

การประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหืนของข้าวเกรียบทอด
APPLICATION OF LABELS FOR RANCIDITY MONITORING
OF FRIED RICE CRACKERS



นางสาวศุภนิดา โตรามัญ
MS. SUPHANIDA TORAMAN
นายเอราวัณ บุญนนท์
MR. ARAWAN BUNNON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF LABELS FOR RANCIDITY MONITORING OF FRIED RICE CRACKERS

MS. SUPHANIDA TORAMAN

MR. ARAWAN BUNNON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหืนของข้าวเกรียบทอด
APPLICATION OF LABELS FOR RANCIDITY MONITORING
OF FRIED RICE CRACKERS

นักศึกษา นางสาวศุภนิดา โตรามัญ รหัสนักศึกษา 63010936
 นายเอราวัณ บุญนนท์ รหัสนักศึกษา 63010936

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ผศ.ดร.เอกพงษ์ ชีวีตโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหีนของข้าวเกรียบทอด
นักศึกษา	นางสาวศุภนิดา โตรามัญ นายเอราวัณ บุญนนท์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.เอกพงษ์ ชีวติโสภณ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหีนของข้าวเกรียบทอด และเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลากระหว่างการเก็บรักษา เริ่มต้นจากการเตรียมตัวอย่าง โดยทอดข้าวเกรียบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที แล้วตั้งให้สะเด็ดน้ำมัน นำข้าวเกรียบทอดบรรจุใส่ถุงใสปริมาณ 30 กรัมต่อถุง จำนวน 30 ถุง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 สัปดาห์ และวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างทุกสัปดาห์ ได้แก่ แอคติวิตีของน้ำ, สี, เนื้อสัมผัส, ค่าเพอร์ออกไซด์, ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก และการทดสอบประสาทสัมผัส ผลการทดลองพบว่าค่าแอคติวิตีของน้ำ และค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา แต่ค่าความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าความแตกต่างของสีตัวอย่าง และค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เริ่มต้นฉลากเป็นสีน้ำเงินเข้ม เปลี่ยนเป็นสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนอย่างต่อเนื่อง ฉลากสามารถใช้แสดงถึงระดับการหีนของข้าวเกรียบทอดได้ และการทดสอบประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าเมื่อฉลากเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งค่าความสว่างเป็น 22.60 ± 2.05 และค่าสีเขียวเป็น -14.14 ± 0.74 และค่าสีเหลืองเป็น 16.81 ± 0.90 ผู้ทดสอบไม่ยอมรับกลิ่นหืนที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวอย่างมีค่าเพอร์ออกไซด์เป็น 52.47 ± 11.82 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม

Thesis Title	Application of Labels for Rancidity Monitoring of Fried Rice Crackers
Student	Ms. Suphanida Toraman Mr. Arawan Bunnon
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Ekkapong Cheevitsopon

ABSTRACT

The main purpose of this research is to apply labels to indicate the rancidity of fried rice crackers and to evaluate the relationship between changes in the quality of fried rice crackers and color changes in the labels during storage. For the preparation of samples, the rice crackers were fried at a temperature of 190 °C for 25 s and then the samples drained the oil. Thirty-gram samples with a label indicator were then placed in polyethylene bags, with a total of 30 bags. The samples were stored at room temperature for 7 weeks. The color changes in labels and qualities of samples, including water activity, color, texture, peroxide value, thiobarbituric acid value, and sensory testing, were analyzed every week. The results showed that water activity and peroxide value increased significantly with storage time, while crispness decreased significantly. However, the color difference and thiobarbituric acid value of the samples did not change significantly over time. The color changes in labels were related to an increase in peroxide value. The initial color of the labels was dark blue. During storage, the label's color changed to green and continued to change to light green. This indicated that the labels could indicate the rancidity of fried rice crackers. From the sensory testing, it was found that when the color of the labels was light green (22.60 ± 2.05 of L^* , -14.14 ± 0.74 of a^* and 16.81 ± 0.90 of b^*) and the peroxide value of stored samples was 52.47 ± 11.82 meq.O₂/kg, the panelists were unable to accept the odor of the stored samples.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การเห็นของข้าวเกรียบทอด สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณการสนับสนุนจากบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพงษ์ ชีวีตโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์และกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำในการทำวิจัย ความเอาใจใส่ รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขตลอดระยะเวลาในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรีสา ชูวัฒนกุล สำหรับความรู้และคำแนะนำในการนำเสนอและคำชี้แจงในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านสำหรับความรู้ที่ได้รับตลอดการศึกษาในปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณครอบครัว รวมถึงบุคคลผู้ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจจนสามารถดำเนินโครงการปริญญาานิพนธ์ได้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวศุภนิดา โตรามัญ

นายเอราวัณ บุญนนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวเกรียบ.....	4
2.1.1 วัตถุประสงค์ในการทำข้าวเกรียบ.....	5
2.1.2 วิธีการทำข้าวเกรียบ	5
2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ.....	5
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบ.....	5
2.2.2 กลิ่นรสของข้าวเกรียบ	5
2.2.3 แอคติวิตีของน้ำ	5
2.2.4 ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค.....	6
2.3 การเสื่อมเสียของอาหาร	6
2.3.1 ประเภทของการเสื่อมเสียอาหาร.....	6
2.4 การเสื่อมเสียของข้าวเกรียบทอด.....	7
2.5 ปฏิกริยาการหืน	7
2.5.1 การเหม็นหืนเนื่องจากการย่อยด้วยน้ำ	8
2.5.2 การเหม็นหืนเนื่องจากคีโตน	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การหมิ่นหืนเนื่องจากออกซิเดชัน	8
2.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์	8
2.5.5 ค่า Thiobarbituric	8
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร.....	9
2.6.1 ผลิตภัณฑ์อาหาร.....	9
2.6.2 บรรจุภัณฑ์.....	9
2.6.3 สิ่งแวดล้อม	9
2.7 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทอด.....	9
2.7.1 โพลีเอทิลีน.....	9
2.7.2 โพลีโพรพิลีน.....	10
2.8 ฉลากแบบ Indicator บอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์.....	10
2.8.1 ฉลากแบบป้ายอิเล็กทรอนิกส์อาร์เอฟไอดี.....	10
2.8.2 ฉลากบ่งชี้.....	10
2.8.3 เซ็นเซอร์	10
2.9 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาหารทอด.....	11
2.10 การวัดสี	11
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12

บทที่ 3 การวิจัยและขั้นตอนการทดลอง

3.1 แผนการทดลอง	21
3.2 การทดลองเบื้องต้น.....	23
3.2.1 การเตรียมฉลาก.....	23
3.3 การทดสอบแอกติวิตีของน้ำ.....	25
3.4 การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอด	26
3.5 การวิเคราะห์สีของฉลาก.....	26
3.6 การทดสอบความกรอบของข้าวเกรียบ.....	27
3.7 การทดสอบหาค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอด	29
3.8 การทดสอบหาค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอด.....	31
3.9 การทดลองทางประสาทสัมผัส.....	33
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ	35

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอดติวิตีของน้ำของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	36
4.2 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา	38
4.2.1 ผลการวิเคราะห์สีของค่า L^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา	38
4.2.2 ผลการวิเคราะห์สีของค่า a^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา	39
4.2.3 ผลการวิเคราะห์สีของค่า b^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	40
4.2.4 ผลการวิเคราะห์สีของค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	41
4.3 ผลการวิเคราะห์สีของฉลาก	42
4.3.1 ผลการวิเคราะห์สีของค่า L^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	42
4.3.2 ผลการวิเคราะห์สีของค่า a^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	43
4.3.3 ผลการวิเคราะห์สีของค่า b^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	44
4.3.4 ผลการวิเคราะห์สีของค่า ΔE ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	45
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา	47
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	48
4.6 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	49
4.7 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51

เอกสารอ้างอิง.....	52
--------------------	----

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าแอกติวิตีของน้ำของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	36
ตารางที่ 4.2 ค่า L^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	38
ตารางที่ 4.3 ค่า a^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	39
ตารางที่ 4.4 ค่า b^* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	40
ตารางที่ 4.5 ค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	41
ตารางที่ 4.6 ค่า L^* ของฉลากระหว่างการผลิต.....	42
ตารางที่ 4.7 ค่า a^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	43
ตารางที่ 4.8 ค่า b^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	44
ตารางที่ 4.9 ค่า ΔE ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา.....	45
ตารางที่ 4.10 ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	47
ตารางที่ 4.11 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	48
ตารางที่ 4.12 ค่าความกรอบของข้าวเกรียบทอด.....	49
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงระดับความแตกต่างของกลิ่นกับร้อยละของจำนวนคนที่เลือก.....	50
ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงการยอมรับกับร้อยละของจำนวนคนที่เลือก.....	50

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการเปลี่ยนสีของฉลากที่ใช้กับตัวอย่างปลาค็อด.....	13
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ค่าการเปลี่ยนสีและระดับจุลินทรีย์ (\log_{10} cfu) เทียบกับเวลาของปลาค็อด	13
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ค่าการเปลี่ยนสีและระดับจุลินทรีย์ (\log_{10} cfu) เทียบกับเวลาของปลาค็อด	14
รูปที่ 2.4 ค่า Peroxide ของนมผงในขวดที่ปิดสนิทที่ 30 องศาเซลเซียสกับฉลาก Indicator	14
รูปที่ 2.5 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (TCD) กับค่า เพอร์ออกไซด์ (PV) เทียบกับเวลา	15
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด C ในเนื้อไก่	16
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด A ในเนื้อไก่	16
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด C ในเนื้อปลา	16
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด A ในเนื้อปลา	16
รูปที่ 2.10 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างความสุกมะม่วงกับฉลาก	17
รูปที่ 2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S1	19
รูปที่ 2.12 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S2	19
รูปที่ 2.13 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S3	20
รูปที่ 3.1 รูปข้าวเกรียบดิบ	21
รูปที่ 3.2 รูปข้าวเกรียบทอด	23
รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลาก	23
รูปที่ 3.4 การทดสอบค่าแอดทิวติวของน้ำในข้าวเกรียบ	25
รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอด	26
รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์สีของสีฉลาก	27
รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบทอด	28
รูปที่ 3.8 จำนวนพิกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) กับระยะทาง (มิลลิเมตร)	28
รูปที่ 3.9 รูปตัวอย่างหลังจากที่นำไปทอด	30
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างขณะกรอง	30
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างก่อนนำไปไทเทรต	30
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างหลังนำไปไทเทรต	31
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างที่ได้จากการสกัด	32
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างที่นำไปต้ม	32
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างที่ตัวอย่างที่นำไปหมუნเหวียง	32
รูปที่ 3.16 แบบการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอกติวิตีของน้ำในระหว่างการเก็บรักษา	37
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L^* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	38
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	39
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b^* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	40
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา	41
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L^* ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา	42
รูปที่ 4.7 สีของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	43
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา	44
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b^* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	45
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ΔE ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	46
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา	47
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไทโอบาร์บิทริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	48
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา.....	49



บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวเกี่ยวกับความเป็นมาและความสำคัญในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ โดยผู้จัดทำได้บรรยายถึงข้อมูลทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1.1 ที่มาและความสำคัญ
- 1.2 วัตถุประสงค์
- 1.3 ขอบเขตการศึกษา
- 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าวเกรียบจัดได้ว่าเป็นอาหารว่างที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีเนื้อสัตว์ หรือผัก หรือผลไม้เป็นส่วนประกอบ โดยผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมี 2 ชนิด คือ ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคน้ำ และข้าวเกรียบดิบ ข้าวเกรียบจัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ในจังหวัดปัตตานี และนราธิวาส และเป็นพื้นที่ที่เป็นแหล่งผลิตข้าวเกรียบที่สำคัญ เพราะมีผู้ประกอบการเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีการจำหน่ายทั้งในพื้นที่ และนอกพื้นที่รวมถึงมีการส่งออกต่างประเทศอีกด้วย เห็นได้ว่าข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโอกาสทางเศรษฐกิจ จึงทำให้ข้าวเกรียบมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ เพราะคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวเกรียบส่งผลถึงคุณภาพของข้าวเกรียบ ได้แก่ แอคติวิตีของน้ำ, ลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบ, ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบพร้อมบริโภคน้ำ และคุณลักษณะเหล่านี้ยังส่งผลถึงการเสื่อมเสียของอาหาร เพราะการเสื่อมเสียของอาหารคือการทำให้อาหารคุณภาพของอาหารลดลง ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และยังมีสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และยังมีปัจจัยอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลถึงการเสื่อมเสียของอาหาร เช่น การเก็บรักษาอาหารไม่ถูกต้อง

ข้าวเกรียบถือว่าเป็นอาหารประเภททอดซึ่งมีการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมัน หรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เพราะอาหารประเภททอดหรืออาหารประเภทที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบจะมีการหืน เพราะการหืนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ซึ่งการหืนสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัยในระหว่างการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์หรือสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาที่มีฉลากสามารถตรวจคุณภาพของสินค้า ฉลากสามารถบอกได้ทั้งภายในและภายนอกของบรรจุภัณฑ์ ต่อผู้บริโภคและผู้ทำจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ ในบรรจุภัณฑ์ที่มีฉลากติดอยู่เพื่อตรวจสอบความสดของเนื้อสัตว์ (Cao et al., 2019) ใช้สาร Bromothymol Blue ตรวจฉลากที่สร้างจากไฮเซลลูโลส และ Cassia Gum เห็นว่าค่า TVB-N ในเนื้อหมูและเนื้อไก่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 36 ชั่วโมงพบว่าฉลากมีการเปลี่ยนสีของฉลากจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำเงิน และเมื่อเนื้อสัตว์เริ่มเน่าเสีย (Nopwinyuwong et al., 2010) ใช้สาร Methyl Cellulose ร่วมกับสาร pH Indicator ที่มีการผสมกันระหว่าง Bromothymol Blue และ Methyl red ตรวจสอบการเน่าเสียของทองหยอดในอุณหภูมิกักเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ปรากฏว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเน่าเสียของทองหยอด รวมถึงการเปลี่ยนสีของ Indicator การเปลี่ยนแปลงของฉลากในการจับตรวจจับสารปฏิกิริยาของไนโตรเจน (Wells et al., 2018) ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของปลาเค็ม ฉลากเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าว่าสีฉลาก เปลี่ยนตามค่า TVB-N ที่เปลี่ยนไป ในการตรวจสอบปฏิกิริยากลิ่นหืนของนมผงเด็กทารก (Kulchan et al., 2016) โดยฉลากซึ่งมี Methyl Cellulose เป็น Cellulose-Based และผสมด้วย Bromothymol Blue และ Methyl Red เมื่อเวลาผ่านไปสีของฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีส้มเมื่อความเข้มข้นของค่า Peroxide เพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษา ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบมีแผ่นชี้วัดการหืนเพื่อบ่งชี้อายุการเก็บของทุเรียนทอดในสภาวะเร่ง (Kulchan et al., 2018) โดยได้ทำการพัฒนาแผ่นฉลาก A, B และ C จากสีอำมมม ใสในถุงที่บรรจุตัวอย่างการทดลองคือทุเรียน โดยมีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นตัวเร่งการเหม็นหืน ปรากฏว่าฉลากมีการเปลี่ยนสี แผ่นชี้วัดชนิด A เปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง ชนิด B เปลี่ยนจากม่วงแดงเป็นน้ำตาล และชนิด C เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นขาว

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำฉลากมาประยุกต์ใช้สำหรับบ่งชี้การหืนของข้าวเกรียบทอด และเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลากระหว่างการเก็บรักษา โดยในการวิจัยในครั้งนี้มีการใช้ข้าวเกรียบเป็นตัวทดลองและมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอด ได้แก่ แอคติวิตีของน้ำ, สี, เนื้อสัมผัส, ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี คือ PV และ TBA, การทดสอบประสาทสัมผัส รวมไปถึงการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลาก

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหืนของข้าวเกรียบทอด
- 2) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลากระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ตัวอย่างของการทดลองเป็นข้าวเกรียบทอด
- 2) ฉลากบ่งชี้ความหืนมีส่วนประกอบคือ Methyl Cellulose และมี Bromothymol Blue กับ Methyl Red เป็น Indicator
- 3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอด ได้แก่ แอคติวิตีของน้ำ, สี, เนื้อสัมผัส, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก, การทดสอบประสาทสัมผัส
- 4) ศึกษาการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลาก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ฉลากสามารถบอกถึงความหืนของข้าวเกรียบทอด
- 2) มีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดระหว่างการเก็บรักษา
- 3) สามารถประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งบอกความหืนกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดอื่น ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาแนวคิดในการนำผลจากมาประยุกต์ใช้สำหรับบ่งชี้การเห็นของข้าวเกรียบทอดและเพื่อนำผลจากมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลากระหว่างการเก็บรักษา และมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอด รวมถึงการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาประยุกต์ใช้ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อดังนี้

- 2.1 ข้าวเกรียบ
- 2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ
- 2.3 การเสื่อมเสียของอาหาร
- 2.4 การเสื่อมเสียของข้าวเกรียบทอด
- 2.5 ปฏิบัติการเห็น
- 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร
- 2.7 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทอด
- 2.8 ฉลากแบบ Indicator บอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 2.9 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาหารทอด
- 2.10 การวัดสี
- 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบ คือ อาหารว่างชนิดหนึ่งที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีส่วนประกอบของเนื้อสัตว์หรือผักหรือผลไม้ เช่น ปลา กุ้ง พริกทอง เผือก งาดำ และงาขาว โดยจะถูกลบผสมเข้ากับเครื่องปรุงรส จากนั้นจะถูกทำให้เป็นรูปทรงตามที่ต้องการและนึ่งเพื่อให้สุก จากนั้นจะถูกตัดเป็นแผ่นบาง ๆ และนำไปทำแห้งด้วยแสงแดดหรือวิธีอื่น ๆ สามารถทำการทอดก่อนบรรจุหรือไม่ก็ได้ จึงทำให้มีข้าวเกรียบ 2 ชนิด คือ ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคนและข้าวเกรียบดิบ (มผช.107/2546)

2.1.1 วัตถุประสงค์ในการทำข้าวเกรียบ

การทำข้าวเกรียบมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เนื้อสัตว์หรือผักหรือผลไม้ 2) แป้งมัน 3) แป้งข้าวเจ้า 4) กระทียม 5) พริกไทย 6) เกลือป่น และ 7) น้ำมันพืช

2.1.2 วิธีการทำข้าวเกรียบ

1) นำกระทียม พริกไทย โขลกให้ละเอียด จากนั้นนำเนื้อสัตว์หรือผักหรือผลไม้ โขลกต่อไปจนเหนียว จากนั้นเติมเกลือป่นลงไปแล้วโขลกต่อสักครู่ เมื่อโขลกเสร็จจัดขึ้นพักไว้ นำแป้งมันและแป้งข้าวเจ้าผสมรวมกัน เมื่อผสมเสร็จแล้วนำไปผสมรวมกับของที่โขลกไว้ตอนแรก แล้วเติมน้ำลงไปจนปั้นเหนียว

2) เมื่อนวดแป้งได้ที่แล้ว นำแป้งปั้นแป้งเป็นท่อนกลม ๆ คลึงออกให้เป็นแท่งยาว ๆ จัดเรียงท่อนแป้งใส่ที่หนึ่งแล้วยกขึ้นตั้งไฟหนึ่ง เมื่อสุกแล้วหยิบขึ้นแช่ทิ้งไว้จากนั้นหันให้เป็นแว่นบางๆ และนำไปตากแดดให้แห้ง

3) เวลานั้นไปทอด ใส่น้ำมันร้อนให้ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 190 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วนำลงทอดจนเป็นสีเหลืองทอง ยกขึ้นให้สะเด็ดน้ำมัน

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบ

คุณลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบ ได้แก่

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคจะต้องมีลักษณะเป็นแผ่นที่บาง กรอบ ตัวเนื้อของข้าวเกรียบมีการพองตัวที่ดี และสม่ำเสมอ ไม่มีส่วนที่ไหม้เกรียม อาจแตกหักได้เล็กน้อย และข้าวเกรียบดิบ จะต้องมีลักษณะเป็นแผ่นที่บาง กรอบ มีการแตกหักได้เล็กน้อย

2.2.2 กลิ่นรสของข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคและข้าวเกรียบดิบจะต้องมีรสชาติของส่วนประกอบที่ใช้และปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน

2.2.3 แอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (Free Water) น้ำสามารถอยู่ในช่องว่างของอาหารได้ สามารถเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารได้ น้ำมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ จึงทำให้แอคติวิตีของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุม และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า ให้แอคติวิตีของน้ำเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ สามารถใช้ค่าแอคติวิตีของน้ำในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจน ใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่าแอคติวิตีของน้ำ ที่จำกัด อาหารมีค่าแอคติวิตีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่าแอกติวิตีต่ำกว่า 0.90 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า แอกติวิตีต่ำกว่า 0.70 (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.2.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV) ของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค จะต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัม สมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม

2.3 การเสื่อมเสียของอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหารคือกระบวนการที่ทำให้คุณภาพของอาหารลดลง ทั้งทางด้านกายภาพ เช่น สี, กลิ่น, รส, เนื้อสัมผัส และทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งอาจทำให้ไม่ปลอดภัย หรือไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค กระบวนการเสื่อมเสียของอาหารสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ รวมถึงทั้งทางด้านกายภาพ ทางเคมี และจากจุลินทรีย์ หลายปัจจัยอาจมีผลกระทบร่วมกันในกระบวนการเสื่อมเสีย เช่น การเก็บรักษาไม่ถูกต้อง ความชื้นในสถานะที่ไม่เหมาะสม และอื่น ๆ (วิจิตชัย ชาญสงคราม, 2560)

2.3.1 ประเภทของการเสื่อมเสียอาหาร

2.3.1.1 แบ่งตามความยากง่ายของการเสื่อมเสียอาหาร

1) อาหารที่เสื่อมเสียง่าย เป็นอาหารที่มีความชื้นสูงมีค่าแอกติวิตีของน้ำ สูงกว่า 0.9 ได้แก่ อาหารสด เช่น น้ํานม เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ อาหารในกลุ่มนี้หากไม่เก็บรักษาในสถานะที่เหมาะสม จะเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน หรือไม่เกิน 1 สัปดาห์ ซึ่งการเสื่อมเสียเกิดมาจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

2) อาหารที่เสื่อมเสียเร็วปานกลาง อาหารที่มีความชื้นปานกลาง เช่น ไข่ ผลไม้ ประเภทผลแห้ง เช่น มะขาม มะพร้าว พืชหัว เช่น หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และมันเทศ ซึ่งมีเปลือกหุ้มเพื่อปกป้อง จึงทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ระยะหนึ่ง เกิดการเน่าเสียได้ภายใน 1-2 สัปดาห์

3) อาหารที่เน่าเสียได้ยาก คืออาหารที่มีความชื้นต่ำค่าแอกติวิตีของน้ำ น้อยกว่า 0.6 จัดในกลุ่มอาหารแห้ง เช่น แป้ง สตาร์ช ธัญพืชถั่วเมล็ดแห้ง และน้ำตาล สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานแต่ต้องระวังการดูดความชื้นกลับ โดยการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมและควบคุมสถานะแวดล้อมให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

2.3.1.2 แบ่งตามสาเหตุการเสื่อมเสีย

1) การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา มักเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเน่าเสียและเกิดโรคอาหารเป็นพิษ เนื่องจากสามารถพบได้ทั่วไปในดิน น้ำ และอากาศ รวมทั้งในอาหาร

2) การเสื่อมเสียทางกายภาพการเสื่อมเสียทางกายภาพเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียทางเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์เป็นไปได้ เหตุผลคือ เมื่ออาหารเสื่อมเสียทางกายภาพ เช่น มีบาดแผล รอยแตกหัก หรือรอยขีด จะเปิดทางให้แบคทีเรียหรือจุลินทรีย์เข้าทำลายอาหาร ทำให้เกิดกระบวนการเสื่อมเสียทางเคมีต่อไปอีกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเสื่อมเสียทางกายภาพยังส่งผลให้สารอาหารปฏิกิริยากับเอนไซม์หรืออื่น ๆ นอกจากนี้ สภาวะแวดล้อมเช่น ออกซิเจนหรือความชื้นในบรรยากาศยังเร่งให้กระบวนการเสื่อมเสียเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นด้วย

3) การเสื่อมเสียเนื่องจากเอนไซม์ การทำงานของเอนไซม์ในอาหารเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้อาหารเสื่อมเสียเพิ่มขึ้น เอนไซม์บางชนิดมีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดตามธรรมชาติ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหารตามเวลา ตัวอย่างเช่น เอนไซม์เพคตินเนส (Pectinase) ที่มีอยู่ในผักผลไม้ธรรมชาติ ทำให้โครงสร้างเพคตินของผักผลไม้อ่อนนุ่มลงเมื่อเวลาผ่านไป เอนไซม์บางชนิดทำงานเมื่ออาหารสัมผัสกับอากาศ เช่น เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) ที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิล และเกิดจุดดำในกุ้ง (Melanosis) เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และไลเปส (Lipase) ทำให้ไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ผลให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น

4) การเสื่อมเสียทางเคมี การเสื่อมเสียทางเคมีเป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนประกอบของอาหารระหว่างอาหารกับบรรจุภัณฑ์ หรือระหว่างอาหารกับสภาวะแวดล้อมการเสื่อมเสียทางเคมี ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และการเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด

2.4 การเสื่อมเสียของข้าวเกรียบทอด

ข้าวเกรียบเป็นอาหารประเภททอดซึ่งการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่จะเกิดจากจุลินทรีย์หรือสาเหตุอื่นๆซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารประเภททอดหรืออาหารประเภทที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบมีกลิ่นหืน (นิริยารัต นาปนนท์, 2544)

2.5 ปฏิกิริยาการหืน (Rancidity Reaction)

การเหม็นหืนของไขมันหมายถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสถานะไขมันและน้ำมันที่มีกลิ่นผิดปกติระหว่างการเก็บรักษาอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมัน การเหม็นหืนอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุดังนี้ (นิริยารัตนาปนนท์, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การเหม็นหืนเนื่องจากการย่อยด้วยน้ำ (Hydrolytic Rancidity)

การเหม็นหืนจากปฏิกิริยาการแยกโดยน้ำ เกิดเมื่อโมเลกุลของไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในไขมัน และเมื่อน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดกระบวนการที่ทำให้เกิดการกรดไขมัน กรดไขมันเล็กๆ ที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดกลิ่นหืน เช่น กรดบิวตริก (Butyric Acid) การเกิดกระบวนการนี้เร่งขึ้นด้วยความร้อน การป้องกันการเหม็นหืนชนิดนี้คือการหลีกเลี่ยงให้มีน้ำปนเข้ากับไขมันและการควบคุมอุณหภูมิ

2.5.2 การเหม็นหืนเนื่องจากคีโตน (Ketonic Rancidity)

เกิดกับไขมันที่มีความเข้มข้น โดยเอนไซม์จากเชื้อราหรือจุลินทรีย์ต่างๆ ทำให้เกิดกระบวนการที่กรดไขมันอิ่มตัวเปลี่ยนเป็นสารที่เรียกว่าคีโตน ซึ่งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ การป้องกันการเหม็นหืนชนิดนี้คือการลดความชื้นและการหลีกเลี่ยงสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมเจริญของเชื้อรา

2.5.3 การเหม็นหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidation Rancidity)

เกิดกับไขมันที่ไม่อิ่มตัว โดยกระบวนการปฏิกิริยาของออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศกับกรดไขมัน สร้างสารที่เรียกว่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) แล้วเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ และกรดไขมันอิสระ ที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ การป้องกันการเหม็นหืนชนิดนี้คือการรักษาภาวะปิดเงื่อนไซและการเก็บรักษาอาหารในที่ที่มีความเย็นและอยู่ในสภาพอย่างสดใหม่

2.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV) เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Lipid Oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด ได้แก่ ถั่วปากอ้าทอด ถั่วทอดแผ่น

Peroxide Value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมัน หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไทเทรต ไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจน ที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า Peroxide Value สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด Lipid Oxidation มาก มีกลิ่นหืนมาก เกิดปฏิกิริยา Oxidative Rancidity มาก

2.5.5 ค่า Thiobarbituric (TBA)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile Decomposition Product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่า Malonaldehyde โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

2.6.1 ผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทมีคุณสมบัติและองค์ประกอบทางชีวเคมีที่แตกต่างกัน รวมถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในอาหาร ปริมาณน้ำในอาหารหรือค่าวัตถุอื่น ๆ เช่นค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้งนี้การควบคุมองค์ประกอบเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการยืดอายุและการเก็บรักษาสินค้าอาหาร เช่น อาหารที่ทอดหรืออบกรอบ (รัช นุสนธรา, 2557)

2.6.2 บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าอาหารมีหน้าที่ที่สำคัญในการป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม ลดความเสียหาย และรักษาคุณภาพของอาหารให้คงทนได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของสินค้าอาหาร

2.6.3 สิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหารในกระบวนการผลิต บรรจุและเก็บรักษา สิ่งเหล่านี้รวมถึงอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น แสง และปริมาณแก๊สออกซิเจน ตัวแปรเหล่านี้มีบทบาทในการเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพของอาหารในบรรจุภัณฑ์ก่อนเวลาที่ควรเกิดขึ้น

2.7 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทอด

2.7.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE)

PE เป็นพลาสติกที่มีโพลีเอทิลีนเป็นสารตั้งต้น มีข้อดีคือ ราคาถูก และมีความทนทานต่อสารละลายแต่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อเทียบกับพลาสติกอื่น ๆ ซึ่งจะแบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่นดังนี้ LDPE นิยมเอาไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุงหิ้ว ภาชนะบรรจุอาหาร เป็นต้น

1) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene หรือ LDPE) ความหนาแน่น 0.910 - 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความยืดหยุ่น และโปร่งใสมากกว่าเมื่อเทียบกับ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง ทนต่อกรดและด่างได้ดีแต่ไม่ทนความร้อน

2) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene หรือ MDPE) ความหนาแน่น 0.926 - 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene หรือ HDPE) มีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทนทานต่อการแตกหรือการหักงอได้ดี สามารถทนความร้อนและความเย็นได้สูง สามารถป้องกันความชื้นได้ HDPE นิยมเอาไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เช่น ทัปเปอร์แวร์ ขวดน้ำยาซักผ้า และขวดนม เป็นต้น

2.7.2 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

มีความใสและป้องกันความชื้นได้ดี คือ มีจุดหลอมเหลวสูงนิยมเอามาใช้เป็นฉลาก และ ถูกร้อน มีคุณสมบัติดีกว่าโพลีเอทิลีนหลายอย่าง ได้แก่ ทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง แต่มีข้อเสียคือการป้องกันอากาศซึมผ่านของไม่ดีเท่าพลาสติกบางชนิด และมีช่วงอุณหภูมิสั้นทำให้ PP เชื่อมติดได้ยาก (วลัยพร มุขสุวรรณ, 2551)

2.8 ฉลากแบบ Indicator บอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่มีฉลากสามารถตรวจคุณภาพของสินค้าได้ และสามารถบอกได้ทั้งภายในและภายนอกของบรรจุภัณฑ์ ต่อผู้บริโภคและผู้ที่ทำจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ ฉลากสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ 1) ฉลากแบบป้ายอิเล็กทรอนิกส์อาร์เอฟไอดี 2) ฉลากบ่งชี้ และ 3) เซ็นเซอร์

2.8.1 ฉลากแบบป้ายอิเล็กทรอนิกส์อาร์เอฟไอดี

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ป้ายหรือแท็ก (Tags) ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ เพื่ออ่านค่าและบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งอยู่บนวัตถุต่าง ๆ ซึ่งอาจฝังหรือติดอยู่กับสิ่งของเช่นผลิตภัณฑ์หรือกล่อง เพื่อให้สามารถติดตามข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุนั้นได้ โดยไม่ต้องสัมผัสหรือมองเห็นวัตถุนั้น ๆ โดยจะสามารถเก็บข้อมูลเช่นรายละเอียดว่าวัตถุคืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต วิธีการผลิต วันที่ผลิต ประกอบไปด้วยอะไรบ้าง และรายละเอียดอื่น ๆ เพื่อให้สามารถติดตามและจัดการข้อมูลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคโนโลยี RFID ในการอ่านและเขียนข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุในระยะที่ไกลออกไป

2.8.2 ฉลากบ่งชี้

การบ่งชี้คุณภาพเริ่มต้นด้วยการพัฒนาฉลากที่ประกอบไปด้วยข้อมูลสถานะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลา ระดับก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สามารถคงอยู่ได้ ในขั้นตอนถัดไปของการพัฒนา มีการพัฒนาฉลากบ่งชี้แบบที่บอกโดยตรงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากฉลากเหล่านี้จะให้ข้อมูลที่ชัดเจนและเจาะจงเกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ เช่น สารประกอบต่าง ๆ ที่ระเหยออกมา เช่น กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ สารไนโตรเจน สารซัลฟิวริก เชื้อแบคทีเรีย และอื่น ๆ การบ่งชี้เหล่านี้จะช่วยให้รู้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเสื่อมสภาพ และสามารถติดตามสารประกอบและคุณสมบัติต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องพิจารณาด้วยการสัมผัสหรือการมองเห็นสิ่งของเหล่านั้น

2.8.3 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ คืออุปกรณ์หรือชุดวัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจจับและวัดข้อมูลทางกายภาพหรือเคมีของสิ่งต่างๆ ในสถานะที่ต่างกัน เพื่อแปลงข้อมูลเหล่านี้เป็นสัญญาณที่เข้าใจง่ายและใช้ประโยชน์ได้ เซ็นเซอร์สามารถมีรูปแบบและประเภทต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการตรวจวัดที่ต้องการจุลินทรีย์ (Bio-Sensors) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและตรวจสอบกระบวนการชีวภาพในระบบต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์ โปรตีน และสารเคมีที่มีความเกี่ยวข้องกับชีววิทยา จุลินทรีย์เซ็นเซอร์สามารถใช้ในการตรวจวัดเรื่องราวต่าง ๆ เช่น การตรวจวัดน้ำตาลในเลือด (ปิยวรรณ ปนิทานเต, 2553)

2.9 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาหารทอด

อาหารทอดมีเนื้อสัมผัสที่กรอบซึ่งในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารทอดสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี แต่ส่วนใหญ่ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจะเป็นการใช้แรงหรือความเค้น แล้ววัดผลที่ผิดปกติซึ่งเกิดในอาหารทอด และเป็นการผิดปกติที่ไม่สามารถกลับมาเป็นเหมือนเดิมได้ ซึ่งวิธีมีดังนี้

การทดสอบแบบการโค้งตัว (Bending Test) หรือ Fracture Test คือ วิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analysis) โดยใช้หัวแบบ HDP/CFS ในการกดลงบนตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นแผ่นกรอบ เช่น มันฝรั่งทอด ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบนี้คือ กรอบ (Crispness) หรือ ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบแบบกดทะลุ (Penetration Test) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทดสอบเนื้อสัมผัสของอาหารเป็นวิธีที่ใช้วัดความแข็ง โดยใช้หัววัดขนาดเล็กกว่าชิ้นตัวอย่างกดลงไปบนเนื้อตัวอย่างจนทะลุหรือแตก (Jagoba Garayo and Rosana Moreira, 2002)

2.10 การวัดสี

การมองเห็นของมนุษย์ต่อวัตถุที่มีสีนั้นจะเป็นการมองเห็นที่แตกต่างกันไป ดังนั้นถ้าวัตถุที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมานั้นมีสีที่สม่ำเสมอและเป็นมาตรฐานสากลแล้ว การวัดสีจะบอกลักษณะของสีให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลได้ ซึ่งมีหลายวิธี หลายระบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือระบบ Munsell และระบบ CIE

ระบบ CIE เป็นระบบที่ Commission International De l' Eclair age (CIE) ได้พัฒนาระบบของการวัดสีที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสีอย่างระบบ Munsell การวัดสีระบบนี้มีข้อดีคือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล เป็นระบบที่วัดสี ออกมาเป็นตัวเลข

ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้บรรยายสีแดง เขียว และน้ำเงินแต่ระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยายถึงลักษณะความมืด-สว่างของสีได้ CIE ได้พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งบรรยายถึงค่าสีแดง เขียว และความสว่าง (Lightness) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังขาดส่วนที่บรรยายถึงค่าสีน้ำเงิน CIE จึงได้พัฒนาระบบสีต่อมาจนเป็นระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือระบบ $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบรรยายสีของ CIE นอกจากนี้ บริษัท Hunter Lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งทำการวิจัยและพัฒนาระบบการวัดสี จนในที่สุดได้ระบบของ Hunter Lab เอง ซึ่งเรียกว่า การวัดสีระบบ Hunter Lab scale ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter Lab จะใช้สเกล L-a-b บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ L*-a*-b* ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter Lab คือสูตรการคำนวณค่าสี ซึ่งทั้ง L-a-b และ L*-a*-b* ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าจากระบบ X-Y-Z ทั้งสิ้น

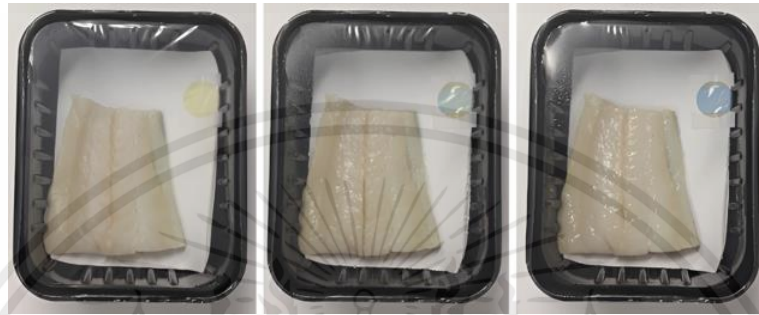
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cao et al. (2019) ได้ใช้ฉลากที่สร้างจากไยเซลลูโลส (ICF) และ Cassia Gum (CG) เพื่อตรวจสอบความสดของเนื้อสัตว์โดยใช้สาร Bromothymol Blue เป็นตัวตรวจวัด โดยมีการเตรียมตัวอย่างฉลากต่างๆที่มีการผสมของไยเซลลูโลส (ICF) และ Cassia Gum (CG) โดยฉลากที่ทำเสร็จแล้วจะถูกตัดตามปริมาณของ ICF ที่ใช้ และถูกตั้งชื่อว่า CG-ICF0, CG-ICF1, CG-ICF3, และ CG-ICF5 จากผลลัพธ์ของการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า TVB-N (Total Volatile Basic Nitrogen) ในเนื้อหมูและเนื้อไก่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 36 ชั่วโมง โดยค่า TVB-N ของเนื้อหมูเพิ่มขึ้นจาก 2.808 ถึง 12.270 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และค่า TVB-N ของเนื้อไก่เพิ่มขึ้นจาก 4.089 ถึง 13.971 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นั้นแสดงถึงการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ สำหรับ CG-ICF3 พบว่ามีการเปลี่ยนสีของฉลากจากเหลืองอ่อนเป็นน้ำเงินเขียว นอกจากนี้ค่า a และ b ของฉลากมีค่าลดลง ซึ่งเป็นสัญญาณที่บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงสีของฉลาก การทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ฉลากที่มีพื้นฐานจากไยเซลลูโลสและ Cassia Gum สามารถใช้ในการตรวจสอบความสดของเนื้อสัตว์โดยวัดค่า TVB-N และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากเมื่อเนื้อสัตว์เริ่มเน่าเสียได้

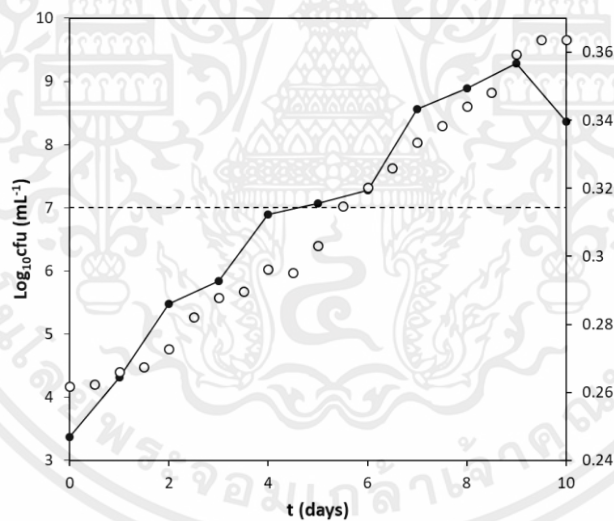
Nopwinyuwong et. al. (2010) ได้ศึกษาความปลอดภัยของจุลินทรีย์ โดยมีการใช้สาร Methyl Cellulose ร่วมกับสาร pH Indicator ที่มีการผสมกันระหว่าง Bromothymol Blue และ Methyl Red ในการตรวจสอบการเน่าเสียของทองหยอดในอุณหภูมิเก็บรักษาที่แตกต่างกันระหว่าง 10-25 องศาเซลเซียสจากผลการทดลองพบว่าในระยะเริ่มต้นของการเน่าเสียของทองหยอด ระดับ CO₂ เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 0.187±0.006% (ปริมาตรต่อปริมาตร) ในวันที่ 28 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.403±0.005% (ปริมาตรต่อปริมาตร) ในวันที่ 6 โดยที่อุณหภูมิมีค่าเป็น 10 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของระดับ CO₂ นี้เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์ และมีความสัมพันธ์กับสถานะความเป็นกรด ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และระยะเริ่มต้นของการเน่าเสียของทองหยอด รวมถึงการเปลี่ยนสีของ Indicator ที่เป็นอาชีพในการตรวจวัดการเน่าเสีย

Wells et al. (2018) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของฉลากในการจับตรวจจับสารปฏิกิริยาของไนโตรเจน (ค่า TVB-N) ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของปลาเค็มโดยการนำตัวอย่างปลาเค็ม 100 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

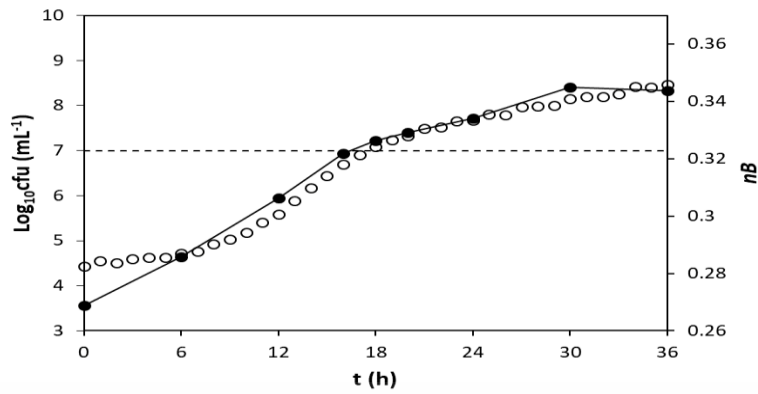
กรัม มาเก็บไว้ในอุณหภูมิ 22 และ 4 องศาเซลเซียส และนำไปวัดค่าสีในระบบสี RGB โดยตัวอย่างที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสถ่ายการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นเวลา 36 ชั่วโมงโดยถ่ายภาพทุกชั่วโมง ส่วน 4 องศาเซลเซียสใช้เวลา 10 วัน พบว่าตัวฉลากเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าดังรูปที่ 2.1 และสังเกตจากกราฟดังรูป 2.2 และ 2.3 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของสีซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับ cfu ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าการตอบสนองในการเปลี่ยนสีของฉลากของสีฉลาก เป็นไปตามค่า TVB-N ที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการเปลี่ยนสีของฉลากที่ใช้กับตัวอย่างปลาค็อด
ที่มา : Wells et al. (2018)

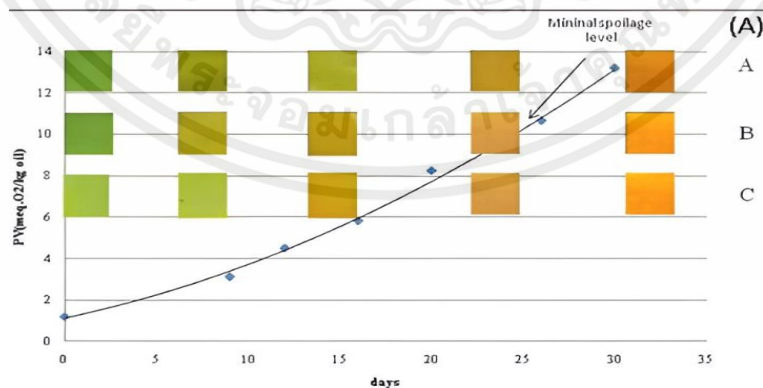


รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ค่าการเปลี่ยนสีและระดับจุลินทรีย์ (\log_{10} cfu) เทียบกับเวลาของปลาค็อด
ที่มา : Wells et al. (2018)

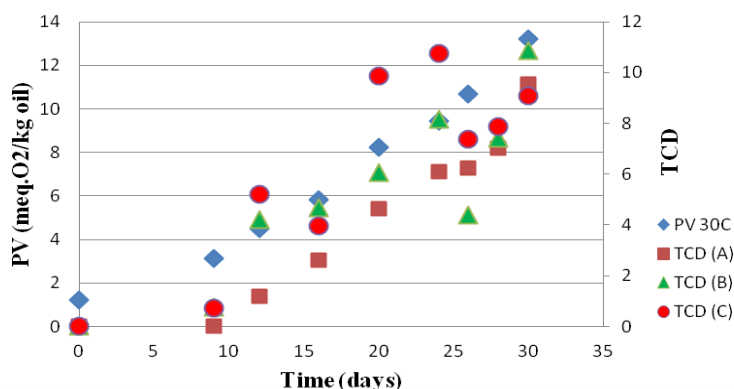


รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ค่าการเปลี่ยนสีและระดับจุลินทรีย์ (\log_{10} cfu) เทียบกับเวลาของปลาค็อด
ที่มา : Wells et al. (2018)

Kulchan et al. (2016) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับฉลาก Methyl Cellulose และ Hydroxypropyl ซึ่ง Methyl Cellulose เป็น Cellulose-Based และผสมด้วย Bromothymol Blue และ Methyl Red เพื่อตรวจสอบปฏิกิริยากลิ่นหืนของนมผงเด็กทารก โดยฉลากถูกเตรียมในอัตราส่วนต่างๆของสารละลาย Indicator โดยจะเก็บตัวอย่างทดลองในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและปิดฝาสนิทและดูผลการทดลอง 30 วัน ซึ่งพบว่าสีของฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีส้มเมื่อความเข้มข้นของค่า Peroxide เพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษา ดังรูป 2.4 ซึ่งค่า Peroxide เร่งการเกิด Oxidation ของกลิ่นหืน และจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าฉลากชนิด A มีความแม่นยำที่สูง ดังรูป 2.5 ซึ่งค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (TCD) ของฉลาก A กับค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) ค่อนข้างที่จะเป็นไปในแนวเส้นตรงในขณะที่ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมของฉลาก B และ C มีบางหลายจุดที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นตรงซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่ามีความแม่นยำน้อยกว่าฉลาก A

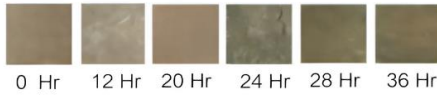


รูปที่ 2.4 ค่า Peroxide ของนมผงในขวดที่ปิดสนิทที่ 30 องศาเซลเซียสกับฉลาก Indicator
ที่มา : Kulchan et al. (2016)

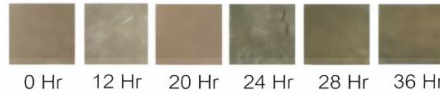


รูปที่ 2.5 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (TCD) กับค่า เพอร์ออกไซด์เทียบกับเวลา
ที่มา : Kulchan et al. (2016)

คุณาริป สิริมงคล และคณะ (2559) ได้ทำการทดลอง Indicator ของ Chitosan (CHI) และ Polyvinyl Alcohol (PVA) กับ Anthocyanins จากซิงข้าวโพดเหนียวสีม่วงเพื่อตรวจสอบดูความสดของปลาซาบะและเนื้อไก่ โดยกระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนสกัดแอนโทไซยานินและการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ขั้นตอนการสร้างแผ่นฉลาก ขั้นตอนการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฉลาก Indicator และการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลชีพ การสกัดแอนโทไซยานินใช้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ผสมกับเปลือกข้าวโพดสีม่วงในอัตราส่วน 1:10 และจากนั้นทำแห้งสารสกัดแอนโทไซยานินแบบเยือกแข็ง และตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง ผลการทดสอบพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ที่ 10.994 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสารสกัด หลังจากนั้นได้ทำการสร้างแผ่นฉลากที่แตกต่างกันออกไป 3 ชนิด คือ พีวีเอ ไคโทซาน และ พีวีเอผสมไคโทซานในอัตราส่วน 3:7 และเติมสารแอนโทไซยานิน 2.626 มิลลิกรัม ซึ่งได้ทำการขึ้นรูปแผ่นฉลากโดยวิธี Solvent Casting พบว่าแผ่นฉลาก คือ ฉลากชนิด A และ C มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นฉลาก Indicator การเปลี่ยนสีของฉลาก Indicator ในสารละลายกรดแลคติก สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ที่ช่วง pH 1-8 แสดงสีในช่วงสีแดง-สีเขียวย้ำ โดยสีแดงที่ pH 1 สีม่วงอ่อนที่ pH 2 สีม่วงอ่อนที่ pH 3-4 สีนํ้าตาลอ่อนที่ pH 5-6 สีนํ้าตาลเข้มที่ pH 7 และ สีเขียวย้ำที่ pH 8 โดยฉลากแต่ละชนิดมีแนวโน้มแสดงสีในลักษณะเดียวกัน การทดสอบการเปลี่ยนสีในเนื้อไก่และเนื้อปลาซาบะสามารถตอบสนองได้ดีโดยไม่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยมีการเปลี่ยนสีไปตามอายุการเก็บรักษาตั้งแต่เริ่มต้นจนเน่าเสีย ผลทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลชีพ โดยฉลาก Indicator แต่ละชนิดที่ผสมสารแอนโทไซยานิน 0.651 1.301 และ 2.626 mg ตามลำดับ ไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลชีพ Escherichia Coli และ Staphylococcus Aureus ได้



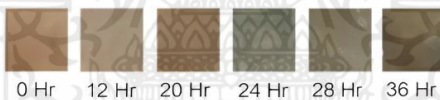
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด C ในเนื้อไก่
ที่มา : คุณาธิป สิริมงคล และคณะ (2559)



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด A ในเนื้อไก่
ที่มา : คุณาธิป สิริมงคล และคณะ (2559)



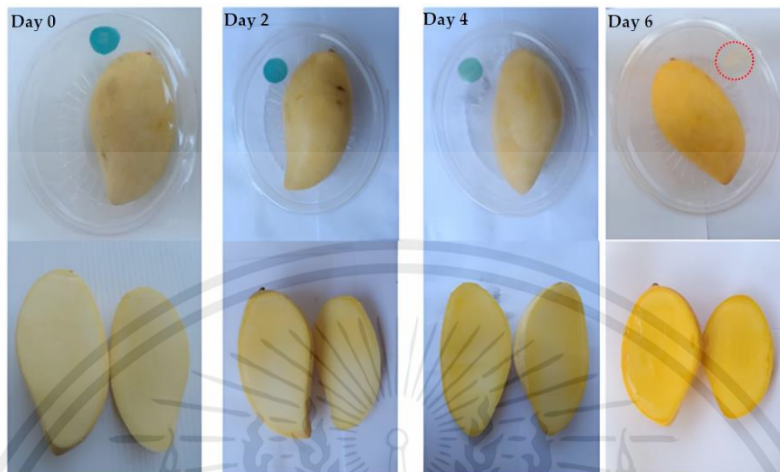
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด C ในเนื้อปลา
ที่มา : คุณาธิป สิริมงคล และคณะ (2559)



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนสีของฟิล์มชนิด A ในเนื้อปลา
ที่มา : คุณาธิป สิริมงคล และคณะ (2559)

ดวงใจ น้อยวัน (2565) คณะได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ ฉลาก Methyl Cellulose ผสมกับ PH-Indicator (Bromothymol Blue และ Methyl Red) ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อบ่งบอกความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยถ่ายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงกับสีของฉลาก ดังรูป 2.10 พบว่าช่วงแรกที่เริ่มสุกสีของฉลากเป็นสีน้ำเงิน ช่วงที่สองที่สุกระยะกลางสีของฉลากเป็นสีเขียว และ ช่วงที่สามที่มะม่วงสุกเต็มที่สีของฉลากจะเป็นสีเหลือง ในช่วงการเก็บรักษาระหว่างวันที่ 0-6 ความแข็งของมะม่วงลดลงจาก 44.54 เป็น 2.01 นิวตัน 2.84 เป็น 0.21% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาตรของแข็งที่ละลายได้ (SSC) เพิ่มขึ้นจาก 10.70 เป็น 18.26% เมื่อผลไม้สุกขึ้น โดยกระบวนการสุกของมะม่วงทำให้เปลี่ยนไปจากแข็งเป็นนุ่ม และสีเนื้อเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้ม นอกจากนี้ ความเป็นกรด

ทั้งหมดลดลงซึ่งมีผลกระทบต่อรสชาติรวมถึงค่า pH จากผลการทดลองทำให้เห็นถึงประโยชน์ของฉลากที่ใช้ในการติดตามระดับความสุขของมะม่วงได้ละเอียดมากขึ้นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 2.10 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างความสุขมะม่วงกับฉลาก
ที่มา : ดวงใจ น้อยวัน, (2565)

Kulchan et al. (2018) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ฉลากแบบมีแผ่นซีวีดีการเห็นเพื่อป้องกันการเก็บของทุเรียนทอดในสภาวะเร่ง โดยได้ทำการพัฒนาแผ่นฉลาก A, B และ C จากสีย้อมผสมในถุงที่บรรจุตัวอย่างการทดลองคือทุเรียน ที่มีน้ำหนัก 30 กรัม เก็บในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นตัวเร่งการหมื่นหืน จากนั้นนำมาวิเคราะห์อายุการเก็บรักษาโดยแบ่งดังนี้ 1) ตัวฉลากจะนำมาวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนสี (Total Color Difference, TCD) 2) ตัวอย่างการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ ค่า Ph , ค่าความเป็นกรด (ADV), ค่าเปอร์ออกไซด์ และการทดลองทางประสาทสัมผัส (Sensory Test) พบว่าในการเก็บตัวอย่างการทดลองเป็นเวลา 0,3,7 และ 10 วัน มีค่าร้อยละความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.0024 เป็น 0.0026, 0.0029, และ 0.0031 ส่วนค่า pH ลดลงจาก 6.11 เป็น 5.92, 5.86, และ 5.79 ที่ระยะ 0, 3, 7 และ 10 วัน ตามลำดับ ส่วนฉลากทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนสี โดยมีค่า TCD เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะระยะ 3 วัน ค่า PV ของทุเรียนทอดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 12.54 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโกรัม ซึ่งมากกว่าที่ FDA/WHO กำหนด แผ่นซีวีดีชนิด A เปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง ชนิด B เปลี่ยนจากม่วงแดงเป็นน้ำตาล และชนิด C เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นขาว

Gannigar et al. (2016) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเพื่อชะลอการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ข้าวตัง (ระยะเวลาและอุณหภูมิ) โดยเป็นการวางแผนการทดลองแบบ 2X3 Factorial CRD ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการอบที่ 50, 60 และ 70 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส และ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง การทอดที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส และ 3, 5 และ 7 วินาที และศึกษาการชะลอการหืนหลังจากทราบผลการอบและการทอด โดยการเติมสารกันหืน TBHQ หรือ BHT และการเติมร่วมกันของสารกันหืน TBHQ และ BHT อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอุณหภูมิห้อง (28-33 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ข้าวตังที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และ อุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการทอดที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 5 วินาที ส่วนในการใช้สารกันหืน TBHQ ร่วมกับสารกันหืน BHT อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถชะลอการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการใช้ TBHQ หรือ BHT และในด้านผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะ ที่ปรากฏ ความแข็ง สี กลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (TBHQ ร่วมกับสารกันหืน BHT อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ๆ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

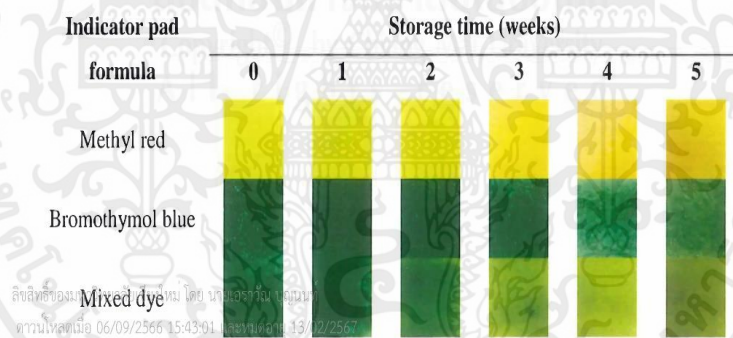
Thanapon and Phillips (2018) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพและการพัฒนาตัวบ่งชี้ที่ง่ายสำหรับการตรวจจับความเน่าเสียของแคบหมูซึ่งจะแบ่งเป็น 5 การศึกษา ดังนี้

1) เป็นการติดตามคุณภาพของแคบหมูที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกพอลิโพรไพลีนเป็นเวลา 30 วัน ซึ่งจะทำนายการยอมรับจากผู้บริโภคโดยใช้ค่าคุณภาพเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น มาโลโดอัลดีไฮด์ เฮกซานัล และค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอด โดยจะใช้แคบหมู 3 ตัวอย่างคือ ตัวอย่างแรกจะเป็นแคบหมูที่ถูกผลิตในห้องทดลอง (S1) ส่วนตัวอย่างที่สองและสามจะเป็นแคบหมูทางการค้า จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผ่านไป 30 วัน ปริมาณเฮกซานัลใน S1, S2 และ S3 มีค่าเพิ่มขึ้น 225%, 542% และ 926% ตามลำดับ ถึงแม้ว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดจะอยู่ภายใต้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแคบหมู (30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บ จากสมการทำนายการยอมรับจากผู้บริโภคที่สร้างขึ้นมีดังนี้ ค่าความชื้น 3.55-4.38%, ปริมาณมาโลโดอัลดีไฮด์ 0.369-0.503, ปริมาณเฮกซานัล 0.325-0.362 กิโลกรัม*วินาที ค่าความกรอบจากการประเมินด้วยเครื่อง 50.00-60.08 นิวตัน, ค่าความเข้มของกลิ่นหืนจากการประเมินด้วยประสาทสัมผัส 34.43-48.83 มิลลิเมตร และค่าความเข้มของความกรอบ 38.55-45.14 มิลลิเมตร

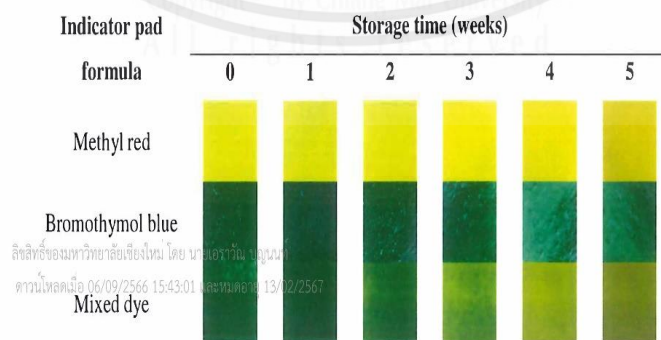
2) ศึกษาเกี่ยวกับการบ่งชี้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (VOCs) ที่เกิดขึ้นในแคบหมูระหว่างเก็บรักษาโดยวิธี Solid Phase Microextraction Technique (HS-SPME) ร่วมกับ GAS Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และ GAS Chromatography-Olfactometry (GC-O) โดยใช้แคบหมู 3 ตัวอย่างเช่นเดิม (S1, S2 และ S3) พบว่า มีสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้เป็นจำนวน 33, 18 และ 39 ชนิด โดยสารสำคัญที่พบในผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นหืน และ ถูกพบในทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ เฮกซานัล ซึ่งจะนำไปจำลองในการพัฒนาตัวชี้วัดที่ง่าย

3) ศึกษาผลของคุณภาพน้ำมันที่ใช้ทอดต่อชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้เทคนิค Proton Transfer Reaction-Mass Spectrometry (PTR-MS) ซึ่งเปรียบเทียบสารระเหยของน้ำมันใหม่และน้ำมันที่ทอดซ้ำ ซึ่งมีค่าเพอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.83 ± 0.3 (มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม) และ 15.12 ± 0.11 (มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ เมื่อตรวจ Mass Ion ในแคบหมูที่เก็บไว้จากน้ำมันทั้งสองแบบโดยเทคนิค PTR-MS พบว่า มี Mass Ion หลักที่พบจากไอระเหยที่เกี่ยวกับกลิ่นหืน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยหลังจากสิ้นสุดในระยะเวลาการเก็บ พบว่ามีปริมาณ Mass Ion ของ 43 (แอสีทาลดีไฮด์), 59 (โพรพานัล) และ 83 (เฮกซานัล) มีค่าเท่ากับ 311.20, 404.99 และ 32.82 ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้บ่งชี้ให้เห็นถึง PTR-MS ที่สามารถตรวจสอบชนิดสารระเหยและติดตามคุณภาพหมูได้อย่างมีประสิทธิภาพ

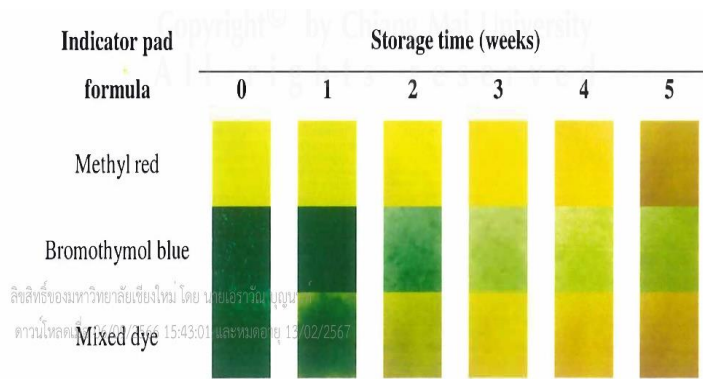
4) พัฒนาตัวชี้วัดสีอย่างง่ายเพื่อใช้ตรวจสอบกลิ่นหืนในแคบหมู โดยจะเชื่อมต่องกับผลในทางเคมีและกายภาพของการศึกษาอื่นๆ ซึ่งตัวชี้วัดเตรียมการโดยใช้ฉลากเซลลูโลสกับ Methyl Red 0.035 และ Bromothymol Blue 0.05 % (มวลต่อปริมาตร) และนำไปวัดกับตัวอย่างแคบหมู 3 ตัวอย่างคือ S1, S2 และ S3 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการเก็บ ฉลากของทั้งสามตัวอย่างการทดลองมีการเปลี่ยนสีดังรูปภาพ



ภาพที่ 2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S1
ที่มา : Thanapon and Phillips, (2018)



ภาพที่ 2.12 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S2
ที่มา : Thanapon and Phillips, (2018)



ภาพที่ 2.13 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากในแต่ละสูตรกับตัวอย่างการทดลอง(แคบหมู) S3
ที่มา : Thanapon and Phillips, (2018)

5) เป็นการศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อตัวชี้วัดแถบสีในผลิตภัณฑ์แคบหมู โดยสอบถามผู้บริโภคในภาคเหนือของไทย (จำนวน 248 คน) ซึ่งในแบบสอบถามมีเนื้อหาเกี่ยวกับ พฤติกรรมการซื้อ ให้ความรู้เกี่ยวกับตัวชี้วัดแถบสี และปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อแคบหมู พบว่า ผู้บริโภครับรู้ในเรื่องของสารอันตรายจากกลิ่นหืน แต่ยังคงรับประทาน และ ผู้บริโภคมีความสนใจในตัวชี้วัดแถบสีเนื่องจากทำให้สามารถรับรู้ถึงการเหม็นหืนได้โดยไม่ต้องแกะผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคร้อยละ 96.5 ให้ความสนใจตัวชี้วัดแถบสีในผลิตภัณฑ์แคบหมู

บทที่ 3

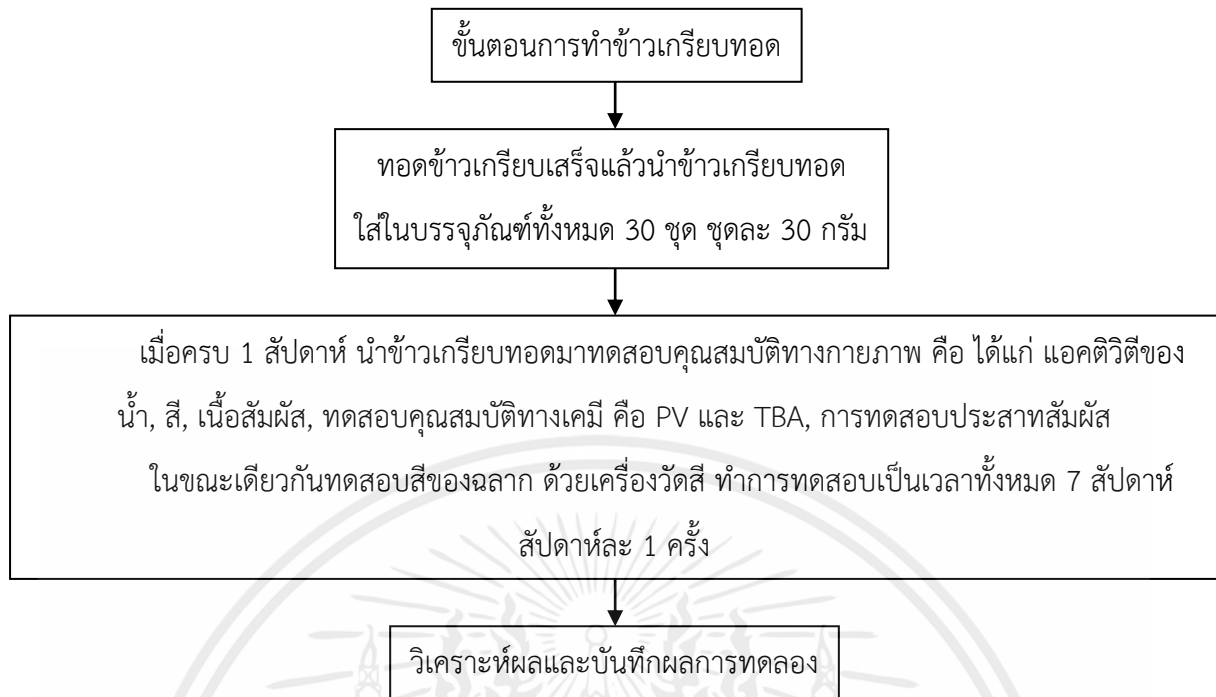
การวิจัยและขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยและขั้นตอนการทดลองในการจัดทำปริญญาโทเรื่องการประยุกต์ใช้ฉลากสำหรับบ่งชี้การหีนของข้าวเกรียบทอด มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและทดลองดังนี้

- 3.1 แผนการทดลอง
- 3.2 การทดลองเบื้องต้น
- 3.3 การทดสอบแอกติวิตีของน้ำ
- 3.4 การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอดกับคุณลักษณะของฉลากที่เปลี่ยนไป
- 3.5 การวิเคราะห์สีของฉลากกับคุณลักษณะของฉลากเปลี่ยนไป
- 3.6 การทดสอบความกรอบของข้าวเกรียบ
- 3.7 การทดสอบหาค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอด
- 3.8 การทดสอบหาค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอด
- 3.9 การทดลองทางประสาทสัมผัส
- 3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1 แผนการทดลอง

ทำตัวอย่างการทดลองไว้ 30 ชุด โดยแต่ละชุดจะประกอบไปด้วย ข้าวเกรียบ 30 กรัม, ฉลาก และบรรจุภัณฑ์ และวิเคราะห์สมบัติกายภาพของข้าวเกรียบ ได้แก่ แอกติวิตีของน้ำ, สี, เนื้อสัมผัส, ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี คือ PV และ TBA, การทดสอบประสาทสัมผัส โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 2 ชุด มาทำการทดสอบทุกสัปดาห์เป็นเวลา 7 สัปดาห์



1. การเตรียมข้าวเกรียบทอด

นำข้าวเกรียบตรา ดังรูปที่ 3.1 นำมาทอดในหม้อทอดไฟฟ้า (ยี่ห้อ OTTO รุ่น DF-375 ความจุ 3 ลิตร) ใช้ในน้ำมันร้อน อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทอด 25 วินาที ดังรูปที่ รูปที่ 3.2 บรรจุใส่ ถุงละ 30 กรัม เป็นจำนวน 30 ถุง ดังรูปที่ 3.3 โดยแต่ละถุงจะมีฉลาก และบรรจุภัณฑ์ การทดลองมีการ วิเคราะห์ สี, เนื้อสัมผัส, การหืน และ การทดลองทางประสาทสัมผัส จะทำการแกะบรรจุภัณฑ์จำนวน 1 ชุด/ สัปดาห์ มาทำการทดสอบซึ่งจะทำการทดลองเป็นเวลา 7 สัปดาห์



รูปที่ 3.1 รูปข้าวเกรียบดิบ



รูปที่ 3.2 รูปข้าวเกรียบทอด



รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลาก

3.2 การทดลองเบื้องต้น

3.2.1 การเตรียมฉลาก

3.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำฉลาก

- 1) Hotplate stirrer
- 2) Erlenmeyer flask
- 3) ปีกเกอร์
- 4) Cylinders
- 5) Water bath
- 6) Petri dish
- 7) Micropipette
- 8) Dropper
- 9) Spatula
- 10) แพงแก้ว
- 11) Stand and clamp

12) Magnetic bar

13) เครื่องชั่ง

3.2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทำฉลาก

1) Hydroxypropyl Methyl Cellulose (ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส) (HPMC, Food Grade), เคมีภัณฑ์

2) Carboxy Methyl Cellulose (คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) (CMC, Food Grade), เคมีภัณฑ์

3) ยางธรรมชาติ (NRL), Thai Rubber Latex Group

4) Polyethylene Glycol 400 (PEG 400), เคมีภัณฑ์

5) Bromothymol Blue (โบรโมไทมอลบลู) (AR), KemAus

6) Methyl Red (เมทิลเรด) (Methyl Red) (AR), Qrec

7) น้ำกลั่น (DI Water)

8) สารละลาย pH Buffer

9) สารละลาย Cellulose-Based

10) เอทานอล(Ethanol) $\geq 99.0\%$ (AR), RCI Labscan

11) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2.1.3 ขั้นตอนการฉลาก

1) การเตรียมสารละลาย indicator

- เตรียมสารละลาย Bromothymol Blue (Bromothymol Solution) ความเข้มข้น 50% ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร โดยผสม Bromothymol Blue 1 กรัมกับเอทานอล 25 มิลลิลิตร

- ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนจาก Bromothymol Blue เป็น Methyl Red

2) การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

- เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3) การเตรียมสารละลาย Cellulose-Based

- ผสม Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) ปริมาณ 0.8 กรัม และ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ปริมาณ 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร

- ให้ความร้อนกับสารผสมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และปั่นกวนด้วย Magnetic Bar เป็นเวลา 10 นาที

- เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 2,000 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เติมโพลีเอทิลีน ไกลคอล 400 (PEG 400) ปริมาณ 266 ไมโครลิตร และเติมBromothymol Blue และMethyl Red ในปริมาณ 500 ไมโครลิตร และ 200 ไมโครลิตร ตามลำดับ

- เติมน้ำกลั่นอีก 10 มิลลิลิตร และปั่นจนจนครบ 20 นาที หลังจากนั้นทำให้สารละลายเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง

4) การเตรียมฉลากเซนเซอร์โดยใช้ 20%DRC ของ NRL

- เตรียม NRL โดยใช้เปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อแห้ง (%DRC) ที่ 20%DRC โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวที่ทำให้เจือจาง ชั่ง NRL หนัก 1 กรัม ที่ 20%DRC ลงในบีกเกอร์

- เติมสารละลาย Cellulose-Based ปริมาณ 20 กรัม ลงในแต่ละบีกเกอร์ที่มี NRLปริมาณ 1 กรัม ที่ 20%DRC และปั่นจนเบาๆ

- เทสารผสมลงใน Petri Dish ปริมาณ 17 กรัมและนำเข้าเตาอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.3 การทดสอบแอกติวิตีของน้ำ

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water Activity Meter)

2) การหาค่าแอกติวิตีของน้ำ จากน้ำในตัวข้าวเกรียบที่ได้เตรียมไว้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้าวเกรียบมาทำให้ชิ้นเล็กลงแล้วนำไปใส่ถ้วย

2. เมื่อใส่เสร็จแล้วนำข้าวเกรียบเข้าเครื่องวัดค่าแอกติวิตีของน้ำแล้วรอผลดังรูปที่ 3.3

3. บันทึกผลข้อมูล



รูปที่ 3.4 การทดสอบค่าแอกติวิตีของน้ำในข้าวเกรียบ

3.4 การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอด

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดสี (ColorFlex EZ)

2) การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้าวเกรียบทอดมาทำให้เป็นชิ้นเล็กกลงแล้วนำไปใส่แก้วที่ใช้วัดสีดังรูปที่ 3.4 เมื่อใส่เสร็จแล้ว นำเข้าเครื่องวัดสี (ColorFlex EZ) โดยใช้ระบบสี CIE L* a* b*

2. ทำการบันทึกผล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเกรียบทอดจะถูกนำไปวิเคราะห์ เพื่อค่าหาสี L* , a* และ b* เพื่อหาค่า ΔE^* จาก

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]}$$

จากนั้นนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔE^* กับ ค่าเพอร์ออกไซด์ ในระยะเวลา 7 สัปดาห์โดย จะทำการบันทึกค่าสีที่เปลี่ยนไปของข้าวเกรียบทุกสัปดาห์



รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอด

3.5 การวิเคราะห์สีของฉลาก

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดสี (ColorFlex EZ)

2) การวิเคราะห์สีของฉลาก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำฉลากมาติดใส่แก้วที่ใช้วัดสีดังรูปที่ 3.5 เมื่อติดเสร็จแล้วนำเข้าเครื่องวัดสี (ColorFlex EZ) โดยใช้ระบบสี CIE L* a* b*

2. ทำการบันทึกผลซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากจะถูกนำไปวิเคราะห์ เพื่อค่าหาสี L^* , a^* และ b^* เพื่อหาค่า ΔE^* จาก

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]}$$

จากนั้นนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔE^* ในระยะเวลา 7 สัปดาห์โดยจะทำการบันทึกค่าสีที่เปลี่ยนไปของข้าวเกรียบทุกสัปดาห์



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์สีของสีฉลาก

3.6 การทดสอบความกรอบของข้าวเกรียบ

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความกรอบของข้าวเกรียบ

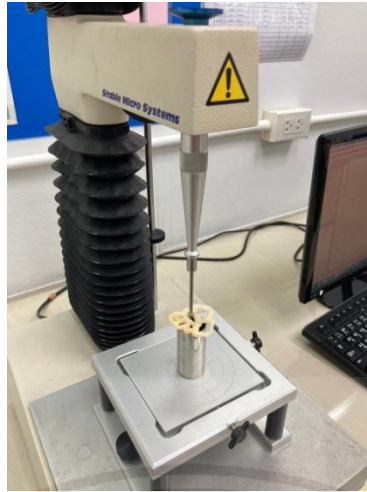
1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

2) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบ มีขั้นตอนดังนี้

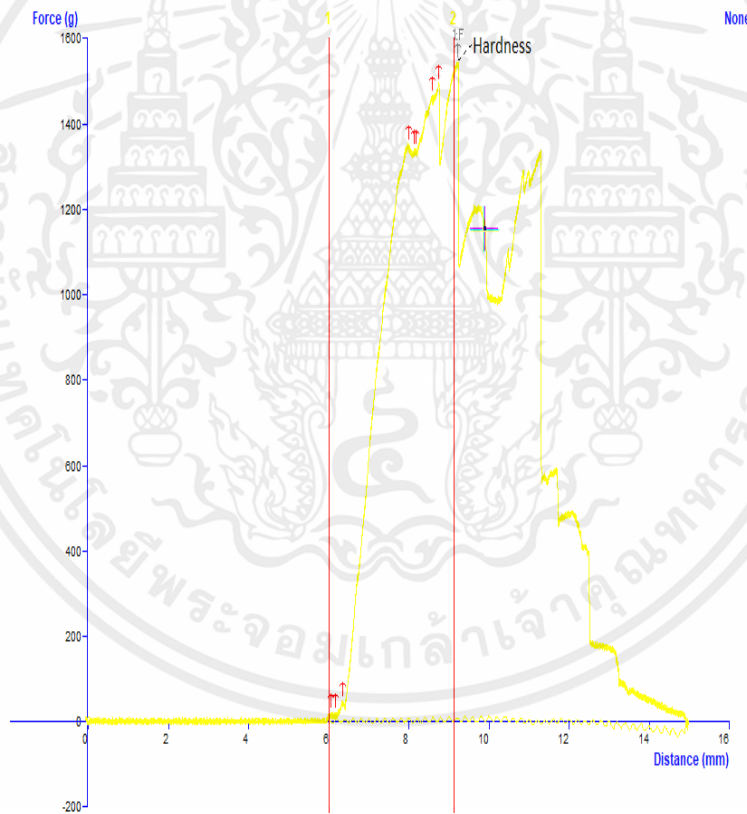
1. นำข้าวเกรียบมาวางบนแผ่นรองกด ดังรูปที่ 3.6 โดยในการทดลองจะใช้หัววัดทรงกลม (Spherical Probe) P/0.25s กดลงตรงกลางของแผ่นข้าวเกรียบทอด หัวกดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที

2. ทำการสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3. วัดจำนวนฟิคซึ่งเป็นตัวแปรแสดงความกรอบ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบทอด



รูปที่ 3.8 จำนวนพีคของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง (กรัม) กับระยะทาง (มิลลิเมตร)

3.7 การทดสอบหาค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอด (Zula and Teferra, 2020)

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว

2) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายผสมอะซิติกต่ออีโพรฟอร์ม (3:2)
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
4. สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 2%

3) การหาค่าเปอร์ออกไซด์ จากน้ำมันในตัวข้าวเกรียบที่ได้เตรียมไว้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. บดตัวอย่าง และชั่งตัวอย่าง 2.5 ± 0.05 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer Flask ดังรูปที่ 3.8 ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายผสมอะซิติกต่ออีโพรฟอร์ม (3:2) 15 มิลลิลิตร

3. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาทีแล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 2 ดังรูปที่ 3.9

4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร

5. เขย่าสารละลายและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที และเติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร

6. เติมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 2% จำนวน 1 มิลลิลิตร ให้เป็นสีน้ำเงินดังรูปที่ 3.10 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสีน้ำเงินจางหายดังรูปที่ 3.11

7. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

8. ทำblank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

9. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$P.V. (\text{Milliequivalent peroxide}/1000 \text{ g}) = (S - B) \times N \times 1000 / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)



รูปที่ 3.9 รูปตัวอย่างหลังจากที่นำไปปด



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างขณะกรอง



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างก่อนนำไปไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างหลังนำไปไทเทรต

3.8 การทดสอบหาค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอด

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. หลอดทดลอง
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

2) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารมาลอนไดไฮด์
2. กรดไทโอบาร์บิทูริก
3. กรดอะซิติก

3) การหาค่า TBA ของข้าวเกรียบทอด มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด จำนวน 1 กรัม ใส่ในสารละลายกรดอะซิติก 50% เขย่าและแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จำนวน 10 มิลลิลิตร เมื่อครบเวลาทำการกรองด้วยกระดาษกรอง
2. นำสารละลายที่สกัดตัวอย่างจากข้อที่ 1 ใส่หลอดทดลองจำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) 40 โมลาร์ ในสารละลายกรดอะซิติก จำนวน 2 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.12
3. จากนั้นนำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.13 เป็นเวลา 60 นาทีแล้วทำให้เย็นทันที
4. จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.14
5. จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงนำค่าที่ได้เทียบกับ Calibration curve ของ สารละลายมาลอนไดไฮด์ (MDA) และคำนวณค่า TBARS

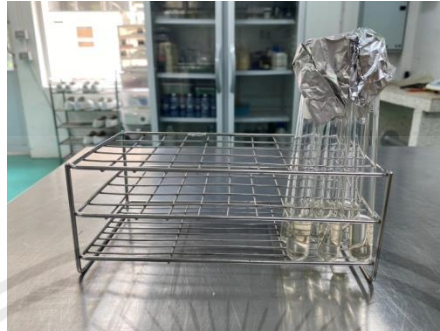
$$TBARS (\mu M/g) = (Ac \times V)/W$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A_c = ค่าที่ได้จากการเทียบ Calibration Curve

V = ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร) หรือ Dilution Factor ของตัวอย่างที่มาจาก การสกัด

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างที่ได้จากการสกัด



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างที่นำไปต้ม



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างที่ตัวอย่างที่นำไปหมนเหวี่ยง

3.9 การทดลองทางประสาทสัมผัส

ในการทดลองประสาทสัมผัสจะใช้คุณภาพทางประสาทสัมผัส Triangle Test โดยการประเมินคุณภาพประสาทสัมผัสดังรูปที่ 3.15 สามารถทดสอบได้ดังนี้ นำตัวอย่างทดสอบเป็นข้าวเกรียบ ซึ่งมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง และให้วงกลมรหัสตัวอย่างที่มีกลิ่นเหมือนกัน และให้แสดงถึงระดับความแตกต่างของกลิ่นตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม และในแต่ละกลุ่มสามารถยอมรับได้มากหรือน้อย เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วนำค่ามาวิเคราะห์เพื่อหาระดับในการยอมรับของข้าวเกรียบทอด



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส TRIANGLE TEST DIFFERENCE ANALYSIS												
วันที่..... 7 มีนาคม 2567..... ผู้ทดสอบ..... ผลิตภัณฑ์..... ข้าวเกรียบทอด..... ชุดที่.....												
<p>ตัวอย่างทดสอบเป็นข้าวเกรียบ ซึ่งมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง และให้วงกลมรหัสตัวอย่างที่มีกลิ่นเหมือนกัน</p> <p style="text-align: center;">(1) ตัวอย่าง</p> <p style="text-align: center;">..... </p> <p>(2) ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ที่แสดงถึงระดับความแตกต่างของกลิ่นตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">กลิ่นแตกต่างเล็กน้อย (Slight)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">กลิ่นแตกต่างปานกลาง (Moderate)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">กลิ่นแตกต่างมาก (Much)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">กลิ่นแตกต่างมากที่สุด (Extreme)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p>(3) การยอมรับ (Acceptability)</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">ตัวอย่างที่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">ตัวอย่างที่ไม่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p>(4) ข้อเสนอแนะ</p> <p>..... </p> <p style="text-align: right;">ขอบคุณ</p>	กลิ่นแตกต่างเล็กน้อย (Slight)	<input type="checkbox"/>	กลิ่นแตกต่างปานกลาง (Moderate)	<input type="checkbox"/>	กลิ่นแตกต่างมาก (Much)	<input type="checkbox"/>	กลิ่นแตกต่างมากที่สุด (Extreme)	<input type="checkbox"/>	ตัวอย่างที่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า	<input type="checkbox"/>	ตัวอย่างที่ไม่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า	<input type="checkbox"/>
กลิ่นแตกต่างเล็กน้อย (Slight)	<input type="checkbox"/>											
กลิ่นแตกต่างปานกลาง (Moderate)	<input type="checkbox"/>											
กลิ่นแตกต่างมาก (Much)	<input type="checkbox"/>											
กลิ่นแตกต่างมากที่สุด (Extreme)	<input type="checkbox"/>											
ตัวอย่างที่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า	<input type="checkbox"/>											
ตัวอย่างที่ไม่มีการวงกลมมีกลิ่นยอมรับมากกว่า	<input type="checkbox"/>											

รูปที่ 3.16 แบบการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลของการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของข้าวเกรียบทอด และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

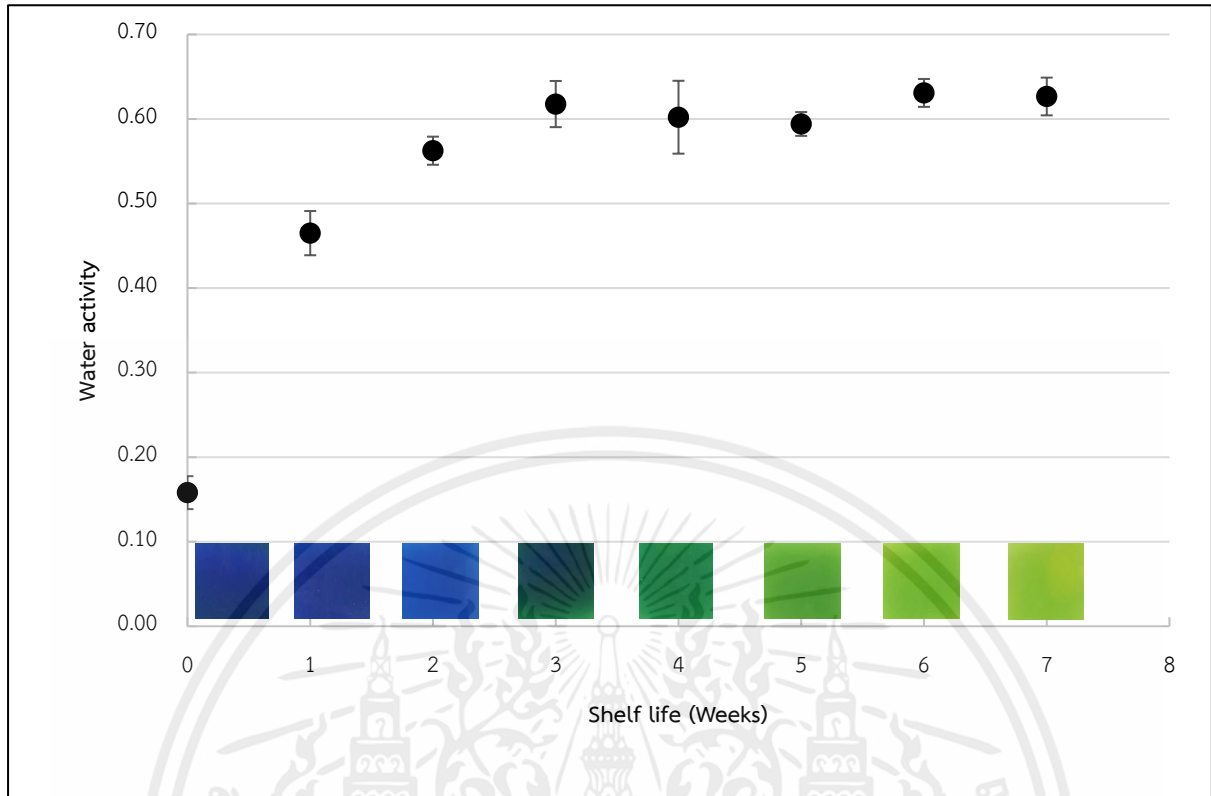
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอดกับสีของฉลาก ระหว่างการเก็บรักษา โดยในการวิจัยในครั้งนี้มีการใช้ข้าวเกรียบเป็นตัวทดลองและมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอด โดยมีหัวข้อผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

- 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอสคอร์บิกของน้ำของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา
- 4.2 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา
- 4.3 ผลการวิเคราะห์สีของฉลาก
- 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา
- 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา
- 4.6 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา
- 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอสคอร์บิกของน้ำของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าแอสคอร์บิกของน้ำของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Water activity
0	0.16±0.02F
1	0.46±0.03E
2	0.56±0.02D
3	0.62±0.03AB
4	0.60±0.04CD
5	0.59±0.01BC
6	0.63±0.02A
7	0.63±0.02A



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอกติวิตีของน้ำในระหว่างการเก็บรักษา

- แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแอกติวิตีของน้ำในแต่ละสัปดาห์
- แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

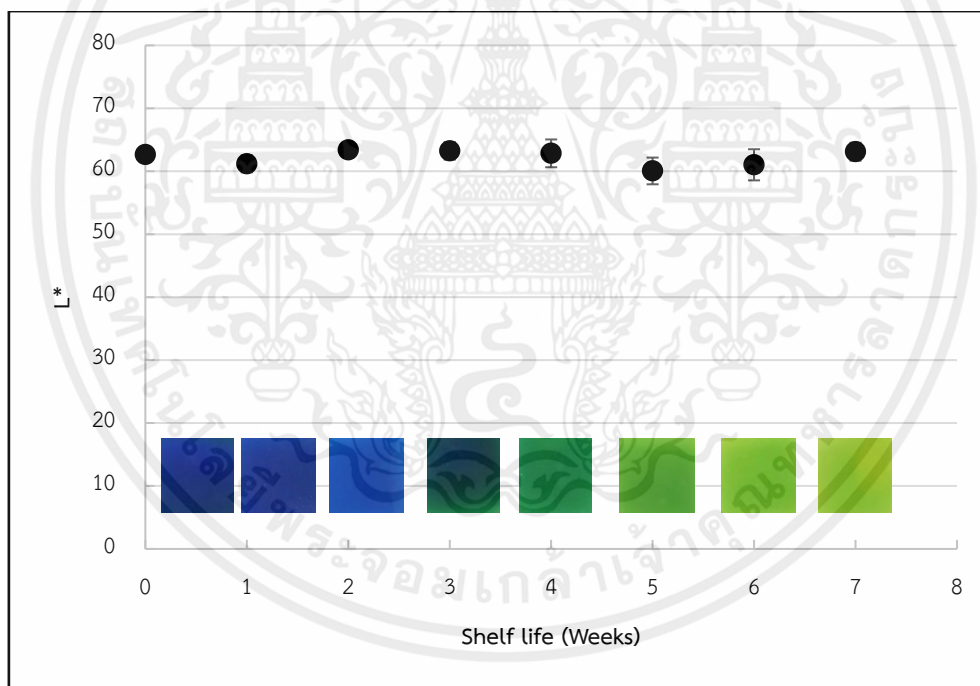
จากการเปลี่ยนแปลงค่าแอกติวิตีของน้ำในข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษาแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 เริ่มต้นข้าวเกรียบทอดมีค่าแอกติวิตีของน้ำเฉลี่ยเป็น 0.16 ± 0.02 พบว่าในช่วง 3 สัปดาห์แรกมีค่าแอกติวิตีของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไปมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างการเก็บรักษามีค่าแอกติวิตีของน้ำเฉลี่ยสูงสุดเป็น 0.63 ± 0.02 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแอกติวิตีน้ำของข้าวเกรียบเกิดขึ้นได้เนื่องจากข้าวเกรียบเป็นอาหารไม่มีความสมดุลภายในระบบ (Non-equilibrium) และมีความแตกต่างความดันไอระหว่างข้าวเกรียบทอดและน้ำจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลต่อให้ค่าแอกติวิตีน้ำมีการเพิ่มขึ้น (Jouppila et al. 1997)

4.2 ผลการวิเคราะห์สีของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สีของค่า L* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.2 ค่า L* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (L*)
0	62.65±0.66AB
1	61.19±1.35BC
2	63.38±0.88A
3	63.24±1.39A
4	62.85±2.21A
5	60.03±2.12C
6	61.03±2.47C
7	63.11±1.42A



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

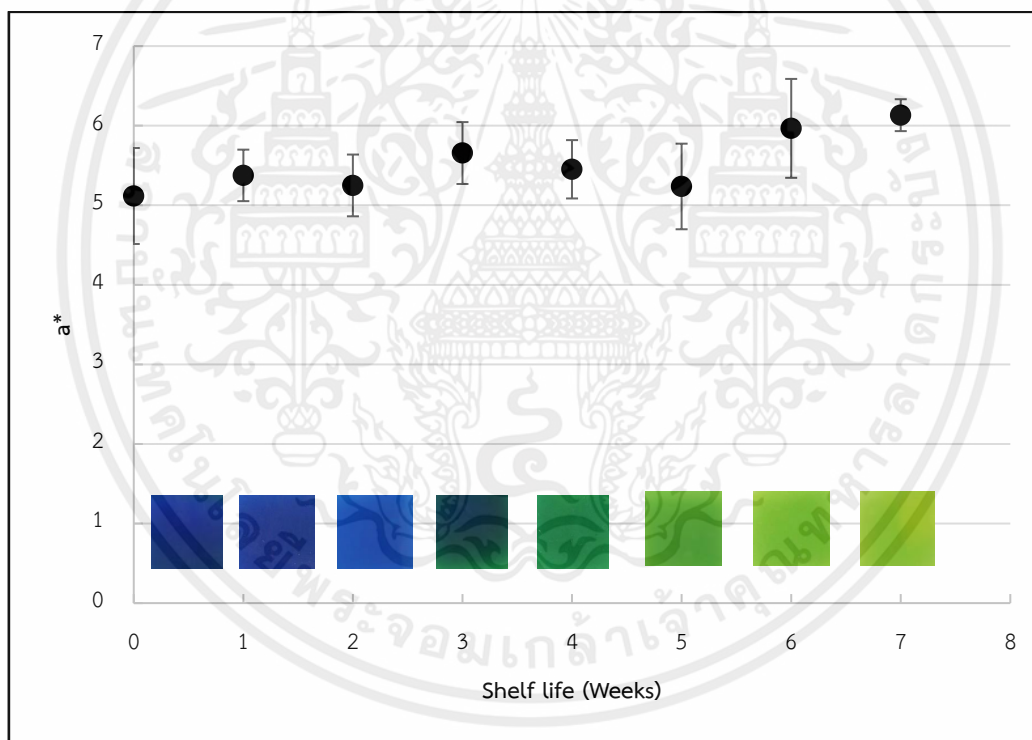
■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

จากการทดลองเก็บข้าวเกรียบในถุงพลาสติกโพรลีนเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าค่า L* ของข้าวเกรียบทอดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์หีสีของค่า a* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.3 ค่า a* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (a*)
0	5.12±0.60D
1	5.38±0.32CD
2	5.25±0.39CD
3	5.66±0.39BC
4	5.45±0.37CD
5	5.24±0.54CD
6	5.97±0.62AB
7	6.13±0.20A



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

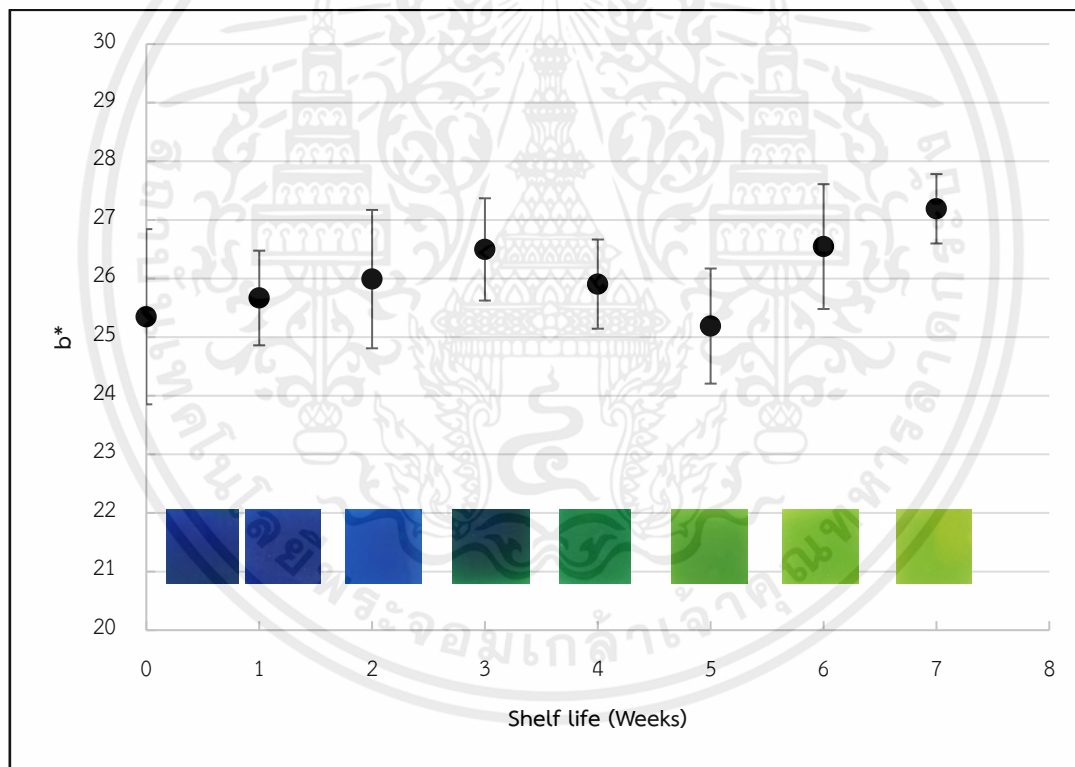
■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

ในการทดลองเก็บรักษาข้าวเกรียบในถุงพลาสติกโพรลีนเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าค่า a* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.3 ผลการวิเคราะห์หีสีของค่า b* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.4 ค่า b* ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (b*)
0	25.35±1.49C
1	25.67±0.81BC
2	26.00±1.18BC
3	26.50±0.87AB
4	25.91±0.76BC
5	25.19±0.98C
6	26.55±1.06AB
7	27.19±0.59A



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา

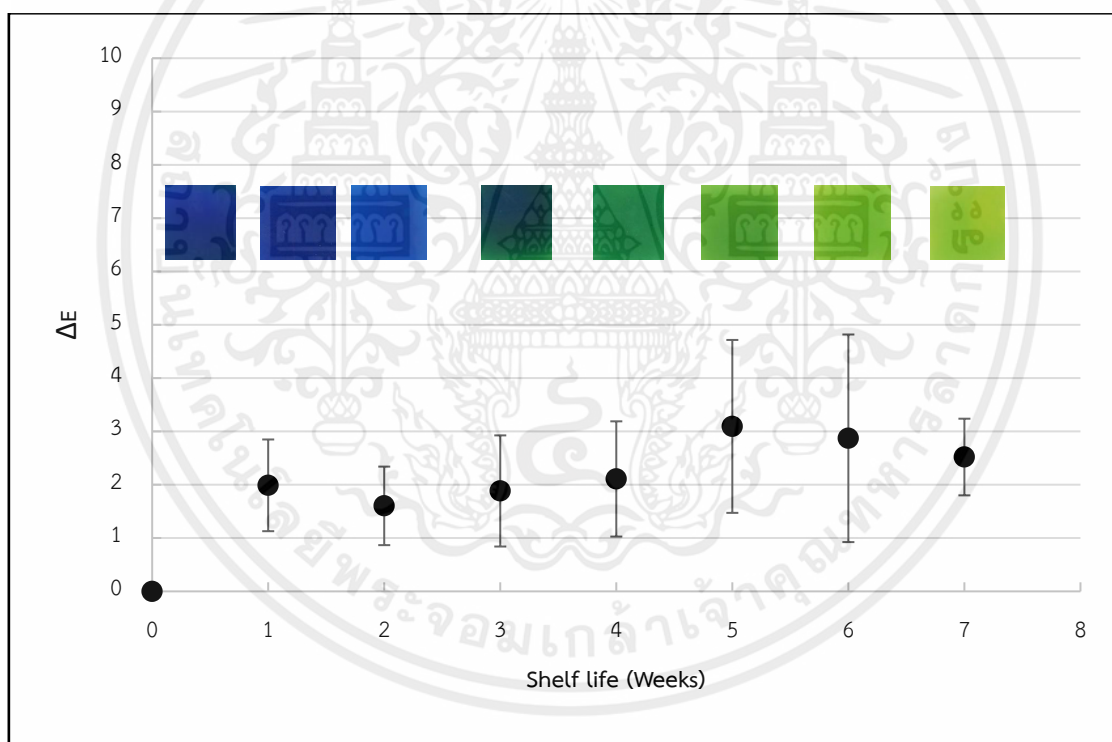
- แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์
- แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

เมื่อทำการทดลองเก็บรักษาข้าวเกรียบในถุงพลาสติกโพรลีนเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.4 ผลการวิเคราะห์หีสีของค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.5 ค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (ΔE)
0	0
1	1.99±0.86ABC
2	1.60±0.74C
3	1.89±1.04BC
4	2.11±1.08ABC
5	3.10±1.62A
6	2.87±.195AB
7	2.52±0.72ABC



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

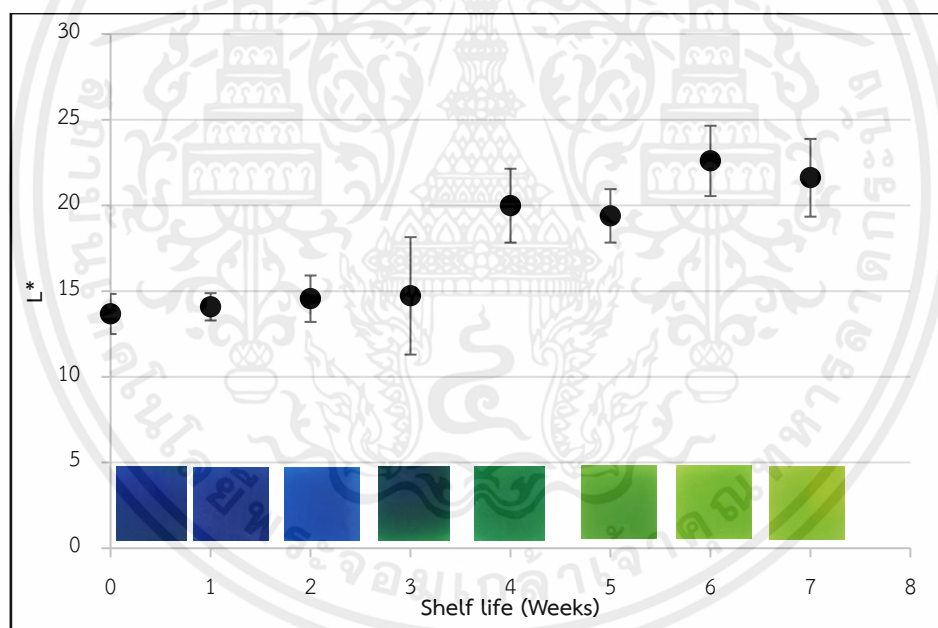
เมื่อทำการทดลองเก็บรักษาข้าวเกรียบในถุงพลาสติกโพรทิลีโพรพิลีนเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าค่า ΔE ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3 ผลการวิเคราะห์สีของฉลาก

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สีของค่า L* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.6 ค่า L* ของฉลากระหว่างการเก็บรักษา

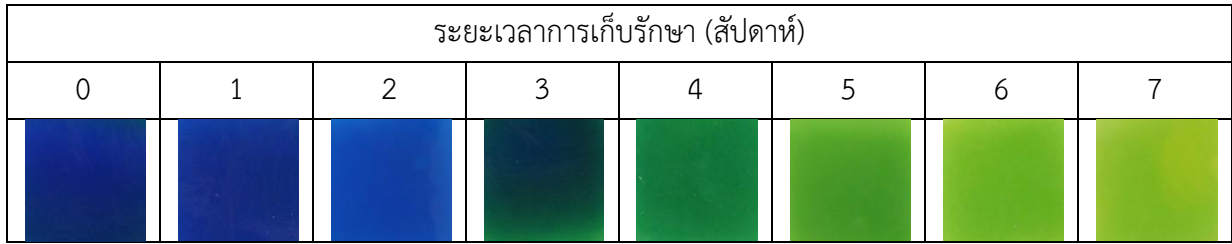
Shelf life (Weeks)	Color (L*)
0	13.67±1.17D
1	14.09±0.80D
2	14.56±1.35D
3	14.72±3.43D
4	19.39±2.16BC
5	19.99±1.56C
6	22.60±2.05A
7	21.66±2.27AB



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L* ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของสีฉลากในแต่ละสัปดาห์

■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์



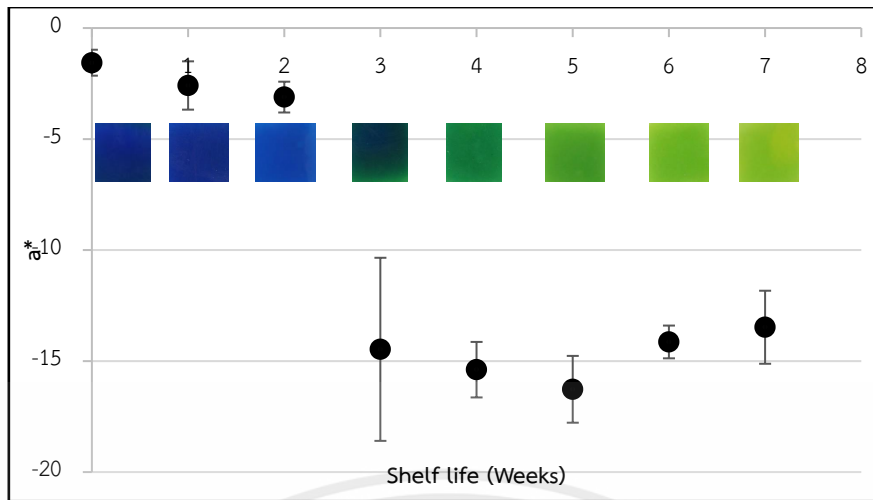
รูปที่ 4.7 สีของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา

ในช่วงเวลาการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.6 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ฉลากมีค่า L^* เฉลี่ยที่ 13.67 ± 1.17 ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่และไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ฉลากมีค่า L^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น 19.39 ± 2.16 และเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวเข้ม ในสัปดาห์ที่ 7 ฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นเขียวอ่อนดังรูปที่ 4.7 และมีค่า L^* ที่เพิ่มขึ้นเป็น 21.66 ± 2.27 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าเพอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นและกลิ่นหืนของข้าวเกรียบเกิดขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.3.2 ผลการวิเคราะห์สีของค่า a^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.7 ค่า a^* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (a^*)
0	$-1.56 \pm 0.58A$
1	$-2.59 \pm 1.09A$
2	$-3.11 \pm 0.69A$
3	$-14.47 \pm 4.12BC$
4	$-15.39 \pm 1.25CD$
5	$-16.27 \pm 1.50D$
6	$-14.14 \pm 0.74BC$
7	$-13.48 \pm 1.65B$



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา

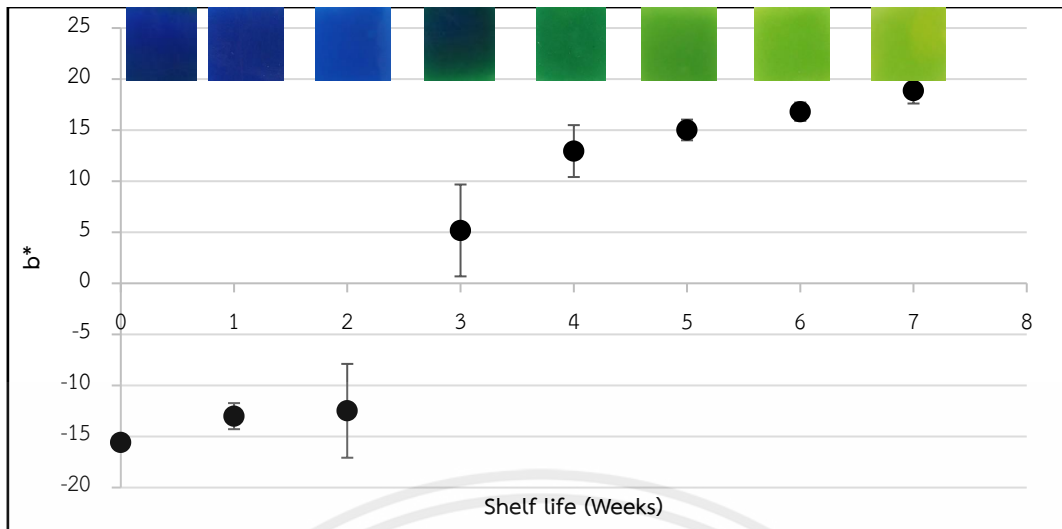
- แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของสีฉลากในแต่ละสัปดาห์
- แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

ในช่วงเวลาการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 สัปดาห์เริ่มต้นของการทดลอง ฉลากมีค่า a* อยู่ที่ -1.56 ± 0.58 และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เป็น 2.59 ± 1.09 และ -3.11 ± 0.69 ตามลำดับ หลังจากสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ฉลากมีค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น -14.47 ± 4.12 และฉลากเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวเข้ม ในสัปดาห์ที่ 5 ของการทดลอง ค่า a* มีค่าเป็น -16.27 ± 1.50 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในการทดลอง สีของฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อนโดยการเปลี่ยนแปลงของ a* มีความสัมพันธ์กับค่าเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในข้าวเกรียบทอด

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สีของค่า b* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.8 ค่า b* ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (b*)
0	$-15.58 \pm 0.55F$
1	$-13.01 \pm 1.28E$
2	$-12.49 \pm 4.59E$
3	$5.18 \pm 4.50D$
4	$12.95 \pm 2.54C$
5	$15.02 \pm 1.02BC$
6	$16.81 \pm 0.90A$
7	$18.87 \pm 1.26A$



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b* ของข้าวเกรียบทอดกับระยะเวลาการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของสีฉลากในแต่ละสัปดาห์

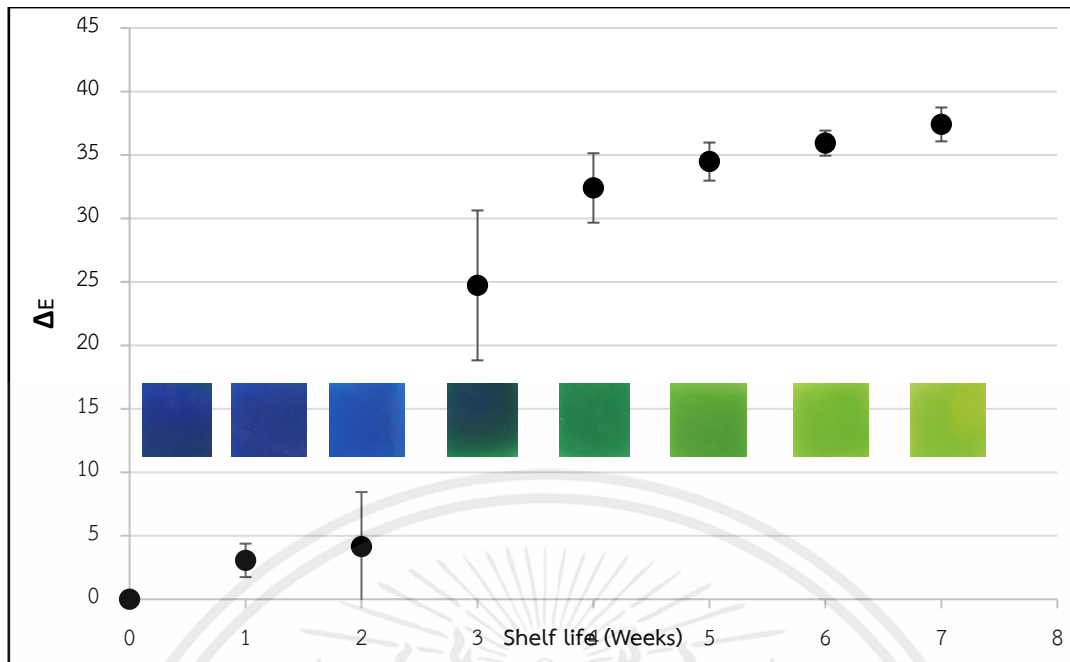
■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

ในช่วงเวลาการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 สัปดาห์ที่ 0 ของการทดลอง ฉลากมีค่า b* อยู่ที่ -15.58 ± 0.55 ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เป็น -13.01 ± 1.28 และ -12.49 ± 4.59 ตามลำดับ หลังจากสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ฉลากมีค่า b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น $5.18 \pm 4.50D$ และฉลากเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวเข้ม โดยการที่ b* เปลี่ยนแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกนั้นบ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง ในสัปดาห์ที่ 7 ค่า b* มีค่าสูงสุดเป็น 18.87 ± 1.26 และสีของฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นเขียวอ่อน

4.3.4 ผลการวิเคราะห์สีของค่า ΔE ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.9 ค่า ΔE ของฉลากในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	Color (ΔE)
0	0
1	3.06 ± 1.32E
2	4.14 ± 4.30E
3	24.73 ± 5.91D
4	32.40 ± 2.74C
5	34.48 ± 1.50BC
6	35.93 ± 0.99AB
7	37.41 ± 1.33A



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ΔE ของฉลากกับระยะเวลาการเก็บรักษา

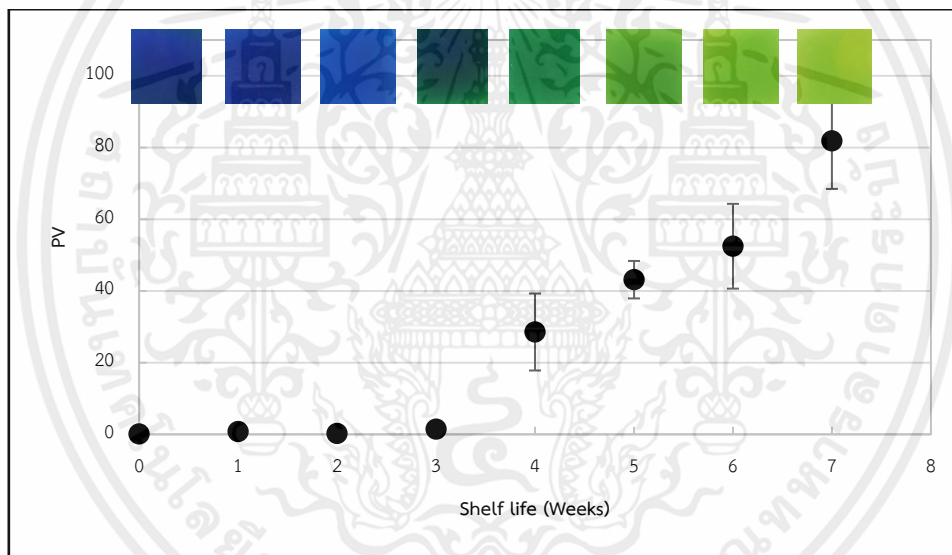
- แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของสีฉลากในแต่ละสัปดาห์
- แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

ในช่วงเวลาการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 สัปดาห์ที่ 1 ฉลากมีค่า ΔE อยู่ที่ 3.06 ± 1.32 หลังจากสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ฉลากมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น 24.73 ± 5.91 โดยฉลากเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวเข้ม ในสัปดาห์ที่ 7 ค่า b^* มีค่าสูงสุดเป็น 37.41 ± 1.33 และสีของฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นเขียวอ่อน

4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.10 ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	PV (meq.O ₂ /kg)
0	0.13±0.32E
1	0.80±1.24E
2	0.27±0.65E
3	1.50±1.18E
4	28.56±10.73D
5	43.14±5.23C
6	52.47±11.82B
7	81.87±13.41A



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

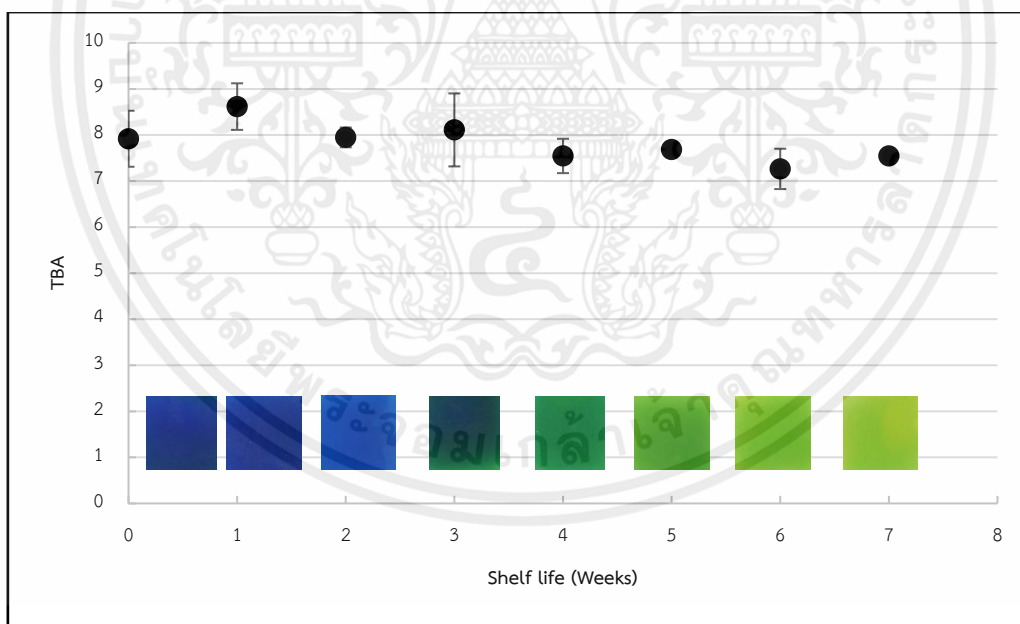
จากการทดลองค่าเพอร์ออกไซด์โดยเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่ทำการปิดผนึกไว้และเก็บในที่ที่มีแสง เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ ผลทางสถิติดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 พบว่า สัปดาห์เริ่มต้นการทดลองถึงสัปดาห์ที่ 3 พบว่าไม่มีค่าเพอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหรือไขมันโดยพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยายากกับออกซิเจนในอากาศอย่างช้าๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) จึงต้องใช้เวลาในการสร้างผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อดำเนินการทดลองใน

สัปดาห์ที่ 4 ถึง 7 ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 7 เป็น 81.87 ± 13.41 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.11 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

Shelf life (Weeks)	TBA (mg moloaldehyde/kg)
0	7.92±0.61B
1	8.61±0.51A
2	7.95±0.21B
3	8.11±0.79A
4	7.55B±0.37C
5	7.69±0.15BC
6	7.26±0.44C
7	7.55±0.22BC



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

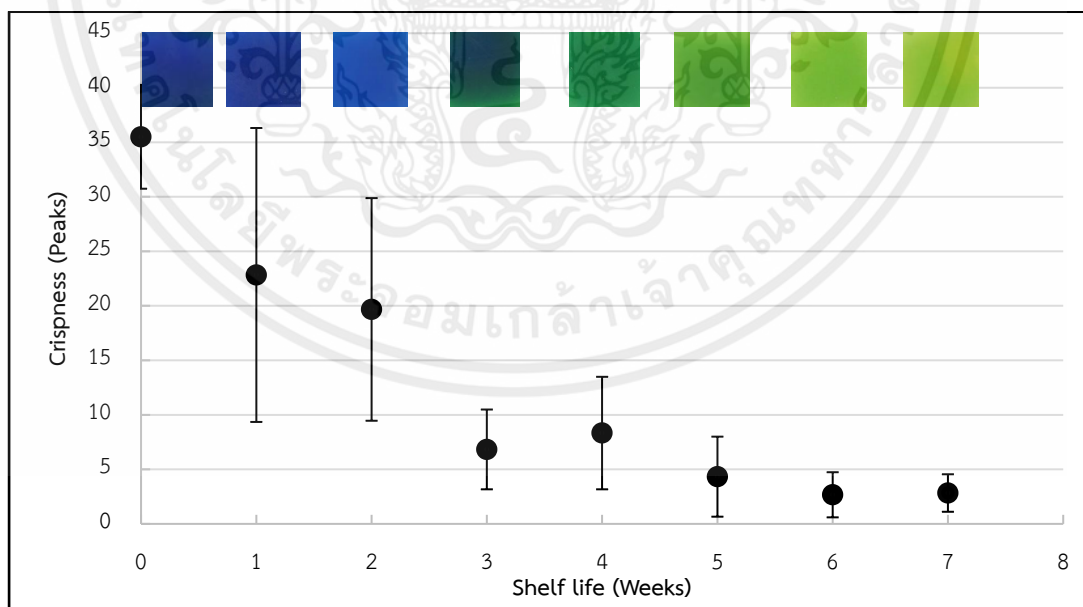
■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

เมื่อทำการทดลองวัดค่าไทโอบาร์บิทูริก โดยเก็บรักษาข้าวเกรียบในถุงพลาสติกสุญญากาศโพลีโพรพิลีนเป็นเวลา 7 สัปดาห์ และวัดค่าไทโอบาร์บิทูริกทุก ๆ สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.11 และดังรูป 4.12 พบว่าค่าไทโอบาร์บิทูริกค่อนข้างคงที่ เนื่องจากต้องใช้เวลาที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสร้างผลิตภัณฑ์ลำดับที่สองหรือมาโลนาลดีไฮด์ขึ้นมา

4.6 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.12 ค่าความกรอบของข้าวเกรียบทอด

Shelf life (Weeks)	Average Number of peaks
0	35.50±4.76A
1	22.83±13.48B
2	19.67±10.21B
3	6.83±3.66C
4	8.33±5.16C
5	4.33±3.67C
6	2.67±2.07C
7	2.83±1.72C



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

● แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของข้าวเกรียบทอดในแต่ละสัปดาห์

■ แสดงการเปลี่ยนสีของฉลากในแต่ละสัปดาห์

จากผลการทดลองการวัดค่า Crispness ของข้าวเกรียบทอดที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกโพรลิโพรพีลีนในสัปดาห์เริ่มต้นการทดลอง มีจำนวนพิกคือ 35.50 ± 4.76 พิก จำนวนพิกของกราฟมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 6 คือ 2.67 ± 2.07 พิก ดังตาราง 4.12 และรูป 4.13

4.7 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบทอดในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงระดับความแตกต่างของกลิ่นกับร้อยละของจำนวนคนที่เลือก

ระดับความแตกต่างของกลิ่น	ร้อยละของจำนวนคนที่เลือก (%)
เล็กน้อย	25.0
ปานกลาง	37.5
มาก	37.5
มากที่สุด	0.0

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงการยอมรับกับร้อยละของจำนวนคนที่เลือก

การยอมรับ	ร้อยละของจำนวนคนที่เลือก (%)
ยอมรับตัวอย่างใหม่มากกว่าตัวอย่างเก่า	87.5
ยอมรับตัวอย่างเก่ามากกว่าตัวอย่างใหม่	12.5

เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลองโดยใช้แบบสอบถามแบบ Triangle Test จำนวน 11 คน พบว่ามีผู้ทดสอบจำนวน 3 คนไม่สามารถจำแนกกลิ่นตัวอย่างเก่า และ กลิ่นตัวอย่างใหม่ และมีผู้ทดสอบ 8 คนที่สามารถจำแนกกลิ่นได้แต่ผู้ทดสอบ 8 คน ให้คำตอบของระดับกลิ่นและการยอมรับของกลิ่นแตกต่างกันดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ได้ให้คำตอบระดับความแตกต่างของตัวอย่างเก่าและใหม่ คือ มีความแตกต่างกันปานกลางและมีความแตกต่างกันมากโดยคิดเป็นร้อยละ 37.5 ทั้งสองระดับความแตกต่าง และผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีการยอมรับตัวอย่างใหม่มากกว่าตัวอย่างเก่าโดยคิดเป็นร้อยละ 87.5

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลากบ่งชี้การเหี่ยวของข้าวเกรียบทอดกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเกรียบทอด สามารถสรุปผลการทดลอง และบ่งชี้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลากในอนาคต โดยมีเนื้อหาดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- 1) ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเกรียบทอดในบรรจุภัณฑ์เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าค่าแอดคิวิตีของน้ำในข้าวเกรียบทอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา
- 2) ค่า ΔE ของข้าวเกรียบทอดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา
- 3) ค่าความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา
- 4) ค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบทอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา
- 5) ค่ากรดไทโอบาร์บิฟูริกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาของการเก็บรักษา
- 6) การเปลี่ยนแปลงสีของผลากในบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เริ่มต้นผลากเป็นสีน้ำเงินเข้ม เปลี่ยนเป็นสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนอย่างต่อเนื่อง
- 7) ผลากสามารถใช้แสดงถึงระดับการเหี่ยวของข้าวเกรียบทอดได้ และการทดสอบประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าเมื่อผลากเป็นสีเขียวอ่อน ซึ่ง L^* เป็น 22.60 ± 2.05 และ a^* เป็น -14.14 ± 0.74 และ b^* เป็น 16.81 ± 0.90 ผู้ทดสอบไม่ยอมรับกลิ่นหืนที่เกิดขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาและพัฒนา Indicator จากสารสีธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของผลาก
- 2) การนำผลากไปใช้งานควรระบุปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ควบคู่กับตัวอย่างสีของผลาก

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ อ่อนสาลี. (2559). *สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเพื่อชะลอการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ข้าวตังของชมรมแม่บ้านศูนย์การbinทหารบก ต.เขาพระงาม อ.เมือง จ. ลพบุรี*. วารสารการพัฒนารชุมชนและคุณภาพชีวิต, 4(3), 429 – 440

คหกรรมศาสตร์ มศว. (2557). *วิทยาศาสตร์ของสี*. วารสารคหกรรมศาสตร์ มศว, 13(1),3-12.

คุณาธิป ศิริมงคล. อังคณา ไปบล และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2559). *แอคทีฟไดโอกซัน/พีวีเอ फिल्मผสมแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ฟิล์ม*. วิทยานิพนธ์ วศม., มหาวิทยาลัยขอนแก่น ,ขอนแก่น

ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). *แอคทีวิตีของน้ำ*. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2566 , <http://jfklib.oas.psu.ac.th/opac2/BibDetail.aspx?bibno=1071288>

ดวงใจ น้อยวัน. (2565). *Preparation of Methylcellulose Film-Based CO2 Indicator for Monitoring the Ripeness Quality of Mango Fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong*. Polymers, 14(17), Article number 3616

ธวัช นุสนธรา. (2557) *การยืดอายุการเก็บสินค้าอาหารประเภททอดหรืออบกรอบด้วยบรรจุภัณฑ์*. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 62(195), 14-17.

นายวิชิตชัย ชาญสงคราม. (2560). *การวิเคราะห์การเน่าเสียของลองกอง โดยเทคโนโลยีจุลทรรศน์อิเล็กตรอน*. วิทยานิพนธ์ วศบ., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

นิธิยา รัตนานนท์. (2545). *เคมีอาหาร*. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนานนท์. (2544). *หลักการแปรรูป อาหารเบื้องต้น*. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2566, จาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1053/rancidity%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%AB%E0%B8%B7%E0%B8%99#google_vignette

ปิยวรรณ ปนิทานเต. (2553). *ฉลากอัจฉริยะบอกสถานะผลิตภัณฑ์*. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, 49(59), 37-43.

เพลินใจ ตังคะกุล. (2558). *การทำข้าวเกรียบ*. สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2566, จาก <http://www.legendnews.net/index.php?lay=show&ac=article&ld=539352928>

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน107. (2546). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ*. สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2566, จาก [http://otop.dss.go.th /attachments/article/162/CF84%20\(E1\).pdf](http://otop.dss.go.th /attachments/article/162/CF84%20(E1).pdf)

วัลย์พร मुखสุวรรณ. (2551). *พลาสติกในชีวิตประจำวัน*. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2566, จาก <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=17>

- Cao, L., Sun, G., Zhang, C and Wang, L. (2019). *An Intelligent Film Based on Cassia Gum Containing Bromothymol Blue-Anchored Cellulose Fibers for Real-Time Detection of Meat Freshness*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(7), 2066–2074
- Jagoba Garayo Rosana Moreira 2002. *Vacuum frying of potato chips*. *Journal of Engineering* 55(2). 181-191
- Jirawan, M., Noomhorm, A and Takhar, P. S. (2008). *Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physico-chemical properties of deep fried rice crackers*. *LWT - Food Science and Technology*, 42(4), 805-812
- Jouppila, K., Kansikas, J. & Roos, Y.H. (1997). *Glass transition, water plasticization, and lactosecrystallization in skim milk powder*. *Journal of Dairy Science*, 80, 3152-3160.
- Kulchan, R., Boonsupthip, W. and Jinkarn, T. (2016). *Developing a novel colorimetric indicator for monitoring rancidity reaction and estimating the accelerated shelf life of oxygen-sensitive dairy products*. *International Food Research Journal*, 23(3), 1092-1099
- Kulchan, R., Jaruwatthanayon, W. and Pradiniyakul, B. (2018). *Development of Intelligent Packaging with Rancidity Indicator Pads for Indicating Shelf-life of Durian Chips in Accelerated Condition*. *Agricultural Sci. J*, 49(2), 561-564
- Steel, R., Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. 2nd. Ed. McGraw-Hill. 633
- Thanapon, W., Phillips, R. (2018). *An Investigation into the Motivators and Drivers of Technological Innovation in Accountancy Firms Based in the USA*. *Journal of Asia Entrepreneurship and Sustainability*, 14 (1), 28-74
- Wells, N., Yusufu, D., Mills, A. (2019). *Colourimetric plastic film indicator for the detection of the volatile basic nitrogen compounds associated with fish spoilage*. *Talanta*, 194(1), 830-836