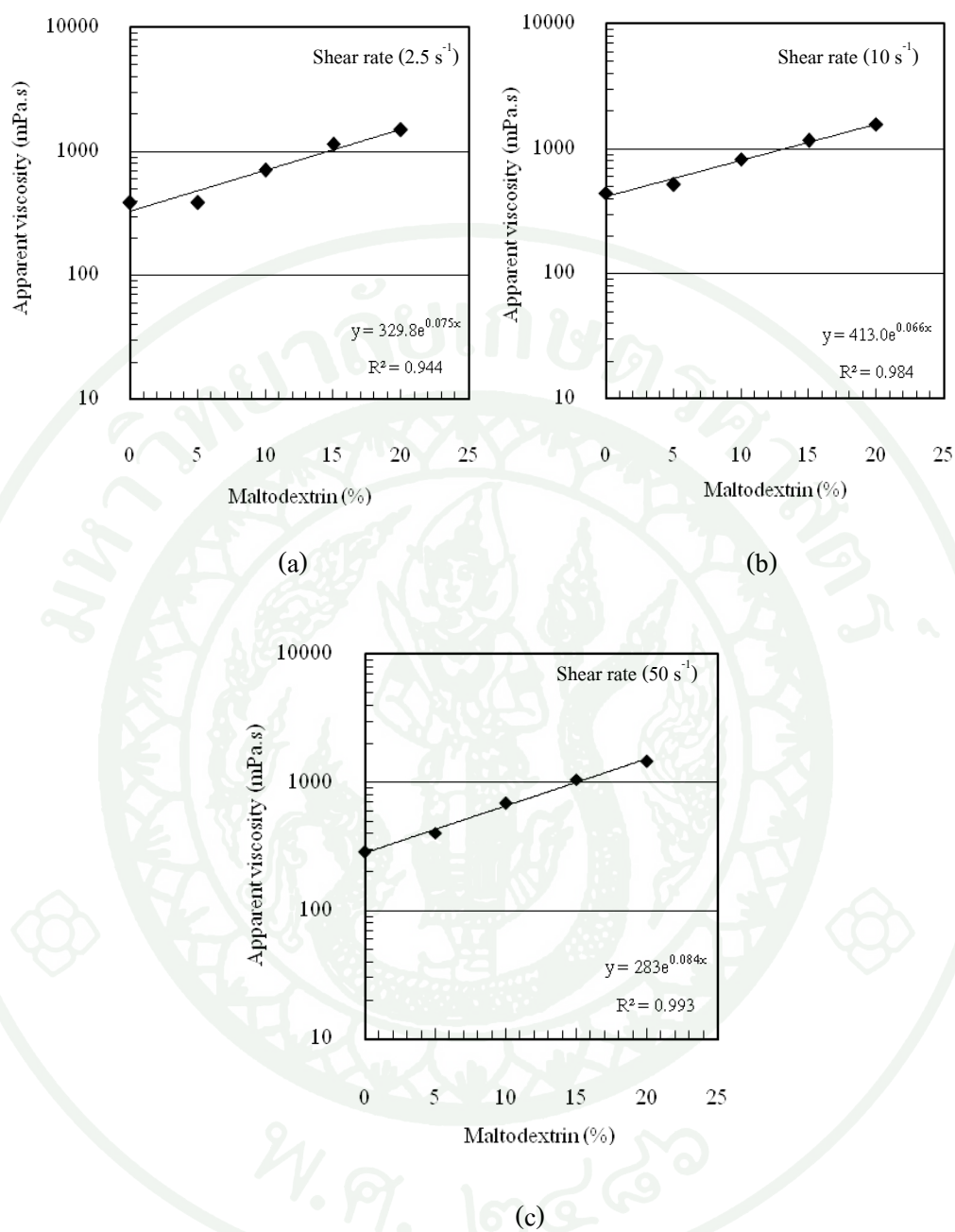
1.1 ผลของความเข้มข้นมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของน้ำเชื่อม

ในกระบวนการผลิตปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการผลิต คือ น้ำเชื่อมสำหรับเคลือบตัวปลา เนื่องจากน้ำเชื่อมจะเป็นตัวช่วยเพิ่มรสชาติให้แก่ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง โดยน้ำเชื่อมในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมเตรียมจากซูโครส หรือกลูโคสไซรัป ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีจึงเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งมีอายุการเก็บสั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงสูตรของน้ำเชื่อมโดยการเติมมอลโทเดกซ์ทรินเข้าไปแทนที่น้ำตาลบางส่วน เพื่อลดการดูดซับความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง ในการทดลองนี้ น้ำเชื่อมสูตรที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน SDE จะถูกนำไปวัดค่าคุณภาพด้านต่างๆ (ได้แก่ ความหนืด วอเตอร์แอคติวิตี pH TSS และค่าสี เป็นต้น) ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าน้ำเชื่อมที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน SDE มีพฤติกรรมความหนืดแบบนิวโตเนียนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Loret *et al.* (2004) และ Quintas *et al.* (2006) ดังนั้นการเติมมอลโทเดกซ์ทรินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดแบบนิวโตเนียน นั่นคือ สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินมีค่าความหนืดคงที่เมื่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 พฤติกรรมความหนืดของน้ำเชื่อมทั้งเดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (0, 5, 10, 15 และ 20 %,w/w) ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อนำค่าความหนืดของน้ำเชื่อมที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% (w/w) มาทำการสร้างกราฟ โดยเลือกค่าความหนืดที่ shear rate คงที่ 2.5, 10 และ 50 s⁻¹ พบว่า ความหนืดของน้ำเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่เติมในน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้น (Klinkeson *et al.*, 2004) ไม่ว่าจะใช้ shear rate คงที่ 2.5, 10 และ 50 s⁻¹ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความหนืดของน้ำเชื่อมทั้งเดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE (ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20%) ที่ค่า shear rate 2.5 s^{-1} (a), 10 s^{-1} (b) และ 50 s^{-1} (c) ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีและกายภาพของน้ำเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าการเติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ในน้ำเชื่อมไม่มีผลต่อค่าสีและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ทั้งหมด ($p>0.05$) ส่วนค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของน้ำเชื่อมนี้จะสูงขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 5DE เพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลมีสมบัติคอลลิเกทิฟมากกว่ามอลโทเดกซ์ทริน ทำให้น้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE มากขึ้นในสูตรมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงขึ้น ส่วนค่า pH ของน้ำเชื่อมจะมีค่าลดลง ที่ระดับความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน DE5 20% และจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่สูงขึ้น จึงส่งผลต่อค่า Syrup pickup ที่ใช้ในการเคลือบปลากระดัก เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 1 คุณภาพของน้ำเชื่อมปรุงรสทั้งที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE (5DE MD)

5 DE MD(%)	Water activity (-)	pH (-)	TSS (°Brix)	Color parameters			Syrup pickup (%)
				L* (-)	a* (-)	b* (-)	
0	0.794±0.00a	5.17±0.00b	69.0±0.44a	76.0±0.76a	8.01±0.43a	48.1±1.12a	70.4±0.70a
5	0.802±0.00ab	5.19±0.05b	68.5±1.39a	76.0±0.57a	8.04±0.50a	48.2±1.89a	72.3±0.40b
10	0.806±0.00b	5.20±0.06b	68.9±1.29a	75.6±0.10a	8.38±0.02a	49.0±1.00a	73.1±0.02ab
15	0.819±0.00c	5.17±0.09b	68.6±0.12a	75.7±0.81a	8.12±0.39a	48.2±0.72a	73.5±0.01ab
20	0.835±0.00d	5.06±0.02a	67.4±0.57a	75.4±0.31a	8.51±0.57a	49.5±0.99a	74.1±0.67c

หมายเหตุ: ค่าที่แสดง หมายถึง ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

1.2 ผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

จากสมบัติที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นของมอลโทเดกซ์ทริน ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจที่จะศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยเฉพาะการเติมมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อลดอัตราการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศของผลิตภัณฑ์

ปลากระดักทอดที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้ Tray dryer ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีปริมาณความชื้น คือ 2.25 (% , wb) เมื่อนำมาเคลือบกับน้ำเชื่อม พบว่า ปลากระดักทอดปรุง

รสอบแห้งก่อนนำไปอบแห้งในตู้ Tray dryer ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 12.8-15.1 (% ,wb) ส่วนปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วจะมีปริมาณความชื้นของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งลดลงอยู่ในช่วง 1.20-1.46 (% ,wb) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งอยู่ในช่วง 0.133-0.151 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นั้นแสดงให้เห็นว่าการเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงในน้ำเชื่อมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ส่วนปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 20.8-21.9 (% ,db) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p>0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งลดลงเมื่อปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$) ส่วนค่าสี a^* ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินไม่แตกต่างกัน ยกเว้นปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่าสี a^* ต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นผลจากระยะเวลาในการอบที่นานขึ้น (ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินจะใช้เวลาอบแห้งเพียง 4.30 ชั่วโมง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5-10% ใช้เวลาอบแห้ง 5-5.30 ชั่วโมง ขณะที่มอลโทเดกซ์ทริน 15-20% ใช้เวลาอบแห้ง 6 ชั่วโมง) ในกรณีของค่าสี b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน SDE

5 DE MD (%)	Moisture content (%,wb)	Water activity (-)	Color parameters			Oil content (%,db)	Drying time (h.)
			L^*	a^*	b^*		
0	1.42±0.59a	0.146±0.03a	51.6±0.26c	8.50±0.75a	26.9±1.65a	21.2±1.38a	4.30
5	1.41±0.51a	0.151±0.04a	50.7±0.14bc	9.53±0.91b	27.3±1.77a	21.4±1.36a	5.00
10	1.37±0.55a	0.146±0.03a	50.7±1.08abc	9.51±1.06b	27.2±0.44a	20.8±0.64a	5.30
15	1.20±0.48a	0.143±0.02a	50.4±1.93ab	9.69±1.28b	26.3±0.87a	21.3±0.31a	6
20	1.46±0.22a	0.133±0.01a	49.7±0.35a	10.1±0.76b	27.2±0.06a	21.9±1.21a	6

หมายเหตุ: ค่าที่แสดง หมายถึง ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

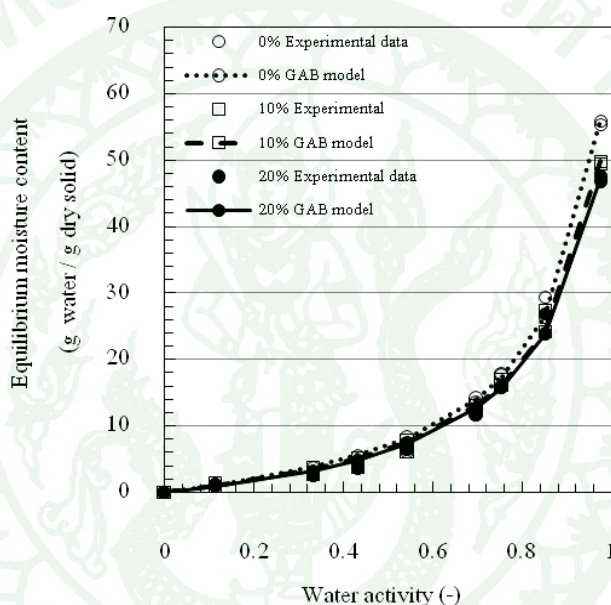
ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

1.3 ผลของมอลโทเดกซ์ทรินต่อซอร์ปชันไอโซเทอม

ซอร์ปชันไอโซเทอมเป็นเครื่องมือสำหรับทำนายปฏิกิริยาระหว่างน้ำและองค์ประกอบของอาหาร ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างวอเตอร์แอคติวิตีกับปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร ความรู้ที่ได้จากการทำซอร์ปชันไอโซเทอมสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารด้านต่างๆ ได้ เช่น กระบวนการอบแห้ง การเก็บรักษา และการบรรจุ เป็นต้น (Kurozawa, 2009)

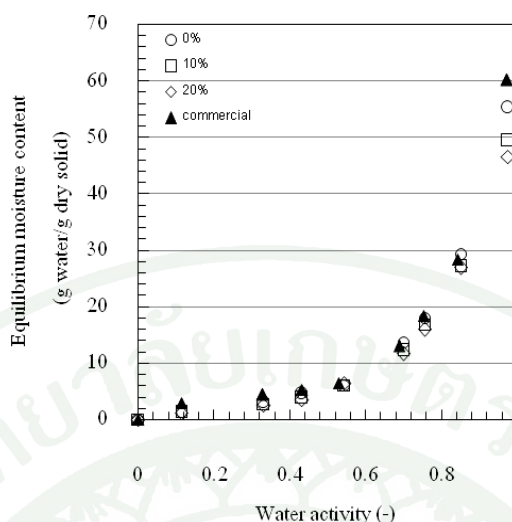
จากการทดลองหาค่าปริมาณความชื้นสมดุลในปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เดิมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินด้วยการใช้ Proximity equilibration cell (PEC) (Lang *et al.*, 1981) โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 8 ชนิด (ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมไนเตรด โพแทสเซียมไอโอไดด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลเฟต) และควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินมีความชื้นสมดุลน้อยกว่าปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน และมีความชื้นสมดุลลดลงเมื่อเคลือบในน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตีเดียวกัน นั้นหมายความว่า การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินในน้ำเชื่อมมีผลให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้น้อยลงสอดคล้องกับการศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อความชื้นสมดุลในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้แก่น้ำส้มเข้มข้นผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Goula *et al.*, 2009) เนื้อสัตว์ประดง (Gabas *et al.*, 2007) โปรตีนผงจากเนื้อไก่ (Kurozawa *et al.*, 2009) เป็นต้น เมื่อใช้แบบจำลองของ GAB model มาอธิบายลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า แบบจำลองของ GAB model มีความเหมาะสมในการใช้ทำนายลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง เนื่องจากแบบจำลองของ GAB model อธิบายความแปรปรวน (r^2) ได้ร้อยละ 98.77% และมีค่าเฉลี่ย relative percentage deviation (% E) อยู่ที่ 1.83% ซึ่งสอดคล้องกับ Galvez *et al.* (2008) ที่กล่าวว่า สมการที่ดีสำหรับทำนายลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีความแปรปรวน (r^2) สูง คือ เข้าใกล้ 1 และต้องมี % E น้อยกว่า 15% จึงจะถือว่าแบบจำลองนั้นเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content; EMC) ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ได้จากการคำนวณเมื่อเทียบกับค่าปริมาณความชื้นสมดุลของปลากะตักปรุงรสที่ได้จากสมการ GAB model มีค่าใกล้เคียงกันมากและการเติมมอลโทเดกซ์ทรินทำให้

ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งมีความชื้นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่ไม่ได้เติมมอลโทเดกซ์ทริน เมื่อเทียบที่ค่าอวเทอร์แอคทีวิตีเดียวกัน นั้นหมายความว่า การเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงไปจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยลงและหากใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินในสูตรน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งดูดความชื้นในบรรยากาศได้น้อยกว่าการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (เช่น ที่ค่า a_w 0.699 ผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 0, 10 และ 20% จะมีค่าปริมาณความชื้นสมดุลเท่ากับ 13.6, 12.3 และ 11.6 ตามลำดับ) ดังแสดงในจากภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าซอร์ปชันไอโซเทอม (20 องศาเซลเซียส) ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน

เมื่อเปรียบเทียบค่าซอร์ปชันไอโซเทอม (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่จำหน่ายตามท้องตลาดและปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่ระดับความเข้มข้น 0%; 10% และ 20% พบว่า ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่ซื้อตามท้องตลาดมีค่าความชื้นสมดุลสูงกว่าปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่ผลิตจากงานวิจัย เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าอวเทอร์แอคทีวิตีเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบค่าซอร์ปชันไอโซเทอรั่ม (20 องศาเซลเซียส) ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งจากผู้ผลิตทางการค้า (▲) และปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่ระดับความเข้มข้น 0% (○); 10% (□) และ 20% (●)

เนื่องจากน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 0 และ 5% มีความหนืดต่ำ ทำให้ค่า syrup pickup น้อยกว่า 72.57% ส่วนน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 20% ให้ความหนืดสูงเกินไปยากต่อการเคลือบปรุงรสปลากะตักทอดหากอุณหภูมิน้ำเชื่อมระหว่างเคลือบต่ำกว่า 55 ± 5 องศาเซลเซียส แม้ว่าน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 15% มีความหนืดสูงกว่าน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 10% แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ค่า syrup pickup (%) พบว่า ค่า syrup pickup (%) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาที่คุณภาพปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งจากคุณภาพด้านเคมี กายภาพ พบว่า ปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี ค่าสีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อีกทั้งมีความสามารถในการดูดความชื้นใกล้เคียงกับปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน 20% ที่เติมในสูตรน้ำเชื่อม จึงเลือกใช้สูตรที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 10% เนื่องจากมีต้นทุนการเตรียมน้ำเชื่อมถูกกว่า

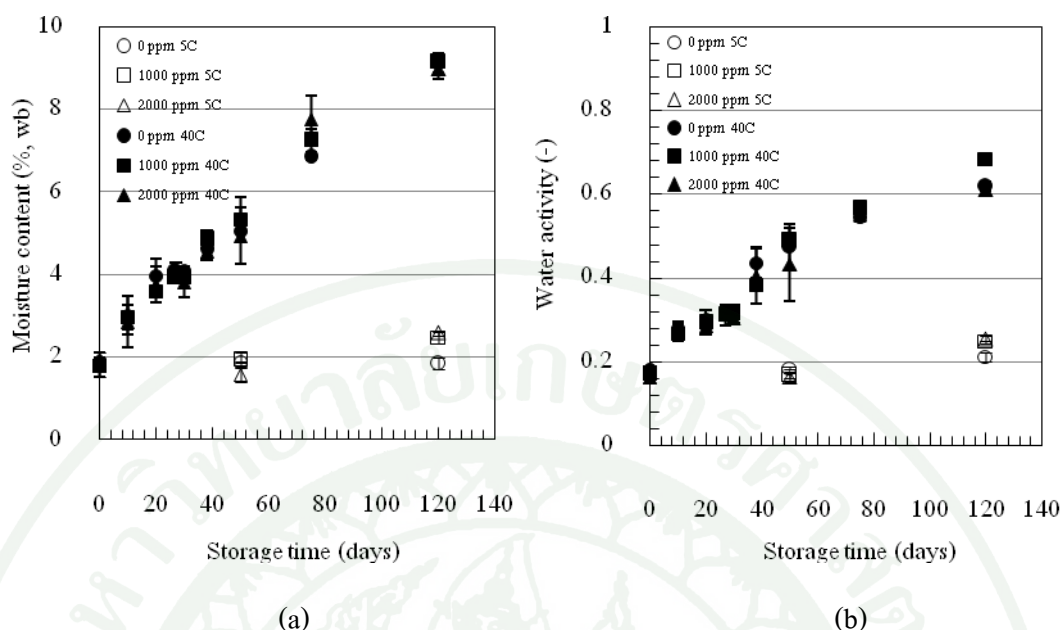
2. ผลของวิตามินอีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง

เนื่องจากตัวต้านออกซิเดชันมีทั้งสารที่ได้จากธรรมชาติและสารสังเคราะห์ ดังนั้นการนำสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารจะต้องมีการควบคุมปริมาณที่ใช้อย่างเข้มงวด เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ปัจจุบันการใช้สารต้าน

ออกซิเจนจากธรรมชาติ เช่น วิตามินซี วิตามินอี จึงมีมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อร่างกายมากกว่า เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมวิตามินอี (0, 1000 และ 2000 ppm) บรรจุในถุง PP (WVTR คือ $6.41 \text{ g/m}^2 \text{ day at } 38^\circ\text{C}$ และ 90%RH) ถุงละ 70 กรัมและเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และสุ่มออกมาทุกๆ 10 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ 120 วัน (4 เดือน) จากการวิเคราะห์คุณภาพของปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมวิตามินอี พบว่า ค่าความชื้นของปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน ณ อุณหภูมิการเก็บ 40 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% จากค่าความชื้นเริ่มต้น คือ 1.89, 1.79 และ 1.81 เป็น 9.12, 9.14 และ 8.98 % (wb) ตามลำดับ (ภาพที่ 9a) ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากไอน้ำที่อยู่ด้านนอกถุงซึมผ่านเข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสูงขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน (Man, 1995) และเมื่อวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm ณ อุณหภูมิการเก็บ 40 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% พบว่า ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน จากค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเริ่มต้น คือ 0.176, 0.170 และ 0.162 เป็น 0.618, 0.685 และ 0.611 ตามลำดับดังภาพที่ 9b เนื่องจากการเก็บนานขึ้นความชื้นสามารถแพร่ผ่านบรรจุภัณฑ์ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ขณะเดียวกันภายในชิ้นอาหารมีความดันไอลดกว่าอากาศ ดังนั้นอากาศจึงดูดความชื้นในอากาศเข้าไป ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งด้านปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างอุณหภูมิการเก็บที่ 5 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากค่าเริ่มต้นของปริมาณความชื้น คือ 1.89, 1.79 และ 1.81 เป็น 1.84, 2.48 และ 2.58 (% wb) ตามลำดับ ส่วนค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 0.176, 0.170 และ 0.162 เป็น 0.211, 0.249 และ 0.252 ตามลำดับ จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้

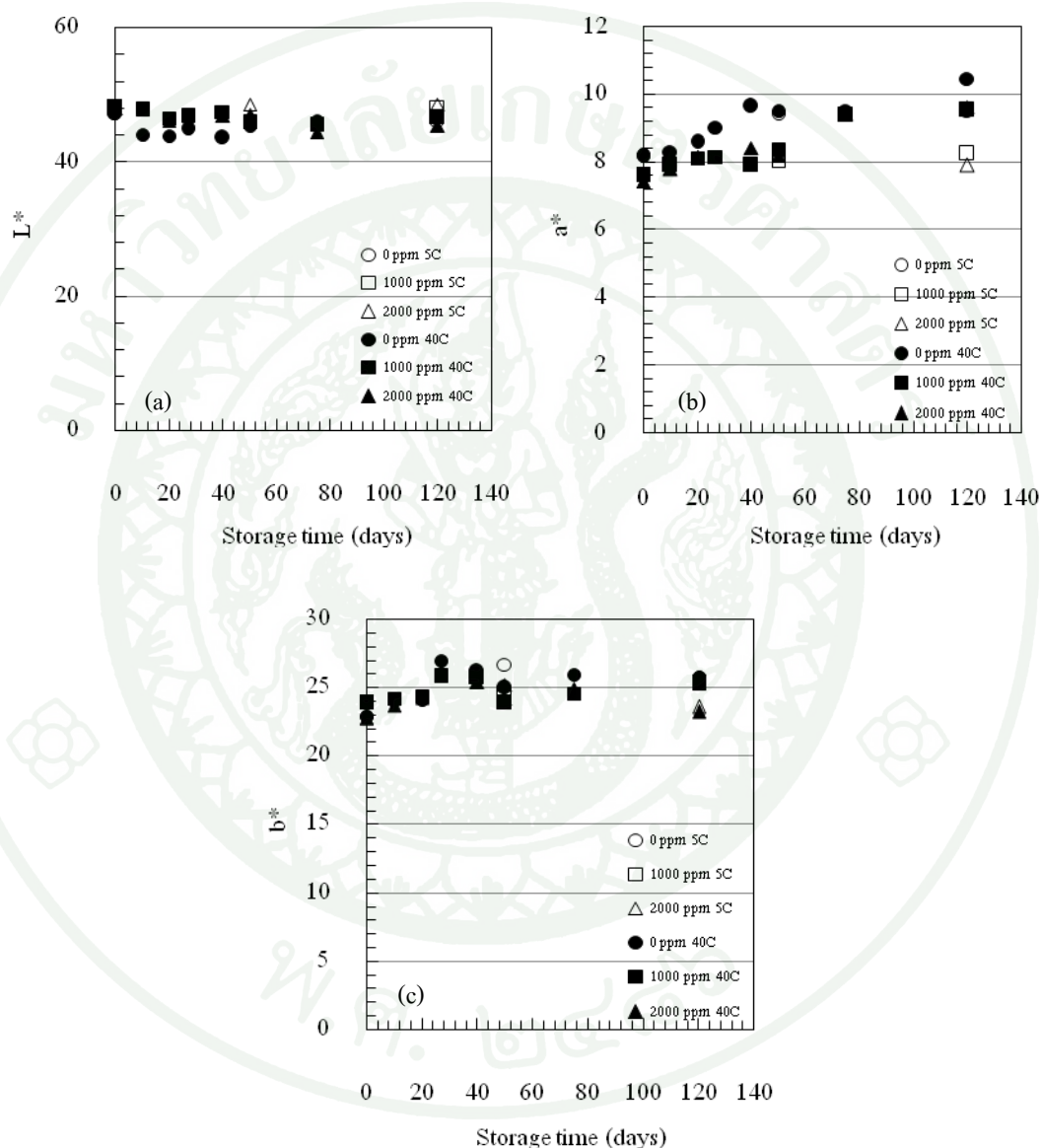


ภาพที่ 9 ปริมาณความชื้น (a) และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (b) ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมวิตามินอี (ระดับความเข้มข้นของวิตามินอี คือ 0 ppm (○); 1000 ppm (□); 2000 ppm (△)) โดยเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีแสดงให้เห็นว่า การเติมวิตามินอีลงในผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งเมื่อเก็บนานขึ้น แต่สาเหตุที่ส่งผลให้ตัวผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำที่กระจายตัวอยู่ในบรรยากาศซึมผ่านถุง PP เข้าไปในตัวอย่าง โดยถุง PP ที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate; WVTR) คือ 6.41 g/m².day ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นเวลา 120 วัน พบว่า ค่าความสว่าง(L*) ของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm อยู่ใน ช่วง 43.6-47.2, 45.5-48.4 และ 44.5-48.1 ตามลำดับ ส่วนค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 22.2-26.9, 23.9-25.8 และ 22.8-25.4 ตามลำดับ แต่ค่าสีแดง (a*) ที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นั้นกลับมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากเริ่มต้น 8.2, 7.6 และ 7.4 เป็น 10.5, 9.5 และ 9.6

ตามลำดับ ส่วนค่าสีแดง (a^*) ที่เก็บในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บในตู้ 40 องศาเซลเซียส นั้นมีค่าอวเทอร์แอคทีวิตีอยู่ในช่วง 0.6-0.7 ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ระหว่างการเก็บ (นิธิยา, 2545) ดังแสดงในภาพที่ 10

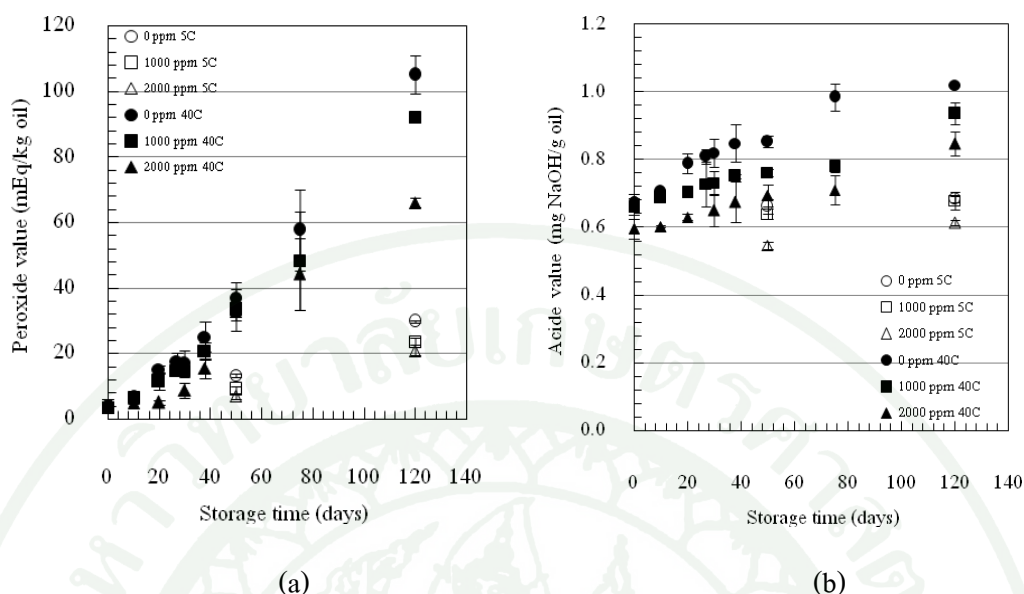


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งบรรจุในถุง PP เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน

ผลิตภัณฑ์ทอดส่วนใหญ่มักพบกลิ่นหืนระหว่างการเก็บเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่จะเกิดกลิ่นหืนระหว่างการเก็บ เนื่องจากก๊าซออกซิเจน ความร้อน และแสง

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยก๊าซออกซิเจนเข้าไปแทนที่ตำแหน่งที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เกิดเป็นสารประกอบในรูปของสารประกอบที่มีซัลฟอกแอลดีไฮด์ ไลโดน เปอร์ออกไซด์ ดังนั้นการเติมวิตามินอีที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ช้าลง (Joanne *et al.*, 1999) การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ จึงเป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ของปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนในระยะที่ 1 (primary oxidation products) (Intharapongnuwat *et al.*, 2008) ในผลิตภัณฑ์อาหารทอดระหว่างการเก็บ ซึ่งการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์หาได้จากปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไอโอไดด์ใน acid solution กับ bound oxygen ทำให้เกิด iodine ขึ้น ซึ่งสามารถไทเทรตหาปริมาณของ iodine ที่เกิดขึ้นด้วย sodium thiosulphate (Kirk and Sawyer, 1991)

จากการวิเคราะห์การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน จากค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น คือ 4.12, 3.49 และ 3.51 เป็น 105, 92.1 และ 66.1 meq/kg oil ตามลำดับ ยกเว้นค่าเปอร์ออกไซด์ในวันที่เก็บรักษา 0 และ 50-75 วัน จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังภาพที่ 11a ส่วนปริมาณกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอีในระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm มีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน จาก 0.676, 0.662 and 0.597 เป็น 1.021, 0.936 and 0.847 mg NaOH /g oil ตามลำดับ หลังจากเก็บไว้ 120 วัน (ภาพที่ 11b) ซึ่งการวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน (Acid value: AV) นั้นเป็นการตรวจสอบการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน โดยความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปในอาหารทอดจนเกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Manral *et al.*, 2008)

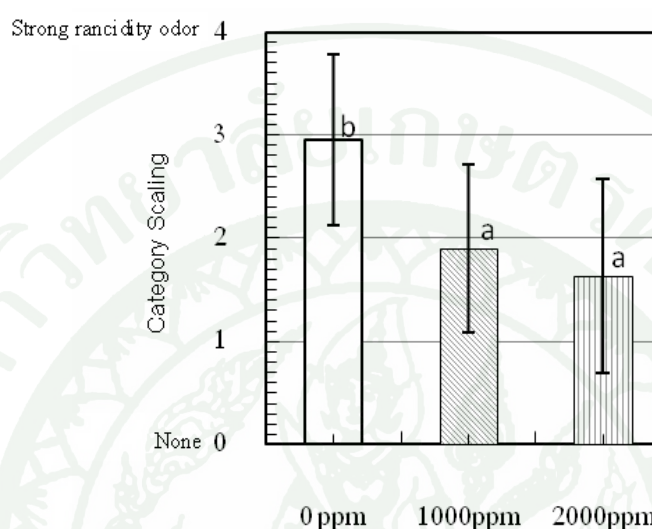


ภาพที่ 11 ผลของวิตามินอีที่มีต่อความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งที่อุณหภูมิ 5 และ 40 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ (a) และ ค่ากรดไขมัน (b) ของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้ง

จากภาพที่ 11 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์และค่ากรดไขมันของปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่า จะเพิ่มขึ้นช้ากว่าปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิสูงกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Duarte and Quintanar (2009) ที่กล่าวว่า ค่าเปอร์ออกไซด์จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้น และการเติมวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งมีค่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งที่ไม่ได้เติมวิตามินอี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Selmi *et al.*, 2010 ที่ว่าการเติมวิตามินอี (50 และ 100 ppm) ในน้ำมันปลาชาร์ดินสกัด จะช่วยให้เกิดค่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมวิตามินอีเช่นกัน

การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระดูกทออดปรุงรสอบแห้งที่เติมและไม่เติมวิตามินอี โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 5-point category scaling (0 = ไม่มีกลิ่นหืน และ 4 = มีกลิ่นหืนมาก) จากผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกด้วยวิธี Ranking test (ให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับกลิ่นหืนของตัวอย่างอ้างอิง โดยตัวอย่างอ้างอิงจะมีกลิ่นหืน 3 ระดับ คือ 1 = ไม่มีกลิ่นหืน 2 = มีกลิ่นหืนน้อย และ 3 = มีกลิ่นหืนมาก จำนวน 50 คน พบว่า ตัวอย่างที่ไม่เติมวิตามินอี

มีคะแนนความเข้มของกลิ่นหืน ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 2.96 (มีกลิ่นหืนปานกลาง) โดยตัวอย่างที่เติมวิตามินอี 1000 และ 2000 ppm มีคะแนนความเข้มของกลิ่นหืนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) คือ 1.9 และ 1.64 (มีกลิ่นหืนน้อยมากและหืนน้อย) ตามลำดับ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 คุณภาพด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งเติมและไม่เติมวิตามินอีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นเวลา 120 วัน (โดยคะแนนของกลิ่นหืน คือ 0 = ไม่มีกลิ่นหืน; 1 = กลิ่นหืนน้อยมาก; 2 = กลิ่นหืนน้อย; 3 = กลิ่นหืนปานกลาง และ 4 = มีกลิ่นหืนมาก)

ดังนั้นจากการศึกษาผลของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง ระดับความเข้มข้น 0, 1000 และ 2000 ppm ด้วยการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคติวิตี ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมัน ค่ากรดไทโอบาบิพูริก และคุณภาพทางประสาทสัมผัส สามารถสรุปได้ว่าการเติมวิตามินอีช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งได้ และการเติมวิตามินอีที่ระดับความเข้มข้น 2000 ppm ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าการเติมวิตามินอีที่ระดับความเข้มข้น 1000 ppm ในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Baik *et al.* (2004) ที่กล่าวว่า การเติมวิตามินอีลงไปในตัวอย่ำน้ำมันปลาที่ระดับความเข้มข้น 0, 250 และ 1000 ppm จะมีค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไทโอบาบิพูริกต่ำกว่าน้ำมันปลาที่ไม่ได้เติมวิตามินอี และน้ำมันปลาที่เติมวิตามินอี 1000 ppm สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าตัวอย่างที่เติมวิตามินอีเพียง 250 ppm ส่วนงานวิจัยของ Kulas and Robert (2001) พบว่า การเติมโทโคเฟอรอล

(วิตามินอี) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 50, 1000 และ 2000 ppm และเก็บตัวอย่างไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ช่วยให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างน้ำมันปลาจะตกต่ำลงเมื่อระดับความเข้มข้นของโทโคเฟอรอล (วิตามินอี) เพิ่มขึ้น

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกระดับความเข้มข้นของวิตามินอี 2000 ppm เพื่อใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทะเลตากทอดปรุงรสอบแห้งต่อไป

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทะเลตากทอดปรุงรสอบแห้ง

การศึกษาค้นคว้าของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทะเลตากทอดปรุงรสอบแห้ง ดำเนินการโดยนำปลาทะเลตากทอดเคลือบกับน้ำเชื่อมที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่ระดับความเข้มข้น 10% และวิตามินอีระดับความเข้มข้น 2000 ppm อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3-4 ชั่วโมง เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 2-3% บรรจุ 100 กรัม ในถุงฟิล์มลามิเนต จากนั้นทำการเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

3.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของปลาทะเลตากทอดปรุงรสอบแห้ง

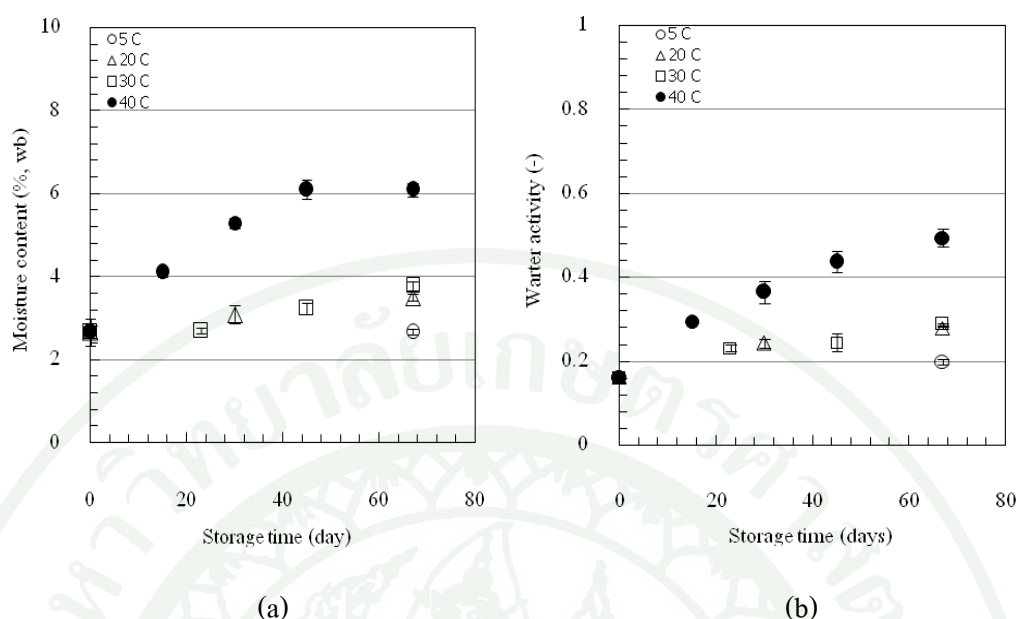
3.1.1 คุณภาพทางกายภาพของปลาทะเลตากทอดปรุงรสอบแห้ง

คุณภาพเริ่มต้นของปลาทะเลตากทอดก่อนนำไปปรุงรสและเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ปลาทะเลตากทอดมีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี คือ 2.68 (% wb) และ 0.252 (-) ตามลำดับ ส่วนค่ากรดไขมัน ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไทโอบาบิบูริก คือ 0.999 mg NaOH/kg oil, 2.87 mEq/kg oil และ 63.0 mg MDA/kg oil ตามลำดับ ในกรณีของคุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย คือ 1.42×10^3 และ 7.2×10^3 ตามลำดับ โดยอ้างอิงจากเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ปลากรอบปรุงรส (มพช. 106/2546) ที่ระบุว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม และยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพเริ่มต้นของปลากระดักทอดก่อนปรุงรสและอบแห้ง

Measurement	Value
Moisture content (%wb)	2.68
Water activity (-)	0.252
Acid value (mg NaOH/kg oil)	0.999
Peroxide value (mEq/kg oil)	2.87
Thiobarbituric acid reactive substances (mg MDA/kg oil)	63.0
Total bacteria (cfu/g)	1.42 x 10
Yeast & Mold (cfu/g)	7.2 x 10

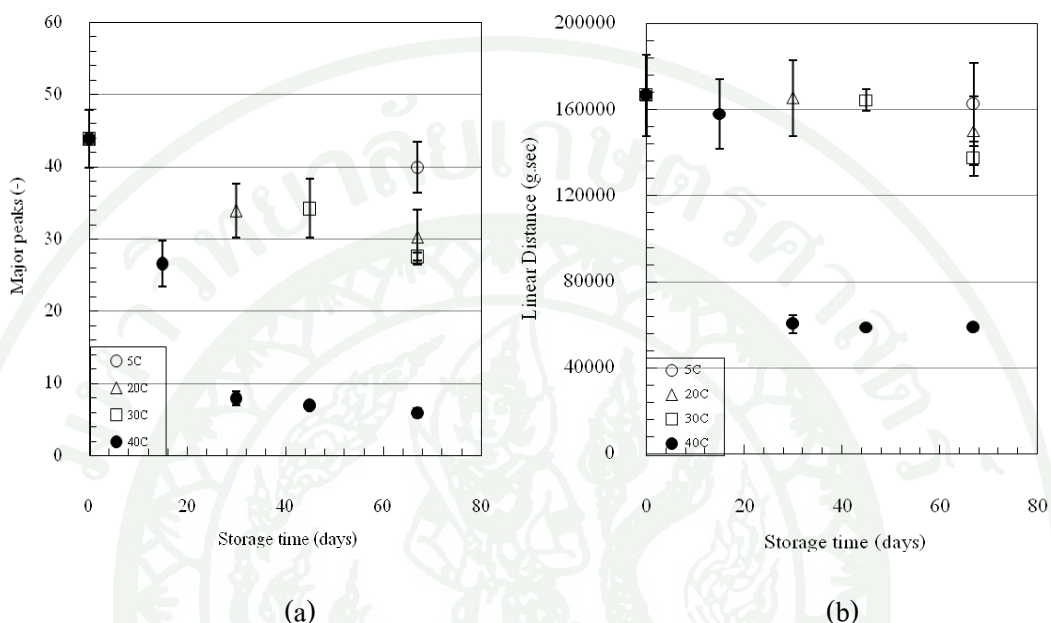
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่บรรจุในถุงฟิล์มลามิเนตที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ระหว่างการเก็บปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น จากค่าเริ่มต้น คือ 2.67 (% wb) เมื่อเก็บได้ 67 วัน ปริมาณความชื้นจะเพิ่มเป็น 2.68, 3.51, 3.79 และ 6.11 (% wb) ตามลำดับ (ภาพที่ 13a) ส่วนค่าออกซิเจนแอคทีวิตีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณความชื้น ดังแสดงในภาพที่ 13b โดยค่าเริ่มต้น คือ 0.162 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน ค่าออกซิเจนแอคทีวิตีจะเพิ่มเป็น 0.199, 0.279, 0.288 และ 0.495 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่า การเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นและค่าออกซิเจนแอคทีวิตีมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 13) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Naivikul *et al.* (2002) ที่ศึกษาคุณภาพของขนมขบเคี้ยวสูตรต่างๆ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ตัวอย่างขนมขบเคี้ยวมีปริมาณความชื้นและค่าออกซิเจนแอคทีวิตีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาที่นาน อีกทั้งยังพบว่า ปริมาณความชื้นและค่าออกซิเจนแอคทีวิตีของขนมขบเคี้ยวในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างที่เก็บในอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส Labuza and Altunakar (2007) ได้กล่าวว่า เมื่อค่าออกซิเจนแอคทีวิตีอยู่ในช่วง 0.35-0.45 ผลิตภัณฑ์จะเริ่มเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น การสูญเสียความกรอบหรือความเหนียว เป็นต้น



ภาพที่ 13 ปริมาณความชื้น (a) และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (b) ของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

เมื่อค่าคุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความกรอบค่า major peaks และ linear distance สามารถอธิบายถึงความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดย major peaks คือ จำนวนหยักที่เกิดขึ้นบนกราฟในกรณีที่ major peaks ยิ่งมาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะยิ่งกรอบมาก ส่วนค่า linear distance นั้นเกิดจากการคำนวณความยาวเส้นของกราฟระหว่างจุดต่อจุดบนเส้นกราฟที่วิเคราะห์ได้ (Gregson, 2003) ซึ่งค่า linear distance สูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบมาก จากภาพที่ 14a และ 14b พบว่าเมื่อเก็บปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 67 วัน จำนวน major peaks และ linear distance มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวน major peaks และ linear distance ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าทั้งสองเป็นตัวบ่งชี้ถึงความกรอบของผลิตภัณฑ์ สาเหตุที่ทำให้จำนวน major peaks และ linear distance ลดลงนั้นเป็นผลสอดคล้องกับปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งนั่นเอง (จากภาพที่ 13) ซึ่งการที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เกิดเพราะการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบ ซึ่งความกรอบนั้นจะเกี่ยวพันถึงความสดใหม่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคด้วย (Roudaut, 2007) ทั้งนี้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และลักษณะเนื้อ

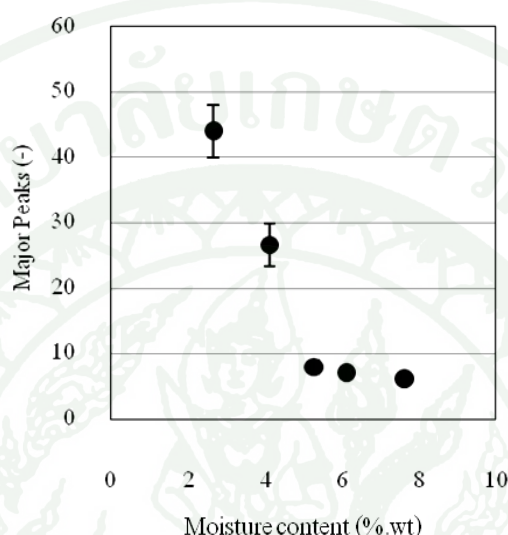
สัมผัสของอาหาร เพราะความชื้นในอาหารและค่าวอเตอร์แอคติวิตีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆและมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น (นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากค่า major peaks (a) และ linear distance (b)

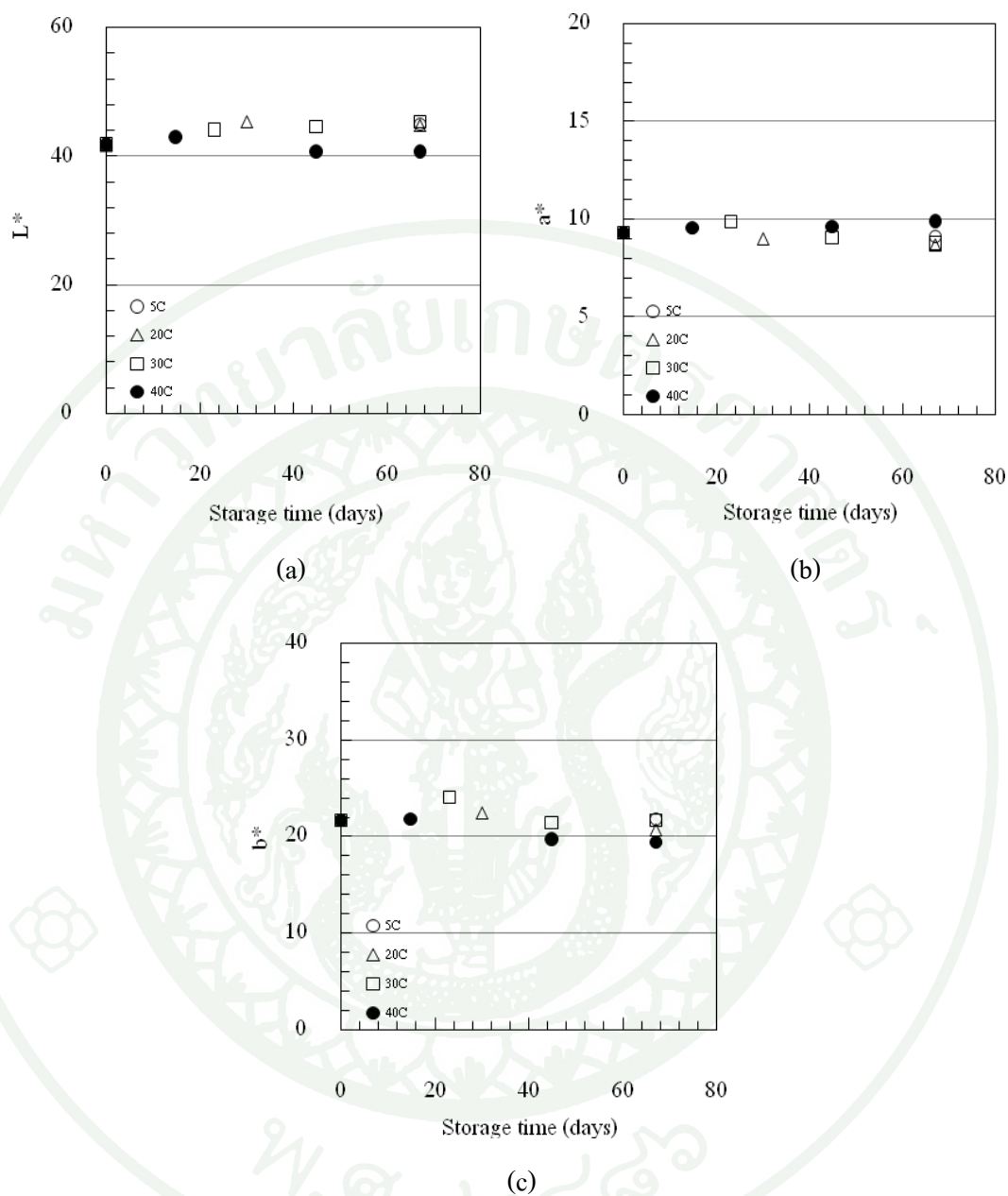
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างจำนวน major peaks กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ 40 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่างกัน พบว่า จำนวน major peaks จะลดลง เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง (ภาพที่ 15) เพราะการที่ปริมาณความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏการแตกหักหรือความกรอบ เนื่องจากน้ำในอาหารจะทำให้ plasticization อ่อนนุ่มลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mazumber *et al.* (2007) ที่พบว่า ตัวอย่างมีจำนวน major peaks ลดลง เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและจำนวน major peaks จะเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อปริมาณความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นประมาณ 10% ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) โดยการใช้เครื่อง texture analyzer นี้มีผลสอดคล้องกับคะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบทั้งที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลา

กะดักทอดปรุงรสอบแห้งและผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน คือ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนความชอบด้านความกรอบจะลดลง และผลิตภัณฑ์ปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บใน อุณหภูมิต่ำจะมีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าผลิตภัณฑ์ปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บใน อุณหภูมิสูง



ภาพที่ 15 ผลของปริมาณความชื้นต่อจำนวน major peaks ของปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้งค่าสี L^* , a^* และ b^* เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้งที่ เก็บรักษาในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงจาก 41.7 เป็น 40.6 ส่วนผลิตภัณฑ์ปลา กะดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส นั้นมีค่า L^* อยู่ ในช่วง 41.7-45.0, 41.7-45.3 และ 41.7-45.3 ตามลำดับ ในกรณีของค่าสี a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ ปลากะดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกัน พบว่า มีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 9.01-9.9 และค่าสี b^* อยู่ในช่วง 19.4-24.1 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 16

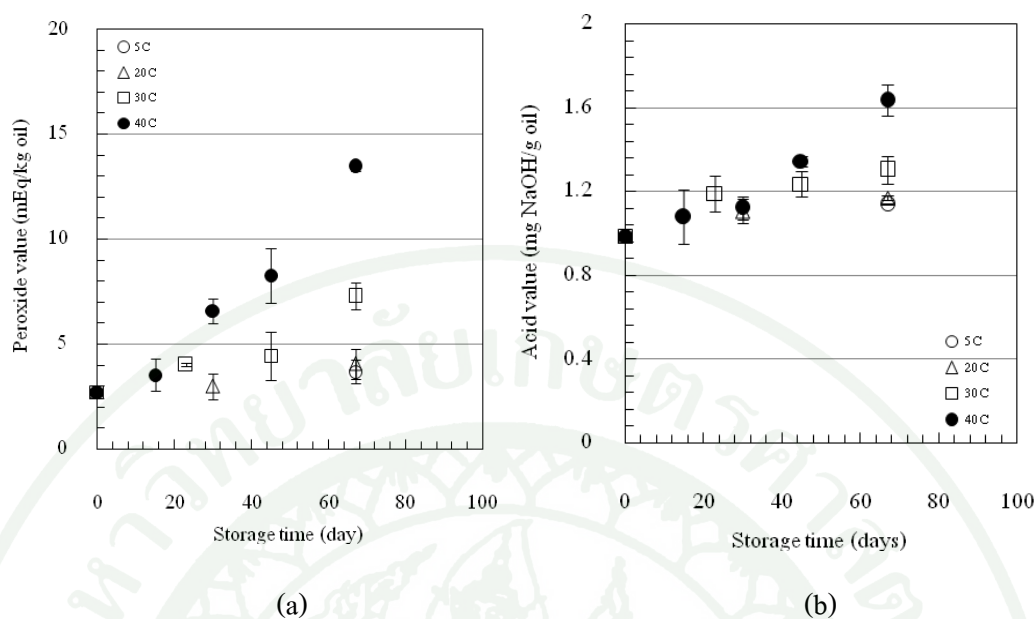


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

3.1.2 คุณภาพทางเคมีของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

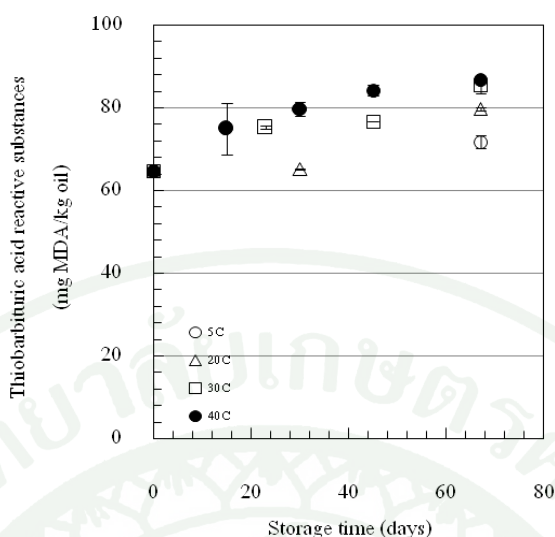
ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทธัญพืชและอาหารขบเคี้ยวที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบและมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.6 จะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ แต่การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีอื่นเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียจะยังสามารถดำเนินต่อไป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง เพราะมันจะไวต่อการหืนแบบ lipid oxidation ส่งผลให้อาหารเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติระหว่างการเก็บ (Jensen and Risbo, 2007) ทั้งนี้การเกิดออกซิเดชันในอาหารทอดสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารต้านออกซิเดชันลงในอาหารทอดหรือน้ำมันทอด เป็นต้น ซึ่งสารต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้ในอาหารทอด ได้แก่ สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี (Houhoula *et al.*, 2003)

จากการวิเคราะห์การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 67 วัน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันของผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Bower *et al.*, 2009 ; Duarte and Quintanar, 2009) จากค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นคือ 2.72 เป็น 3.69, 4.05, 7.28 และ 13.5 mEq/kg oil ตามลำดับ ส่วนค่ากรดไขมันจะเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากเริ่มต้น คือ 0.99 เป็น 1.14, 1.17, 1.30 และ 1.63 mg NaOH/kg oil ตามลำดับ ดังภาพที่ 17a และ 17b



ภาพที่ 17 ผลของอุณหภูมิการเก็บที่แตกต่างกันต่อความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ (a) และค่ากรดไขมัน (b) ของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

จากการทดลองการเก็บรักษาปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่ากรดไทโอบาบิทริกเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น (NaiviKul *et al.*, 2002) จากค่าเริ่มต้น คือ 64.6 เป็น 71.7, 79.8, 85.4 และ 86.8 mg MDA/kg oil ตามลำดับ ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและออกซิเจน การวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาบิทริกเป็นการวัดค่าเพิ่มขึ้นของสารประกอบสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่าง 2-thiobarbituric acid (TBA) และ malonaldehyde จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งออกซิเจนและความชื้นมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ค่ากรดไทโอบาบริกของน้ำมันที่สกัดจากปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง พบว่า ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย จากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.75×10^1 เป็น 3.5×10^1 , 4.5×10^1 , 7×10^1 และ 1.85×10^2 cfu/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณยีสต์และรา < 10 est (cfu/g) ในทุกอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยอ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ปลาทอดปรุงรส (มพช.106/2546) ที่ระบุว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^3 cfu/g และ 10 cfu/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งเมื่อเก็บไว้ 67 วัน

Storage time (days)	Temperature (°C)	Total bacteria (cfu/g)	Yeast & Mold (cfu/g)
0	-	1.75 x 10	< 10 est
67	5	3.5 x 10	< 10 est
	20	4.5 x 10	< 10 est
	30	7 x 10	< 10 est
	40	1.85 x 10 ²	< 10 est

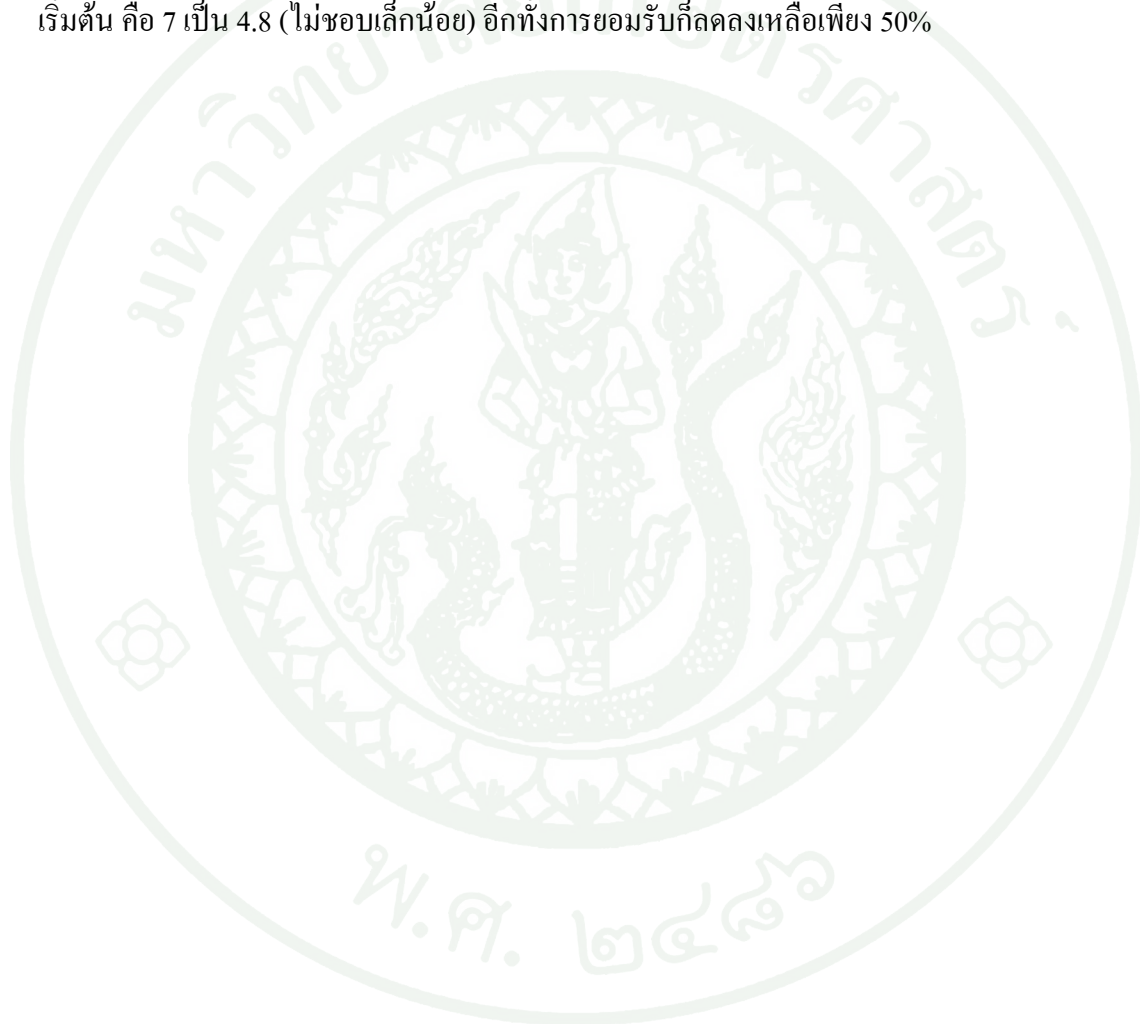
3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

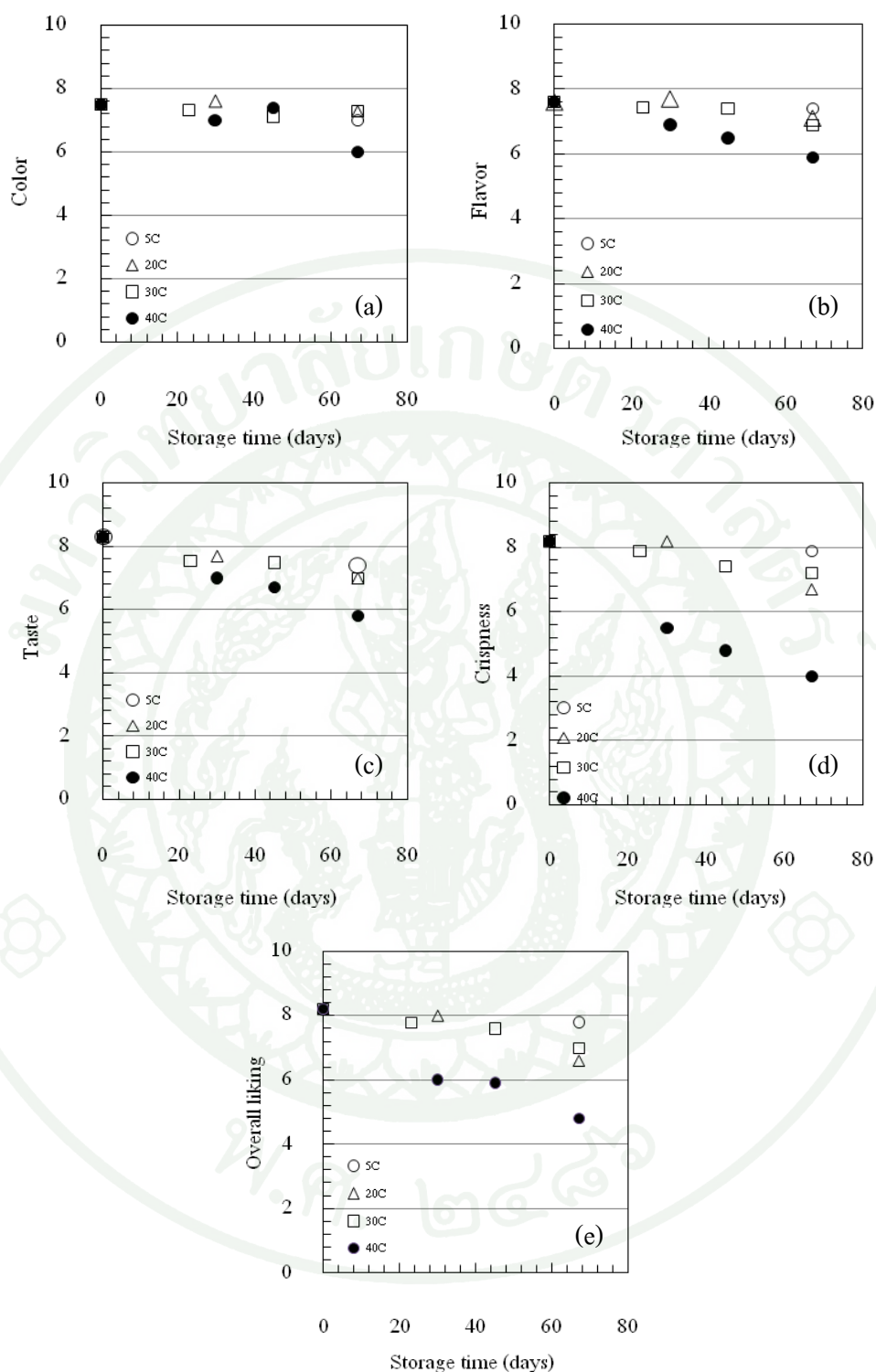
จากการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scaleควบคู่กับการทดสอบด้านกลิ่นหืนด้วยวิธี 5-Point Category Scaling พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับที่มีต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ผู้ทดสอบ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกใช้ผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งจำนวน 10 คน กลุ่มที่ 2 ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน เพื่อนำผลของคนที่ 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกัน

3.3.1 คะแนนความชอบเฉลี่ย คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง

จากการทดสอบความชอบ และการยอมรับของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวม พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 19) เป็นเวลา 67 วัน มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p>0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ที่ 7-8 (ชอบปานกลางถึงชอบมาก) ส่วนผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนความชอบด้านรสชาติ ความกรอบ ความชอบรวมลดลงแตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ที่ 6-8 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก) ยกเว้นค่าสีและกลิ่นรสที่มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p>0.05$) สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งในอุณหภูมิ 30 องศา

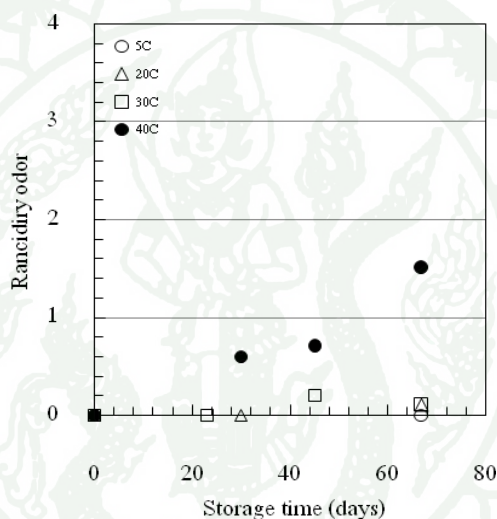
เซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน พบว่า ผลผลิตกัณฑ์มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบรวมลดลงแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ที่ 7-8 (ชอบปานกลางถึงชอบมาก) แต่ค่าสี กลิ่นรส และความกรอบกลับมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p > 0.05$) ในกรณีที่ผลิตกัณฑ์ปลา กะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 19) พบว่า คะแนนความชอบด้านสี รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($p \leq 0.05$) ยกเว้นค่าสีที่มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p > 0.05$) โดยคะแนนความชอบรวมจะลดลงจากคะแนนเริ่มต้น คือ 7 เป็น 4.8 (ไม่ชอบเล็กน้อย) อีกทั้งการยอมรับก็ลดลงเหลือเพียง 50%





ภาพที่ 19 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้ง (จำนวน 10 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ได้แก่ สี (a); กลิ่นรส (b); รสชาติ (c); ความกรอบ (d) และความชอบรวม (e)

ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน อยู่ในช่วง 0-0.2 จึงยังไม่มีกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์นี้ อีกทั้งมีการยอมรับกลิ่นหืนที่ 100% ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งถูกเก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า คะแนนของกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 (มีกลิ่นหืนน้อย) และมีร้อยละการยอมรับของกลิ่นหืน คือ 80 เมื่อเก็บไว้นาน 67 วัน ดังแสดงในภาพที่ 20 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Baik *et al.* (2004) ; Intharapongnuwat *et al.* (2008) ที่ผู้ทดสอบให้คะแนนของกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บตัวอย่างไว้นาน

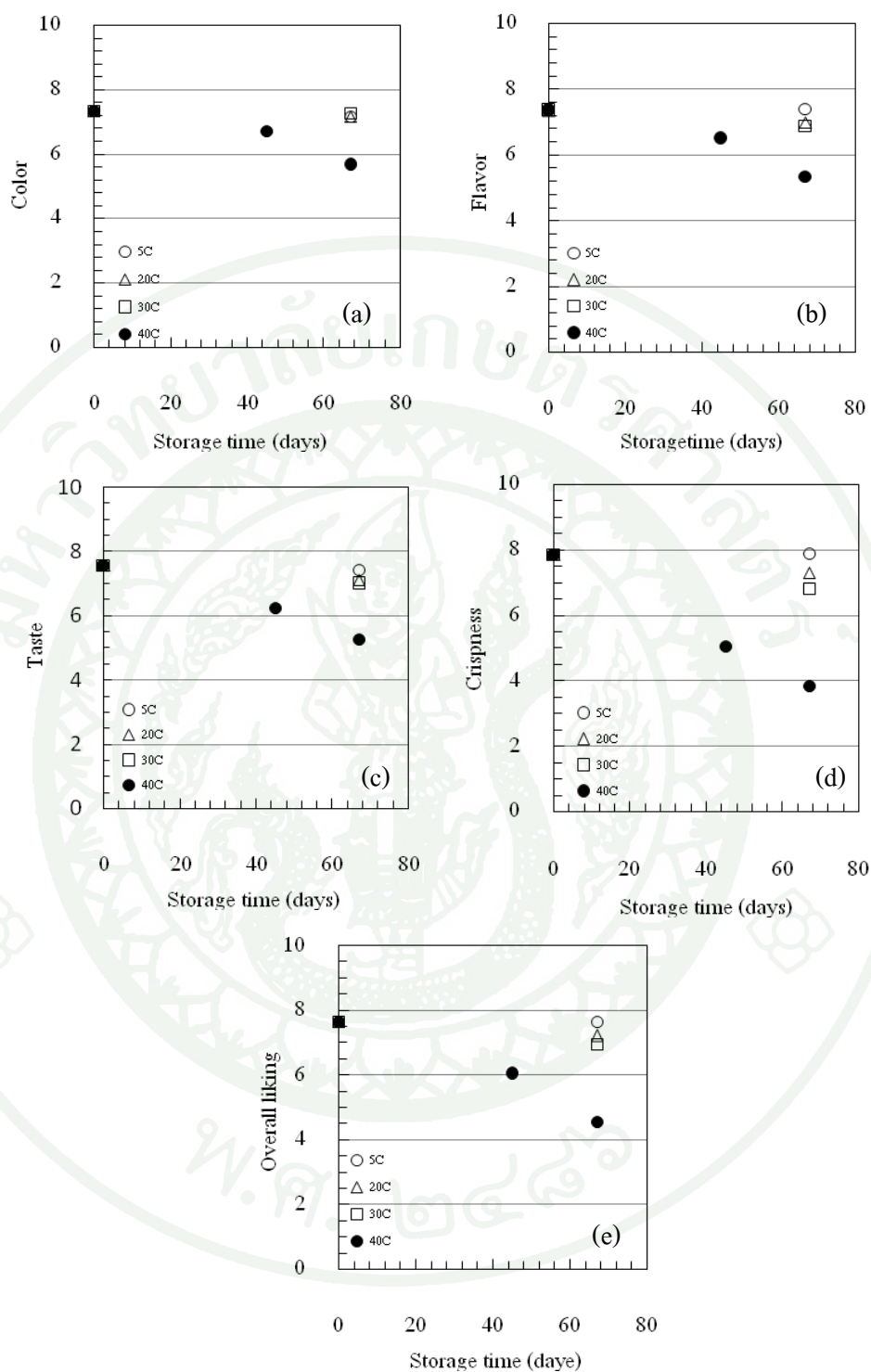


ภาพที่ 20 คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ยของผู้ทดสอบที่เชี่ยวชาญต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้ง (จำนวน 10 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (โดยคะแนนของกลิ่นหืน คือ 0 = ไม่มีกลิ่นหืน; 1 = กลิ่นหืนน้อยมาก; 2 = กลิ่นหืนน้อย; 3 = กลิ่นหืนปานกลาง และ 4 = มีกลิ่นหืนมาก)

3.3.2 คะแนนความชอบเฉลี่ย คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ย และร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝน

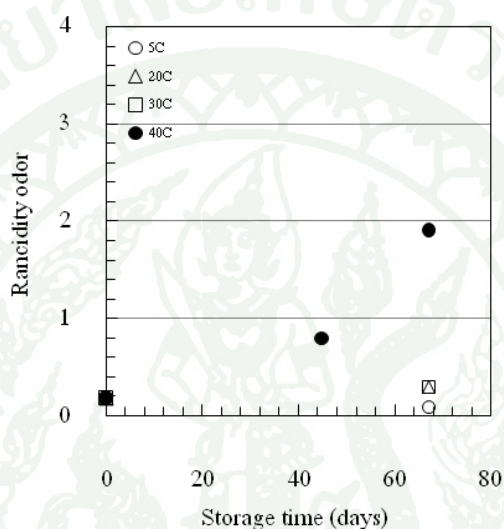
จากการทดสอบความชอบ และการยอมรับของผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวม พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 21) เป็นเวลา 67 วัน มีคะแนน

ความชอบ ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวมไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p>0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ที่ 7 (ชอบปานกลาง) และมีร้อยละการยอมรับ เท่ากับ 100% ส่วนผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนความชอบด้านรสชาติ ความกรอบ ความชอบรวมลดลงแตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 7-8 (ชอบปานกลางถึงชอบมาก) ยกเว้น ค่าสี และกลิ่นรสที่มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p>0.05$) และมีร้อยละการยอมรับ เท่ากับ 100% สำหรับการเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ ความชอบรวมลดลงแตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ที่ 6-7 (ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง) แต่ค่าสีมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ($p>0.05$) และมีร้อยละการยอมรับ เท่ากับ 100% ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ปลากระด้างทอดปรุงรสอบแห้งถูกเก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 21) พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($p\leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 4.6 (ไม่ชอบเล็กน้อย) อีกทั้งการยอมรับก็ลดลงเหลือเพียง 34% เมื่อเก็บไว้นาน 67 วัน สอดคล้องกับคะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวที่ พบว่า ตัวอย่างมีคะแนนความชอบลดต่ำลงจนถึงขั้นไม่ยอมรับ เมื่อตัวอย่างถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน (Naivikul *et al.*, 2002)



ภาพที่ 21 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝน (จำนวน 50 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดักทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ได้แก่ สี (a); กลิ่นรส (b); รสชาติ (c); ความกรอบ (d) และความชอบรวม (e)

ส่วนคะแนนเฉลี่ยของกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 วัน พบว่า ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนให้คะแนนอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ยังไม่ถึงว่ามีกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งมีการยอมรับอยู่ที่ 100% ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งถูกเก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า คะแนนของกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ปลากระดุกปรุงรสมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 คือ ตัวอย่างมีกลิ่นหืนน้อย (ร้อยละการยอมรับกลิ่นหืน คือ 64) เมื่อเก็บไว้นาน 67 วัน ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 คะแนนกลิ่นหืนเฉลี่ยของผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝน (จำนวน 50 คน) ต่อผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (โดยคะแนนของกลิ่นหืน คือ 0=ไม่มีกลิ่นหืน; 1=กลิ่นหืนน้อยมาก; 2=กลิ่นหืนน้อย; 3=กลิ่นหืนปานกลาง และ 4=มีกลิ่นหืนมาก)

จากการทดสอบผลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งไว้ 67 วัน คุณภาพต่างๆ ได้แก่ วอเตอร์แอคทีวิตี ปริมาณความชื้น เปอร์ออกไซด์ กรดไขมัน และกรดไทโอบาบิทริก จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าเก็บผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งไว้ในอุณหภูมิต่ำจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ปลากระดุกทอดปรุงรสอบแห้งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพช้าลง อีกทั้งคะแนนกลิ่นหืนที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและร้อยละการยอมรับสอดคล้องกับผลของคุณภาพด้านเคมี กายภาพ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทริน 5DE ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง พบว่า การเติมมอลโทเดกซ์ทริน DE5 ลงไปในน้ำเชื่อมที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% ส่งผลให้น้ำเชื่อมมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน DE5 สูงขึ้น และมีพฤติกรรมแบบนิวโตเนียน เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่า ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ค่าสี a^* และ b^* ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ยกเว้นค่า L^* ของปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่แตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) จากการทดลองหาค่าปริมาณความชื้น สมดุลในปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งทั้งที่เติมและไม่เติมมอลโทเดกซ์ทริน พบว่า ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทรินมีความชื้นสมดุลน้อยกว่าปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ไม่เติมมอลโทเดกซ์ทรินและปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 10% มีความชื้นสมดุลมากกว่าปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 20% เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตีเดียวกัน นั้นหมายความว่า การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินในน้ำเชื่อมจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งดูดซับความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้น้อยลง

2. จากการศึกษาของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง พบว่า ปริมาณวิตามินอีที่ระดับความเข้มข้น 2000 ppm สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 120 วัน ได้ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมัน และค่ากรดไทโอบาบิฟูริกที่เพิ่มขึ้นช้ากว่าผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่ไม่เติมวิตามินอีและผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เติมวิตามินอี 1000 ppm

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้ง พบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งลดลงทั้งในด้านเคมีและกายภาพ อีกทั้งส่งผลต่อคะแนนความชอบและการยอมรับของผู้ทดสอบ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 67 วัน โดยผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีคุณภาพลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิ 5, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาสารที่ช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันชนิดอื่นเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการหาสารต้านออกซิเดชันที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์

2. เนื่องจากปลากะตักทอดปรุงรสอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอดอันเป็นสาเหตุของการเกิดออกซิเดชันและยังมีคุณภาพสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค นั่นคือ ความกรอบ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษากระบวนการบรรจุ เช่น การเติมแก๊สไนโตรเจน เพื่อดึงแก๊สออกซิเจนออก และเพื่อยับยั้งการเกิดออกซิเดชันให้น้อยลง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์ม กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลากรอบปรุงรส. มพช. 106/2546.

แหล่งที่มา: <http://www.tisi.go.th>. pdf, 15 ตุลาคม 2553.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2550. อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์. น. 106-128. ใน การพัฒนาผลิตภัณฑ์
ในอุตสาหกรรมเกษตร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Allam, S.S.M and F.E.E Sayed. 2004. Fortification of fried potato chips with antioxidant
vitamins to enhance their nutritional value and storage ability. **Grasas y Aceites**. 55 (4):
434-443.

Allen, J.C. and R.J. Hamilton. 1994. **Rancidity in food**. Chapman & Hall, Glasgow. 290 p.

Anupama, D., K.K. Bhat, V.K. Sapna. 2003. Sensory and physic-chemical properties of com-
mercial sample of honey. **Food Research International**. 36 (2) : 183-191.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**, 17th ed. Association of
Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

AOCS. 1997a. Official method Cd 8b-90. In: D. Firestone, Editor, **Official Methods and
Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society** (fifth ed.). AOCS
Press, Champaign, IL.

AOCS. 1997b. Method AOCS, 5a-40. Official method Cd 8b-90. In: D. Firestone, Editor,
**Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists'
Society (fifth ed.)**. AOCS Press, Champaign, IL.

Asakawa, T. and S. Matsushita. 1979. Thiobarbituric acid test for detecting lipid peroxides.

Lipids. 14 (4): 401-406.

Baik, M.Y., E.L. Suhendro, W.W. Nawar, D.J. McClements and E.A. Decker. 2004. Effects of antioxidants and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil.

Journal of the American Oil Chemists Society. 81 (4): 355-359.

Baker, R.C., P.W. Hahn and K.R. Robbins. 1988. **Fundamentals of new food product development.** Elsevier Science Publisher Comp. Inc., New York.

BAM. 2001. **Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual.** 8th ed. AOAC International, USA.

Bower, C.K., K.A. Hietala, A.C.M. Oliveira and T.H. Wu. 2009. Stabilizing oils from smoked pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). **Journal of Food Science.** 74 (3): 248-257.

Duarte, A.L.L. and R.L.V. Quintanar. 2009. Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour. **Food Chemistry.** 114: 478-483.

Fellows, P.J. 2000. **Food Processing Technology: Principle and Practice.** Ellis Horwood Limited. 575 p.

Fennema, O.R. and S.R. Tannenbaum. 1996. Introduction to Food Chemistry. In O.R. Fennema (ed.). **Food Chemistry, 3rd edition.** Marcel Dekker, Inc., New York. 1069 p.

Fernandez, J., J.A. Perez-Alvarez and J.A. Fernandez-Lopez. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food Chemistry.** 59 (3): 345-353.

Friedman, R.B. 1991. Linear and cyclic dextrin, pp. 327-338. In I. Goldberg and R. Williams (eds.). **Biotechnology and Food Ingredients.** Van Nostrand Reinhold, New York.

- Frye, A. M. and C. S. Setser. 1993. Bulking agents and fat substitutes, pp. 211-251. *In* A.M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Gabas, A.L., V.R.N. Telis, P.J.A. Sobral and J. Telis-Romero. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**. 82: 246-252.
- Galvez, A.V. and M.P.R.L. Mondaca. 2008. Moisture sorption isotherms and isosteric heat determination in chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*). **Quimica Nova**. 31 (6): 1417-1421.
- George, O.A., M.W. Okoth, J.K. Imungi and J.N. Kabira. 2011. Effect of packaging and storage temperature on the shelf life of crisps from four Kenyan cultivars. **American Journal of Food Technology**. 1-11.
- Gordon, M.H. 2004. Factors affecting lipid oxidation. *In* R. Steele (ed.). **Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food**. CRC Press, Woodhead Publishing, Boca Raton.
- Goula, A.M. and K.G. Adamopoulos. 2009. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 10 p.
- Gregson, C.M. 2003. Evaluation of numerical algorithms for the instrumental measurement of bowl-life and changes in texture over time for ready-to-eat breakfast cereals. **Journal of Texture Studies**. 33: 505-528.
- Houhoula, D.P., V. Oreopoulou, C. Tzia. 2003. Antioxidant efficiency of oregano during frying and storage of potato chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 83: 1499-1503.

- Howling, D. and E.B. Jackson. 1990. Glucose syrups and starch hydrolysates, pp. 34-40. *In* E.B. Jackson (ed.). **Sugar Confectionery Manufacture**. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Inglett, G.E., P. Gelbman and G.A. Reineccius. 1988. Encapsulation of orange oil, pp. 19-36. *In* S.J. Rish and G.A. Reineccius (eds.). **Flavor Encapsulation**. Amer. Chem. Soc., Washington, D.C.
- Intharapongnuwat, W., K. Arkanit, W. wangcharcharoen and P. Warasawas. 2008. Process improvement for Thai-style fried rice crackers. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 1 (3): 155-166.
- Jacobson, G.A. 1967. Quality control of commercial deep fat frying. **Food Technology**. 21 (2): 43-48.
- Jensen, P.N. and J. Risbo. 2007. Oxidative stability of snack and cereal products in relation to moisture sorption. **Food Chemistry**. 103: 717-724.
- Jonnalagadda, P.R., R.V. Bhat, R.V. Sudershan and A. Nadamuni. 2001. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. **Food Quality and Preference**. 12: 223-228.
- Kenyon, M.M. and Anderson. 1988. Maltodextrin and low dextrose equivalence corn syrup solids, pp. 7-11. *In* S.J. Rish and G.A. Reineccius (eds.). **Flavor Encapsulation**, ACS Symposium series. Amer. Chem.cSoc., Washington, D.C.
- Ketjarut, S., T. Suwonsichon and R. Pongsawatmanit. 2010. Rheological properties of wheat flour-based batter containing tapioca starch. **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)**. 44: 116-122.

Kirk, R.S. and R. Sawyer (eds). 1991. **Pearson's composition and analysis of food**. Longman scientific and technical. Harlow Essex UK. 640 p.

Kita, A.. 2007. The effects of oils and frying temperatures on the texture and fatncontent of potato crisps. **Food chemistry**. 102: 1-5.

Klinkesorn, U., P. Sophanodora, P. Chinachoti and D.J. Mcclements. 2004. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. **Food Research Interational**. 37: 851-859.

Knight, J.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press, Oxford. 189 p.

Kulas, E. and R.G. Ackman. 2001. Different tocopherols and the relationship between two methods for determination of primary oxidation products in fish oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49: 1724-1729.

Kurozawa, L.E., K.J. Park and M.D. Hubinger. 2009. Effect of maltodextrin and gum Arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**. 91:287-296.

Labuza, T.P. and B. Altunakar. 2007. Water activity prediction and moisture sorption isotherms, pp. 109-151. In G.V.B. Canovas, A.J. Fontana, S.J. Schmidt and T.P. Labuza. **Water Activity in Food Fundamentals and Applications**. Blackwell Publishing, USA.

Lang, K.W., T.D. Mccune and M.P. Steinberg. 1981. A proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. **Journal of Food Science**. 46: 936-938.

Lloyd, N.E. and W.J. Nelson. 1984. Glucose and fructose-containing sweeteners from starch, pp. 611-656. In R.L. Whistler and J.N. Bemiller (eds). **Starch: Chemistry and Technogy**. 2d ed., Academic Press, Inc., Oriando, Florida.

- Loret, C., V. Meunier, W.J. Frith and P.J. Fryer. 2004. Rheological characterization of the gelation behavior of maltodextrin aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**. 57: 153-163.
- Macrae, R., R.K. Robinson and M.J. Sadler. 1993. **Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition Vol 2**. Academic Press, London. 1442 p.
- Maiden, A.N. 1970. Food and fermentation applications of starch hydrolysates. pp. 3-4. *In* G.G.vBrich, L.F. Green and C.B. Coulson. ed. **Glucose Syrup and Related Carbohydrates**. Lesevier Publ. Co., Ltd, London.
- Man, Y.B.C, J. Bakar, A.A.K. Mokri. 1995. Effect of packaging films on storage stability of intermediate-moisture deep-fried mackerel. **International Journal of Food Science and Technology**. 30: 175-181.
- Maneerote, J., A. Noomhorm and P.S. Takhar. 2009. Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physic-chemical properties of deep fried rice crackers. **LWT-Food Science and Technology**. 42: 805-812.
- Manral, M., M.C. Pandey, K. Jayathilakan, K. Radhakrishna and A.S. Bawa. 2008. Effect of fish (Catla catla) frying on the quality characteristics of sunflower oil. **Food chem**. 106: 634-639.
- Mariscal, M. and P. Bouchon. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. **Food chemistry**. 107: 1561-1569.
- Mazumder, P., B.S. Roopa and S. Bhattacharya. 2007. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**. 79: 511-516.

Mehta, S. and A. Singh. 2006. Adsorption isotherms for red chilli (*Capsicum annuum L.*).

European Food Research and Technology. 223: 849-852.

Meilgaard, M.C., G.V. Civille and B.T. Carr. 2007. **Sensory Evaluation Techniques.** Boca

Raton. CRC Press; Taylor & Francis Group. 448 p.

Mezouari, S. and K. Eichner. 2007. Comparative study on the stability of crude and refined rice

bran oil during long-term storage at room temperature. **European Journal of Lipid science and Technology.** 109 (3): 198-205.

Mosquera, L.H., G. Moraga and N. Martinez-Navarrete. 2010. Effect of maltodextrin on the

stability of freeze-dried borojo (Borojoa patinoi Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering.** 97: 72-78.

Myhara, R.M., M.S. Taylor, B.A. Slominski and I. Al-Bulushi. 1998. Moisture sorption

isotherms and chemical composition of omani dates. **Journal of Food Engineering.** 37: 471-479.

Naivikul, O., P. Boonyasirikool, D. Hengsawadi, K. Jangchai, T. Suwansichon and A.

Suksomboon. 2002. Functional snack food. **Kasetsart Journal.** 36: 44-54.

Naz, S., H. Sheikh, R. Siddiqi, S.A. Sayeed. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean

oil under different conditions. **Food Chemistry.** 88: 253-259.

Njobeh and Nsahlai. 2006. Influence of composition and storage condition on the concentration

of free fatty acid and rancidity in broiler diets. **Journal of Poultry Science.** 5 (3): 279-283.

Oka, H. and Ueoka, Y., 1981. Studies on manufacturing conditions of drying food by frying

under reduced pressure. **Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi.** 28 (2): 32-36.

- Pancoast, H.M. and W.R. Junk. 1980. **Handbook of Sugars**. 2d ed., The A VI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. 598 p.
- Park, S.R., Y. Ho Kim, H. Jong Park and Y. Sang Lee. 2004. Stability of tocopherols and tocotrienols extracted from unsaponifiable fraction of rice bran under various temperature and oxygen condition. **Australian Society of Agronomy**.
- Perkins, E.G. and M.D. Erickson. 1996. **Deep frying: Chemistry, Nutrition and Practical Application**. AOCS Press, Illinois. 357 p.
- Quintanar, R.L.V., M.H. Love, J.A. Love, P.J. White and L.A. Johnson. 2003. Lipid-oxidation-limited shelf-life of nixtamalized instant corn masa. **Journal of Food Lipids**. 10: 153-163.
- Quintas, M., T.R.S. Brandao, C.L.M. Silva and R.L. Cunha. 2006. Rheology of supersaturated sucrose solutions. **Journal of Food Engineering**. 77: 844-852.
- Raisi, A., A. Aroujalian. 2007. Reduction of the glucose syrup browning rate by the use of modified atmosphere packaging. **Journal of Food Engineering**. 80: 370-373.
- Robertson, G.L. 2006. **Food Packaging : Principles and Practice**. 2nd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Rossell, J.B. 2001. **Frying Improving Quality**. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, England. 369 p.
- Roudaut, G. 2007. Water activity prediction and moisture sorption isotherms, pp. 109-151. In G.V.B. Canovas, A.J. Fontana, S.J. Schmidt and T.P. Labuza. **Water Activity in Food Fundamentals and Applications**. Blackwell Publishing, USA.

- Salunkhe, P.k., 1976. **Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables**. CRC Press, London.
- Selmi, S. and S. Sadok. 2008. The effect of natural antioxidant (Thymus vulgaris Linnaeus) on flesh quality of tuna (Thunnus thynnus (Linnaeus)) during chilled storage. **Pan-American of Aquatic Sciences**. 3 (1): 36-45.
- Selmi, S., Z. Liman, I. Batista, N.M. Bandatta and M.L. Nunes. 2010. Effects of storage temperature and α -tocopherol oil recovered from sardine mince. **International Journal of Refrigeration**. 1-8.
- Silva, A.S., J.L. Hernandez, P.P. Losada. 2004. Modified atmosphere packaging and temperature effect on potato crisps oxidation during storage. **Analytica Chimica Acta** 524. 185–189.
- Silva, M.A., P.J.A. Sobral and T.G. Kieck busch. 2006. State diagrams of freeze-dried camu-camu (Myrciaria dubia (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**. 77: 426-432.
- Silva, P.F. and R.G. Moreira. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. **LWT-Food Science and Technology**. 41: 1758-1767.
- Singthong, J. and C. Thongkaew. 2009. Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. **LWT-Food Science and Technology**. 42: 1199-1203.
- Srinivasa Gopal, T.K., P.G. Viswanathan Nair, M.K. Kandoran, P.V. Prabhu and K. Gopakumar. 1998. Shelf life of dried anchoviella in flexible packaging materials. **Food Control**. 9 (4): 205-209.

Steele, R. 2004. **Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food**. England. CRC Press. 407 p.

Tonon, R.V., A.F. Baroni, C. Brabet, O. Gibert, D. Pallet and M.D. Hubinger. 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**. 94: 215-221.

Upston, J.M., A.C. Terentis and R. Stocker. 1999. Tocopherol-mediated peroxidation of lipoproteins: implications for vitamin E as a potential antiatherogenic supplement. **The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology**. 13: 977-994.

Wahle, K.W.J., P.P. Hoppe and G. McIntosha. 2006. Effects of storage and various intrinsic vitamin E concentration on lipid oxidation in dried egg powders. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 61 (4): 463-469.

White, C. H. 1993. Low-fat dairy products, pp. 253-271. *In* A. M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Zamora, M.C., J. Chirife and D. Roldan. 2006. On the nature of the relationship between water activity and % moisture in honey. **Food Control**. 17 (8): 642-647.



ภาคผนวก



1. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N

ชั่งสารโซเดียมไธโอซัลเฟต 6.25 กรัม และปรับปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N ให้ได้ 250 มิลลิลิตร ใน volumetric flask ด้วยน้ำกลั่น

1.2 การหาความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N

นำโพแทสเซียมไดโครเมตไปอบไล่ความชื้นใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccators ทำการชั่งโพแทสเซียมไดโครเมตมา 0.16-0.22 กรัม ลงใน flask 500 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก (35-37%) 5 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 15% (ซึ่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ 15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) เขย่าให้ผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต เขย่าต่อเนื่องจนกระทั่งสีเหลืองเกือบจางหายไป เติมน้ำแปป 1-2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

2. การวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มไล่ CO_2 แล้วเล็กน้อย เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายแล้วลงใน volumetric flask 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้วให้ได้ 250 มิลลิลิตร

2.2 การหาความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

นำสารโพแทสเซียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) ใส่ในโถงแล้วบดให้ละเอียด นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ชั่งสาร $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ประมาณ 0.1 กรัม ใส่ในฟลาสก์ เติมน้ำกลั่น 20 ml เขย่าเบาๆ ให้ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ละลาย จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 2-3 หยดและไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่

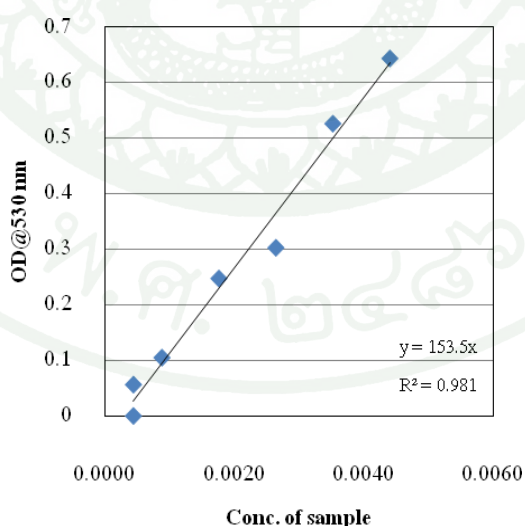
3. การวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาพิทริก (Thiobarbituric acid reactive substances; TBARS)

3.1 การเตรียมสารละลาย TBA reagent

ละลาย 2- thiobarbituric acid 200 มิลลิกรัม ใน 1- butanol 100 มิลลิลิตร ทิ้งให้สารละลายค้างคืน (หรือใช้เครื่อง Ultrasome) กรอง หรือเข้าเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) เพื่อกำจัดเอาสิ่งตกค้างที่ไม่ละลายออก แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วย 1-butanol (สารละลายนี้ไม่ควรเก็บนานเกิน 1 อาทิตย์ในตู้เย็น (TBA มันละลายยากให้ใช้สเตอริไรซ์ก่อนให้มันละลาย)

3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน TMP (1,1,3,3-tetramethoxypropane) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ โดยมี 1- butanol เป็นตัวทำละลาย และเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร) ปิเปตลงในหลอดทดลองที่ห่อด้วยฟอลด์และมีฝาปิด จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 5 มิลลิลิตร ด้วย 1- butanol พร้อมกับเติมสารละลาย TBA reagent 5 มิลลิลิตร ผสมให้สารละลายเข้ากันโดยใช้ Vortex mixer นำหลอดทั้งหมดมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที จากนั้นทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ผสมสารละลายให้เข้ากันอีกครั้งด้วย Vortex mixer วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐาน (ภาพภาคผนวก ที่ ก.1)



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานของ TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane) สำหรับคำนวณค่า TBARS



แบบทดสอบกลิ่นหืนด้วยวิธี Category Scaling

ผลิตภัณฑ์ : ปลากระตักปรุงรส

วันที่.....

ผู้ประเมิน.....

รหัส.....

คำแนะนำ : 1. กรุณาดมกลิ่นทีละตัวอย่าง

2. ให้คะแนนความเข้มของกลิ่นหืนที่ท่านรับรู้ ให้ตรงกับความคิดเห็นของท่านต่อผลิตภัณฑ์

1. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับความเข้มของกลิ่นหืนของตัวอย่างนี้

ไม่มีกลิ่นหืน

☐

หืนน้อยมาก

☐

หืนน้อย

☐

หืนปานกลาง

☐

หืนมาก

☐

คำแนะนำ.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรส

รหัสตัวอย่าง.....

คำชี้แจง : โปรดทดสอบตัวอย่าง และขีดเครื่องหมาย / ลงในช่อง ☐ ให้ตรงกับความคิดเห็นของท่านต่อผลิตภัณฑ์

กรุณาสังเกตสีของผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรส แล้วให้คะแนนตามความคิดเห็นของท่าน

1. สี (Color) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

กรุณาชิมตัวอย่างปลากระดักปรุงรส แล้วให้คะแนนตามความคิดเห็นของท่าน

2. กลิ่นรส (Flavor) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3. ท่านรับรู้กลิ่นหืน (Rancidity flavor) ของปลากระดักปรุงรสหรือไม่

☐ ไม่มีกลิ่นหืน (ตอบข้อ 4) ☐ มีกลิ่นหืน แต่ยอมรับได้(ตอบข้อ3.1) ☐ มีกลิ่นหืน และไม่ยอมรับ(ตอบข้อ 3.1)

3.1 ถ้าท่านรับรู้กลิ่นหืน ระดับกลิ่นหืนที่ท่านรับรู้ของตัวอย่างนี้คือ

หืนน้อยมาก	หืนน้อย	หืนปานกลาง	หืนมาก
☐	☐	☐	☐

4. รสชาติ (Taste) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5. ความกรอบ (Crispness) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6. ความชอบโดยรวม (Overall liking) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. เมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมทั้งหมด ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรสนี้หรือไม่

☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เพราะ.....

คำแนะนำ.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรส

รหัสตัวอย่าง.....

คำชี้แจง : โปรดทดสอบตัวอย่าง และขีดเครื่องหมาย / ลงในช่อง ☐ ให้ตรงกับความคิดเห็นของท่านต่อผลิตภัณฑ์

กรุณาสังเกตสีของผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรส แล้วให้คะแนนตามความคิดเห็นของท่าน

1. สี (Color) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

กรุณาชิมตัวอย่างปลากระดักปรุงรส แล้วให้คะแนนตามความคิดเห็นของท่าน

2. กลิ่นรส (Flavor) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3. รสชาติ (Taste) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

4. ความกรอบ (Crispness) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5. ความชอบโดยรวม (Overall liking) ของปลากระดักปรุงรส

ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบ	ไม่ชอบปาน	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้ว่า	ชอบเล็กน้อย	ชอบปาน	ชอบมาก	ชอบมาก
ที่สุด	มาก	กลาง	เล็กน้อย	ชอบหรือไม่ชอบ	น้อย	กลาง		ที่สุด
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6. เมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมทั้งหมด ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ปลากระดักปรุงรสนี้หรือไม่

☐ ยอมรับ

☐ ไม่ยอมรับ เพราะ.....

คำแนะนำ.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศรัญญา นิสากกร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 กันยายน 2527
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปีการศึกษา 2549
ผลงานทางวิชาการ	ศรัญญา นิสากกร และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2554. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลากระตักทอดปรุงรสอบแห้งที่เคลือบด้วยน้ำเชื่อมที่มีและไม่มีโทโคฟีโนลระหว่างการเก็บ. รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 4
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.- อุตสาหกรรม และบริษัท ชัยจินดา ซีฟู้ด จำกัด