JOHN E.KENNEDY LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
PATTANI THAILAND

ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)

Effect of Gamma Radiation on Quality of Fresh Fish Crackers (Keropok) Storage

Prince of Songkla University
Pattani Campus

นินูรร์ มุกาวี
Ninunr Mugawee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Patial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)
ผู้เขียน นินูรร์ มุกาวี
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมรัตน์ แก้วมณี)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมรัตน์ แก้วมณี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

.....กรรมการ
(ดร.สมหมาย ช่างเขียน)

Prince of Songkla University Pattani Campus

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลการวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมรัตน์ แก้วมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....นินูรร์ มุกาวี.....

(นางสาวนินูรร์ มุกาวี)

นักศึกษา

Prince of Songkla University Pattani Campus

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลการวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....นินูรร์ มุกาวี.....

(นางสาวนินูรร์ มุกาวี)

นักศึกษา

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)
ผู้เขียน นางสาวนินูรร์ มุกาวี
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ที่เก็บรักษาที่สภาวะการเก็บในห้องปรับอากาศและแช่เย็น พบว่าที่การเก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสีปริมาณ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ที่ถูกผลิตด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ บรรจุแบบปิดสนิทธรรมดามีอากาศอยู่ภายในด้วยพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน พบว่าสามารถลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลงได้ และปริมาณโดสเพียง 1 กิโลเกรย์ ก็สามารถกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ได้หมด ข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสียังคงมีคุณภาพดีทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ แม้ว่าค่า Thiobarbituric acid (TBA) ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีปริมาณโดส 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ จะมีค่าสูงกว่าข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี โดยที่คะแนนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ไม่ฉายรังสี ดังนั้นปริมาณ 1 กิโลเกรย์ น่าจะเพียงพอสำหรับใช้ในการลดจำนวนจุลินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ที่ปนเปื้อนในข้าวเกรียบปลาแบบสดได้โดยไม่ทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาสมบัติการรับรังสีและลักษณะเฉพาะเจาะจงการตอบสนองต่อรังสีของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) โดยวิเคราะห์ผลของปริมาณรังสีดูดกลืนที่มีต่อสัญญาณ TL ก่อนและหลังฉายรังสีแกมมาด้วยต้นกำเนิดรังสี ^{60}Co 1 ถึง 10 กิโลเกรย์ พบว่า ความเข้มของสัญญาณการตอบสนอง TL ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีสูงกว่าในตัวอย่างที่ไม่ได้รับการฉายรังสี พบตำแหน่งอุณหภูมิการตอบสนองในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส และการตอบสนองของสัญญาณ TL intensity ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาดังกล่าวมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น

คำสำคัญ : รังสีแกมมา ข้าวเกรียบปลาแบบสด เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) จุลินทรีย์ก่อโรค

Thesis Title	Effect of Gamma Ray on Quality of Fresh Fish Crackers (Keropok) Storage
Author	Miss Ninur Mukawee
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2017

ABSTRACT

In this study, the effect of gamma radiation on fresh fish cracker (keropok), stored at 4 and 25 °C in a temperature-controlled room, was explored in terms of radiation dose, taste, and after-exposure nutrients. ^{60}Co was used as the radiation source. The cracker samples were obtained from a local market and then were exposed to gamma radiation for 1 - 10 kGy with the step of 1 kGy. It was found that at 4°C the radiation dose of 1, 2, and 3 kGy ceased the growth of all bacteria in the samples that were preserved under non-vacuum sealed polyethylene bag. The 1-kGy radiation can inhibit coliform bacteria and Staphylococcus aureus. Although the exposed samples displayed unchanged characteristics—number and type of microorganisms, chemical and physical, the value of Thiobarbituric acid was greater than those of unexposed. The taste of exposed and unexposed samples showed negligible difference. Therefore, the radiation of 1 kGy should be sufficient for the radiative treatment of fresh fish cracker without significant alteration to its overall characteristics. Thermoluminescence then was used to study the correlation between its signal response and the radiation dosage imposed on the cracker. The result showed that radiated samples yielded stronger signal response than those of unexposed. The temperature response of the fish cracker was between 200-350 °C. The correlation was found to be linear.

Keywords : Gamma-ray, fresh fish crackers (keropok), thermoluminescence (TL), Microorganism

Prince of Songkla University Pattani Campus

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือจากบุคคล หน่วยงาน และองค์กรหลาย ๆ ฝ่ายที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมรัตน์ แก้วมณี ที่คอยให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ แนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาตลอดจนการเขียนและตรวจทานการเขียนวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องฉายรังสีแกมมาและขอขอบคุณ นางสุมาลี นิลพฤกษ์ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ที่คอยให้คำแนะนำการฉายรังสีและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยรังสีประยุกต์ แผนกวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่คอยให้ความรู้และคำปรึกษาตลอดจนบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์อาหารฮาลาล ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษา ขอขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้กำลังใจในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

นินูรร์ มุกาวี

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.2.1 เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนส์	2
1.2.2 ข้าวเกรียบปลา	6
1.2.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส	7
1.2.4 การวิเคราะห์ทางเคมี	8
1.2.5 การวิเคราะห์จุลินทรีย์	9
1.3 วัตถุประสงค์	10
บทที่ 2 ทฤษฎี	11
2.1 ข้าวเกรียบปลา (Fish Cracker)	11
2.1.1 ส่วนผสมหลักของข้าวเกรียบปลา	11
2.1.2 กระบวนการผลิตข้าวเกรียบปลาแบบสด	13
2.1.3 การเสื่อมเสียของข้าวเกรียบปลาสดแบบสด	15
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสด	16
2.2 ระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง	17
2.3 การฉายรังสีอาหาร	19
2.3.1 แหล่งของรังสี	20
2.3.2 ระดับการฉายรังสี	23
2.3.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการฉายรังสีอาหาร	25
2.3.4 การเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าโภชนาการ	28
2.3.5 การประยุกต์ใช้รังสีทางการค้า	32
2.3.6 กฎหมายเกี่ยวกับการฉายรังสีอาหาร	33
2.4 หลักการพื้นฐานของเทอร์โมลูมิเนสเซนส์	34

Prince of Songkla University Pattani Campus

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 39

3.1 วัสดุ วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ 39

3.1.1 วัตถุดิบ 39

3.1.2 สารเคมี 39

3.1.3 วัสดุ อุปกรณ์ 39

3.1.4 เครื่องมือ 39

3.2 วิธีการทดลอง 40

3.2.1 ศึกษาผลของรังสีแกมมาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด 40

3.2.2 ขั้นตอนการฉายรังสีและตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่ระดับความแรงต่างๆ 46

3.2.3 ขั้นตอนทดสอบลักษณะการตอบสนองของรังสีด้วยสัญญาณเทอร์โมลูมิเนส-เซนต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ 46

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 47

4.1 ศึกษาผลของรังสีแกมมาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) 47

4.1.1 คุณภาพทางเคมี 47

4.1.2 คุณภาพทางกายภาพ 56

4.1.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ 60

4.1.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส 66

4.2 ตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสีที่ระดับความแรงต่างๆ 69

4.3 การตอบสนองต่อปริมาณรังสีของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ 73

4.3.1 กราฟ Glow Curve 73

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit และกราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) 75

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 79

5.1 สรุปผลการวิจัย 79

5.2 ข้อเสนอแนะ 80

บรรณานุกรม 81

ภาคผนวก ก 96

ภาคผนวก ข 90

ประวัติผู้เขียน 96

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า Water activity ต่ำสุดสำหรับการการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร	17
2.2	ปริมาณรังสีที่แนะนำให้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ	25
2.3	ปริมาณของรังสีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดเมื่อผ่านการให้รังสี	30
4.1	แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์	49
4.2	แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี1, 2 และ 3 กิโลเกรย์	52
4.3	แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ	55
4.4	แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสีที่ (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์	63
4.5	การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดนึ่งโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale	66
4.6	การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดทอดโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale	67
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit	76

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการผลิตข้าวเกรียบปลาแบบสด	14
2.2	หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง	18
2.3	หัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High-Purity Germanium: HPGe)	19
2.4	สเปรกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	21
2.5	a) การแตกตัวเป็นอิออนของน้ำ b) การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ	26
2.6	เครื่องหมาย Radura บนผลิตภัณฑ์อาหารฉายรังสี	34
2.7	แสดงการเกิดลูมิเนสเซนซ์ของผลึก	35
2.8	หลักการการทำงานของการเกิดสัญญาณการตอบสนองเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์	36
2.9	กราฟระหว่างความเข้มกับอุณหภูมิจะได้กราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า “Glow-Curve”	37
2.10	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสีที่ได้จากวิธี Additive	37
3.1	ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณความชื้น	41
3.2	ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณความเถ้า	42
3.3	การตรวจวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter	43
3.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าการหืน	44
3.5	ขั้นตอนการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a*, b* โดยใช้เครื่อง Mimi hunter	45
4.1	ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน	48
4.2	ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน	51
4.3	ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน	54
4.4	ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสด ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง (รูปที่ 4.16A-C) และบริเวณด้านในชิ้นตัวอย่าง (รูปที่ 4.16D-F) ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน	59

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5	ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน	61
4.6	สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดก่อนฉายรังสีแกมมา	69
4.7	สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 1 กิโลเกรย์	70
4.8	สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 2 กิโลเกรย์	70
4.9	สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 3 กิโลเกรย์	71
4.10	สเปคตรัมรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)	72
4.11	กราฟการตอบสนองของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) เมื่อได้รับรังสีที่ระดับต่างๆ	74
4.12	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit	75
4.13	กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส	76
4.14	กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	77
4.15	กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส	77
4.16	กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส	78
4.17	กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส	78

Prince of Songkla University Pattani Campus

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ข้าวเกรียบปลาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมในหลายๆ ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Kyaw *et al.*, 2001) โดยเฉพาะในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้และกลุ่มประเทศอาเซียน เป็นที่รู้จักในชื่อ “Keropok” หรือ “Kerupuk lekor” ในประเทศมาเลเซีย หรือ “Kaew Krab Pla” ในประเทศไทย โดยทั่วไปข้าวเกรียบปลาแบบสด ผลิตโดยนำเนื้อปลาผสมกับแป้งและน้ำ ข้าวเกรียบถูกขึ้นรูปแท่งทรงกระบอกนำไปต้มหรือนึ่ง (Chung *et al.*, 1991) โดยรับประทานเป็นอาหารว่างหรือร่วมกับข้าวและอาหารอื่น ๆ ในประเทศไทยข้าวเกรียบปลาแบบสดหรือหัวข้าวเกรียบเป็นของทานเล่นของสามจังหวัดภาคใต้ วิธีการทำข้าวเกรียบปลามีขึ้นหลังจากมาเลเซียตกเป็นเมืองขึ้นของอังกฤษมีคนจากประเทศมาเลเซียจำนวนหนึ่ง ได้อพยพมาตั้งรกรากในพื้นที่ประเทศไทย บริเวณบ้านดาโต๊ะ ตำบลแหลมโพธิ์ อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี และได้มีคนนำต้นสาคูมาทำแป้งเพื่อทำเป็นอาหารเช้ารับประทานกับน้ำชา จากการที่บรรพบุรุษของชาวดาโต๊ะรู้จักวิธีทำข้าวเกรียบปลามาแต่อดีต และได้สืบทอดภูมิปัญญานี้ส่งผ่านมารุ่นแล้วรุ่นเล่า จนถึงลูกหลานยุคปัจจุบันและจากการที่คนในชุมชนบ้านดาโต๊ะประกอบอาชีพทำการประมงขนาดเล็ก เป็นอาชีพหลักของครอบครัวจึงได้นำปลาที่เหลือจากการบริโภคและจำหน่าย ซึ่งเป็นปลาตัวเล็กๆ มาประยุกต์ผสมกับแป้งมัน (แป้งสาคูบางส่วน) ทำข้าวเกรียบปลาไว้กินกันในครัวเรือน ที่เหลือก็มีการขายกันบ้างภายในหมู่บ้าน ซึ่งมีการขยายตลาดไปยังภายนอกหมู่บ้าน เพิ่มการผลิตมากขึ้นเรื่อยๆ ไปสู่ตำบล อำเภอ และจังหวัดอื่นๆ และเป็นผลิตภัณฑ์ทางเศรษฐกิจของจังหวัดปัตตานีมาจนถึงทุกวันนี้ ยิ่งไปกว่านั้นจังหวัดต่าง ๆ บริเวณข้างเคียงก็ยังมีการผลิตข้าวเกรียบปลากันอย่างมากมาย ดังนั้นจึงมีการส่งต่อไปขายยังจังหวัดอื่นๆ ที่ไกลออกไป อีกทั้งยังกลายเป็นของฝากของนักท่องเที่ยว (ชบาตานี, 2556) แต่ข้าวเกรียบปลาแบบสดมีปัญหาเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย โดยเฉพาะการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว อีกทั้งข้าวเกรียบปลาแบบสดมีปริมาณความชื้นมากมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจึงจะสามารถเก็บไว้ได้นานแต่ไม่เกินสิบวัน รวมทั้งการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดยังไม่แพร่หลายและยังไม่มีการวิจัยถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสดด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการพัฒนากรรมวิธีการเก็บรักษา ข้าวเกรียบปลาแบบสดให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น ซึ่งรังสีแกมมาเป็นรังสีประเภทหนึ่งที่ได้จากการสลายตัวของสาร

กัมมันตรังสี มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้สูง สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์และพยาธิที่อยู่ในอาหารได้ โดยไม่ก่อให้เกิดสารกัมมันตรังสีในวัตถุที่วิ่งผ่านไป ดังนั้นอาหารที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาจึงไม่มีสารรังสีตกค้างอยู่ จึงได้นำเทคโนโลยีการฉายรังสีแกมมาในอาหารมาปรับปรุงคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับสากลมาประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีการผลิต เพื่อให้เป็นทางเลือกสำหรับคนยุคใหม่ที่ต้องการบริโภคข้าวเกรียบปลาแบบสดไปพร้อมๆ กับความมั่นใจในด้านความสะอาดและปลอดภัย อีกทั้งเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับผู้ผลิต ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งเพื่อตอบสนองการส่งออกในระดับอาเซียนในอนาคต

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนส์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ พบว่ามีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้กับงานด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 1905 ลอร์ด รัทเทอร์ฟอร์ด (Lord Ernest Rutherford) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษเป็นผู้ที่ชี้ให้เห็นว่ากัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) สามารถนำมาใช้กำหนดอายุตัวอย่างทางโบราณคดี (Archaeology) และทางธรณีวิทยา (Geological specimens) ได้ ภายหลังนักวิทยาศาสตร์ได้มีการพัฒนาวิธีและเทคนิคที่สามารถประมาณค่าหาอายุตัวอย่างทางโบราณคดีจากปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 457 ปีที่แล้ว นักวิทยาศาสตร์คนแรกที่พบและอธิบายปรากฏการณ์นี้คือ Gesner (1555) ต่อมา Daniels และคณะ (1953) ได้มีการแนะนำให้ใช้เครื่องเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) เป็นเครื่องมือในการวิจัยเกี่ยวกับการกำหนดอายุ อีก 2-3 ปีต่อมาเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) ถูกนำมาใช้ในการกำหนดอายุเซรามิก หลังจากนั้นไม่นาน Boyle (1664) เป็นคนแรกที่ทดลองเกี่ยวกับเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ เรื่องราวต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับปรากฏการณ์ดังกล่าวในยุคนั้นได้ถูกรวบรวมและเผยแพร่โดย Harvery (1957) จนกระทั่งในช่วง ค.ศ. 1985-1998 Aitken เป็นผู้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับลูมิเนสเซนซ์และนับว่าเป็นช่วงของการเริ่มนำปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์มาใช้กับการหาอายุ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการกำหนดอายุด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์มีการปรับแต่งและมีพัฒนาการมาเป็นเวลา 50 ปี ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิคนี้ยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมาถึงปัจจุบันและในอนาคตต่อไป สังเกตได้จากงานวิจัยที่ยังเผยแพร่อย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

การกำหนดอายุด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นผลึกในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งควอทซ์ (Quartz) เฟลสปาร์ (Feldspers) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcuim Carbonate) หรือในตัวอย่างแร่อื่นๆ ที่มีสมบัติเป็นสารเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งอาจจะเป็นตัวอย่างทางธรณีหรือทางโบราณคดี Kiyotaka และคณะ (1992) ก่อนหน้านี้มีการตรวจสอบเทอร์โมลู

มิเนสเซนซ์จากเปลือกหอยแคลไซต์และพบว่าการหาเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์เป็นไปได้สำหรับฟอสซิลหอยแคลไซต์ของ Albicans ได้ค่าอายุ 5×10^5 ปี การทำงานในปัจจุบันเราสามารถตรวจสอบการปล่อยสเปคตรัม TL และกราฟการเรืองแสง โดยพบว่าใน 5 ชนิดแรกที่ได้พบในตระกูล Pectinidae หมายความว่าการหาอายุด้วยเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์สามารถขยายไปยังชนิดอื่นๆ ได้ นอกจากนั้นในปัจจุบันได้ค้นพบฟอสซิลหอยของผลึกแคลไซต์ที่มีอายุมากกว่า 5×10^5 ปี และมีขอบเขตในการหาอายุที่สามารถหาได้ 6×10^5 ปีเท่านั้น 5 ปีถัดมา Vaijapurkar et al., 1997 ได้ศึกษาการปลดปล่อยแสงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในตัวอย่างทรายจาก Rajasthan ซึ่งวัดปริมาณรังสีแกมมา โดยดูลักษณะของโกลว์เคิฟมาเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานระหว่าง 0.05-5.00 กิโลเกรย์ Soika และ Delin, 2000 ศึกษาผลของปริมาณรังสีจากโกลว์เคิฟของผลึกบริสุทธิ์ และผงผลึก หลังจากฉายรังสีแกมมาของ Co-60 จะมีปริมาณรังสีต่างกันหรือกล่าวได้ว่าผลของรังสีที่แตกต่างกันจะนำไปสู่ลักษณะโกลว์เคิฟที่มีรูปร่างปริมาณความแรงต่างกัน ในปี 2545 สมหมาย และพวงทิพย์ ได้ศึกษาการตอบสนองต่อรังสีของโครงสร้างสัตว์ทะเลประเภทมีเปลือกหอยและกระดองด้วยเครื่องอ่านแสงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์พบว่าเปลือกและกระดองของสัตว์ทะเลสามารถที่จะใช้ตรวจวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติได้และใช้ในการบ่งบอกอายุของซากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ทางโบราณคดีได้ Polikreti et al. (2003) ได้ศึกษา TL peak ของวัตถุหินอ่อน พบว่า peak ที่ 290°C ได้เลือกเป็น peak ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งยอดนี้จะปรากฏเกือบทุกประเภทในหินอ่อนทั่วไปในสมัยโบราณซึ่งคำนวณอายุได้ประมาณ 2570±410 ปี 1 ปีถัดมา สันติ (2547) ได้วิเคราะห์หาอายุตะกอนยุคควอเทอร์นารี ด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีคาร์บอน -14 เทคนิคที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 2 เทคนิค คือ ชนิดโททัลบลีชและรีเจเนอเรชันผลจากการวิจัยบ่งชี้ว่าปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนให้ค่าแตกต่างกันในแต่ละเทคนิค จากการประมวลผลพบว่า อายุที่กำหนดได้จากวิธีเปล่งแสงความร้อน และวิธีคาร์บอน -14 ให้ค่าอายุด้วยที่ใกล้เคียงกัน การกำหนดอายุด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อนมีข้อดีมากกว่ากำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน -14 ในข้อกำจัดของช่วงอายุที่แต่ละวิธีนั้นสามารถกำหนดได้ โดยที่การหาอายุด้วยวิธีคาร์บอน -14 มีประสิทธิภาพเพียงช่วงอายุ 0-45,000 ปี ในขณะที่วิธีเปล่งแสงความร้อนนั้นสามารถกำหนดอายุได้ถึง 2 ล้านปี ในตัวอย่างตะกอน และ 0.7 ล้านปี ในตัวอย่างอุลกมณี Tidarut Udorn และ Pichet (2008) ได้ศึกษาการกำหนดอายุของแร่อะราโกไนท์จากซากเปลือกหอยน้ำจืดในดินที่ตกตะกอนล่างสุด จากโรงงานไฟฟ้าเหมืองแม่เมาะ ทำการทดลองวิธี ESR พบว่าใช้งานสัญญาณที่ g= 2.0016 สอดคล้องกับ CO_2^- จะรับปริมาณรังสีในธรรมชาติที่จะได้รับ ESR พบว่าอายุของแร่อะราโกไนท์จากซากเปลือกหอยประมาณ 113.02± 1.02 ล้านปี ผลที่แสดงให้เห็นว่าอายุ ESR อยู่ในช่วงของยุคกลาง รุสมาดี (2552) ศึกษาคุณสมบัติทางเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของทรายชายหาดจากทะเลฝั่งตะวันตกและตะวันออกในภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อประโยชน์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณการอาบรังสี (Dosimeter) ผลของโกลว์เคิร์ฟที่ได้ให้ผลที่แตกต่างกันขึ้นกับสารประกอบที่ปนเปื้อนในทราย และใน

ปี 2010 Xiao และคณะ ได้หาอายุทางโบราณคดีสมัยหินใหม่ของแม่น้ำแยงซีในประเทศจีนโดยใช้ตะกอนและตัวอย่างดินเผามีอายุ 5.4±0.3 และ 5.1±0.3 พันปี ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่เผยแพร่จำนวนมากเกี่ยวกับการกำหนดอายุด้วยเทคนิคนี้ ไม่เพียงแต่การนำไปใช้กับตัวอย่างธรณีและตัวอย่างทางโบราณคดีเท่านั้น แต่ยังนำไปตรวจสอบอาหารฉายรังสีได้อีกด้วย โดยประวัติการฉายรังสีในอาหารเริ่มต้นจากการค้นพบรังสีเอ็กซ์ (X–rays) โดย W.K. Roentgen ในปี ค.ศ. 1895 และสารกัมมันตรังสี (radioactive substances) โดย H. Becqueral ในปีถัดมา ทำให้มีการเริ่มต้นการศึกษาผลกระทบของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต ในการใช้รังสีในการถนอมอาหารครั้งแรก ได้มีการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ.1905 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มใช้รังสีกับอาหารครั้งแรกในปี ค.ศ. 1920 โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำลายพยาธิ *Trichinella spiralis* ซึ่งมีปะปนอยู่ในเนื้อสุกร (Jones, 1992) และมีการศึกษาอย่างมากเกี่ยวกับผลของรังสีเอ็กซ์ต่ออาหารและองค์ประกอบ ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1920-1930 ต่อมาในปี ค.ศ. 1963 ได้มีการฉายรังสีข้าวสาลีและแป้งสาลีเพื่อควบคุมแมลง และใช้ในการถนอมอาหารสำหรับนักบินอวกาศของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 และในปี ค.ศ. 1987 ทางกลุ่มประเทศเศรษฐกิจยุโรป ยกเว้นสหราชอาณาจักรและเยอรมันตะวันตก ได้รับรองความปลอดภัยของอาหารบางชนิดที่ผ่านการฉายรังสี และในปัจจุบันนี้มีมากกว่า 40 ประเทศทั่วโลกที่ได้รับรองอาหารที่ผ่านการฉายรังสีอาหารซึ่งมีมากกว่า 100 รายการ ซึ่งในจำนวนนี้มี 25 ประเทศที่รับรองอาหารฉายรังสีที่ผลิตเพื่อการค้าการฉายรังสีในหลายประเทศส่วนใหญ่ มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมและทำลายแบคทีเรียและเชื้อราในเครื่องเทศ นอกจากนั้นยังใช้ในการชะลอการงอกของมันฝรั่งและหัวหอม และการถนอมรักษาธัญพืชและแป้ง ผลไม้สด รวมไปถึงเนื้อสัตว์จำพวกสัตว์ปีก เมล็ดพืช ปลา และเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยมีรายงานว่าการใช้รังสีแกมมา สามารถคงคุณลักษณะที่ดีของอาหารและทำลายจุลินทรีย์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

และงานวิจัยเพิ่มเติมโดย S. Pinnioja (1993) ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทางเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์เพื่อการตรวจสอบของอาหารที่ผ่านการฉายรังสี พบว่าอาหารที่ผ่านการฉายรังสีสามารถตรวจพบโดยเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดยได้ทำงานทดลองในตัวอย่างประเภทสมุนไพร เครื่องเทศ เบอร์รี่ เห็ดและอาหารทะเลจำนวน 300 ชนิด จากการศึกษาโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ พบว่า สมุนไพรและเครื่องเทศฉายที่นำมาทดสอบสองปีหลังจากการฉายรังสีปริมาณ 10 กิโลเกรย์ มีความแตกต่างจากสมุนไพรและเครื่องเทศที่ไม่ฉายรังสี และองค์ประกอบของแร่จากอาหารทะเลส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต Pinnioja และ Lindberg (1998) ได้ทำการศึกษาพบว่ามีการเลือนลางของสัญญานเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในตัวอย่างพริกที่มีการอาบรังสีแกมมาเมื่อตัวอย่างอาบรังสีที่ศึกษาเก็บเป็นเวลานาน ในขณะเดียวกัน Ziegelmann (1998) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสัญญานเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์และอิเล็คตรอนสปินเรโซแนนซ์ในหอยฉายรังสี พบว่าเปลือกหอยสามารถใช้ในการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ได้รับได้และการเปรียบเทียบเครื่องมือทั้งสองพบว่าให้ผลที่

ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นในปี (2007) Ijaz ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองต่อรังสีในตัวอย่างหอยฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ และลักษณะของแร่ที่มีอยู่ในเปลือกหอยโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อสนับสนุนผลของเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ Cruz-Zaragoza (2012) ศึกษาเกี่ยวกับการของสัญญานเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในเปลือกหอยนางรม เพื่อจำแนกอาหารฉายรังสี การประเมินปริมาณรังสีพบว่าสามารถใช้ในการตรวจสอบอาหารฉายรังสีเพื่อกำหนดช่วงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

ในประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทางเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์เพื่อการตรวจสอบของอาหารที่ผ่านการฉายรังสีอย่างแพร่หลาย ในปี (2550) เสาวพงศ์ ศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพของปูอัดโดยการฉายรังสีปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 กิโลเกรย์ กับปูอัดที่นำมาจากผู้ผลิตทางการค้า บรรจุแบบมีอากาศบนถาดโฟมคลุมด้วยพลาสติก พบว่า สามารถลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลงได้ 1-2 Log cycles และปริมาณรังสีเพียง 0.5 กิโลเกรย์ ก็สามารถกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ได้หมด แม้ว่าค่า Thiobarbituric acid number ในปูอัดฉายรังสี 1.0 และ 1.5 กิโลเกรย์จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติจากปูอัดไม่ฉายรังสี แต่คะแนนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้จะฉายรังสีสูงถึง 1.5 กิโลเกรย์ ปริมาณรังสี 1.5 กิโลเกรย์ จึงน่าจะเพียงพอสำหรับใช้ในการลดจำนวนจุลินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ที่ปนเปื้อนในปูอัดได้โดยไม่ทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลง ในปี (2551) ถนอมเกียรติ และคณะได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเครื่องปรุงรสฉายรังสีเชิงคุณภาพโดยเทคนิค TL เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์คือ 50 ถึง 300 องศาเซลเซียสและศึกษาผลของปริมาณรังสีดูดกลืนที่มีต่อสัญญาณ TL และความถูกต้องของผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากค่า TL ratio (G1/G2) ระหว่างสัญญาณ TL ก่อนและหลังฉายรังสี 1 กิโลเกรย์ ที่ใช้เป็นปริมาณรังสีดูดกลืน พบว่า การตรวจสอบดังกล่าวสามารถใช้ยืนยันเครื่องปรุงรสที่ผ่านการฉายรังสีได้อย่างถูกต้อง โดยกระเทียมผงที่ผ่านการฉายรังสีจะให้ค่า TL ratio มากกว่า 0.5 ขณะที่กระเทียมผงที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีให้ TL ratio น้อยกว่า 0.1 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานยุโรป (European standard; EN-1788) ในปีถัดมาอาทิตย์ และคณะ (2552) ศึกษาผลของแร่องค์ประกอบต่อความเข้มของสัญญาณ TL โดยสกัดแยกแร่องค์ประกอบจากตัวอย่างกระเทียมผงผ่านการฉายรังสีแกมมาและไม่ได้ผ่านการฉายรังสีด้วยสารละลายโซเดียมโพลีทังสเตท ตรวจสอบชนิดและปริมาณแร่องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณ TL พบว่ามีควอตซ์ (SiO_2) เป็นแร่องค์ประกอบหลัก โดยความเข้มของสัญญาณ TL มีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักควอตซ์ที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าปริมาณแร่องค์ประกอบที่มีในตัวอย่างกระเทียมผงมีผลต่อความเข้มของสัญญาณ TL ซึ่งอาจส่งผลต่อการตรวจพิสูจน์กระเทียมฉายรังสีด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

1.2.2 ข้าวเกรียบปลา

1.2.2.2 ความหมายและความสำคัญ

ข้าวเกรียบ หมายถึง อาหารว่างชนิดหนึ่งที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก อาจมีส่วนประกอบของเนื้อสัตว์หรือผัก หรือผลไม้ เช่น ปลา กุ้ง ฟักทอง เผือก งาดำ งาขาว บดผสมให้เข้ากับเครื่องปรงรส แล้วทำให้เป็นรูปทรงตามต้องการ นึ่งให้สุก ตัดให้เป็นชิ้นบางๆ นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดดหรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสม อาจทอดก่อนบรรจุหรือไม่ก็ได้ (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) คุณภาพที่สำคัญของข้าวเกรียบที่ทำให้ผู้บริโภคยอมรับคือความกรอบซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพองตัวและรสชาติซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวได้ถูกรวบรวมไว้โดย Karrila (2011)

ข้าวเกรียบปลา หรือ กรือโป๊ะ (kerepok) เป็นอาหารว่างที่ได้รับความนิยมและมีความสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Karrila, 2011) โดยเฉพาะในจังหวัดปัตตานี นราธิวาส ที่เป็นแหล่งผลิตข้าวเกรียบที่สำคัญ จากข้อมูลการสำรวจล่าสุดของลักษณา และคณะ (2556) พบว่าในจังหวัดปัตตานีมีโรงงานผลิตข้าวเกรียบทั้งสิ้น 119 ราย โดยมีกำลังผลิตประมาณ 7.69 ตัน/เดือน/โรงงาน และราคาขายโดยเฉลี่ยเท่ากับ 44 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถทำรายได้ให้กับท้องถิ่นเป็นอย่างมาก

Prince of Songkla University Pattani Campus

1.2.2.3 ส่วนผสมของข้าวเกรียบปลา

แป้ง เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบปลา ส่วนใหญ่จะใช้แป้งมันสำปะหลัง ในผู้ประกอบการบางรายอาจมีแป้งสาคูผสมลงไปด้วย แป้งช่วยในการเกิดเจลในกระบวนการผลิตและยังช่วยให้ข้าวเกรียบเกิดการพองตัวเมื่อนำไปทอด (Charles *et al.*, 2006)

ปลา เป็นอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงเช่นเดียวกับสัตว์อื่นๆ ปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาใกล้เคียงกับโปรตีนในเนื้อที่ปราศจากไขมัน การเลือกปลาที่ใช้ในการทำข้าวเกรียบปลานิยมใช้ปลาที่มีเนื้อเหนียว เช่น ปลาทู ปลาหลังเขียว ปลาข้างเหลือง ส่วนปริมาณเนื้อปลาที่ใช้ผสมต้องเหมาะสมกับการพองตัวของข้าวเกรียบปลา (พัชรี และอรวรรณ, 2546)

โปรตีน โปรตีนของปลามีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดเจลและยังส่งผลต่อความเหนียวของข้าวเกรียบเปียก เนื่องจากปลามีไมโอซิน (myosin) โดยความเหนียวจะแปรผันตรงกับปริมาณไมโอซิน (สมชาย, 2539)

ปริมาณน้ำ ช่วยในการผสมแป้ง น้ำที่ใช้ควรใช้น้ำเย็นเพราะน้ำเย็นช่วยให้การเกิดเจลของเนื้อปลาเกิดขึ้นได้ดี ช่วยควบคุมอุณหภูมิในส่วนผสมและความคงตัวจะมีมากขึ้นถ้าใช้อุณหภูมิต่ำในการผสมและน้ำที่ใช้ควรได้รับมาตรฐานน้ำบริโภค นอกจากนี้ยังช่วยให้เกลือและสารละลายเกิดการละลายได้ดีขึ้นตลอดจนช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดี (เอกชัย และคณะ, 2543)

เกลือ เป็นสารเพิ่มรสเค็มให้แก่ข้าวเกรียบ

น้ำตาล มีผลให้การพองตัวของเม็ดแป้งช้าลง เนื่องจากน้ำตาลสามารถจับตัวกับน้ำได้ดีกว่าแป้ง จึงสามารถดึงน้ำไปรวมได้ดีกว่า ถ้าใส่มากเกินแป้งเปียกจะไม่พองตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่พองตัวเมื่อนำไปทอด (เอกชัย และคณะ, 2543)

พริกไทย การใส่พริกไทยในข้าวเกรียบนั้น มีผลต่อกลิ่นรสของข้าวเกรียบมาก ข้าวเกรียบปลาและข้าวเกรียบปลาหมึกในแต่ละตำรับใช้พริกไทยเป็นส่วนผสมไม่เท่ากัน ข้าวเกรียบปลามักใช้พริกไทยมากกว่าข้าวเกรียบปลาหมึกทั้งนี้เพราะต้องการดับกลิ่นคาวปลา (นิรมล, 2527)

กระเทียม การใช้กระเทียมในข้าวเกรียบ มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการใช้พริกไทย ทั้งนี้เนื่องจากกระเทียมมีสารบางชนิด ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นสาร allicin เมื่อบดหรือขยี้ ทำให้มีกลิ่นอย่างรุนแรงแต่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (งามจิตร, 2529)

1.2.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

Sacharow and Griffin (1980 อ้างถึงใน สายใย, 2536) ได้ศึกษากรรมวิธีผลิตและแคบหมูปรุงรส พบว่า ระบบสุญญากาศเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการป้องกันไม่ให้เกิดการเน่าเสียเพราะปฏิกิริยาเคมี การกำจัดก๊าซออกซิเจน สามารถยืดอายุในการเก็บรักษายาวนานขึ้น โดยเฉพาะอาหารที่ไวต่อก๊าซออกซิเจน เช่น ชา กาแฟ อาหารคบเขี้ยว เป็นต้น เนื่องจากแคบหมูเป็นอาหารที่มีการพองตัวสูงเมื่อบรรจุในภาชนะจะทำให้มีช่องว่างระหว่างชิ้นอาหาร ดังนั้นออกซิเจนจากบรรยากาศจึงสามารถแทรกเข้าไปอยู่ได้ จึงต้องกำจัดปริมาณออกซิเจนให้น้อยที่สุด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

ศรายุทธ์ (2551) ศึกษาผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อสีของน้ำมันปาล์ม การดูดซับน้ำมัน เนื้อสัมผัสและสีของข้าวเกรียบกุ้งทอด ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดข้าวเกรียบกุ้งทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ครั้งแรกและหลังการทอดซ้ำ 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง พบว่าค่าสี L (ความสว่าง), a (สีเขียว-สีแดง) และ b (สีน้ำเงิน-สีเหลือง) ของน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดครั้งแรกกับหลังการทอดซ้ำทั้ง 4 ครั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ค่าสีของน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกันหลังจากผ่านการทอดข้าวเกรียบกุ้งในแต่ละครั้งเป็นเพราะน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำหลายๆ ครั้งจะมีสีเข้มออกสีน้ำตาลคล้ำ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวเกรียบกุ้งทอด พบว่าค่าสี L (ความสว่าง) ของข้าวเกรียบกุ้งทอด โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดในครั้งแรกทอดซ้ำอีก 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้น้ำมันทอดซ้ำทำให้ค่าสีของข้าวเกรียบกุ้งทอดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบกุ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เสาวลักษณ์ และคณะ (2552) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำมันทอดและน้ำหนักไก่ที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันทอดโดยใช้อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15, 18 และ 21 นาทีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำมันทอด:น้ำหนักไก่หมักเครื่องปรุง 10:1, 10:2 และ 10:3 พบว่าคุณภาพของน้ำมันลดลงโดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า *p*-anisidine เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออัตราส่วนของน้ำมัน:ไก่ เพิ่มขึ้นจาก 10:1.5 เป็น 10:2.0 และ 10:2.5 ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและความหนืด พบว่าสีของน้ำมันทอดจะคล้ำขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าแสดงความเป็นสีแดง (a*) และค่าแสดงความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความหนืดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้นมีผลต่อสีผิวของไก่เพียงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

1.2.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

สมมาตร และสาคร (2542) ศึกษาการเกิดกลิ่นหืนของน้ำมันที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบ โดยศึกษาถึงจำนวนซ้ำของน้ำมันที่ใช้ทอด ซึ่งการทอดจะแบ่งน้ำมันออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมสารกันหืน, เติมสาร BHA 200 ppm, เติมสาร PG 200 ppm, และเติมสารผสมระหว่าง BHA กับ PG ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 200 ppm จะทำการทอดตัวอย่างละ 4 ซ้ำ โดยในแต่ละซ้ำจะเป็นการให้ความร้อนเริ่มจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 165-180 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์สารที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมันโดยใช้ค่า มิลลิกรัม/กิโลกรัมตัวอย่าง เป็นตัวบ่งชี้การเกิดกลิ่นหืนของข้าวเกรียบ จากการทดลองหาค่ากลิ่นหืนของน้ำมันโดยวิเคราะห์ค่า TBARs พบว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทอดจะมีค่า TBARs อยู่ในช่วง 0.094-0.101 มิลลิกรัมมัลโลนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ส่วนน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำครั้งที่ 1 และน้ำมันทอดซ้ำครั้งที่ 2 ซึ่งทำการทอดในวันเดียวกัน ค่าของกลิ่นหืนที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่า TBARs อยู่ในช่วง 0.749-0.874 และ 0.865-0.986 มิลลิกรัมมัลโลนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ในซ้ำที่ 1 และซ้ำที่ 2 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันซ้ำที่ 3 และซ้ำที่ 4 ซึ่งทำการทอดหลังจากทอดในซ้ำที่ 1 และ 2 เป็นเวลา 5 วัน ค่าการเกิดกลิ่นหืนของน้ำมันแตกต่างกันและจะมีความแตกต่างจากซ้ำน้ำมันที่ 1 และซ้ำมันที่ 2 โดยค่า TBARs ของน้ำมันซ้ำที่ 3 อยู่ในช่วง 1.135-1.342 มิลลิกรัมมัลโลนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง และน้ำมันซ้ำที่ 4 อยู่ในช่วง 1.669-1.794 มิลลิกรัมมัลโลนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ซึ่งค่าของกลิ่นหืนนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนซ้ำของการทอดเพิ่มขึ้น และจากการทดลองนี้ยังพบว่าค่าของกลิ่นหืนของน้ำมันที่เติมสารกันหืนจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันที่ทอดโดยไม่เติมสารกันหืน

Prince of Songkla University Pattani Campus

1.2.5 การวิเคราะห์จุลินทรีย์

Saovapong Charoen and Kovit Nouchpramool (1998) ศึกษาผลของรังสีแกมมาปริมาณ 2 และ 3 กิโลเกรย์ ที่มีต่อคุณภาพทางแบคทีเรีย เคมี และประสาทสัมผัสของเนื้อวัวสดบดเปรียบเทียบกับเนื้อวัวสดบดที่ไม่ได้ฉายรังสี การตรวจการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียชนิดต่างๆ ความเป็นกรด-ด่าง การออกซิเดชันของไขมัน (ค่า TBA number) และคุณภาพทางด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง ได้กระทำในวันรุ่งขึ้นหลังจากการฉายรังสี และเก็บที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 2 และ 3 กิโลเกรย์ ช่วยลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลง 1-2 และ 1-3 log cycles ตามลำดับ โดยที่จำนวน *Lactobacillus* spp. ก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การฉายรังสีปริมาณ 2 กิโลเกรย์ สามารถทำลายเชื้อ *Escherichiacoli* และ *Staphylococusaureus* ที่มีอยู่ได้หมด ตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella spp.* ในตัวอย่างทั้งที่ไม่ฉายรังสีและฉายรังสี ค่า TBA number ของเนื้อวัวบดฉายรังสีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ pH มีค่าลดลง การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเนื้อวัวสดบดที่ฉายรังสี และการทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวบดที่ฉายรังสีแล้วทอดไม่พบว่าทำให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสี และอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ ปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ จึงเพียงพอที่ใช้ในการฉายรังสีเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางแบคทีเรียของเนื้อวัวสดบด

นันทิชา (2553) การศึกษาผลของรังสีแกมมาต่ออัตราการรอดของแบคทีเรียก่อโรคที่อาจปนเปื้อนในหอยนางรม (*Crassostrea belcheri)* ได้แก่ Salmonella *Weltevreden* (สายพันธุ์ที่แยกได้จากหอยในประเทศไทย) *Vibrio parahaemolyticus* และ *Vibrio vulnificus* ATCC 27562 ที่ปนเปื้อนในระดับสูง (10^7 CFU/ก. หรือ มล.) ผลการศึกษาความไวต่อการถูกทำลายด้วยรังสีโดยศึกษาปริมาณรังสีที่ใช้ในการฆ่าแบคทีเรียเป้าหมายให้ลดปริมาณลง 1 log cycle หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ หรือค่าดีเท็น (D_{10}) ในอาหารเลี้ยงเชื้อและในเนื้อหอยปั่น พบว่า ค่า D_{10} ของเชื้อ *Salmonella Weltevreden, Vibrio parahaemolyticus* และ *Vibrio vulnificus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อคือ 0.154, 0.164 และ 0.059 กิโลเกรย์ ส่วนในเนื้อหอยปั่น คือ 0.330, 0.186 และ 0.129 กิโลเกรย์ ตามลำดับ โดยพบว่าแบคที่เรียกลุ่ม *Vibrio spp.* ทนต่อรังสีได้ต่ำ ส่วน *Salmonella Weltevreden* ทนต่อรังสีได้มากที่สุด

จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ (2013) ศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอนต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผงอบเชย ที่ปริมาณรังสี 0, 5, 10, 15 และ 20 กิโลเกรย์ และตรวจหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด และเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ Coliform bacteria, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อราทั้งหมดมีปริมาณลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น โดย

Prince of Songkla University Pattani Campus

ปริมาณโดสที่ 10 และ 5 กิโลเกรย์ สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และราทั้งหมดได้ตามลำดับ ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ Coliform bacteria, *Escherichia coli* และ *Salmonella* sp. ไม่พบทั้งในตัวอย่างที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสี ส่วนเชื้อ *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* สามารถกำจัดได้โดยการฉายรังสีปริมาณ 5 กิโลเกรย์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการฉายรังสีปริมาณ 5 กิโลเกรย์ เพียงพอในการควบคุมคุณภาพทางจุลชีววิทยาให้เป็นไปตามมาตรฐานได้

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้น (ไม่ฉายรังสี) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.3.2 ศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดเพื่อนำไปสู่การยืดอายุในการเก็บรักษาให้นานขึ้น

1.3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ฉายรังสีเพื่อดูลักษณะเฉพาะเจาะจงด้วยเครื่องอ่านแสงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

1.3.4 เพื่อเป็นการประเมินความปลอดภัยของปริมาณการรับรังสีในตัวอย่างอาหารฉายรังสีด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

Prince of Songkla University Pattani Campus

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ข้าวเกรียบปลา (Fish Cracker)

ข้าวเกรียบปลา (Fish Cracker) หมายถึง อาหารว่างชนิดหนึ่งที่บริโภคอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ได้แก่ ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลามีส่วนผสมของแป้งและปลาเป็นหลัก โดยสัดส่วนของปลาที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 50-70 ของส่วนผสมทั้งหมด ปลาที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบปลาสดจะนิยมใช้ปลาทะเลที่หาได้จากการทำประมงในพื้นที่ เช่น ปลาหลังเขียว ปลาทูแขก ปลาทูลัง และปลาโอ เป็นต้น บดผสมให้เข้ากับเครื่องปรุงรส นวดให้เข้ากันจนเป็นก้อนโด (dough) นึ่งหรือต้มให้สุก พักก้อนโดที่สุกให้เย็น หั่นเป็นแผ่นบางๆ นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดดหรือวิธีอื่นที่เหมาะสมก่อนนำไปทอดหรืออบจนแผ่นข้าวเกรียบมีลักษณะที่พองตัวเพื่อรับประทาน สำหรับข้าวเกรียบปลาสดในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ “กรือโป๊ะ” ข้าวเกรียบปลาที่ใช้เรียกในประเทศไทยคือ “Keropok” ในประเทศมาเลเซียรู้จักกันในชื่อ “Keropok lekor” ส่วน “Krupuk” หรือ “Kerupok” ใช้เรียกในประเทศอินโดนีเซียและ “Banh phong tom” ในประเทศเวียดนาม (Tongdang, 2011)

2.1.1 ส่วนผสมหลักของข้าวเกรียบปลา

2.1.1.1 เนื้อปลา

ปลาที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบปลาสด นิยมใช้ปลาชนิดเดียวกันกับปลาที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบปลากึ่งสำเร็จรูป (ข้าวเกรียบแห้ง) และเป็นปลาที่ได้จากการทำประมงในพื้นที่ เช่น ปลาหลังเขียว ปลาทูแขก ปลาทูลัง และปลาโอ เป็นต้น เนื้อปลาเป็นแหล่งโปรตีนและทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวของข้าวเกรียบ ในเนื้อปลาจะมีเส้นใยโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้คุณภาพของข้าวเกรียบดีขึ้น เช่น ไมโอซิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ เป็นโปรตีนที่มีสายโซ่ยาวเป็นตัวอุ้มน้ำและทำให้เกิดร่างแหเล็กๆ จำนวนมาก ร่างแหดังกล่าวทำให้เกิดความเหนียวขึ้นในเนื้อปลา (Cheow and Yu, 1997) จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า การศึกษาถึงชนิดของปลา หรือปริมาณเนื้อปลาต่อคุณภาพของข้าวเกรียบปลาสด (เจลข้าวเกรียบ) ยังมีน้อย ส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาถึงผลของเนื้อปลาต่อคุณภาพของข้าวเกรียบทอดเป็นหลัก ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาในข้าวเกรียบทอด เช่น

King (2002) ผลิตข้าวเกรียบจากปลาตาโต (*Auritus Brachydeuterus*) โดยใช้อัตราส่วนของปลาและแป้งมันสำปะหลังต่างกัน 3 ระดับ คือ 40:60, 50:50 และ 60:40 ในการผลิต

Prince of Songkla University Pattani Campus

ข้าวเกรียบปลา พบว่าปริมาณองค์ประกอบได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้า ของข้าวเกรียบเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่ได้รับการยอมรับสำหรับการผลิตข้าวเกรียบ คือ ใช้ปลาและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50:50 และ 60:40 เมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบพบว่าการพองตัวของข้าวเกรียบปลาอาจสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริล ซึ่งปริมาณเนื้อปลาที่เพิ่มขึ้นและความสามารถในการเกิดเจลที่ดีจะส่งเสริมให้ข้าวเกรียบพองตัวมาก

Nurul *et al.* (2009) รายงานว่าการผลิตข้าวเกรียบปลาด้วยอัตราส่วนของปลาและแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกันส่งผลต่อทั้งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบปลา ปริมาณโปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อปลาที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าการขยายตัวเชิงเส้น การดูดซับน้ำมันและค่าความสว่างของข้าวเกรียบปลาลดลงเมื่อปริมาณเนื้อปลาเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็งของข้าวเกรียบเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเนื้อปลาในสูตร

2.1.1.2 แป้ง

แป้งที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบปลา มีหลายชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวจ้าว แป้งสาคู เป็นต้น แต่แป้งที่นิยมใช้มากคือ แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งสาคูเล็กน้อย เพื่อให้ได้ข้าวเกรียบที่มีความพองตัว กรอบได้นาน จากการศึกษาของ Tongdang *et al.* (2008) พบว่า การเติมแป้งสาคูผสมแป้งมันสำปะหลังปริมาณร้อยละ 6, 12, 18 และ 24 ส่งผลให้ข้าวเกรียบปลาสำเร็จรูป (ข้าวเกรียบปลาที่ทอด) มีอัตราการพองตัวลดลงตามปริมาณแป้งสาคูที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแป้งสาคูอาจไปเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลข้าวเกรียบได้ เนื่องจากแป้งสาคูมีความสามารถในการคืนตัว (Retrogradation) สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง

Cheow *et al.* (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งชนิดต่างๆ กับการพองตัวของข้าวเกรียบปลาที่ทอด โดยพบว่าแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีค่าการขยายตัวเชิงเส้น (Linear Expansion) สูงกว่าแป้งสาลี จะมีค่ากำลังการพองตัว (Swelling Power) ความสามารถในการละลาย (Solubility) และค่า Amylose Leaching สูงกว่า เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า แต่มีขนาดอนุภาคของแป้งเล็กกว่าแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาโครงสร้างทางจุลภาคและเนื้อสัมผัสของเจลข้าวเกรียบปลา โดยพบว่าค่าแรงเจาะทะลุ (Penetration Force) ของเจลข้าวเกรียบปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของเม็ดแป้งที่บวมพอง (กว้างและยาว) สูงสุด จะมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลี ตามลำดับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.1.3 เครื่องปรุงรส

การเติมเครื่องปรุงรส เช่น เกลือ พริกไทย น้ำตาล กระเทียม และผงชูรส เพื่อเพิ่มกลิ่นรสที่ดีของข้าวเกรียบ การเติมส่วนผสมเหล่านี้ลงไปในแป้งจะสามารถไปแย่งจับกับน้ำ ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งสูงขึ้น

Cheow and Yu (1997) ศึกษาผลของเกลือ น้ำตาล และโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อการเกิดเจลของข้าวเกรียบ พบว่าเกลือมีผลต่อการเกิดเจลมากกว่าน้ำตาลและโมโนโซเดียมกลูตาเมต เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไป (ร้อยละ 2) จะไปอยู่บริเวณรอบๆ ผลึกของอนุภาคแป้ง ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันเพิ่งสูงขึ้น 4-5 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำตาล (ร้อยละ 1) และโมโนโซเดียมกลูตาเมต (ร้อยละ 0.4) ที่เติมลงไปมีผลน้อยกว่าเนื่องจากมีการเติมในสูตรเดิมเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม น้ำตาลมีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งได้ หากมีการเติมในปริมาณมาก เพราะน้ำตาลซูโครสจะเกิดอันตรกิริยากับแป้งในส่วนของ Amorphous region เกิดเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่ของแป้ง ส่งผลให้เกิดการเจลาติไนเซชันของแป้งช้าลง

นอกจากนี้ Cheow and Yu (1999) ได้ศึกษาผลของเกลือ น้ำตาล และโมโนโซเดียมกลูตาเมตต่อคุณสมบัติด้านความหนืดและความยืดหยุ่นของเจลข้าวเกรียบ พบว่าเมื่อเติมเกลือร้อยละ 2 และเพิ่มปริมาณปลา จะมีผลให้ค่า Storage modulus (G') เพิ่มขึ้น และค่า Tangent (tan § = G"/G') ลดลง บ่งชี้ถึงความสามารถในการเกิดโครงร่างตาข่ายและความสามารถในการเชื่อมประสานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกลือมีผลอย่างมากในการเกิดโครงร่างตาข่ายของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา ภายในโครงร่างตาข่ายของปลาและแป้ง (Fish-starch network)

2.1.2 กระบวนการผลิตข้าวเกรียบปลาแบบสด

"ข้าวเกรียบปลาแบบสด" หรือ "กรือโป๊ะ" มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ปลาและแป้ง ขั้นตอนการผลิตข้าวเกรียบปลาสดเริ่มจากนำแป้งมาผสมกับปลาที่ผ่านการบด หรือบดพร้อมกับส่วนผสมอื่น เช่น เกลือ น้ำตาลทราย และโมโนโซเดียมกลูตาเมต และอาจจะมีการเติมสมุนไพร เช่น พริกไทยดำ และกระเทียมลงไปด้วย (Cheow and Yu, 1997) จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน เมื่อได้ส่วนผสมที่เนื้อเนียนละเอียดที่เรียกว่า โด (Dough) แล้วก็นำมาแบ่งเป็นก้อนๆ ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาว 25 เซนติเมตร แล้วนำลงไปต้มในน้ำเดือดหรือนึ่งด้วยไอน้ำเพื่อให้โดข้าวเกรียบสุก เกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinized) และเกิดเป็นเจลข้าวเกรียบ (Kyaw *et al*., 2001) ข้าวเกรียบปลาแบบสดมีขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตข้าวเกรียบปลาแบบสด

Prince of Songkla University Pattani Campus

ในกระบวนการผลิต ส่วนประกอบระหว่างแป้งและปลาโดสามารถทำสุกด้วยวิธีการให้ความชื้น (Hydrothermal) โดยวิธีการต้มหรือนึ่ง ซึ่งวิธีการต้มเป็นวิธีการพื้นฐานที่จะช่วยให้เกิดแป้งเจลาติไนซ์ได้สมบูรณ์ วิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาในการทำสุก การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งจะสมบูรณ์หรือไม่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลานึ่ง จากนั้นทำให้ตัวเย็นตัวลงที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่ง วิธีการนึ่งใช้อุณหภูมิของไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศเป็นเวลาระยะหนึ่ง จากนั้นทำให้ตัวเย็นลงที่อุณหภูมิห้องหรือนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการเซตตัว (การคืน ; Retrogradation) ของแป้ง ส่วนการผลิตข้าวเกรียบแบบแห้ จะนำไปแท่งข้าวเกรียบปลาสดหั่นเป็นแผ่นบางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปตากแดดหรืออบด้วยตู้อบลมร้อนจนมีความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 9-13 (Huda *et al.*, 2010)

Kyaw *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลการทำสุกโดยวิธีการใช้ความดันต่อโครงสร้างและการพองตัวของข้าวเกรียบปลา ที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาลักษณะทางสัญฐานวิทยาของอนุภาคแบ๊งในเจลข้าวเกรียบที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ (ที่ความดันบรรยากาศ/100 องศาเซลเซียส, 5 psi /108 องศาเซลเซียส, 10 psi/115 องศาเซลเซียส และ 15 psi/121 องศาเซลเซียส) พบว่าค่าการขยายตัวเชิงเส้นของข้าวเกรียบปลาที่ทำมาจากแป้งมันสาสีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าการขยายตัวเชิงเส้นของข้าวเกรียบปลาที่ทำมาจากแป้งมันสำปะหลังจะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการพองตัวจะมีความสัมพันธ์กับการประเมินทางทางประสาทสัมผัส

ของผู้บริโภคต่อตัวผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาเจลข้าวเกรียบปลา พบว่าเจลข้าวเกรียบจากแป้งสาลีมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้เม็ดแป้งบวมพองก็มากขึ้น ในขณะที่เจลข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังมีความค่าแข็งแรงลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้น

2.1.3 การเสื่อมเสียของข้าวเกรียบปลาสดแบบสด

ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วยผสมของเนื้อปลาและแป้งเป็นหลัก ปริมาณของปริมาณของเนื้อที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 50 ของส่วนผสมทั้งหมด นับว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดอุดมไปด้วยสารอาหาร อีกทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดมีปริมาณความชื้นและค่า Water activity ที่สูงถึง 0.9 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบสดแบบสดมีอายุการเก็บรักษาและเสื่อมเสียได้ง่าย สาเหตุหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดมีการเสื่อมเสีย คือเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งด้านสี กลิ่น และรสที่ไม่พึงประสงค์ ผลิตภัณฑ์จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับการเสื่อมทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกับข้าวเกรียบปลาแบบสด เช่น

Dias *et al.* (2013) ศึกษาลักษณะการเสื่อมเสียของไส้กรอกหมูสดจากจุลินทรีย์และคัดแยกชนิดของจุลินทรีย์ด้วยวิธี Polymerase Chain Reaction –Denaturing Gradient Gel Electrophhoresis (PCR-DGGE) โดยใช้ตัวอย่างไส้กรอกหมูสดจากโรงงาน 12 โรงงานเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ในถุงพลาสติกที่ฆ่าเชื้อ วิเคราะห์ทุกวันที่ 0, 14, 28 และ 42 วัน พบว่าจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของไส้กรอกหมูสดเป็นกลุ่ม Mesophilic bacteria และ Lactic lactic acid bacteria โดยจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา

Sachidra *et al* (2005) ศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในไส้กรอกควายระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส พบว่าระหว่างกระบวนการผลิตมีจำนวน Total plate count (TPC) 5.41± 0.25 log CFU/g, Coliforms 23.2 MPN/ g, *Staphylococcus aureus* 1.57±0.11 log_{10}CFU/g, ยีนส์และรา 2.29±0.07 log_{10}CFU/g และ Lactic acid bacteria (LAB) 0.60±0.20 log_{10}/g CHU/g ในไส้กรอกสุกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ปริมาณจุลินทรีย์ จะลดลง Total plate count (TPC) 3.75±0.31 log_{10}CFU/g, Coliforms 0.2 MPN/g, ยีสต์และรา 0.72±0.07 log_{10}CFU/g และ Lactic acid becteria (LAB) 0.07±0.01 log_{10}CHU/g และไม่ตรวจพบ S. *aureus*, *Clostridium perfringens* และ *Bacillus cereus* เมื่อนำไส้กรอกควายสุกไปเก็บรักษาเป็นเวลา 31 วัน ภายใต้บรรจุภัณฑ์ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 90 และบรรจุภัณฑ์สุญญากาศที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าการเสื่อมเสียภายใต้บรรจุภัณฑ์

สุญญากาศเกิดจาก Lactic acid becteria ส่วนในไส้กรอกควายที่ภายใต้บรรจุภัณฑ์ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์การเสื่อมเสียเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม Microflora เป็นหลัก

Gungor *et al*. (2010) ศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ระหว่างสายกระบวนการผลิตไส้กรอก Frankfurter ระหว่างสายกระบวนการผลิตจุลินทรีย์ที่ตรวจพบได้แก่ Aerobic mesophilic bacteria, *Staphylococcus aureus*, *Escherichai Coli* และยีสต์และรา เมื่อนำไส้กรอก Frankfurter ไปผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ พบว่าปริมาณ Aerobic mesophilic bacteria, *Staphylococcus aureus* ลดลงหลังการให้ความร้อน และไม่ตรวจพบเชื้อ *Escherichai Coli* และยีสต์และรา ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้ไส้กรอกเสื่อมเสีย และยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะ

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสด

2.1.4.1 สารอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการสารอาหารที่เป็นแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจน วิตามิน รวมทั้งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งของคาร์บอนที่จุลินทรีย์จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ส่วนโปรตีนจะเป็นแหล่งของไนโตรเจน ซึ่งนำมาใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน จึงถือได้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดเป็นแหล่งของสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

Rangsit University Pathumthani Campus

2.1.4.2 น้ำหรือความชื้นในอาหาร

น้ำหรือความชื้นในอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ค่า Water activity เป็นค่าที่แสดงถึงน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดมีค่า Water activity ประมาณ 0.9 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นอาหารที่มีค่า Water activity สูง จึงทำให้ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดเน่าเสียได้ง่าย ค่า Water activity ของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ค่า Water activity ต่ำสุดที่จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการในการเจริญเติบโตมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนั้นการปรับค่า Water activity ของข้าวเกรียบปลาสดแบบสดให้ต่ำกว่าค่า Water activity ต่ำสุดที่เชื้อเจริญได้ จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ออกไปได้

ตารางที่ 2.1 ค่า Water activity ต่ำสุดสำหรับการการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร

กลุ่มจุลินทรีย์	Water activity
แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	0.90
ยีสต์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	0.88
ราแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	0.80

ที่มา : ดัดแปลงจาก สุมัณฑา (2545)

2.1.4.3 อุณหภูมิ

ในการขนส่งและวางจำหน่ายข้าวเกรียบปลาสดแบบสด ผู้ประกอบการไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ จึงเป็นสาเหตุให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria) เจริญเติบโตได้ดี เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส

2.1.4.4 ปริมาณอากาศ

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดที่ขนส่งและวางจำหน่าย มีการบรรจุแบบธรรมดา (มีอากาศอยู่ภายในถุง) ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและทำให้อาหารเน่าเสียเจริญได้ดี ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่ม *Pseudomonas* เป็นต้น สำหรับเชื้อราที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโตจะทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดแบบสดเกิดการเน่าเสียบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์

2.1.4.5 ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสดมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.9-7.2 จึงเหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย จุลินทรีย์ต่างชนิดกันจะสามารถเจริญในอาหารที่มีช่วงความเป็นกรดด่างต่างกัน เช่น ราเจริญได้ดีในช่วง 3.5-4.0 ยีสต์เจริญได้ดีในช่วง 4.5-6.0 ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียเจริญได้ดีในช่วง 6.0-8.0 เป็นต้น ความเป็นกรดด่างของอาหารจะมีผลต่อการเจริญและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงลักษณะการเน่าเสียด้วย

2.2 ระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

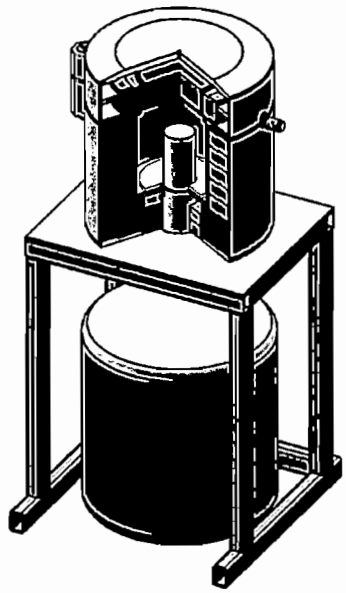
ระบบวัดรังสีแกมมาในงานวิจัยนี้ใช้ระบบวัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) ที่มีโครงสร้างชนิดโคแอคเชียล (Coaxial) หัววัดแบบนี้มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และมีช่องโหว่ตรงกลาง หัววัดชนิดโคแอคเชียลเหมาะสำหรับใช้วัดรังสีในบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดรังสีจากสภาวะแวดล้อมในปริมาณมาก ทำขึ้นจากผลึกเจอร์มาเนียม

Prince of Songkla University Pattani Campus

รูปทรงกระบอกที่ผิวด้านนอกจะแพร่ด้วยลิเทียม ส่วนด้านในปลูกไอออนของโบรอนเรียกหัววัดรังสีชนิดพี (P type) หรือเป็นผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอกซึ่งแพร่ด้วยลิเทียมไว้ที่ผิวด้านใน ส่วนด้านนอกปลูกไอออนของโบรอนเรียกว่า หัววัดชนิดเอ็น (N type) โครงสร้างอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงต้องการอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากหัววัดเจอร์มาเนียมมีช่องว่าง (Energy gap) แคบประมาณ 0.7 อิเล็กตรอนโวลต์ การทำงานของหัววัดเจอร์มาเนียมทุกชนิดไม่สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิห้องจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้ช่องว่างพลังงานสูงทำให้เกิดกระแสรั่วไหล (Leakage current)

ภาพที่ 2.2 หัววัดสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

ดังนั้น การดำเนินการวัดรังสีด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมต้องทำให้อุณหภูมิของหัววัดต่ำลงเพื่อลดกระแสรั่วไหลดังกล่าว ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่ส่งผลให้ความสามารถในการแยกพลังงาน (Energy Resolution) มีค่าน้อยลง เพื่อที่จะรักษาผลึกหัววัดจึงต้องแช่ไว้ในไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส โดยใช้ Dewar ซึ่งเป็นฉนวน หัววัดจะบรรจุในอุปกรณ์หล่อเย็นซึ่งเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันอุณหภูมิจากอากาศที่แวดล้อมถ่ายเทเข้าไป หัววัดจะติดตั้งด้านบน Dewar ซึ่งบรรจุไนโตรเจนเหลว หลักการทำงานโดยย่อของหัววัดแบบเจอร์มาเนียม คือ เมื่อรังสีแกมมาเข้าไปในผลึกหัววัด จะส่งผลให้เกิดไอออนที่มีประจุบวกและประจุลบ ได้แก่อิเล็กตรอนและโฮล์ที่มีจำนวนเท่า ๆ กัน และเมื่อนำขั้วไฟฟ้าสองขั้วมาต่อเข้ากับผลึกคนละด้านจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ทำให้ผลึกนั้นมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นก็จะถูกดูดไปยังขั้วไฟฟ้า ไอออนที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับพลังงานที่สูญเสียไปในผลึก และเมื่อต่อหัววัดแบบเจอร์มาเนียมนี้เข้ากับระบบขยายสัญญาณและ MCA ดังภาพที่ 2.3 จะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีได้ ข้อมูลที่ตรวจวัดออกมาจะอยู่ในรูปกราฟที่เขียนขึ้นระหว่างจำนวนช่องของ MCA และจำนวนช่องนับที่นับได้จากหัววัดในแต่ละช่องของ MCA เรียกว่า สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา



ภาพที่ 2.3 หัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High-Purity Germanium: HPGe) (วิชชุดา, 2553)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3 การฉายรังสีอาหาร

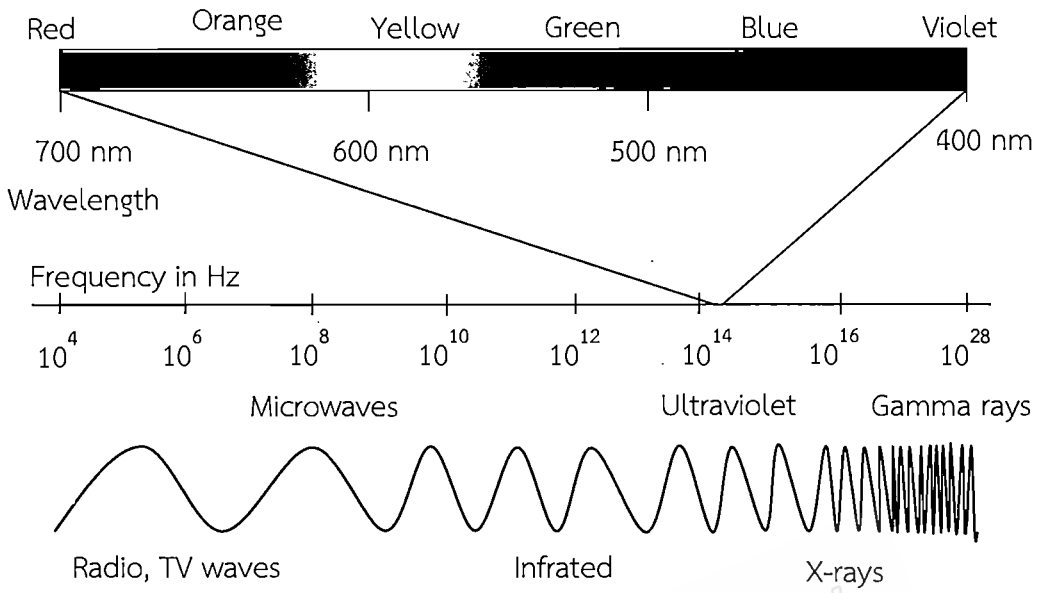
การฉายรังสีอาหารเป็นการถนอมรักษาอาหารวิธีหนึ่ง โดยการใช้พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและฉายไปยังอาหารทั้งที่อยู่ในภาชนะบรรจุหรือไม่ผ่านการบรรจุและใช้ปริมาณของรังสีไอออไนส์ (Ionizing Radiation) ที่เหมาะสมและในระยะเวลาจำกัด เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ (IAEA, 1999) การฉายรังสีอาหารเป็นที่ถกเถียงกันมาก โดยเฉพาะในเรื่องของความปลอดภัย แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับกระบวนการถนอมอาหารโดยการฉายรังสีนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก การฉายรังสีอาหารจัดเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนหรือที่เรียกว่า “Cold process” ซึ่งมีการศึกษากันอย่างต่อเนื่องมานานแล้ว โดยทั่วไปการฉายรังสีอาหารมีวัตถุประสงค์ในการยืดอายุการเก็บรักษา เช่นในพวกพืชหัว (root crops) ช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเครื่องเทศ ผลไม้และธัญพืช ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ช่วยชะลอการสุกของผลไม้ ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในอาหารบางชนิด รวมทั้งช่วยทำลายหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคซึ่งปนเปื้อนมากับอาหาร ในด้านมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบริโภคอาหารฉายรังสีนั้น ปี ค.ศ. 1983 The Joint Food and Agriculture Organization/ World Health Organization Codex Alimentarius Commission ได้รับรองอาหารฉายรังสีว่ามีความปลอดภัยและเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการ

ถนอมอาหาร และได้ตั้งข้อกำหนด Codex General Standard ของอาหารฉายรังสีขึ้นเพื่อเป็นการรับรองความปลอดภัยของอาหารที่ผ่านกระบวนการนี้

2.3.1 แหล่งของรังสี

รังสี (Radiation) หมายถึง พลังงานที่แผ่กระจายจากต้นกำเนิด ออกไปในอากาศหรือตัวกลางใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ความร้อน รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา ฯลฯ และรวมไปถึงกระแสอนุภาคที่มีความเร็วสูงด้วย เช่น รังสีแอลฟา รังสีบีตาและรังสีนิวตรอน การจำแนกรังสีตามคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Non–Ionizing Radiation) คือ รังสีที่มีความยาวคลื่นสูง มีความถี่ช่วงคลื่นต่ำ ให้พลังงานต่ำ ได้แก่ คลื่นวิทยุ ทั้งระบบคลื่นยาวและคลื่นสั้นคลื่นที่พลังงานต่ำ ได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ความร้อน แสง เสียง คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ คลื่นไมโครเวฟ และอินฟราเรด ระดับความถี่ของช่วงคลื่นของไมโครเวฟและอินฟราเรดสูงพอที่จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นได้กับวัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นนั้นไว้ได้และกลุ่มรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนหรือรังสีพลังงานสูง (Ionizing radiation หรือ high energy radiation) เป็นช่วงคลื่นที่มีความถี่สูงมากและให้พลังงานสูงมาก ซึ่งมีช่วงความถี่ของช่วงคลื่นสูงที่สุดคือ 1,019–1,022 เฮิรต์ จนถึงขั้นทำให้โมเลกุลของสารประกอบแตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระขึ้นได้ โดยการสลายพันธะทางเคมี จึงส่งผลให้สามารถนำมาใช้ในกระบวนการถนอมและแปรรูปอาหารได้รังสีที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย รังสีเอกซ์ (x-rays) รังสีแกมมา (gamma rays) รังสีแคโทด (cathode rays) รังสีเบตา (beta rays) โปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) และอนุภาคแอลฟา (alpha particles)

JOHN F.KENNEDY LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
PATTANI THAILAND



ภาพที่ 2.4 สเปรกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1.1 Radioisotope source

แหล่งไอโซโทปกัมมันตรังสีให้รังสีแกมมาซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอะตอมในนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสี (radioactive nuclides) ที่ใช้มากในการถนอมอาหารมี 2 ชนิด ได้แก่ รังสีแกมมา จาก Cobalt-60 และ Cesium-137 ระดับพลังงานที่ใช้ในอาหารต่ำมากไม่มีโอกาสที่จะเกิดสารกัมมันตรังสี

1) โคบอลต์ –60 (Cobalt -60 , ^{60}Co) ผลิตขึ้นมาจากธาตุโคบอลต์ตามธรรมชาติที่มีความเสถียรคือ ^{59}Co โดยการระดมยิงด้วยอนุภาคนิวตรอนในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู (nuclear reactor) เป็นเวลา 1 ปี ถึง 1 ปีครึ่ง แหล่งสำคัญที่ทำการผลิต คือ ประเทศแคนาดา (AECL = Atomic Energy of Canada Ltd.) นำมาอัดไว้ในท่อเหล็กปลอดสนิมรูปทรงกระบอกขนาดเล็กเท่าปากกา มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นผลดีที่ไม่ก่อปัญหาการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม และเก็บรักษาไว้ได้ในน้ำ เพื่อความปลอดภัยในขณะขนส่งจะบรรจุในแท่งตะกั่วที่มีความหนาเพียงพอในการป้องกันรังสีได้ การซื้อขายโคบอลต์ –60 นี้จะคิดตามพลังงานของแต่ละแท่ง โคบอลต์ -60 ให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.17–1.33 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ มีระยะครึ่งชีวิต (half–life) 5.27 ปี โดยพลังงานรังสีจะลดลงอัตรา 12.5% ต่อปี จึงจำเป็นต้องหามาเพิ่มเติมในแต่ละปี เพื่อรักษาให้แหล่งของรังสีแกมมามีพลังงานใกล้เคียงกับระยะเริ่มต้นในการติดตั้ง เมื่อโคบอลต์ –60 สิ้นสุดการสลายตัวจะเปลี่ยนไปเป็นนิกเกิล (^{60}Ni)

จ
1595
2561

2) ซีเซียม–137 (Cesium – 137, ^{137}Cs) เป็นแหล่งรังสีแกมมาที่ได้จากผลผลิตจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณูที่แยกออกมาแล้วแปรรูปใหม่โดยกระบวนการเคมี ซีเซียม–137 ให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.66 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ มีระยะครึ่งชีวิต 30.2 ปี สลายตัวตลอดเวลาจึงทำให้ความแรงรังสีลดลงในอัตรา 2.3 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ซีเซียม –137 จะให้พลังงานแพร่ออกมาได้เพียง 70 เปอร์เซ็นต์ เพราะท่อบรรจุมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของแท่งโคบอลต์ –60 ซึ่งแพร่รังสีแกมมาออกมาได้ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อซีเซียม –137 สลายตัวสิ้นสุดลงจะเปลี่ยนเป็นแบเรียม (Ba) ที่ไม่มีสมบัติเป็นสารกัมมันตรังสีอีก

2.3.1.2 Machine source และ Electron beam acceleration

เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ (X–ray machine) เนื่องจากรังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้พลังงานสูงรองจากรังสีแกมมา โดยมีพลังงาน 103 – 105 อิเล็กตรอนโวลต์ ผลิตได้โดยใช้เครื่องมือซึ่งประกอบด้วยท่อรังสีเอกซ์ เป็นหลอดแก้วสุญญากาศ ภายในมีแท่งโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแคโทด (cathode) และแอโนด (anode) ที่ปลายแอโนดจะเชื่อมติดกับแผ่นโลหะซึ่งมักเป็นทังสเตน (tungsten) เพื่อทำหน้าที่เป็นเป้าให้กระแสของกลุ่มอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงที่เกิดจากการให้ความร้อนที่แคโทดด้วยกระแสไฟฟ้ามากระทบจะเกิดเป็นรังสีเอกซ์แผ่กระจายออกมาเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชักนำให้อาหารที่ทำการฉายรังสีด้วยรังสีเอกซ์กลายเป็นสารกัมมันตรังสีจึงมีข้อกำหนดให้เครื่องนี้มีพลังงานต่ำกว่า 5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ มีรายงานว่าเครื่องรังสีเอกซ์ไม่เคยมีการฉายรังสีอาหารในเชิงพาณิชย์ แต่มีใช้บ้าง เพื่อศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ

เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (electron accelerator) เมื่ออนุภาคอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในระดับใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของคลื่นแสง จะมีผลให้เกิดการไอออนไนซ์ได้ ชนิดอนุภาคที่ใช้เพื่อการฉายรังสีอาหาร คือ อนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถผลิตขึ้นมาได้ด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (high voltage generator) มีการออกแบบไว้ 2 แบบ คือ การใช้ระบบกระแสไฟฟ้าตรงและการใช้ระบบคลื่นวิทยุ หรือคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งอยู่ในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อนุภาคอิเล็กตรอนจะถูกผลิตขึ้นด้วยการให้ความร้อนกับแท่งโลหะที่เรียกว่าปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ซึ่งอยู่ทางปลายด้านหนึ่งของท่อสุญญากาศภายในบรรจุด้วยก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูโอไรด์ (sulfurhexafluoride – SF_6) ท่อดังกล่าวจะทำหน้าที่เร่งอนุภาคให้มีความเร็วสูง โดยอาศัยความต่างศักย์ ของปลายทั้งสองของท่อ ถ้ายิ่งสูง กลุ่มอนุภาคอิเล็กตรอน (electron beam) จะเคลื่อนที่เร็วขึ้นและให้พลังงานสูงขึ้นในการแทรกซึม (penetration) เข้าไปในวัตถุที่นำมาฉายรังสี

ในการฉายรังสีอาหารนั้น หัวใจของโรงงานฉายรังสีอาหารคือแหล่งของรังสี โดยทั่วไปโรงงานฉายรังสีอาหารจะมีผนังคอนกรีตที่หนากว่า 1.7 เมตร โดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วไหล ส่วนภาชนะที่ใช้เก็บสารกัมมันตรังสีจะเป็นแท่งโลหะแสตนเลสและเก็บไว้ในอ่างน้ำที่มีความลึกประมาณ 5–6 เมตร ในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน และในส่วนของทางเข้าและออกของผลิตภัณฑ์ที่นำไปฉายรังสีอาหารนั้นจะมีลักษณะคล้ายเขาวงกต ซึ่งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยจากการรั่วไหลของรังสีให้แก่ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง

2.3.2 ระดับการฉายรังสี

การฉายรังสีอาหาร แบ่งได้เป็น 3 ระดับตามความแรงรังสีที่ใช้ คือ

2.3.2.1 การฉายรังสีในปริมาณรังสีระดับต่ำไม่เกิน 1 กิโลเกรย์

มีวัตถุประสงค์เพื่อไปขัดขวางปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการทำงานของฮอร์โมนต่างๆ ในเนื้อเยื่อและสัตว์ขนาดเล็ก เช่น แมลงและพยาธิบางชนิดจึงนิยมใช้กับพืชสดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลสด ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ป้องกันการงอกของพืชที่มีลำต้นใต้ดิน เช่น มันฝรั่ง กระเทียม ชะลอการสุกและการงอมของผักผลไม้บางชนิด เช่น กล้วย มะม่วง เห็ด ป้องกันการทำลายของแมลงในผลิตผลทางการเกษตร เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ผลอินทผาลัม ปลากรอบ และป้องกันการระบาดของพยาธิตัวจี๊ดในเนื้อหมู เป็นต้น

2.3.2.2 การฉายรังสีในระดับปานกลางคือ 1–10 กิโลเกรย์

มีผลขัดขวางการแบ่งเซลล์ โดยเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ในอาหารได้เช่นเดียวกับการใช้ความร้อนดังนั้นจึงนิยมการฉายรังสีในระดับนี้เพื่อลดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษเพื่อให้อาหารปลอดภัยแก่ผู้บริโภคและยืดอายุการเก็บรักษาจากการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ เช่น

1) ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับพืชผักผลไม้เพื่อให้เก็บรักษาได้นานขึ้น เช่น สตรอว์เบอร์รี เป็นต้น

2) ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในอาหารเช่นเนื้อสัตว์ปีกไข่ อาหารทะเลทั้งในรูปสดและแช่แข็ง

3) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์โดยการแช่เย็น เช่น เนื้อไก่

4) ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในเครื่องเทศและผักแห้ง เช่น พริกไทย

2.3.2.3 การใช้ปริมาณรังสีระดับสูงกว่า 10 กิโลเกรย์

มีวัตถุเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาให้หมดจนอาหารนั้นอยู่ในระดับปลอดเชื้อทางการค้าแต่โดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้กับอาหารแต่จะใช้กับพวกเวชภัณฑ์และภาชนะบรรจุรวมถึงส่วนประกอบอาหารที่ไม่นำมาบริโภคโดยตรงเช่นอาหารสำหรับผู้ป่วย

1) Radicidation เป็นการฉายรังสีในระดับที่สามารถลดปริมาณของแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์และพวกที่ก่อให้เกิดโรคจนไม่สามารถตรวจพบได้ เมื่อใช้วิธีการทางจุลชีววิทยาและยังหมายความถึงการทำลายปรสิต วิธีนี้ใช้ปริมาณรังสีต่ำ (0.1 - 8 กิโลเกรย์) ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์อื่น ยกเว้น ไวรัส และยังทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคชนิดไม่สร้างสปอร์ (ประมาณ 2-8 กิโลเกรย์) และวิธีนี้อาจเรียกว่า Irradiation pasteurization โดยเฉพาะเมื่อต้องการเน้นในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

2) Radurization เป็นการฉายรังสีในระดับที่เพียงพอต่อการรักษาคุณภาพของอาหารโดยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร และใช้รังสีขนาด 0.4-10 กิโลเกรย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์วิธีนี้เรียกได้ว่าเป็น Irradiation pasteurization วิธีหนึ่ง

3) Radappertization เป็นการถนอมอาหารโดยการใช้รังสีปริมาณสูงเพียงพอที่จะลดจำนวนและ/หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ (ยกเว้นไวรัส) ให้น้อยลงซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยวิธีเฉพาะทางจุลินทรีย์ได้วิธีการนี้จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียหรือทำลายสารพิษให้หมดไปและไม่ทำให้เกิดการบ่นเปื้อนซ้ำซ้อนโดยใช้รังสีขนาด 10-15 กิโลเกรย์ ในการทำให้ปลอดเชื้อวิธีนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Irradiation sterilization หรือ Commercial sterility (ความหมายเดียวกันกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารบรรจุกระป๋อง) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาในสภาวะปกติได้

คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญร่วมเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี (The Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Foods) จากองค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การอาหารและการเกษตร (FAO) และ International Atomic Energy Agency (IAEA) ได้ประกาศรับรองความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี ในปี ค.ศ. 1970 และ ในปี ค.ศ.1980 ได้สรุปว่าการฉายรังสีอาหารโดยใช้ปริมาณรังสีโดยเฉลี่ย 10 กิโลเกรย์ จะไม่มีผลทำให้เกิดอันตรายจากสารพิษที่อาจถูกสร้างขึ้น และไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งปราศจากอันตรายที่อาจเกิดเนื่องจากจุลินทรีย์โดยแท้จริงแล้วปริมาณรังสีขนาด 10 กิโลเกรย์ อาจไม่ใช่เป็นปริมาณที่สูงสุดที่จะเป็นหลักประกันความปลอดภัยต่อการบริโภคอาหารฉายรังสี และได้มีการทดสอบความปลอดภัยของอาหารที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณดังกล่าวหลายครั้ง (Loaharanu, 1995) แต่เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่ามีความปลอดภัยในส่วนของการศึกษาการใช้รังสีปริมาณสูงในการยืดอายุการเก็บ

รักษาอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกามีรายงานว่าการใช้ปริมาณรังสีที่สูงถึง 58 กิโลเกรย์ จะไม่มีผลต่อคุณภาพของอาหารปริมาณของรังสีที่แนะนำใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ปริมาณรังสีที่แนะนำให้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ

กระบวนการ	ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)
ยับยั้งการงอก	0.05 - 0.15
ชะลอการสุกของผลไม้ชนิดต่างๆ	0.20 - 0.50
ทำลายแมลง	0.20 - 1.00
ทำลายปรสิต	0.03 - 6.00
ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดปริมาณจุลินทรีย์	0.50 - 5.00
ทำลายเชื้อโรคที่สร้างสปอร์	3.00 - 10.00
สเตอริไลเซชัน	ไม่เกิน 50.00

ที่มา : Hackwood (1991)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการฉายรังสีอาหาร

กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการฉายรังสีอาหารเมื่อฉายรังสีไปยังอาหารจะเกิดพลังงานอนุภาคแตกตัวเป็นอะตอมจำนวนมากและอิเล็กตรอนที่แตกตัวจากอะตอมอาจไปทำให้อะตอมอื่นแตกตัวไปจึงทำให้มีผลต่อสารชีวภาพ

2.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารหรือวัตถุ

การฉายรังสีอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโดยตรงซึ่งพลังงานจากรังสีจะทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะเคมี โดยอาจทำให้โมเลกุลนั้นอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited state) หรือเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) และการเปลี่ยนแปลงทางอ้อมซึ่งเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำเนื่องมาจากรังสี (Radiolytic products) ไปทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับสารอื่นๆ ภายในอาหาร ซึ่งในอาหารส่วนใหญ่มีความชื้นสูงเมื่อได้รับรังสีอิออไนส์จะทำให้น้ำแตกตัวเป็นไอออนได้เนื่องจากอิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลและเกิดการแตกของพันธะและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะกลับมารวมตัวกันได้เป็นไฮโดรเจน (Hydrogen) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) อนุมูลไฮโดรเจน (Hydrogen radicals , H°) อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical, OH°) และอนุมูลไฮโดรเพอร์ออกซิล (Hydroperoxyl radicals, HO_2°) การแตกตัวเป็นอิออนของน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.13(a) และการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระแสดงดังภาพที่

2.5 (b) เมื่อเกิด H_2O+ (Water cation radical) จากการแตกตัวเป็นอิออนของน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาปลดปล่อยโปรตอนให้กับโมเลกุลของน้ำได้อีกดังสมการ

$$H_2O+ + H_2O \longrightarrow H_3O+ + OH^{\circ}$$

และจากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ได้ H_3O^+ (Solvated/hydrated proton, hydronium ion) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าผลของปฏิกิริยาในภาพ 2.5(b) จะเกิดสารที่เสถียรขึ้น 2 ชนิดคือ H_2O_2 และ H_2 แต่ก็ยังเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้อีก ทำให้มีปริมาณของสารทั้งสองชนิดเกิดขึ้นต่ำแม้ว่าจะฉายรังสีในปริมาณสูง จึงทำให้สามารถใช้บ่อน้ำเป็นเกราะกำบังรังสีแกมมาได้ (สายสนม, 2540)

H_2O	$\longrightarrow$	$H_2O^+ + e-$	
$e- + H_2O$	$\longrightarrow$	H_2O-	
H_2O^+	$\longrightarrow$	$H^+ + OH^{\circ}$	
H_2O-	$\longrightarrow$	$H^{\circ} + OH-$	a)
$H^{\circ} + OH^{\circ}$	$\longrightarrow$	H_2O	
$e- + OH^{\circ}$	$\longrightarrow$	$OH-$	
$e- + H_3O$	$\longrightarrow$	$H_2O + H^{\circ}$	
$OH^{\circ} + OH^{\circ}$	$\longrightarrow$	H_2O_2	
$H^{\circ} + H^{\circ}$	$\longrightarrow$	H_2	
$H_2O_2 + e-$	$\longrightarrow$	$OH + OH-$	
$H_2 + OH^{\circ}$	$\longrightarrow$	$H_2O + H^{\circ}$	b)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 2.5 a) การแตกตัวเป็นอิออนของน้ำ b) การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ
ที่มา : สายสนม (2540)

การฉายรังสีอาหารอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในอาหารได้ ซึ่งโดยหลักการแล้วจะต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุดและสามารถรักษาคุณภาพ รวมทั้งหลีกเลี่ยงการเกิดกลิ่นรสและรสชาติผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น รังสีจะทำปฏิกิริยากับวัตถุหรืออาหารที่นำมาฉายรังสีโดยการถ่ายทอดพลังงานไปยังอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited state) ถ้าพลังงานที่ถูกถ่ายทอดสูงมากพอ อิเล็กตรอนที่มีประจุลบจะสามารถออกมาจากโมเลกุลและกลายเป็นไอออนที่มีประจุบวก (Positive ion) ได้ การฉายรังสีทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในแต่ละครั้งเมื่อเกิดการกระตุ้น 2 ครั้ง แต่เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนจะเกิดขึ้นประมาณ 1,000 ครั้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นได้ ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสีต่อสิ่งมีชีวิตจึงอาจกล่าวได้ว่ามีสาเหตุล้วนมาจากการแตกตัวเป็นอิออนของโมเลกุล (Moseley, 1989)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อชนิดและขนาดของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในอาหารเนื่องจากรังสีได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนของอาหาร ซึ่งมีมากมายหลายชนิด การฉายรังสีทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชัน ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน องค์ประกอบของไขมัน และสารโปรออกซิแดนท์ (Pro-oxidants) นอกจากนั้นรังสียังทำให้โมเลกุลโปรตีนบางส่วนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ ความซับซ้อนของโมเลกุลของโปรตีน รวมทั้ง องค์ประกอบอื่น ๆ ทำให้มีบริเวณที่สามารถทำปฏิกิริยากับรังสีและทำให้เกิดสารที่ไม่ต้องการขึ้นได้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย

การฉายรังสีให้กับน้ำทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxy radicals, Hydrated electrons) และสารชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้เกิดอนุมูลโปรตีนอิสระ (Protein free radicals) และจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับโมเลกุลอื่น ๆ ในอาหาร อนุมูลอิสระจะไม่เสถียรในอาหารยกเว้นในบางสภาวะ ในการฉายรังสีเนื้อสัตว์และเนื้อไก่นั้นพบว่า รังสีทำให้เกิดสารระเหยหลายชนิด แต่รังสีไม่มีผลต่อกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในเนื้อสัตว์ ในส่วนของเอนไซม์พบว่ารังสีสามารถยับยั้งปฏิกิริยาเนื่องมาจากเอนไซม์ได้ในสภาวะที่เป็นสารละลายเจือจาง แต่เอนไซม์ในอาหารนั้นค่อนข้างทนต่อการฉายรังสี การยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในอาหารจะต้องใช้ปริมาณรังสีประมาณ 5-10 เท่าของปริมาณที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ (Frazier and Westhoff, 1988) ซึ่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ภายในเซลล์อาจดำเนินต่อหลังจากการทำลายจุลินทรีย์ ถ้าไม่ทำการลวก (blanching) เพื่อทำลายเอนไซม์ในอาหารก่อนการฉายรังสี

การฉายรังสีน้ำตาลในสภาวะบริสุทธิ์ ทำให้เกิดการสลายตัว (Degradation) อย่างเห็นได้ชัดเจน รวมทั้งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากแตกตัวจากรังสี การฉายรังสีแก่น้ำตาลที่อยู่ในสถานะของแข็งนั้นพบว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำตาลจะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงได้ แต่ผลของน้ำดังกล่าวจะแตกต่างจากผลการฉายรังสีแก่น้ำตาลที่อยู่ในรูปของสารละลาย อย่างไรก็ตามเนื่องจากอาหารหลายชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลสูงมักจะมีองค์ประกอบของน้ำในปริมาณสูง ดังนั้นน้ำตาลในอาหารเหล่านั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อผ่านการฉายรังสี

ปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณอนุมูลคาร์โบไฮเดรตอิสระ (Carbohydrate free radicals) เพิ่มมากขึ้น การขยายตัวของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ถ้าอาหารมีปริมาณความชื้นต่ำ อนุมูลคาร์โบไฮเดรตอิสระก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสตาร์ช เมื่อใช้รังสีปริมาณที่สูงขึ้น เป็นผลให้ความหนืดลดลงและความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชเพิ่มขึ้น รวมทั้งความเป็นกรดของสารละลายสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Subularse et al., 1991)

การฉายรังสีจะไม่มีผลต่อกรดไขมัน ยกเว้นกรดปาล์มิติก (Palmitic acid) ในซากไก่ที่นำฉายรังสีแกมมาขนาดประมาณ 2.0 kGy ภายใต้สภาวะที่ใช้ทางการค้า ซึ่งพบว่ากรดนี้จะมีปริมาณลดลงและกรดโอเลอิก (Ocleic acid) จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Katta et al, 1991)

การฉายรังสีมันฝรั่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและความเข้มข้นของสารฟีนอลเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของไขมันและฟอสโฟลิปิดลดลง (Mondy and Gosselin, 1989) และนอกจากรังสีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยตรงแล้ว อาจทำให้โครงสร้างของโปรตีนในระดับทุติยภูมิ (Secondary) และตติยภูมิ (Tertiary structure) เกิดการเปลี่ยนแปลงและอาจกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน เป็นผลให้ลักษณะทางสรีรวิทยาเปลี่ยนแปลงไปจนสังเกตได้ โดยเนื้อสัมผัสอาจอ่อนนุ่มลง มีความหนืดลดลงและค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) อาจเพิ่มขึ้น

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าโภชนาการ

มีรายงานการศึกษาผลของการฉายรังสีต่อการสลายตัวของวิตามินหลายชนิดในอาหาร แต่พบว่ามีการศึกษาน้อยมากเกี่ยวกับสารที่เกิดขึ้นหลังจากการฉายรังสีวิตามินเหล่านั้น โดยมีรายงานว่าวิตามินอีซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน จะมีความทนต่อการฉายรังสีต่ำที่สุด และวิตามินบีหนึ่ง (B_1) เป็นวิตามินที่ทนต่อการฉายรังสีต่ำที่สุดในบรรดาวิตามินที่ละลายน้ำทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงของวิตามินจะแตกต่างกันเมื่อผ่านการให้ความร้อนและการฉายรังสี แต่วิตามินที่ทนต่อการฉายรังสีได้น้อย จะสลายตัวได้ง่ายจากแสง ออกซิเจนหรือความร้อน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหลังจากผ่านการฉายรังสีแต่องค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีปริมาณน้อยอาจทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้ว ไธอามิน (Thiamine) วิตามินซี (Ascorbic acid) รวมทั้งวิตามินเอและอี เป็นวิตามินที่สลายตัวได้ง่ายที่สุดจากการฉายรังสี Jenkins *et al.* (1989) รายงานผลของการใช้รังสีปริมาณต่ำต่อปริมาณไธอามินในเนื้อสุกรบดที่บรรจุแบบสุญญากาศ โดยใช้ปริมาณรังสี 0.57, 1.91, 3.76, 5.52 และ 7.25 kGy เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสี พบว่ามีปริมาณไธอามินลดลง 7.7, 23.5, 38.1, 49.8 และ 57.6% ตามลำดับ ในส่วนของอาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินซี เช่น ผลไม้และผักจะสูญเสียวิตามินซีเพียงประมาณ 0-20% หลังการฉายรังสี (Skala *et al.* 1987)

2.3.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

จากกรณีการเกิดโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่มีในอาหารมีเพิ่มมากขึ้นในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ทำให้มีการศึกษาการฉายรังสีอาหารซึ่งสามารถทำลายเชื้อโรคเพิ่มมากขึ้น (Monk et al., 1995) โดยส่วนใหญ่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุนั้นไม่ทนต่อการฉายรังสีหรืออาจทนได้ไม่เกินกว่า 10 kGy อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่ทนต่อการฉายรังสีปริมาณสูงจะลดปริมาณลง ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่อาจจะทนต่อปัจจัยอื่นๆ ได้น้อยลง เช่น ความร้อน การเปลี่ยนแปลงค่า pH ความเข้มข้นของเกลือและยาปฏิชีวนะ เป็นต้น ดังนั้นการถนอมรักษาอาหารโดยการฉายรังสีจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นถ้าใช้วิธีการถนอมอาหารอื่น ๆ ร่วมด้วยในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

การฉายรังสีมีผลในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งโดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่โครโมโซม (Chromosome) ซึ่งมี DNA ที่มีลักษณะโมเลกุลวงแหวนประกอบด้วยคู่เบส (base pairs) หลายล้านคู่ จากการศึกษาพบว่ารังสีทำให้ DNA เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามรังสียังมีผลต่อโมเลกุลอื่น ๆ ที่ไม่ทนต่อรังสี (เช่น ในเมมเบรน) ซึ่งอาจเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลายได้เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากการฉายรังสีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในตัวจุลินทรีย์ ระยะการเจริญ ปริมาณของรังสี รวมทั้งความสามารถในการซ่อมแซมตนเอง การทนต่อรังสีของจุลินทรีย์จะแตกต่างไปตามสปีชีส์ (Species) หรือสายพันธุ์ (Strain) Adam และ Moss (1995) รายงานว่า แบคทีเรียชนิดแกรมลบ รวมทั้งพวกที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย พวกที่อยู่ภายในช่องทางเดินอาหารและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค จะทนต่อการฉายรังสีน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก การทนต่อการฉายรังสีสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้

แกรมลบ < แกรมบวก ≈ เชื้อรา < สปอร์ ≈ ยีสต์ < ไวรัส

ในส่วนของสปอร์แบคทีเรียจะทนต่อรังสีมากกว่าเซลล์ปกติ (Vegetative cells) ประมาณ 5-15 เท่าและโดยทั่วไปการทนต่อการฉายรังสีของเชื้อราจะใกล้เคียงกับเซลล์แบคทีเรียปกติ ส่วนยีสต์จะทนมากกว่าเชื้อราและแบคทีเรีย และไวรัสจะทนต่อการฉายรังสีมากที่สุดซึ่งรังสีปริมาณที่ใช้ทำลายแบคทีเรียจะไม่สามารถทำลายไวรัสได้ (Ingram and Roberts,1980) ประสิทธิภาพของรังสีในการทำลายแบคทีเรียจะขึ้นกับชนิดและสปีชีส์ของแบคทีเรียปริมาณเริ่มต้นของเซลล์ (หรือของสปอร์) สภาวะของเชื้อ สภาวะแวดล้อมของแบคทีเรีย เช่น ค่า pH อุณหภูมิและองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณของออกซิเจนและสภาวะทางกายภาพ (Physical state) ของอาหารขณะฉายรังสี (Jay, 1986 ; Monk et al., 1995) Monk และคณะ (1995) และ Radomyski et al. (1994) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารเมื่อผ่านการฉายรังสี และรายงานค่า D (D-Values) ของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร ซึ่งค่า D หมายถึงปริมาณของรังสีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ให้ลดลงไป 90% (หรือลดลงไป 1 log cycle) สำหรับแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคส่วนใหญ่มีค่า D ต่ำกว่า 1 kGy และแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 10 kGy ค่าปริมาณของรังสีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์บางชนิด แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของรังสีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดเมื่อผ่านการให้รังสี

จุลินทรีย์	(kGy)
Aeromonas hydrophila	0.04 – 3.40
Bacillus cereus (vegetative cells)	0.02 – 0.58
B. cereus (spores)	1.25 – 4.00
Campylobacter jejuni	0.08 – 0.32
Clostridium botulinum (vegetative cells)	0.41 – 3.20
C. perfringens (spores)	0.29 – 0.85
Escherichia coli	0.23 – 0.45
E. coli O157 : H 7	0.24 – 0.47
Listeria monocytogenes	0.25 – 0.77
Salmonella	0.37 – 0.80
Staphylococcus aureus	0.26 – 0.45
Yersinia enterocolitica	0.04 – 0.39
Vibrio	0.08 – 0.44
Clostridium sporogenes	2.30 – 10.90
Micrococcus radiodurans	12.70 – 14.10
Moraxella phenylpyruvica	0.63 – 0.88
Pseudomonas putida	0.08 – 0.11
Sporolactobacillus inulinus (spores)	2.10 – 2.58
S. inulinus (vegetative cells)	0.35 – 0.53
Streptococcus faecalis	0.65 – 0.70
Viruses	2.02 – 8.10

ที่มา : Barbosa-Canovas et al. (1998)

Prince of Songkla University Pattani Campus

แบคทีเรียแกรมลบที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียในเนื้อสัตว์แช่เย็นจะไม่ทนต่อการฉายรังสีและโดยปกติแบคทีเรียแกรมบวกเช่น *Lactobacilli* และ *Lactococci* จะทนต่อรังสีแกมมามากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ การทนต่อรังสีอาจเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่อาหารที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณต่ำ ดังนั้นการใช้รังสีปริมาณต่ำอาจจะทำลายแบคทีเรียแกรมลบแต่จะไม่ทำลายแบคทีเรียแลกติกที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกหมัก ทั้งนี้ความ

ปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากอันตรายเนื่องมาจากจุลินทรีย์จะได้รับการยอมรับมากขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการฉายรังสี

Loaharanu (1995) รายงานว่าอาหารทะเลที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาจะสามารถนำมาบริโภคได้อย่างปลอดภัยจากเชื้อ *Vibrio* spp. โดยเฉพาะ *V. cholera, V. parahaemolyticus* และ *V. vulnificus* ในส่วนของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์ปีกซึ่งมีเชื้อ *Salmonella* เป็นแบคทีเรียแกรมลบและทนต่อการฉายรังสีมากที่สุดชนิดหนึ่งพบว่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการทำลายเชื้อชนิดนี้จะสามารถทำลายแบคทีเรียก่อโรคอื่นๆชนิดแกรมลบได้ด้วย (Radomyski et al., 1994) ในผลิตภัณฑ์ไข่ที่ทำแห้งจะสามารถลดปริมาณเชื้อ *Salmonella* ลงได้ 4 – 5 log cycle เมื่อใช้รังสีปริมาณ 3 kGy ในสภาวะที่มีอากาศและปริมาณ 5 kGy ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการฉายรังสีพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง และ Lamuka และคณะ (1992) ศึกษาการใช้รังสีแกมมาปริมาณ 2.5 kGy กับซากไก่พบว่าสามารถชะลอการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้เป็นผลให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และการฉายรังสียังช่วยลดปริมาณเริ่มต้นของเชื้อ *Yersinia* และ *Campylobacter* ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สัตว์ปีกที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีตลอดระยะเวลาการเก็บ 18 วันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การใช้รังสีในการลดปริมาณหรือทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคพวกไซโครโทป (psychrotrophicpathogens) ที่ปนเปื้อนในอาหารแช่เย็นหรือแม้แต่ที่ 0 องศาเซลเซียส เช่น *Yersinia enterocolitica Aeromonas hydrophila* และ *Listeria monocytogenes* โดยใช้ร่วมกับเทคนิคเฮอร์เดิล (hurdles) อื่น ๆ สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้และมีผลเล็กน้อยต่อคุณภาพของอาหาร (Radomyski et al., 1994) โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียจะทนต่อรังสีไอออไนส์มากขึ้น ถ้าอยู่ในสภาวะแช่เยือกแข็ง (frozen state) หรือในสภาวะแห้ง (dehydrate) โดยสภาวะทั้งสองนั้นพบว่าผลทางอ้อมจากการแตกตัวของน้ำ เนื่องมาจากรังสีจะลดลงอย่างมาก ถ้านำอาหารไปฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำมากเพื่อที่จะลด ผลกระทบที่อาจทำให้เกิดลักษณะกลิ่นรสผิดปกติเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน แต่จากจุดประสงค์ที่แท้จริงในการฉายรังสี ซึ่งกระทำเพื่อทำลายหรือยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ปนเปื้อน ดังนั้นปริมาณรังสีที่ใช้จะต้องสูงมากพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าว ซึ่งจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยก่อนเป็นอันดับแรก (Moseley, 1989) ในส่วนเชื้อรานั้น Monk และคณะ (1995) รายงานว่าการฉายรังสีจะช่วยลดปริมาณเชื้อราในอาหาร แต่มีรายงานที่ยังไม่สรุปชัดเจนเกี่ยวกับผลจากการฉายรังสีที่ทำให้เชื้อราบางส่วนถูกทำลายแต่ในเชื้อราที่รอดชีวิตนั้นสามารถผลิตสารพิษขึ้นได้ภายหลัง ซึ่งการฉายรังสีอาจไปกระตุ้นหรือไม่มีผล หรือมีผลในการลดปริมาณสารพิษลง และการทำลายเชื้อจุลินทรีย์คู่แข่งชนิดอื่นจะทำให้เชื้อราสามารถผลิตสารพิษได้ในปริมาณมากกว่าในขณะที่มีเชื้ออื่นปะปนอยู่ในช่วงที่ยังไม่ฉายรังสี การรอดชีวิตของราหลังจากการฉายรังสีอาจทำให้เชื้อราเจริญได้รวดเร็วกว่าในอาหารที่มีเชื้อราคู่แข่งชนิดอื่นๆ อยู่ด้วย จากกระบวนการฉายรังสีทำให้เกิดความวิตกกังวลว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจะก่อให้เกิดอันตราย หรือมี

คุณสมบัติต้านหรือทนต่อการฉายรังสีเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามคณะทำงานเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหารฉายรังสีระหว่างประเทศ มิได้นิ่งนอนใจหรือมองข้ามปัญหาเหล่านี้และมี รายงานจากองค์การอนามัยโลก (WHO, 1994) โดย International Advisory Group รายงานว่า ไม่พบหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีอาหารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ซึ่งจะทำให้เพิ่มระดับความรุนแรงในการก่อให้เกิดโรคหรือมีความต้านทานต่อการฉายรังสีเพิ่มขึ้น

นอกจากนั้นยังรายงานโดยอาศัยสมมุติฐานในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (Worst – case assumption) ที่จะเกิดขึ้นในการฉายรังสีอาหารซึ่งได้แก่การก่อให้เกิดสารกัมมันตรังสีนั้น พบว่าสารดังกล่าวจะเกิดขึ้นน้อยกว่าระดับปริมาณทั่วไปที่พบในอาหารตามธรรมชาติและการฉายรังสีทางการค้าจะไม่ก่อให้เกิดสารกัมมันตรังสีในอาหารขึ้นได้ ในปี ค.ศ. 1993 American Medical Association Council on Scientific Affairs ยืนยันว่าการฉายรังสีอาหารเป็นวิธีการที่ปลอดภัยและให้ผลดีในการเพิ่มความปลอดภัยของอาหารตามกฎหมายของประเทศ การศึกษาเกี่ยวกับอาหารฉายรังสีในเรื่องของความปลอดภัยทั้งทางด้านจุลินทรีย์ คุณค่าทางโภชนาการ การกลายพันธุ์เนื่องจากผลของรังสีและความเป็นพิษของอาหารฉายรังสีพบว่ามีรายงานการศึกษามากมายและอาจกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้นั้นช่วยประกันความปลอดภัยของอาหารฉายรังสีได้ในระดับหนึ่ง

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.5 การประยุกต์ใช้รังสีทางการค้า

ในปัจจุบันทั่วโลกมีโรงงานผลิตอาหารฉายรังสีทางการค้าประมาณ 30 โรงงาน ทั้งที่เป็นโรงงานนำร่องและโรงงานที่ผลิตทางการค้าซึ่งอยู่ใน 35 ประเทศ (Barbosa-Canovas et al.,1998) และมีจำนวนของโรงงานฉายรังสีทางการค้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การฉายรังสีอาหารมีศักยภาพสูงในการทำลายแมลง ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เสื่อมเสีย ชะลอการสุกและเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อประเทศที่กำลังพัฒนา (Loaharanu, 1995) การใช้รังสีปริมาณต่ำ 0.05 - 0.15 กิโลเกรย์ มีผลในการยับยั้งการงอกของพืชหัวและพวกลำต้นใต้ดิน เช่น มันฝรั่ง หอมใหญ่และกระเทียม เป็นต้น โดยการยับยั้งการงอกของพืชดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากรังสีได้เข้าทำลาย DNA ในเซลล์ที่อยู่ในระยะพักตัว บริเวณปลายยอดทำให้การแบ่งเซลล์หยุดชะงักลง ปริมาณรังสี 0.15 - 0.50 กิโลเกรย์ มีประสิทธิภาพในการทำลายแมลงในธัญพืชและผลิตภัณฑ์รวมทั้งผักผลไม้สดและผลิตภัณฑ์อบแห้ง แมลงจะตายถ้าได้รับรังสีค่อนข้างต่ำปริมาณ 0.01-1.00 กิโลเกรย์ โดยรังสีไม่ก่อให้เกิดผลเสียในอาหารดังกล่าว นอกจากนั้น รังสียังใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง พืชตระกูลถั่ว แป้งข้าวโพด กาแฟ โกโก้ ถั่วเหลือง รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทำแห้งอื่นๆ เช่นปลาแห้ง ผลไม้ทำแห้ง ถั่วและยาสูบ เป็นต้น ซึ่งปริมาณรังสีที่จะใช้ในการทำลายแมลงขึ้นอยู่กับชนิดของแมลง การฉายรังสีไม่สามารถป้องกันการย้อนกลับเข้าทำลายของแมลง ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะต้องใช้วิธีการหรือภาชนะบรรจุที่เหมาะสมเพื่อป้องกันเหตุการณ์

ดังกล่าวการประยุกต์ใช้รังสีที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือการทำลายแมลงที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลไม้สดในเขตร้อน เช่น มะละกอ มะม่วงและพืชตระกูลส้ม ซึ่งถูกทำลายโดยแมลงวันผลไม้ (Fruit files) และแมลงอื่น ๆ ซึ่งประเทศที่นำเข้าผลไม้เหล่านี้มีมาตรการที่เข้มงวดในการควบคุมไม่ให้แมลงเหล่านี้เล็ดลอดเข้าประเทศ การใช้สารเคมี Ethylene dibromide (EDB) รมผลไม้เป็นวิธีการที่มักใช้เพื่อทำลายแมลงดังกล่าว แต่การใช้สารนี้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถก่อมะเร็งและยังตกค้างในผลไม้ จึงมีการห้ามใช้ในหลายประเทศ ในรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้รังสีปริมาณ 0.15 กิโลเกรย์ เพื่อทำลายแมลงที่ทำให้มะละกอเสื่อมเสียได้ ปริมาณรังสี 0.5 – 1.00 กิโลเกรย์ จะชะลอระยะบริบูรณ์ของผักและผลไม้สด เช่น กล้วย มะม่วง ส้ม มะละกอ และเห็ด การยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอรี่หรือผลไม้อื่น ๆ รวมทั้งเนื้อปลาและเนื้อสัตว์ สามารถทำได้โดยการฉายรังสีขนาด 1.5 – 3.0 กิโลเกรย์ ซึ่งเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ ได้แก่แบคทีเรียและเชื้อราที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย การฉายรังสีให้ผลไม้สดจะสามารถกระทำได้โดยใช้ปริมาณรังสีที่ต่ำกว่า 3 กิโลเกรย์ เนื่องจากรังสีปริมาณที่สูงกว่าระดับนี้จะทำให้ผลไม้อ่อนนุ่มลงและสูญเสียคุณภาพ การใช้รังสีถนอมรักษาอาหารแช่เยือกแข็งทำโดยใช้รังสีขนาด 2-3 กิโลเกรย์ ร่วมกับการเก็บอาหารที่ 0 – 3 องศาเซลเซียส จะสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น การใช้รังสีแกมมาขนาด 2 กิโลเกรย์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในซากไก่ไปได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยไม่มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ ในเครื่องเทศและเครื่องเทศผง ซึ่งปนเปื้อนจากสปอร์ของแบคทีเรียและเชื้อรา รังสีขนาด 10 กิโลเกรย์ สามารถทำลายเชื้อและสปอร์เหล่านี้ได้โดยไม่มีผลเสียต่อคุณภาพ

การประยุกต์ใช้รังสีในการถนอมอาหารเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการต่าง ๆ เช่น ช่วยในการเพิ่มอัตราการทำแห้งของผักเพื่อใช้ในซุปผง เพิ่มผลผลิตของน้ำผลไม้ เช่น น้ำองุ่นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการทำไวน์ เพิ่มอัตราการทำแห้งผลไม้เช่นลูกพรุน ลดเวลาในการทำถั่วอบแห้ง เพิ่มขนาดของขนมปังที่ทำจากแป้งในสูตรที่เติมน้ำตาลเล็กน้อย ลดปริมาณของข้าวบาร์เลย์ที่ต้องใช้ในการผลิตเบียร์โดยเพิ่มผลผลิตของมอลต์ เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนทางด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิตอาหารฉายรังสีกับวิธีการทำอาหารบรรจุกระป๋อง การแช่เย็นหรือแช่แข็งอาหารพบว่าการฉายรังสีใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน (Loaharanu, 1995)

2.3.6 กฎหมายเกี่ยวกับการฉายรังสีอาหาร

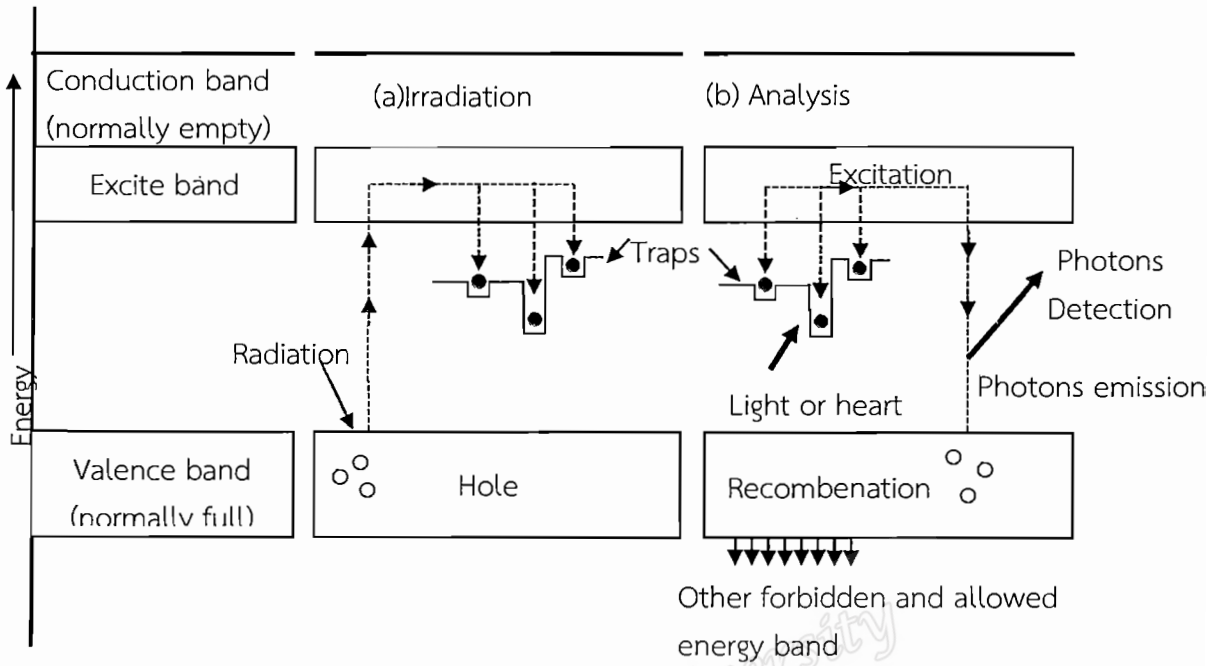
The Joint Expert Committee และ Codex Alimentarius ได้ออกมาตรฐาน "The Codex General Standard for Irradiated Foods" ในปี ค.ศ. 1983 ซึ่งใช้กันในหลายประเทศ ขณะเดียวกันบางประเทศใช้ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก โดยใช้ปริมาณรังสีในการถนอมรักษาอาหารสูงสุดไม่เกิด 10 กิโลเกรย์ และใช้เครื่องวัดปริมาณของรังสีที่เรียกว่า Dosimeter และในบางประเทศจะต้องระบุบนฉลากอาหารด้วยคำว่า "ฉายรังสีหรือถนอมรักษาโดยการฉายรังสี" (Irradiated, Treated

with Radiation, Radura, Protected by Ionization หรือ Treated by Irradiation) และมีเครื่องหมาย Radura ดังภาพที่ 2.6 โดยต้องระบุทั้ง 2 อย่างหรืออย่างใดอย่างหนึ่งโดยแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ

ภาพที่ 2.6 เครื่องหมาย Radura บนผลิตภัณฑ์อาหารฉายรังสี

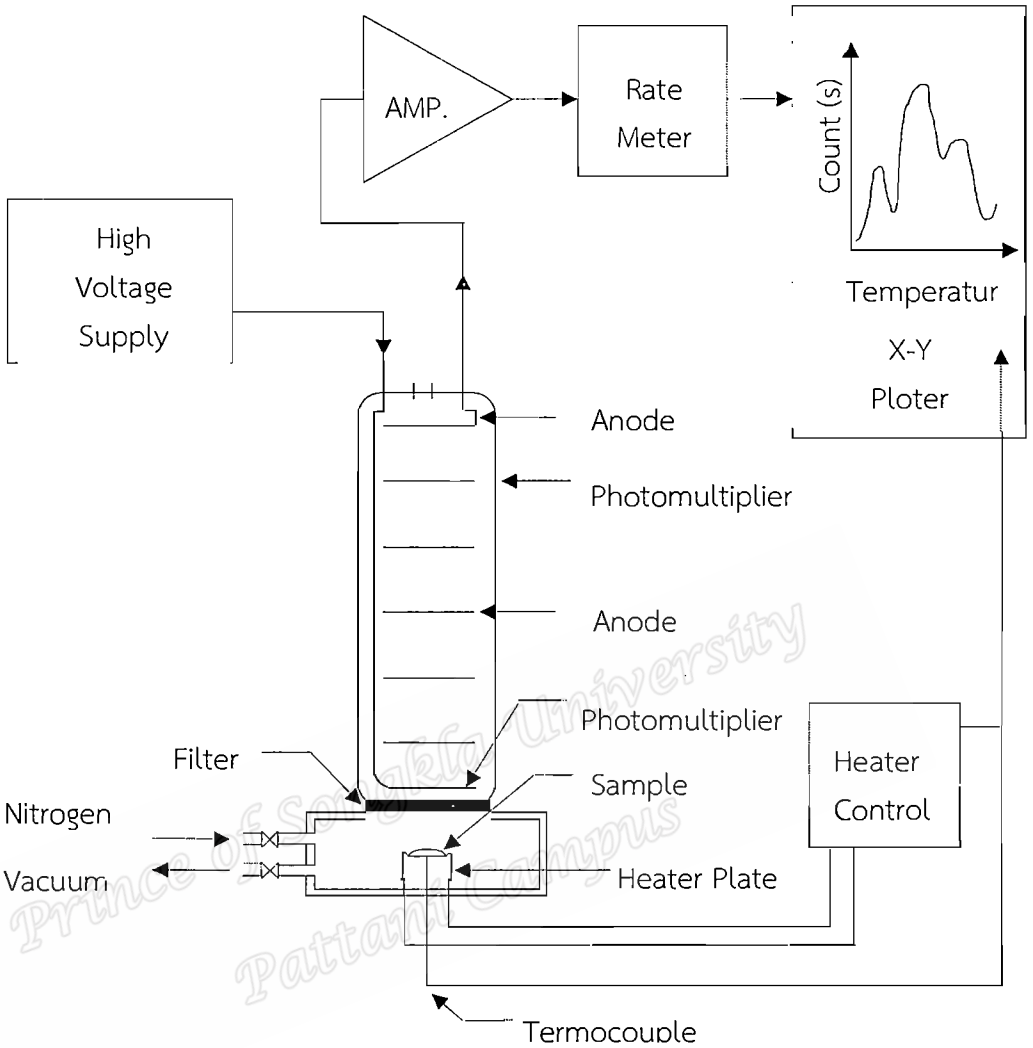
2.4 หลักการพื้นฐานของเทอร์โมลูมิเนสเซนส์

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่วัตถุปลดปล่อยรังสีในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น เมื่อผลึกอาบด้วยรังสีที่ก่อไอออนจนอิเล็กตรอนในผลึกมีพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงานในเวเลนซ์แบนด์ (Valence Band) อิเล็กตรอนจะแพร่ขึ้นไปอยู่ในชั้นคอนดักชันแบนด์ (Conduction Band) และถูกดักจับไว้ในหลุมกับดักอิเล็กตรอน โดยที่ปริมาณของอิเล็กตรอนในหลุมกับดักจะเป็นปฏิภาคกับปริมาณรังสีที่ได้รับและเมื่อนำผลึกที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในหลุมกับดักมากระตุ้นด้วยความร้อน ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในหลุมกับดักหลุดออกมาและกลับสู่ชั้นเวเลนซ์แบนด์โดยการปลดปล่อยรังสีในรูปแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ดังภาพที่ 2.7



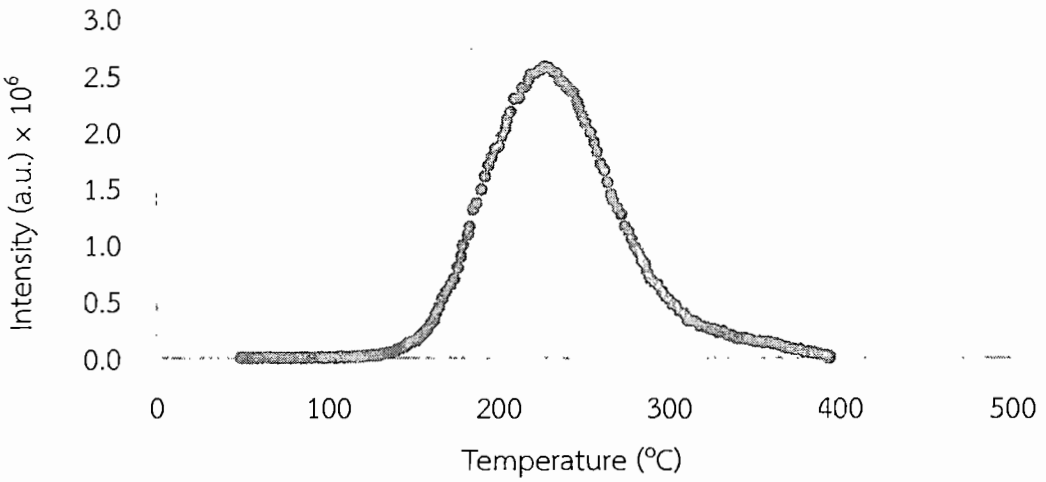
ภาพที่ 2.7 แสดงการเกิดลูมิเนสเซนซ์ของผลึก

Prince of Songkla University
Pattani Campus



ภาพที่ 2.8 หลักการทำงานของการเกิดสัญญาณการตอบสนองเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

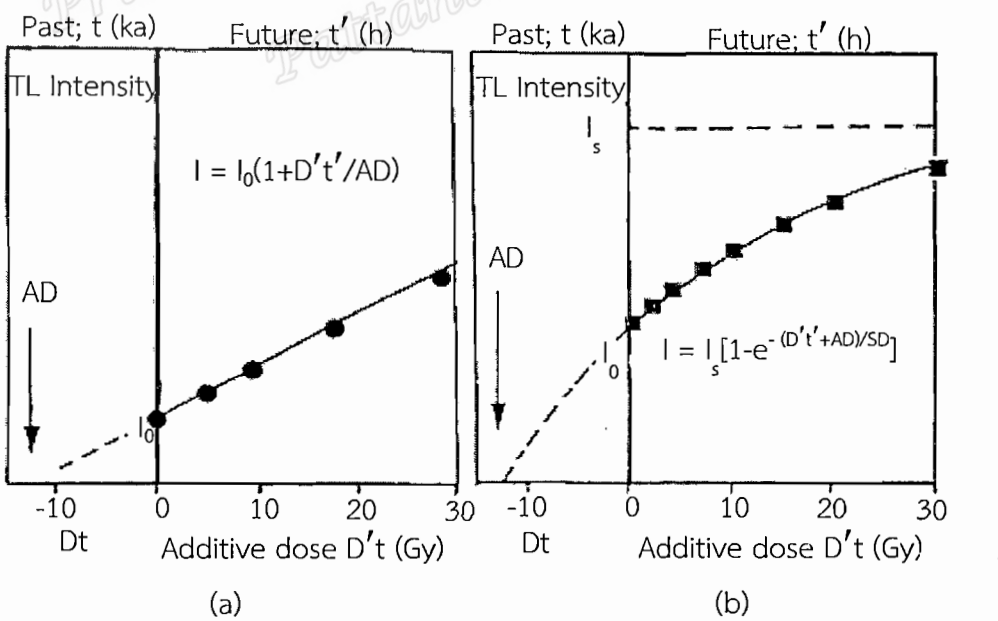
เมื่อให้ความร้อนแก่ผลึกเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์วัดปริมาณแสงที่ออกมา ณ อุณหภูมิต่างๆ นำค่าที่ได้เขียนกราฟระหว่างความเข้มกับอุณหภูมิจะได้กราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า “Glow-Curve” ดังภาพที่ 2.9 โดยความสูงของจุดสูงสุด (Peak) หรือพื้นที่ใต้กราฟจะมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคกับปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ โดยจุดตัดแกน x ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.10 ได้จากการเขียนกราฟระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสีที่ได้จากวิธีแบ่งย่อยตัวอย่างหลายๆ ชุด (Additive Dose) มีแนวโน้มความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและแบบอิ่มตัว กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสีมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (ภาพที่ 2.10a)



ภาพที่ 2.9 กราฟระหว่างความเข้มกับอุณหภูมิจะได้กราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า "Glow-Curve"

ในกรณีที่หลุมกับดักอิเล็กตรอนลึกซึ่งสามารถบรรจุอิเล็กตรอนในหลุมได้จำนวนมาก หรือบรรจุอิเล็กตรอนได้เป็นระยะเวลานาน กรณีที่เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสี แล้วมีแนวโน้มเป็นแบบอิ่มตัว (ภาพที่ 2.10b) ก็ต่อเมื่อหลุมกับดักอิเล็กตรอนตื้นซึ่งสามารถบรรจุอิเล็กตรอนเข้าไปในหลุมได้น้อย พอถึงจุดๆหนึ่งที่หลุมกับดักเต็ม แนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสีจะเกิดการอิ่มตัว

Prince of Songkla University Pattani Campus



ภาพที่ 2.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับปริมาณรังสีที่ได้จากวิธี Additive (Ikeya, 1993)

โดยส่วนใหญ่แล้วการอาบรังสีเพิ่มเข้าไปในตัวอย่างจะใช้วิธีแบ่งย่อยตัวอย่างหลายๆ ชุด (Additive Dose) อาบรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ในปริมาณโดสต่ำๆ แล้วเพิ่มปริมาณโดสขึ้นไปเรื่อยๆ ส่งผลให้ความเข้มแสงที่ปลดปล่อยออกมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นปฏิภาคกับปริมาณรังสีที่ได้รับ (Q) มีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาณรังสีที่ได้จากวิธี Additive (D′) และเวลาการอาบรังสี (t′) ได้ว่า Q = D′t′ จากกราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 2.10a

กำหนดให้ AD = Dt และเมื่อ Q = D′t′ จะได้

$$I = I_0\left(1+\frac{Q}{AD}\right) \tag{2.1}$$

เมื่อ I_0 และ I คือ ความเข้มสัญญาณก่อนและหลังการอาบรังสี
Q คือ ปริมาณรังสีที่ได้รับจากวิธี Additive ที่เวลา t′
AD คือ ปริมาณรังสีสะสม (Accumulated Dose)

กรณีความเข้มกับอุณหภูมิมีแนวโน้มเป็นแบบอิ่มตัว (ภาพที่ 2.18b) จะได้

$$I = I_s(1-e^{-(D't'+AD)/SD}) \tag{2.2}$$

เมื่อ I_s คือ ความเข้มข้นที่อิ่มตัว
SD คือ ปริมาณการอาบรังสีที่อิ่มตัวและมีค่าเท่ากับการอาบรังสี D′

Prince of Songkla University Pattani Campus

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ทำโดยการซื้อจากผู้ประกอบการในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี

3.1.1.2 น้ำแข็ง

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl)

3.1.2.2 สารละลายไธโอบาบิทูริก (2-Thiobarbituric)

3.1.2.3 Antifoaming agent

3.1.2.4 กรดอะซิติก (Acetic acid; CH_3COOH)

3.1.2.5 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.1.3 วัสดุ อุปกรณ์

3.1.3.1 ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ (beaker) หลอดทดลอง (test tube) กระบอกตวง (cylinder) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขวดก้นกลม (round bottom flask)

3.1.3.2 วัสดุเครื่องครัว เช่น มีด ช้อน เขียง ทัพพี

3.1.3.3 ลังโฟม

3.1.3.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.3.5 ครกบด

3.1.3.6 ตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร

3.1.4 เครื่องมือ

3.1.4.1 เครื่องเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ รุ่น Harshow-3500

3.1.4.2 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 Gammacell 220 Excel

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.1.4.3 เครื่องวัดสี รุ่น Mini huter lab

3.1.4.4 ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)

3.1.4.5 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.4.6 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนสี รุ่น Genesys 10S UV-Vis/Thermo sciencefic

3.1.4.7 เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)

3.1.4.8 เครื่องแกมมาสเปกโตรเมตตรีชนิดหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาผลของรังสีแกมมาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)

การศึกษาผลของรังสีแกมมาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) โดยข้าวเกรียบปลาแบบสด ถูกผลิตจากโรงงานผลิตข้าวเกรียบในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ โดยการซื้อจากผู้ประกอบการในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ถูกขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนปิดผนึกแบบธรรมดาซึ่งยังมีอากาศอยู่ภายในถุงทันทีหลังการผลิตเสร็จขนส่งไปฉายรังสีแกมมาด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยใช้ความแรงรังสีตั้งแต่ 0, 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ โดยบรรจุในลังโฟมที่มีน้ำแข็ง (อัตราส่วนน้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์ 1:1 โดยน้ำหนัก)

เมื่อฉายรังสีข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) เสร็จ ขนส่งมายังภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ โดยบรรจุในลังโฟมที่มีน้ำแข็ง (อัตราส่วนน้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์ 1:1 โดยน้ำหนัก) จัดแบ่งข้าวเกรียบปลา เพื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะการเก็บรักษาต่างกัน 2 สภาวะ คือ

1) เก็บในห้องปรับอากาศ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 75±1

2) เก็บแช่เย็นในห้องควบคุมอุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 41±1

สุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 7, 15, 20 และ 30 วัน เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ ทางจุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

1) ตรวจวัดปริมาณความชื้น

(1) อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เวลา 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงชั่งน้ำหนัก

Prince of Songkla University Pattani Campus

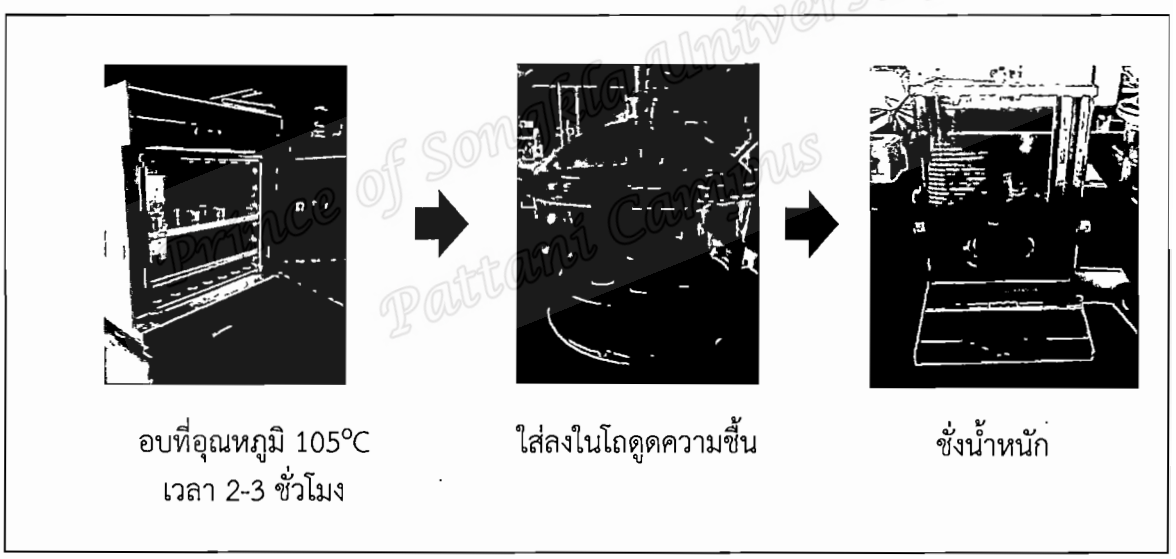
(2) กระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

(3) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง

(4) นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำ กลับไปเข้าตู้อบและกระทำซ้ำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณความชื้น

2) ตรวจวัดปริมาณเถ้า

(1) เผาถ้วยกระเบื้อง (crusible) ในเตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เอาออกมาใส่ในโถดูดความชื้น นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกค่า

(2) นำถ้วยกระเบื้องไปอบอีกครั้งตามข้อ 1 ชั่งน้ำหนักโดยที่น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 30 มิลลิกรัม

(3) ชั่งตัวอย่างที่แห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

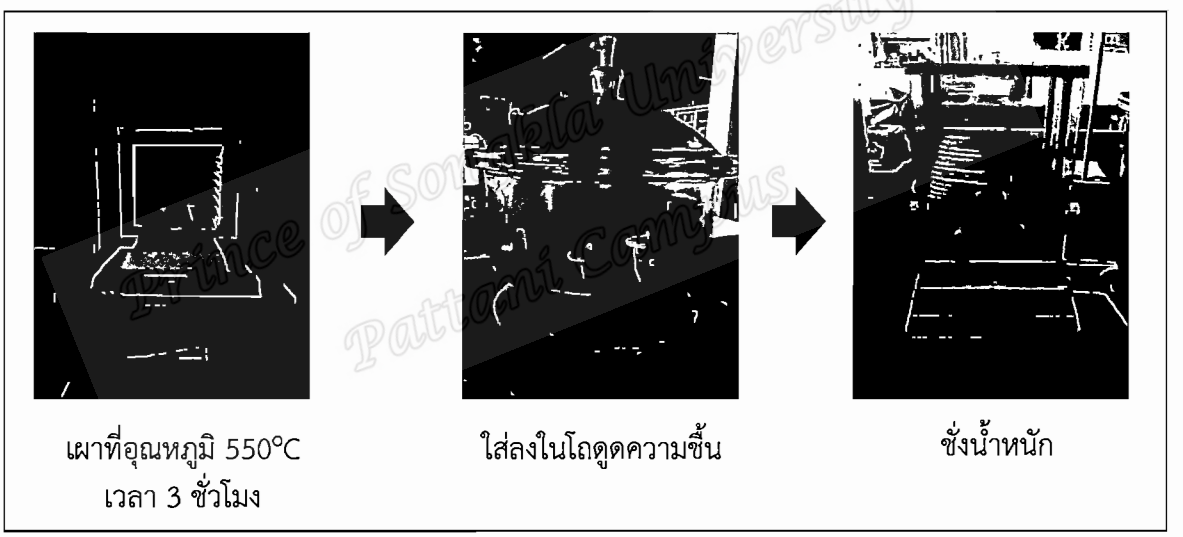
(4) นำถ้วยกระเบื้องไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จากนั้นทำตามข้อ 1-2 แล้ว คำนวณดังสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

W_1 = น้ำหนักคงที่ของถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

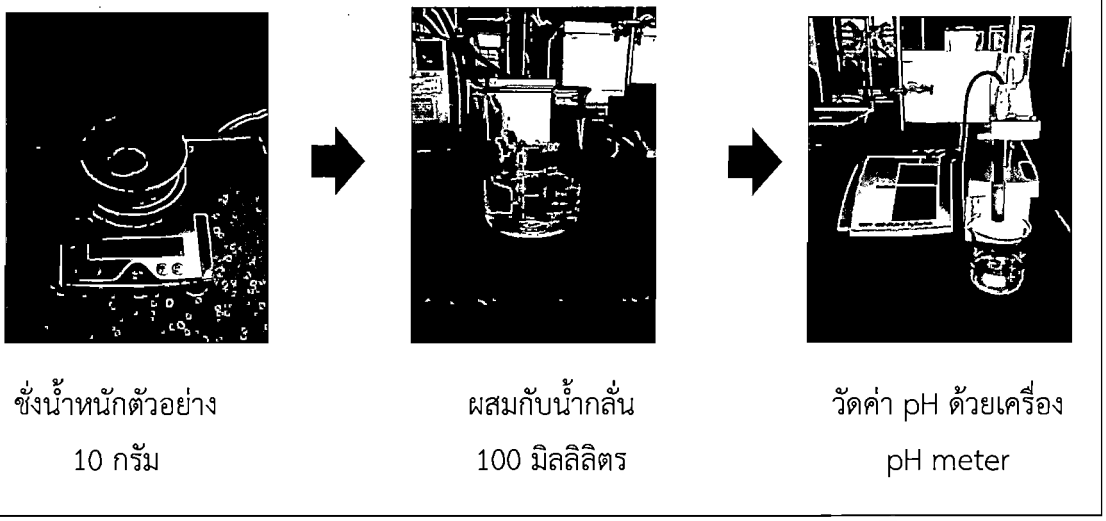
W_2 = น้ำหนักของเถ้าและถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณเถ้า

3) ตรวจวัดค่า pH

ตรวจวัดค่า pH โดยชั่งตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10) ปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์จนเป็นเนื้อเดียวกัน และวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การตรวจวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

3) วิเคราะห์ค่าการหืน

วิเคราะห์ค่าการหืน (Thiobarbituric acid-reaction substance : TBARs) (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

(1) ชั่งตัวอย่างน้ำหนักอย่างละเอียด 10 กรัม ปั่นให้ละเอียดกับน้ำ 50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์นาน 2 นาที ถ่ายลงในขวดก้นกลมกลั้วน้ำด้วยกลั่น 47.5 มิลลิลิตร เติม 4 N กรดไฮโดรคลอริก 2.5 มิลลิลิตร

(2) เติม glass bead 2-3 เม็ด และแอนตี้โฟมมิงเอเจนท์ 0.5 มิลลิลิตร

(3) นำไปกลั่นให้ได้ distrillate ประมาณ 50 มิลลิลิตร

(4) ใช้ปิเปตถ่ายสารละลายตัวอย่างในข้อ 3. จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่แห้ง เติม TBARs reagent 5 มิลลิลิตร (ละลาย 2-ไทโอบาบิทูริกแอซิดใน 90% กรดแอซิติก) ปิดฝา เขย่าให้ผสมเข้ากันดี นำไปต้มในน้ำเดือด 35 นาที

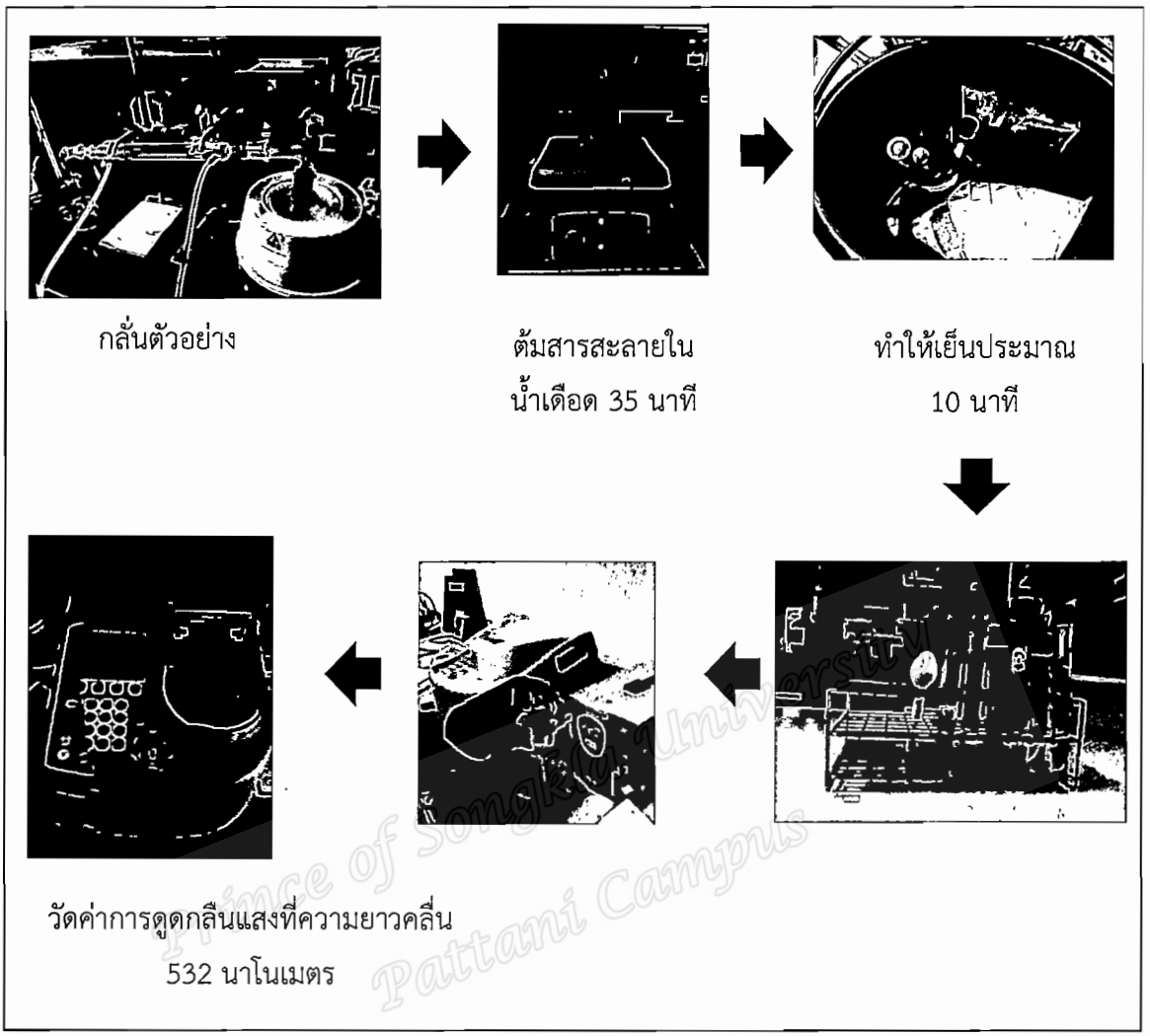
(5) ทำให้เย็นลงโดยการแช่ในน้ำเย็นประมาณ 10 นาที

(6) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

(7) คำนวณค่า TBA ในรูปของ malondaldehyde โดยคำนวณด้วยเฟคเตอร์ 7.8

(8) รายงานค่า TBA เป็น mg malonaldehyde/kg.sample

Prince of Songkla University Pattani Campus



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าการหืน

3.2.1.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

วัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a*, b* โดยใช้เครื่อง Mimi hunter lab โดยวัดตรงบริเวณผิวด้านนอกและผิวด้านในของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) โดยการวัดค่าสีบริเวณผิวด้านในให้วัดตรงบริเวณหน้าตัดของท่อนข้าวเกรียบ แต่ละบริเวณจะวัดเป็นจำนวน 10 ชุด

วัดตรงบริเวณผิวด้านนอกและผิวด้านในตรงบริเวณหน้าตัด
ของท่อนข้าวเกรียบ

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a*, b* โดยใช้เครื่อง Mimi hunter lab

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.2.1.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Mesophilic Bacteria และ Psychrotrophilic Bacteria), Coliform Bacteria, Escherichai Coli, Staphylococcus Aureus, yeats and mold ตามวิธีของ BAM (2002) โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์อาหารฮาลาล ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

3.2.1.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส เป็นตัวอย่างชุดเดียวกันกับการศึกษาข้อที่ 3.2.1 ก่อนทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส เตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control ; 0 กิโลเกรย์) และข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี (ของตัวอย่างวันที่ 1) ระดับความแรงรังสี 1 กิโลเกรย์ มาจุ่มลงในน้ำร้อนให้อุณหภูมิตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส หั่นตัวอย่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด ความยาว 3 เซนติเมตร ความกว้าง 1 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้นักศึกษาและประชาชนทั่วไปในเขตสถานศึกษาและย่านการค้าภายใน อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี จำนวน 30 คน โดยออกแบบแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยทดสอบปัจจัยด้าน สี กลิ่นปลา รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบ

3.2.2 ขั้นตอนการฉายรังสีและตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่ระดับความแรงต่างๆ

การตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่ผ่านฉายรังสีแกมมาที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวอย่างชุดเดียวกันกับการศึกษาข้อที่ 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างทำโดยการหั่นตัวอย่างเป็นชิ้นขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงหรืออบจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นประมาณร้อยละ 20 ของมาตรฐานแห้ง บดตัวอย่างให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 150 กรัม บรรจุกระปุกและจดบันทึกค่าที่แน่นอน จากนั้นนำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมาที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ด้วยเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel ในปริมาณโดส 0, 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe

3.2.3 ขั้นตอนทดสอบลักษณะการตอบสนองของรังสีด้วยสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนต์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ

การทดสอบลักษณะการตอบสนองของรังสีด้วยสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวอย่างชุดเดียวกันกับการศึกษาข้อที่ 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ทำโดยการหั่นเป็นชิ้นขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงหรืออบจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของมาตรฐานแห้ง บดตัวอย่างให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.02 กรัม จดบันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในถุงใส ปิดปากถุงให้สนิทโดยใช้เครื่องผลึกปิดไว้ จากนั้นบรรจุในกล่องฟิล์มอีกครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้ถูกแสงทุกขั้นตอน นำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมาที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ที่ปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel ในปริมาณรังสี 0, 1, 2, 4, 6, 8, และ 10 กิโลเกรย์ นำไปวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ ด้วยเครื่อง Thermoluminescence รุ่น Harshaw 3500

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาผลของรังสีแกมมาคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)

ข้าวเกรียบปลาแบบสดถูกผลิตจากโรงงานผลิตข้าวเกรียบในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ถูกขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนปิดผนึกแบบธรรมดาซึ่งยังมีอากาศอยู่ภายในถุงทันทีหลังการผลิตเสร็จขนส่งไปฉายรังสีแกมมาด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยใช้ความแรงรังสีตั้งแต่ 0, 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ โดยบรรจุในลังโฟมที่มีน้ำแข็ง (อัตราส่วนน้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์ 1:1 โดยน้ำหนัก) เมื่อฉายรังสีข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) เสร็จ ขนส่งมายังภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ โดยบรรจุในลังโฟมที่มีน้ำแข็ง (อัตราส่วนน้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์ 1:1 โดยน้ำหนัก) จัดแบ่งข้าวเกรียบปลา เพื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะการเก็บรักษาต่างกัน 2 สภาวะ คือ

1) เก็บในห้องปรับอากาศ อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 75±1

2) เก็บแช่เย็นในห้องควบคุมอุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 41±1

สุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 7, 15, 20 และ 30 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 คุณภาพทางเคมี

4.1.1.1 ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปรับอากาศ ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 1) เท่ากับร้อยละ 56.34±0.52% แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่หนึ่ง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

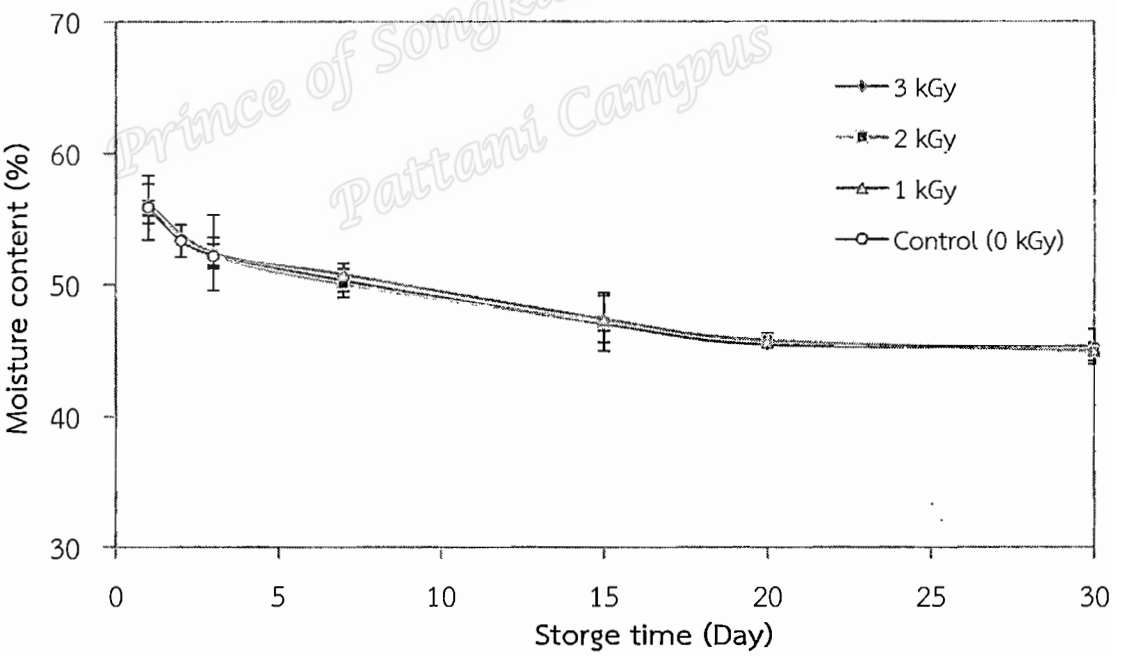
เมื่อตัวอย่างเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 56.31±1.23% โดยมีปริมาณความชื้นลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานสองวัน เท่ากับ 56.14±0.91% ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 55.95±0.52% โดยปริมาณความชื้นลดลงเท่ากับ 55.24±0.1% เมื่อเวลานาน 2 วัน แต่เนื่องจากชุดการทดลอง 1 และ 2 กิโลเกรย์ ปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อม

Prince of Songkla University Pattani Campus

เสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สอง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 55.23±1.28% ลดลงเท่ากับ 54.45±0.63% เมื่อเวลานาน 3 วัน แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สาม ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

เมื่อพิจารณาเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็น ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 1) เท่ากับร้อยละ 55.86±2.45% และมีค่าปริมาณความชื้นลดลงจนมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 52.15±0.93% ในวันที่ 3 ของการเก็บ เมื่อตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2, 3 กิโลเกรย์ มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 56.15±1.50%, 55.85±0.53%, 55.77±0.56% ตามลำดับ และปริมาณความชื้นของเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดลดลงอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บ และลดลงจนมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 45.01±0.45%, 44.91±0.67%, 45.31±1.32% ตามลำดับ ในวันที่ 30 ของการเก็บ

Prince of Songkla University Pattani Campus



ภาพที่ 4.1 ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์

Moisture content (%)								
Storage time (Day)	Dose (kGy)							
	25°C				4°C			
	0 (Control)	1	2	3	0 (Control)	1	2	3
1	56.34±0.52	56.31±1.23	55.95±0.52	55.23±1.28	55.86±2.45	56.15±1.50	55.85±0.53	55.77±0.56
2	NA	56.14±0.91	55.24±0.13	55.12±1.12	53.32±1.23	NA	NA	NA
3	NA	NA	NA	54.45±0.63	52.15±0.93	52.43±2.88	52.27±0.81	52.44±1.14
7	NA	NA	NA	NA	NA	50.76±0.43	50.03±0.57	50.31±1.30
15	NA	NA	NA	NA	NA	47.38±1.78	47.16±2.21	47.02±0.54
20	NA	NA	NA	NA	NA	45.71±0.17	45.81±0.46	45.43±0.18
30	NA	NA	NA	NA	NA	45.01±0.45	44.91±0.67	45.31±1.32

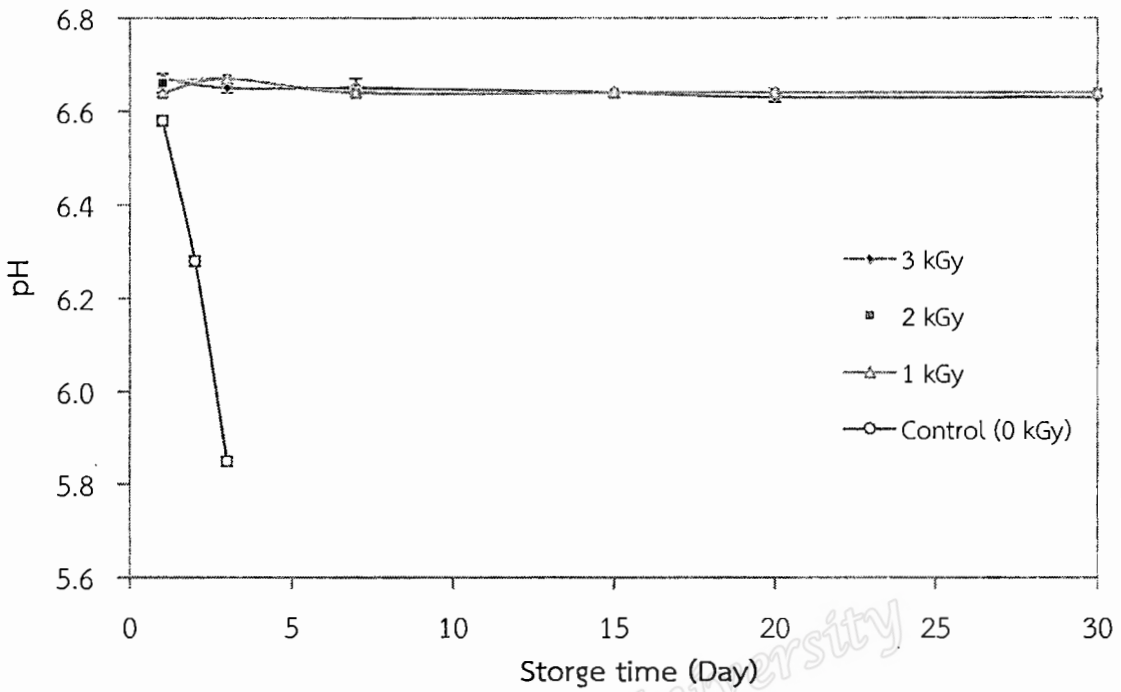
Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.1.2 ค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปรับอากาศ ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 0) เท่ากับ 6.47±0.01 แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่หนึ่ง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมา ปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดเท่ากับ 6.53±0.01และมีค่าพีเอชลดลง เมื่อเก็บนานสองวัน เท่ากับ 5.04±0.01 ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.53±0.01 และลดลงเท่ากับ 5.07±0.01 เมื่อเวลานานสองวัน แต่เนื่องจากชุดการทดลอง 1 และ 2 กิโลเกรย์ ปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สอง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.54±0.01 และมีค่าพีเอชลดลงเท่ากับ 5.02±0.01 เมื่อเวลานาน 3 วัน แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สาม ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่พบว่ามีการเสื่อมเสีย ค่าพีเอชที่ลดลงของผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดแล็กทิกที่ผลิตจาก Lactic acid bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรียหนึ่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์และยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Borch *et al*., 1996; Murthy *et al*., 1997)

เมื่อพิจารณาเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็น ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.14 พบว่าค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่1) เท่ากับ 55.86±2.45 และมีค่ามีค่าพีเอชลดลงเท่ากับร้อยละ 52.15±0.93 ในวันที่สามของการเก็บ เมื่อตัวอย่างผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 6.64±0.00, 6.66±0.00 และ 6.67±0.01 ตามลำดับในวันที่ 1 และมีค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดเป็นเวลา 30 วัน



ภาพที่ 4.2 ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์

	pH							
Storage time (Day)	Dose (kGy)							
	25°C				4°C			
	0 (Control)	1	2	3	0 (Control)	1	2	3
1	6.47±0.01	6.53±0.01	6.53±0.01	6.54±0.01	6.58±0.01	6.64±0.00	6.66±0.00	6.67±0.01
2	NA	5.04±0.01	5.07±0.01	5.16±0.01	6.28±0.01	NA	NA	NA
3	NA	NA	NA	5.02±0.01	5.85±0.01	6.67±0.01	6.67±0.00	6.65±0.01
7	NA	NA	NA	NA	NA	6.64±0.00	6.64±0.00	6.65±0.02
15	NA	NA	NA	NA	NA	6.64±0.01	6.64±0.01	6.64±0.00
20	NA	NA	NA	NA	NA	6.64±0.00	6.64±0.00	6.63±0.01
30	NA	NA	NA	NA	NA	6.64±0.00	6.64±0.00	6.63±0.00

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.1.3 ค่าทีบีเอ (TBA Value)

การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปรับอากาศ ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 0) เท่ากับ 2.01±0.03 แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่หนึ่ง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

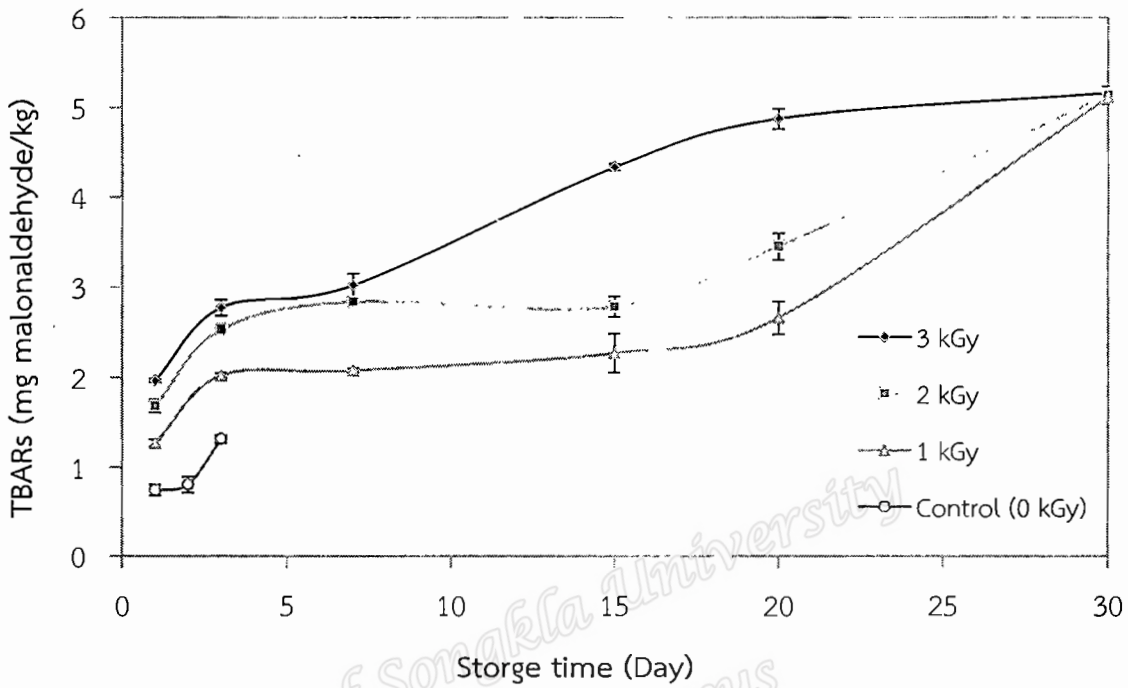
เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมา ปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีค่า TBA ของข้าวเกรียบปลาแบบสดเท่ากับ 2.36±0.04±0.04 และมีค่า TBA เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนานสองวัน เท่ากับ 3.15±0.11 ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ มีค่า TBA เท่ากับ 2.37±0.11 และเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.34±0.10 เมื่อเวลานานสองวัน แต่เนื่องจากชุดการทดลอง 1 และ 2 กิโลเกรย์ ปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สอง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ มีค่า TBA เท่ากับ 3.21±0.04 และมีค่า TBA เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.12±0.04 เมื่อเวลานาน 3 วัน แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สาม ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

เมื่อพิจารณาเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็น ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่าค่า TBA ของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่1) เท่ากับ 0.745±0.12 และมีค่ามี TBA เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.312±0.17 ในวันที่สามของการเก็บ เมื่อตัวอย่างผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่ามีค่า TBA เริ่มต้นเท่ากับ 1.27±0.04, 1.68±0.07 และ 1.96±0.02 ตามลำดับในวันที่ 1 และมีค่า TBA เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดเป็นเวลา 30 วัน เท่ากับ 5.11±0.05, 4.88±0.10 และ 5.16±0.07 ตามลำดับ

ค่า TBA ของข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ผ่านการฉายรังสีตั้งแต่ 1-3 กิโลเกรย์ ที่เก็บรักษาที่ทั้ง 2 สภาวะ พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากในอาหารที่มีไขมันสูงอาจก่อให้เกิดกลิ่นหืนได้ ค่า TBA เป็นค่าบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นที่สอง จากการเพิ่มขึ้นของ ค่า TBA จะแสดงถึงปริมาณสารมาโลนาดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นสารที่ระเหยง่าย และเป็นสาเหตุของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสามารถใช้ค่า TBA บ่งชี้การเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้ (Yang *et al*., 2014) โดยอาหารทะเลมักจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาสารนี้อาจจะ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Prince of Songkla University Pattani Campus

เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดลง การเพิ่มหรือลดลงของค่า TBA มีอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่



ภาพที่ 4.3 ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน

ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวและฟอสโฟลิปิด การกระจายของไขมัน สารเคมีอื่นที่เร่งหรือยับยั้งการเกิดความหืน สภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และแสง จากการทดลองนี้ บรรจุเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนปิดผนึกแบบธรรมดาซึ่งยังมีอากาศอยู่ภายในถุง ออกซิเจนภายในถุงจึงอำนวยต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่แม้ค่า TBA ของเจลข้าวเกรียบปลาแบบสดจะเพิ่มขึ้นหลังการฉายรังสีและในระหว่างการเก็บรักษา แต่การเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้รังสีในระดับต่ำ และอาหารทะเลมีปริมาณไขมันไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่า การฉายรังสีก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยอัตราการเกิดขึ้นอยู่กับระดับของรังสี และการมีอยู่ของออกซิเจน

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ

TBARs (mg malonaldehyde/kg of sample)								
Storge time (Day)	Dose (kGy)							
	25°C				4°C			
	0 (Control)	1	2	3	0 (Control)	1	2	3
1	2.01±0.03	2.36±0.04	2.37±0.11	2.41±0.04	0.745±0.12	1.27±0.04	1.68±0.07	1.96±0.02
2	NA	3.15±0.11	3.34±0.10	3.86±0.09	0.805±0.09	NA	NA	NA
3	NA	NA	NA	4.12±0.04	1.312±0.17	2.02±0.03	2.53±0.02	2.77±0.09
7	NA	NA	NA	NA	NA	2.07±0.02	2.84±0.02	3.02±0.13
15	NA	NA	NA	NA	NA	2.27±0.21	2.78±0.11	4.34±0.04
20	NA	NA	NA	NA	NA	2.66±0.18	3.45±0.15	5.14±0.11
30	NA	NA	NA	NA	NA	5.11±0.05	4.88±0.10	5.16±0.07

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

4.1.2.1 ค่าสี

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสดระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า *L** (ความสว่าง), *a** (ความเป็นสีแดง), *b** (ความเป็นสีเหลือง) ทั้งบริเวณผิวหน้าและกลางชิ้นตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปรับอากาศ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 1) ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 53.34±0.11 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.61±0.06 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 16.56±0.34 ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48.98±0.72 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.29±0.16 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.51±0.04 ภายหลังการเก็บนานหนึ่งวันเป็นผลเนื่องมาจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่หนึ่ง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมา ปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่าในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 52.34±0.11 และมีความสว่างลดลงเท่ากับ 52.14±0.25 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.61±0.06 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.33±0.18 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 16.56±0.34 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 16.11±0.43 ภายหลังการเก็บนานหนึ่งวัน ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48.98±0.72 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 49.01±0.71 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.29±0.16 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.51±0.67 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.51±0.04 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 11.74±1.01 ภายหลังการเก็บนานหนึ่งวัน

ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ พบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 52.23±0.16 และมีความสว่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 52.31±0.14 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.61±0.15 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.37±0.12 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 15.21±1.01 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 15.11±0.25 ภายหลังการเก็บนานสองวัน ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 49.16±0.08 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 49.02±0.23 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.39±0.33 มี

แนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.31±0.53และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 12.11±0.12 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.35±0.21 ภายหลังการเก็บนานสองวัน

ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ พบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 52.48±0.06 และมีความสว่างลดลงเท่ากับ 51.47±0.33 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.05±1.15 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.23±0.10 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 14.35±1.21 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 12.64±0.02 ภายหลังการเก็บนานสามวัน ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 49.56±0.16 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 50.78±0.86 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.31±0.28 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.11±0.02 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 13.24±2.10 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.02±0.14 ภายหลังการเก็บนานสามวัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสดระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็น โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ความสว่าง), a^* (ความเป็นสีแดง), b^* (ความเป็นสีเหลือง) ทั้งบริเวณผิวหน้าและกลางชิ้นตัวอย่าง ได้แสดงดังภาพที่ 4.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสดเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 1) ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48.55±1.25 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 46.97±0.72 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.56±0.02 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.37±0.17 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.37±0.43 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 10.06±0.41 ภายหลังเก็บนานสองวัน ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 45.53±0.39 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 48.12±0.45 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.93±0.12 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.65±0.12 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 12.72±0.60 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 11.78±0.64 ภายหลังการเก็บนานสองวัน แต่เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวปรากฏลักษณะที่บ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แค่วันที่สอง ผู้วิจัยจึงไม่ดำเนินการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบต่อ

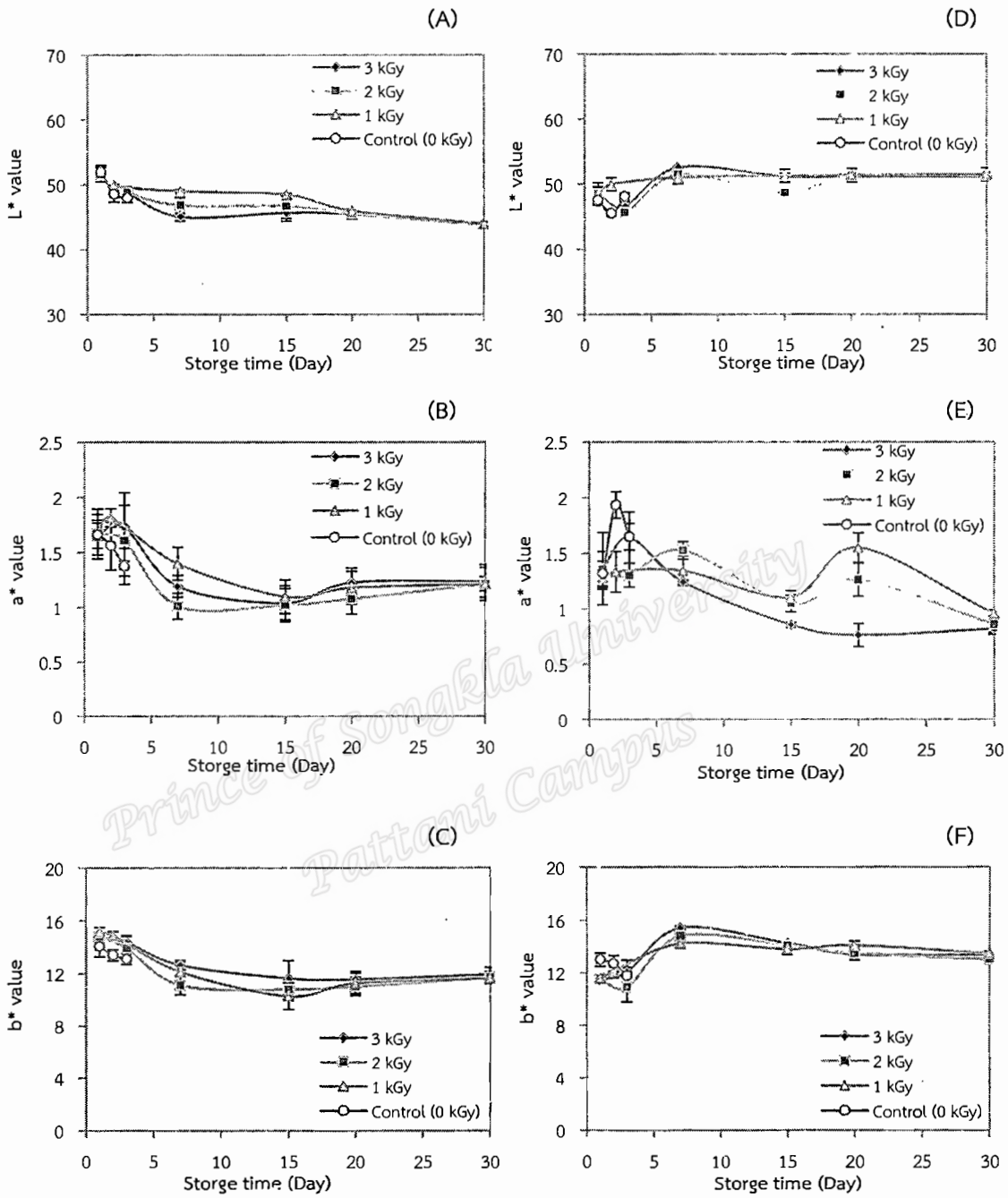
เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมา ปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่าในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 51.95±0.25 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 43.92±0.55 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.65±0.11 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.21±0.06 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 15.16±0.34 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 11.65±0.38 ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้น

ตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48.49±0.34 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 51.41±0.18 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.28±0.11 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.96±0.03 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.58±0.32 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 13.45±0.08 ภายหลังการเก็บนานสามสิบวัน

ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ พบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 51.53±0.39 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 43.84±0.49 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.66±0.13 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.21±0.15 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 14.77±0.38 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 11.68±0.43 ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48.50±1.70 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 51.26±0.52 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.36±0.16 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 0.86±0.08 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.56±0.34 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 13.01±0.18 ภายหลังการเก็บนานสามสิบวัน

ในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ พบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 51.52±1.10 และมีความสว่างลดลงเท่ากับ 43.80±0.50 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.67±0.23 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1.24±0.15 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 14.70±0.21 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 11.93±0.54 ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์บริเวณใจกลางชิ้นตัวอย่างมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 51.15±0.57 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 50.78±0.86 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.36±0.32 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 0.82±0.05 และค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 11.50±0.25 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 13.38±0.24 ภายหลังการเก็บนานสามสิบวัน

ข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ผ่านการฉายรังสีตั้งแต่ 1-3 กิโลเกรย์ มีสีที่เข้มขึ้นตามลำดับตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากอัตรารังสีของเครื่องฉายรังสีที่ใช้มีค่อนข้างต่ำ จึงต้องใช้ระยะเวลาในการฉายรังสีนาน ซึ่งส่งผลให้สีเข้มขึ้น



Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4.4 ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง (รูปที่ 4.16A-C) และบริเวณด้านในชิ้นตัวอย่าง (รูปที่ 4.16D-F) ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน

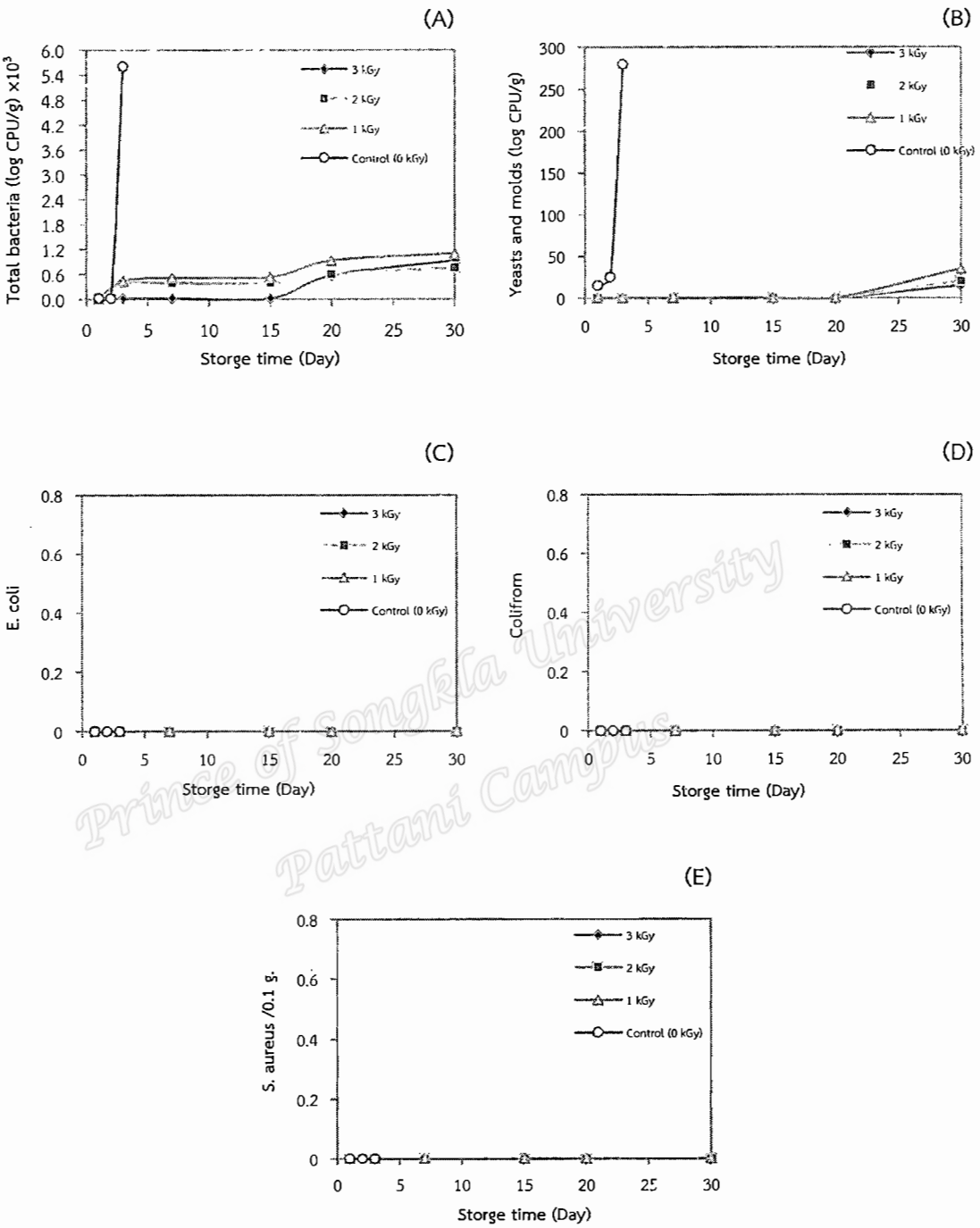
4.1.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบปลาแบบสดในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ โดยได้ทำการตรวจหา Total bacteria (CFU/g), Yeasts and molds (CFU/g), *Escherichia coli* (MPN/g), Colifrom bacteria (MPN/g), *Staphylococcus aureus* /0.1 g โดยประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานทางจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวเกรียบปลา (มผช.107/2554)

ตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้องปรับอากาศ มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่ 1) เท่ากับ 2.3×10^4 CFU/g และ 180 CFU/g ซึ่งปริมาณดังกล่าวเกินกว่าที่มาตรฐาน มผช.ข้าวเกรียบปลากำหนด (1.0×10^4 CFU/g) สำหรับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (100 CFU/g) สำหรับปริมาณยีสต์และรา ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.5A

เมื่อเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็น มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่1) น้อยกว่า 25 CFU/g และเพิ่มขึ้นเป็น 5,600 CFU/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 7 วัน เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 440, 520, 540, 930 และ 1,100 CFU/g เมื่อเก็บรักษาในวันที่ 3, 7, 15, 20 และ 30 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้น 380, 3900, 400, 600 และ 760 CFU/g เมื่อเก็บรักษาในวันที่ 3, 7, 15, 20 และ 30 ตามลำดับ และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 3 กิโลเกรย์ พบว่ารังสีแกมมาสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ และตรวจพบปริมาณแบคทีเรียในวันที่ 20 และ 30 คือ 570 และ 930 CFU/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การฉายรังสีด้วยรังสีแกมมามีผลในการรบกวนการแบ่งเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง

ปริมาณยีสต์และรา ในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่1) เท่ากับ 15 CFU/g และเพิ่มขึ้นเป็น 280 CFU/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 7 วัน ซึ่งปริมาณดังกล่าวเกินกว่าที่มาตรฐาน มผช.ข้าวเกรียบปลา กำหนด (100 CFU/g) เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ เก็บรักษาเป็นเวลานาน 30 วัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ พบว่ารังสีแกมมาสามารถยับยั้งปริมาณยีสต์และราได้ และตรวจพบปริมาณยีสต์และราในวันที่ 30 คือ 35, 30 และ 15 CFU/g ตามลำดับ



Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4.5 ผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบปลาแบบสด ไม่ฉายรังสี (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นเป็นระยะเวลา 30 วัน

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ก่อโรคได้แก่ *Escherichia coli*, Coliform bacteria และ *Staphylococcus aureus* พบว่าในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนฉายรังสี (ตัวอย่างวันที่1) และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตรวจไม่พบเชื้อ *Escherichia coli*, Coliform bacteria และ *Staphylococcus aureus*. ในทุกตัวอย่าง

การฉายรังสีแกมมาร่วมกับการเก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็นสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดได้นานมากกว่า 30 วัน เนื่องจากการฉายรังสีมีผลในทำลายและชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย จากการศึกษาพบว่ารังสีทำให้ DNA เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามรังสียังมีผลต่อโมเลกุลอื่น ๆ ที่ไม่ทนต่อรังสี (เช่น ในเมมเบรน) ซึ่งอาจเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลายได้เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากการฉายรังสีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในตัวจุลินทรีย์ ระยะการเจริญปริมาณของรังสี รวมทั้งความสามารถในการซ่อมแซมตนเอง การทนต่อรังสีของจุลินทรีย์จะแตกต่างไปตามสปีชีส์ ฉะนั้นการลดจุลินทรีย์ด้วยการฉายรังสีจึงเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่จะป้องกันไม่ให้มีการแพร่กระจายหรือเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ก่อโรคหลังการเก็บระยะเวลานานขึ้นที่สภาวะแช่เย็น

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.4 (A-D) แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสีที่ (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์

(A)

	0 kGy (Control)												
	Storge time (Day)												
	25°C							4°C					
	1	2	3	7	15	20	30	1	3	7	15	20	30
Total bacteria (CFU/g)	$<2.3\times10^4$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<25	<25	5600	NA	NA	NA
Yeasts and molds (CFU/g)	<180	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	280	NA	NA	NA
Escherichia coli (MPN/g)	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA
Colifrom bacteria (MPN/g)	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA
Staphylococcus aureus /0.1 g.	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA

Prince of Songkla University Pattani Campus

(B)

1 kGy (Control)													
	Storge time (Day)												
	25°C							4°C					
	1	2	3	7	15	20	30	1	3	7	15	20	30
Total bacteria (CFU/g)	$<1.1\times10^3$	1.4×10^4	NA	NA	NA	NA	NA	<25	440	520	540	930	1100
Yeasts and molds (CFU/g)	25	7.2×10^3	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	35
Escherichia coli (MPN/g)	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Colifrom bacteria (MPN/g)	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Staphylococcus aureus /0.1 g.	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(C)

2 kGy (Control)													
	Storge time (Day)												
	25°C							4°C					
	1	2	3	7	15	20	30	1	3	7	15	20	30
Total bacteria (CFU/g)	300	1.4×10^4	NA	NA	NA	NA	NA	<25	380	390	400	600	760
Yeasts and molds (CFU/g)	15	220	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	20
Escherichia coli (MPN/g)	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Colifrom bacteria (MPN/g)	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Staphylococcus aureus /0.1 g.	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Prince of Songkla University Pattani Campus

(D)

	3 kGy (Control)												
	Storge time (Day)												
	25°C							4°C					
	1	2	3	7	15	20	30	1	3	7	15	20	30
Total bacteria (CFU/g)	<25	8.0×10^3	1.3×10^4	NA	NA	NA	NA	<25	<25	<25	<25	570	930
Yeasts and molds (CFU/g)	5	95	5.6×10^3	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	15
Escherichia coli (MPN/g)	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Colifrom bacteria (MPN/g)	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Staphylococcus aureus /0.1 g.	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ประเมินความชอบของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน โดยให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างข้าวเกรียบปลาไม่ฉายรังสี (Control (0 กิโลเกรย์)) ระยะเวลาการเก็บนาน 0 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ ระยะเวลาการเก็บนาน 7 วันและ 30 วัน และให้ผู้บริโภคประเมินคะแนนความชอบด้วยวิธี 9-pont hedonic scale ในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม โดยตัวอย่างข้าวเกรียบปลาที่ทำการทดสอบจะถูกเตรียมไว้สองลักษณะ คือแบบนึ่งและแบบทอด ผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างโดยการหั่นเป็นแท่งยาว 3 เซนติเมตร และกว้าง 2 เซนติเมตร แล้วทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3 นาที และเตรียมตัวอย่างโดยการหั่นเป็นแท่งยาว 3 เซนติเมตร และกว้าง 2 เซนติเมตร แล้วนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 นาที จากนั้นนำไปประเมินความชอบของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยการประเมินความชอบด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม

ตารางที่ 4.5 การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดนึ่งโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

Conditions/Liking score				
Sensory characteristics	Day 0 Control (0 kGy)	Day 7 1 kGy	Day 0 Control (0 kGy)	Day 30 1 kGy
Fish odour	4.90±2.38	4.60±1.99	4.84±1.76	4.97±1.75
Colour	5.01±1.89	6.13±1.48	5.78±1.58	5.84±1.65
Texture	6.23±1.28	6.60±1.19	6.47±1.11	6.28±1.25
Over liking	5.70±1.66	6.43±1.01	6.03±1.38	6.13±1.62

จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บนาน 7 วัน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าข้าวเกรียบปลาแบบนึ่งไม่ฉายรังสี (วันที่ 0 ที่ 0 กิโลเกรย์) ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงเฉยๆ ซึ่งมีคะแนนความชอบเท่ากับ 4.90±2.38, 5.01±1.89, 6.23±1.28 และ 5.70±1.66 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเกรียบปลาฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นปลา เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย เท่ากับ 4.60±1.99, 6.13±1.48, 6.60±1.19 และ 6.43±1.01 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 สำหรับข้าวเกรียบปลาแบบทอดไม่ฉายรังสี (วันที่ 0 ที่ 0 กิโลเกรย์) ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ซึ่งมีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.23±0.97, 6.93±1.23, 7.13±1.04, 7.30±1.32 และ 7.26±0.91 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเกรียบปลาฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงเฉยๆ คือเท่ากับ 6.20±1.37, 5.83±1.72, 6.27±1.23, 6.93±1.05 และ 6.63±1.07 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดทอดโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

	Conditions/Liking score			
Sensory characteristics	Day 0 Control (0 kGy)	Day 7 1 kGy	Day 0 Control (0 kGy)	Day 30 1 kGy
Fish odour	7.23±0.97	6.20±1.37	6.50±0.95	6.12±1.31
Colour	6.93±1.23	5.83±1.72	5.75±1.24	5.72±1.35
Texture	7.13±1.04	6.27±1.23	6.25±1.30	6.16±0.95
Flavor	7.30±1.32	6.93±1.05	6.88±1.07	6.41±1.04
Over liking	7.26±0.91	6.63±1.07	6.56±1.27	6.40±0.76

ที่ระยะเวลาการเก็บนาน 30 วัน ข้าวเกรียบปลาแบบนึ่งไม่ฉายรังสี (วันที่ 0 ที่ 0 กิโลเกรย์) ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงเฉยๆ ซึ่งมีคะแนนความชอบเท่ากับ 4.84±1.76, 5.78±1.58, 6.47±1.11 และ 6.03±1.38 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเกรียบปลาฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย คือเท่ากับ 4.97±1.75, 5.84±1.65, 6.28±1.25 และ 6.13±1.62 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 สำหรับข้าวเกรียบปลาแบบทอดไม่ฉายรังสี (วันที่ 0 ที่ 0 กิโลเกรย์) ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ซึ่งมีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.50±0.95, 5.75±1.24, 6.25±1.30, 6.88±1.07 และ 6.56±1.27 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเกรียบปลาฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย คือเท่ากับ 6.12±1.31, 5.72±1.35, 6.16±0.95, 6.41±1.04 และ 6.40±0.76 ตามลำดับ

การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเกรียบปลาสดไม่ฉายรังสี (Control (0 กิโลเกรย์)) และข้าวเกรียบปลาสดฉายรังสี (1 กิโลเกรย์) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นนาน 7 วัน และ 30 วัน โดยตัวอย่างข้าวเกรียบปลาที่ทำการทดสอบจะถูกเตรียมไว้สองลักษณะ คือแบบนึ่งและแบบทอด สามารถสรุปได้ว่า การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดแบบนึ่งฉายรังสีที่ 1 กิโลเกรย์ ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นนาน 7 วัน พบว่าคะแนนความชอบในด้านกลิ่นปลาลดลง ส่วนคะแนนความชอบในสี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาในสภาวะแช่เย็นนาน 30 วัน พบว่าคะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัสลดลง ส่วนคะแนนความชอบในกลิ่นปลา สี และความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดแบบทอดฉายรังสีที่ 1 กิโลเกรย์ ที่เก็บรักษาใน

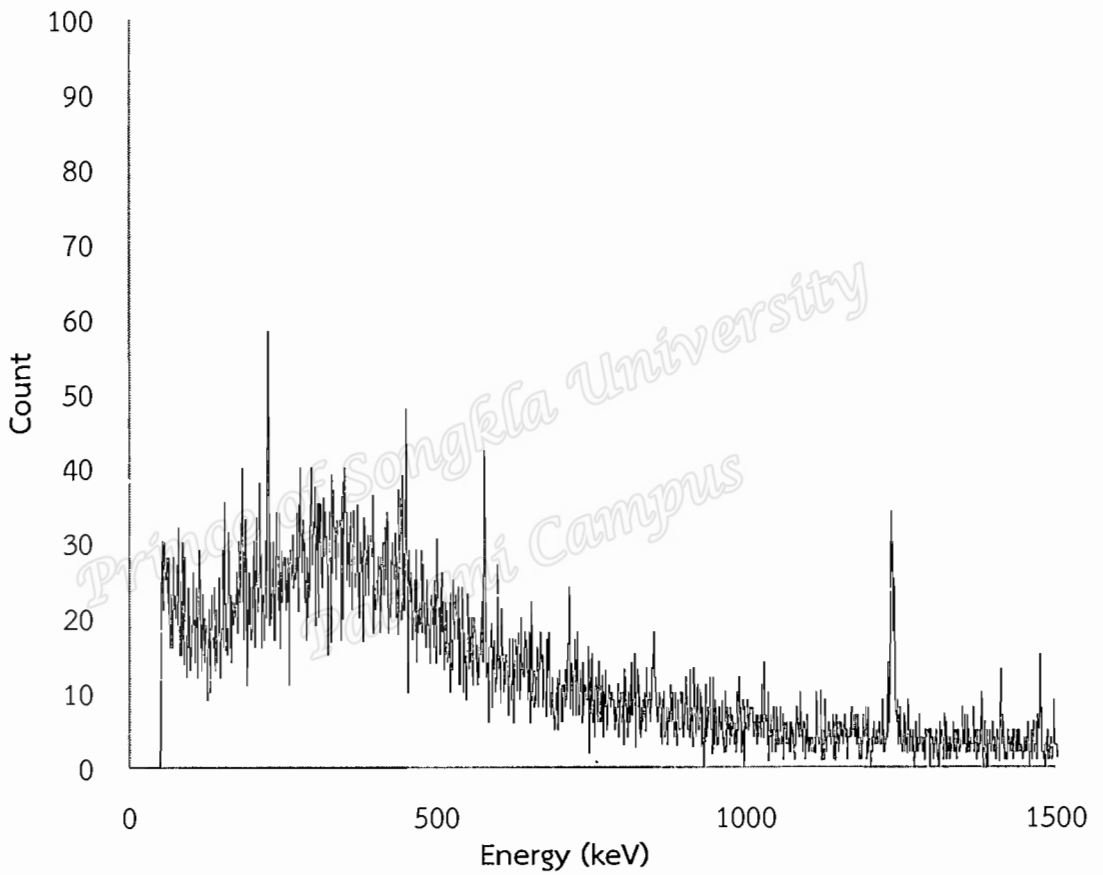
สภาวะแช่เย็นนาน 7 วันและ 30 วัน พบว่าคะแนนความชอบในด้านกลิ่นปลา สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี

เมื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่ฉายรังสี โดยประเมินจากผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ (microbiological shelf life) ร่วมกับระดับความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสด กำหนดให้ช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดสูงกว่าหรือเท่ากับ 2.3×10^4 CFU/g หรือมีปริมาณ yeast and mold ที่สูงกว่า 100 CFU/g เป็นวันสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ พบว่า ข้าวเกรียบปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บเพียง 1 วัน โดยประมาณ และข้าวเกรียบที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสีสามารถเก็บได้นานมากกว่า 30 วัน โดยที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บในสภาวะดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างไปจากชุดควบคุม อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าปริมาณ yeast and mold (log CFU/g) ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาสดเริ่มต้นมีปริมาณที่สูงใกล้เคียงกับมาตรฐานกำหนด จึงทำให้ข้าวเกรียบปลาแบบสดมีปริมาณ yeast and mold (CFU/g) เกินในเวลาอันรวดเร็ว แต่จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาทั้งแบบแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสีสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของ yeast and mold (CFU/g) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาขั้นตอนนี้แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสดที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสีมีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และยังยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเก็บได้นานมากกว่า 30 วัน ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมเสียได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการเก็บแบบแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสี จะส่งผลต่อกระทบต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ เช่นตัวอย่างจะมีเนื้อสัมผัสแน่น แข็งขึ้น มีความเหนียวน้อยลง สีเข้มขึ้น เมื่อเก็บแบบรักษาเป็นระยะเวลายาวนาน และการเก็บที่ยาวนานอาจส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นคาวปลาที่ชัดขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้น

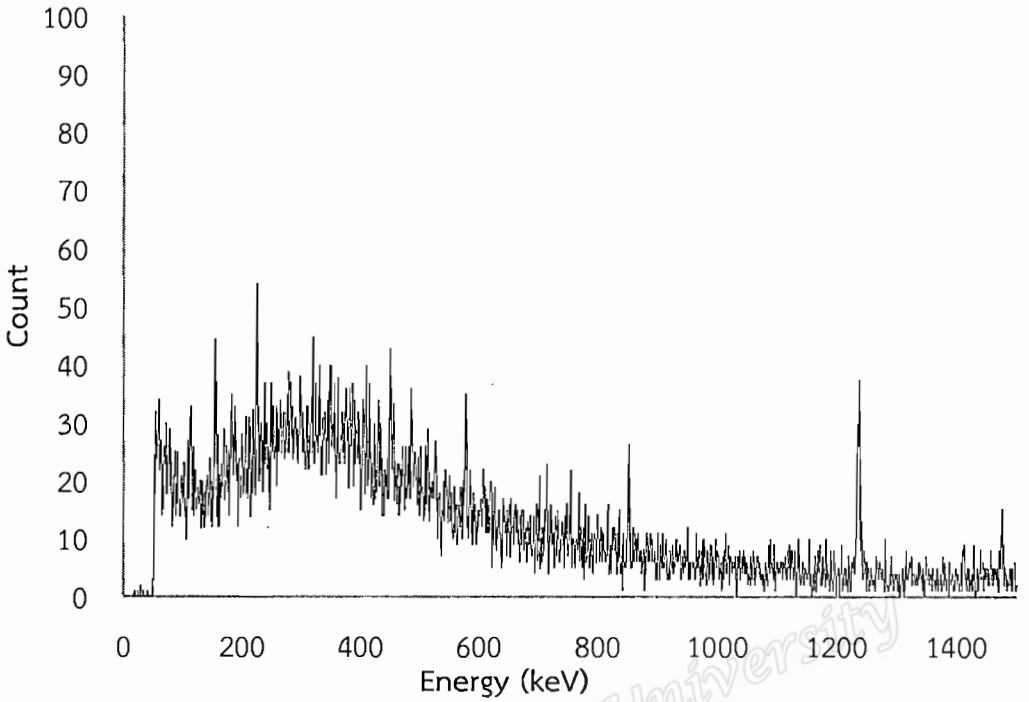
4.2 ตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสีที่ระดับความแรงต่างๆ

การตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe พบว่า สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (ของตัวอย่างวันที่ 0) ก่อนนำไปฉายรังสี ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดก่อนฉายรังสีแกมมา

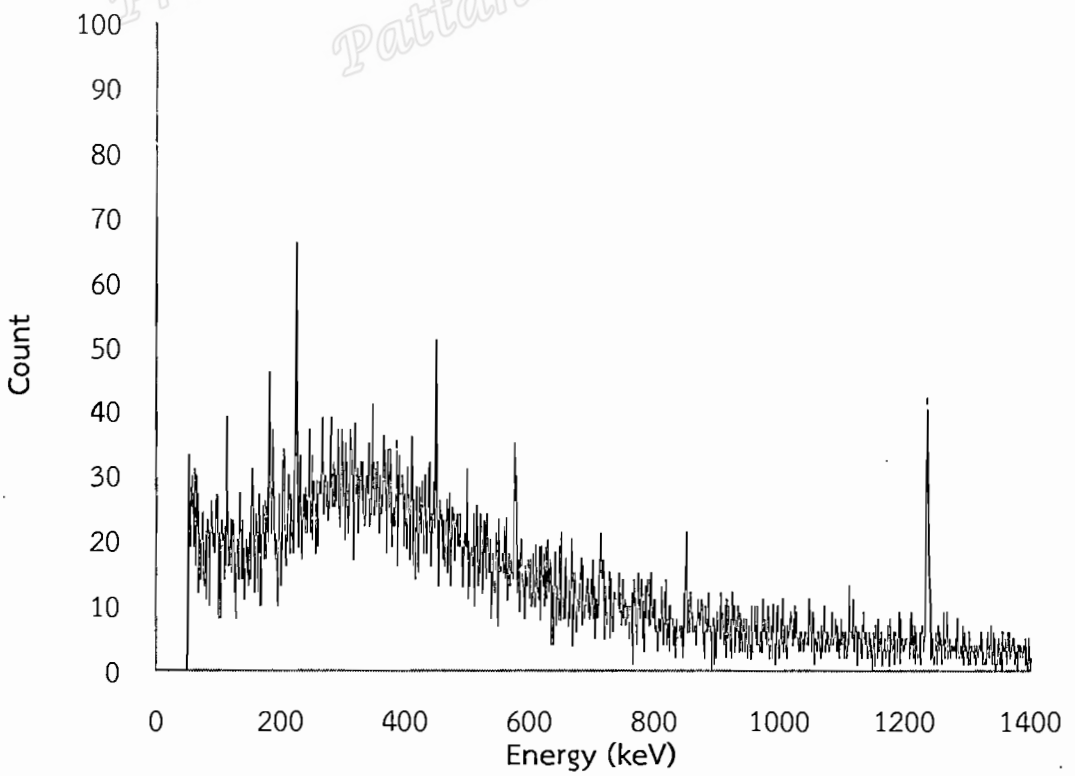
การตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาหลังจากนำข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) โดยนำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมาที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ด้วยเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel ในปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ นำไปวิเคราะห์ปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาหลังจากนำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมาที่ระดับความแรงต่างๆ ด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPG พบว่า สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 1 กิโลเกรย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 1 กิโลเกรย์

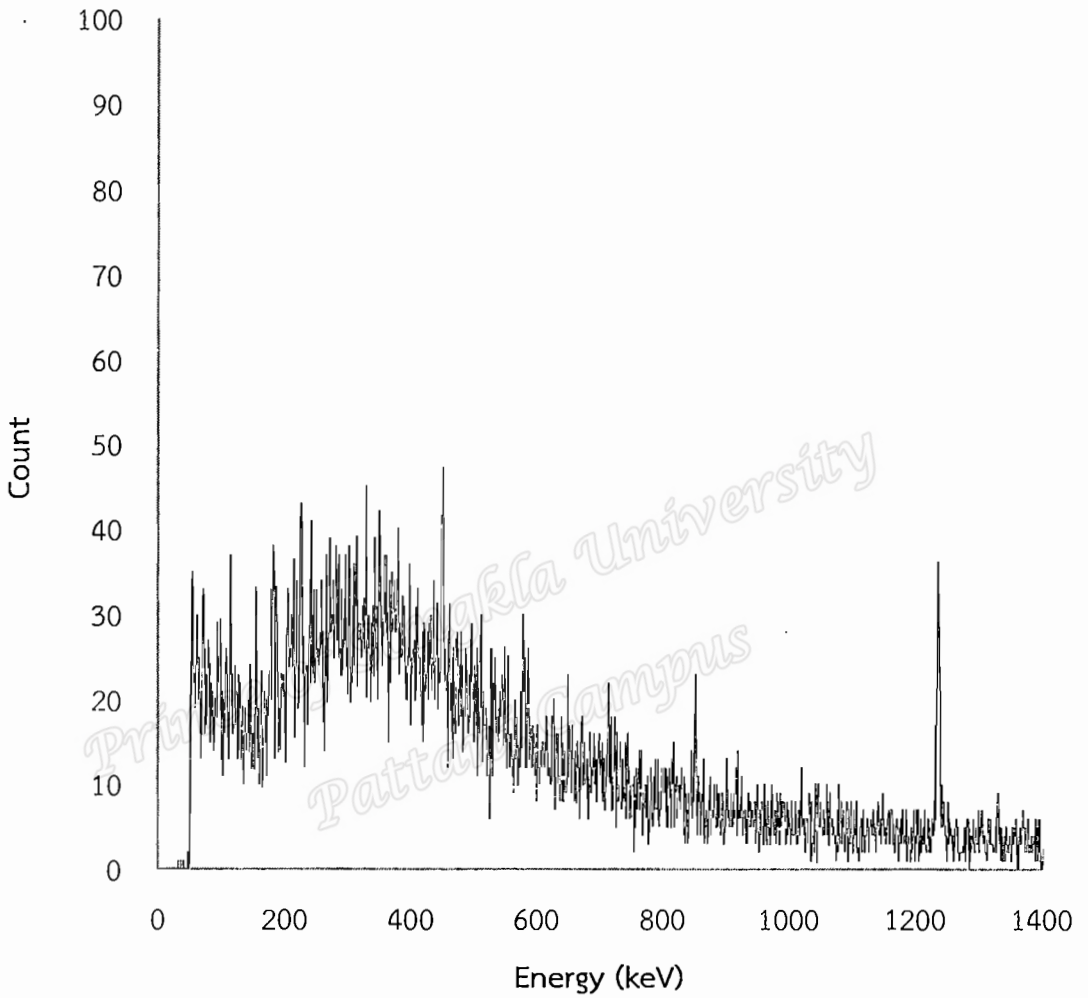
สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 2 กิโลเกรย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.8

Prince of Songkla University Pattani Campus



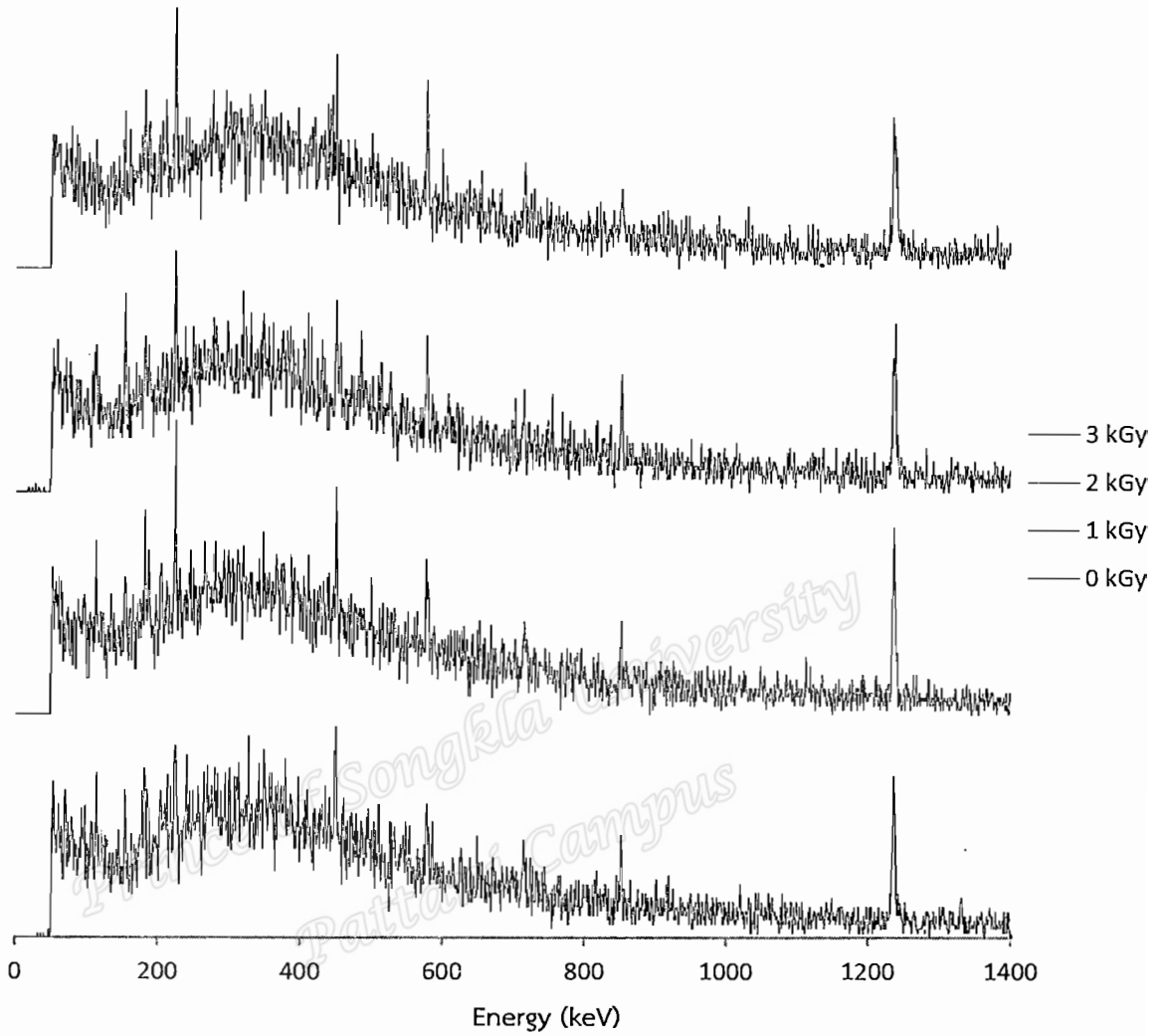
ภาพที่ 4.8 สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 2 กิโลเกรย์

สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 3 กิโลเกรย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีแกมมาที่ 3 กิโลเกรย์

จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยระบบวัดรังสีแกมมาหลังจากนำข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) โดยนำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมา ด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ด้วยเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excel ในปริมาณรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ด้วยระบบวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPG พบว่า สเปคตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (ของตัวอย่างวันที่ 0) ก่อนนำไปฉายรังสีเทียบกับตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบฉายรังสีแกมมาที่ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ มีการตอบสนองต่อสัญญาณไม่ต่างกัน



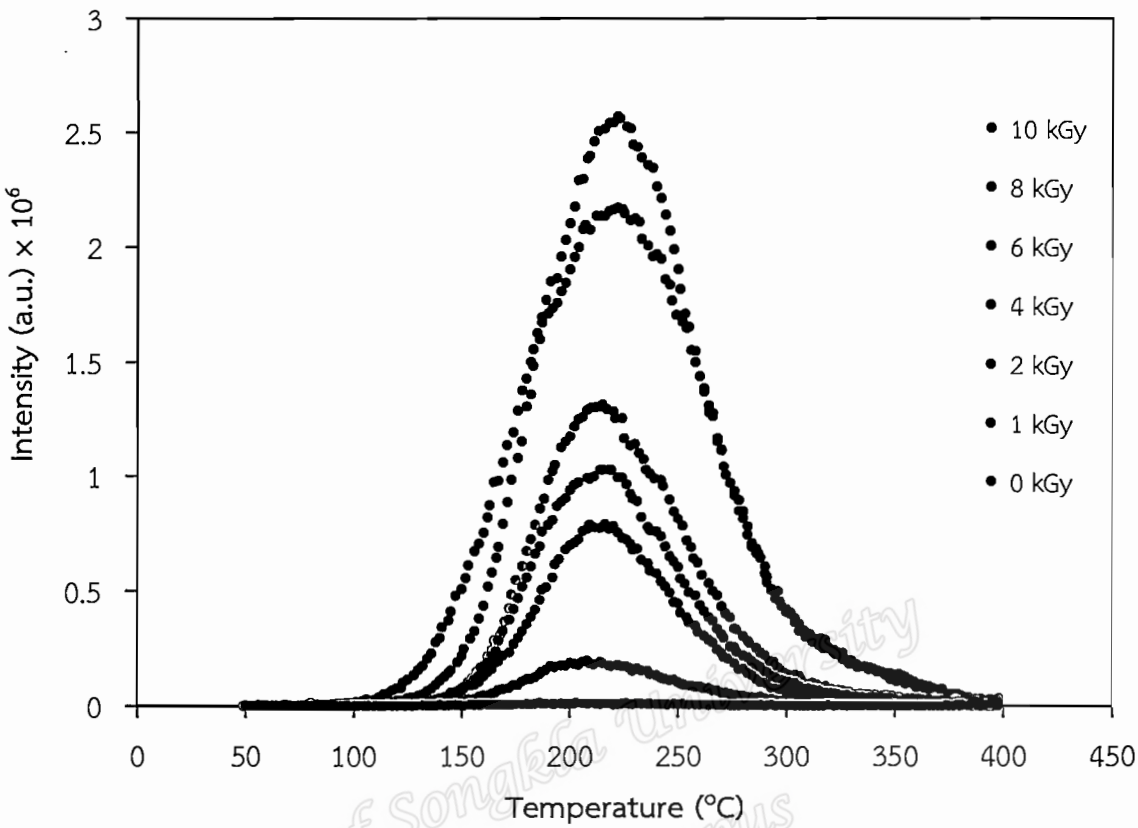
ภาพที่ 4.2 สเปคตรัมรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ)

ทำให้สรุปได้ว่าการฉายรังสีในอาหารไม่ได้ทำให้อาหารมีกัมมันตรังสีตกค้างเนื่องจากกัมมันตรังสีในอาหารสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีในอาหารหรือมีรังสีพลังงานสูงเข้าไปทำปฏิกิริยากับนิวเคลียสของธาตุในอาหารแต่กระบวนการฉายรังสีอาหารเป็นการนำภาชนะที่บรรจุอาหาร ผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีรังสี ซึ่งไม่มีการสัมผัสกับสารกัมมันตรังสี นอกจากนั้น รังสีที่ใช้ในกระบวนการฉายรังสีอาหาร ไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาที่นิวเคลียสของอะตอมของธาตุอาหารได้

4.3 การตอบสนองต่อปริมาณรังสีของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนต์

4.3.1 กราฟ Glow Curve

จากการศึกษาการวิเคราะห์การตอบสนองต่อการรับรังสีของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดด้วยเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์แสดงดังภาพที่ 4.11 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นกราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า “Glow Curve” โดยจะพบว่าความเข้มแสงของการตอบสนองที่วัดได้ด้วยเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของตัวอย่าง มีค่ามากขึ้นตามปริมาณรังสี แปรผันตรงกับปริมาณอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อตัวอย่างได้ผ่านการรับรังสีมาเป็นเวลานานในสิ่งแวดล้อม จะส่งผลให้มีปริมาณอิเล็กตรอนมากขึ้นตามระยะเวลาที่สะสม ความเข้มของการตอบสนองที่วัดได้ก็จะมากด้วยและสามารถจำแนกประเภทโครงสร้างผลึกได้อย่างชัดเจน การศึกษาสมบัติการรับรังสีและลักษณะเฉพาะเจาะจงการตอบสนองต่อรังสีของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) โดยวิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (TL) ด้วยเครื่องอ่านสัญญาณ TL รุ่น Harshaw 3500 ตัวอย่างผ่านการฉายรังสีแกมมาด้วยต้นกำเนิดรังสี ^{60}Co การตรวจสอบข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีโดยเทคนิค TL เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์คือ 50 ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มความร้อนเท่ากับ 6 องศาเซลเซียสต่อวินาที และเวลาสำหรับการวัดตัวอย่างเท่ากับ 50 วินาที จากการศึกษาผลของปริมาณรังสีดูดกลืนที่มีต่อสัญญาณ TL ระหว่างสัญญาณ TL ก่อนและหลังฉายรังสี 1 ถึง 10 กิโลเกรย์ พบว่า การตรวจสอบดังกล่าวสามารถใช้ยืนยันข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ผ่านการฉายรังสีได้อย่างถูกต้อง ความเข้มของสัญญาณการตอบสนอง TL ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสดฉายรังสีสูงกว่าในตัวอย่างที่ไม่ได้รับการฉายรังสี พบตำแหน่งอุณหภูมิการตอบสนองในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส

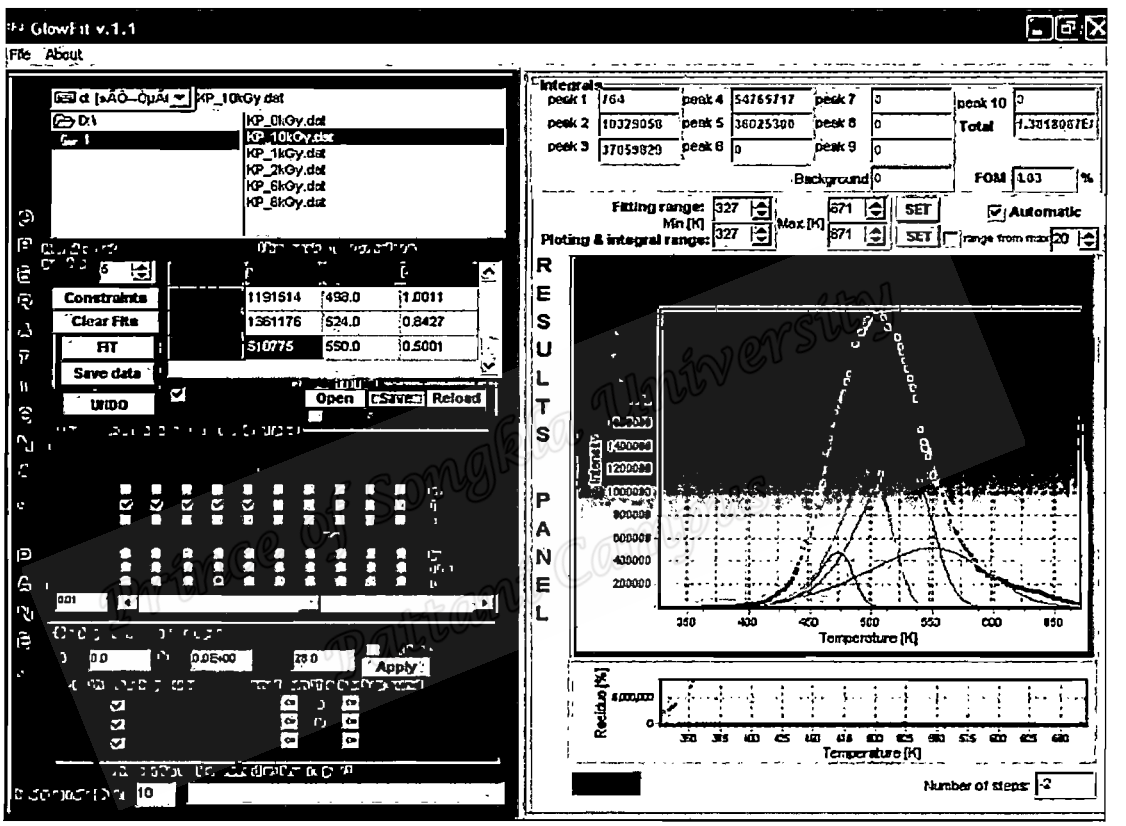


ภาพที่ 4.11 กราฟการตอบสนองของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) เมื่อได้รับรังสีที่ระดับต่างๆ

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit และกราฟปรับเทียบ (Calibration Curve)

เมื่อได้ข้อมูลจากกราฟ Glow-Curve ซึ่งได้ค่าระหว่างความเข้มแสงกับอุณหภูมิ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งสามารถเลือกพารามิเตอร์ของอุณหภูมิต่างๆ ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ 175, 200, 225, 250 และ 275 องศาเซลเซียส (Ziegelmann *et al.* , 1999) ผลที่ได้จากโปรมแกรม Glow Fit แสดงดังตารางที่ 4.7



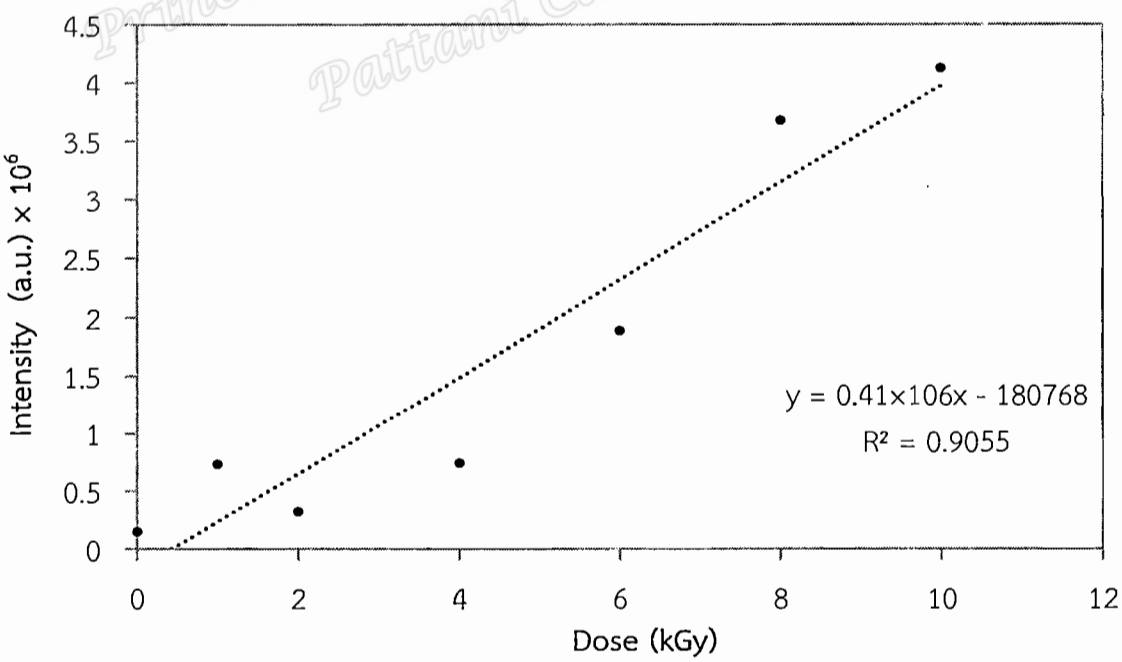
ภาพที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Glow Fit

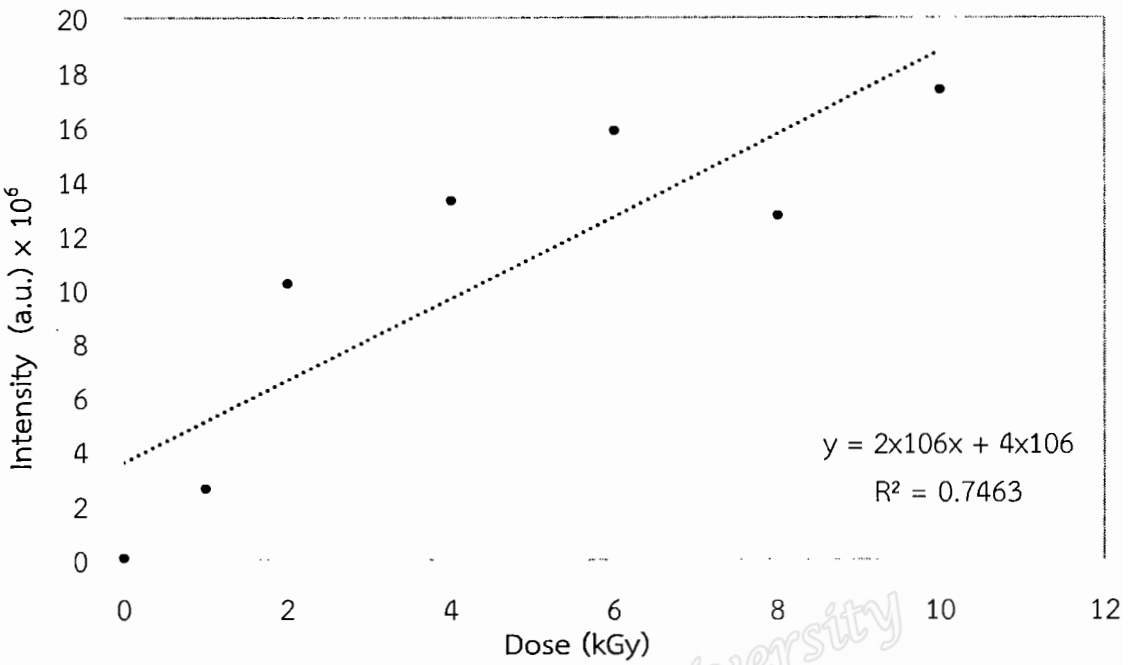
Dose (kGy)	Intensity (a.u.) Temperature (°C)				
	175	200	225	250	275
0	149309	59469	254603	109792	62461
1	733291	2630465	2704119	1891502	1496349
2	320282	10226162	11014693	9288719	3916550
4	737514	13289237	15222630	12491726	7438220
6	1884721	15859708	21572984	15575901	8804315
8	3677802	12750279	26885269	50112053	44844427
10	4127878	17329058	37059829	54765717	36025300

กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 175, 200, 225, 250 และ 275 องศาเซลเซียส พบว่าความเข้มของการตอบสนองของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนส์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้นกับปริมาณการฉายรังสีแกมมา ซึ่งสอดคล้องกับการตอบสนองในช่วง 200-400 องศาเซลเซียส ของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ของเปลือกหอยในงานวิจัยของ Ziegelmann *et al.* (1999)

Prince of Songkla University Pattani Campus

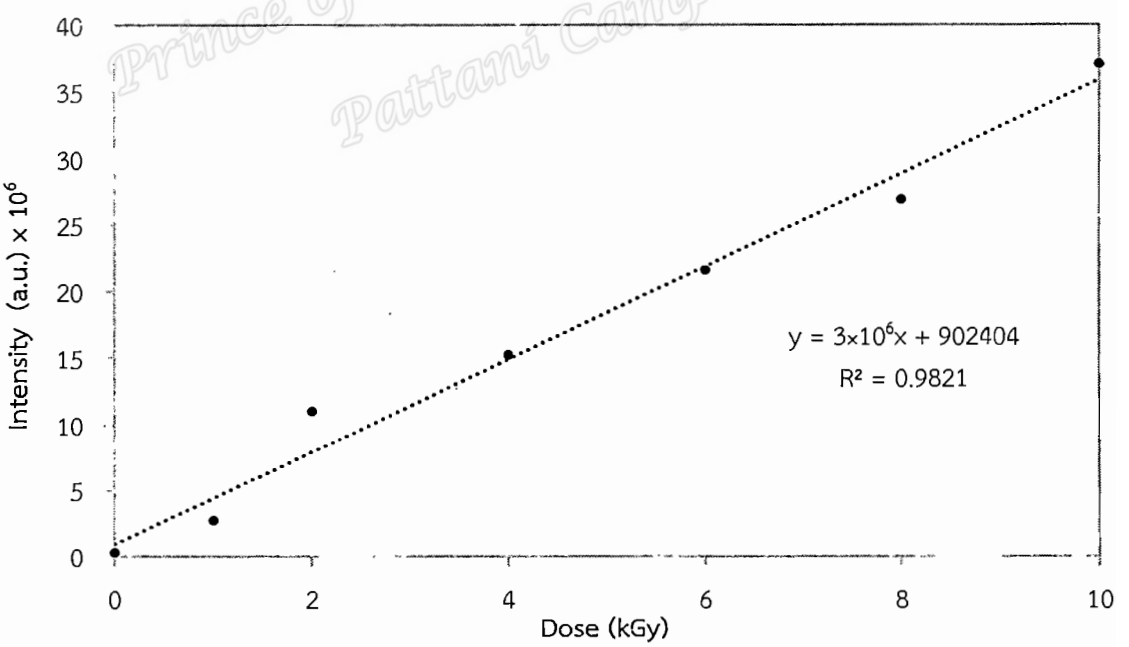


ภาพที่ 4.13 กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส

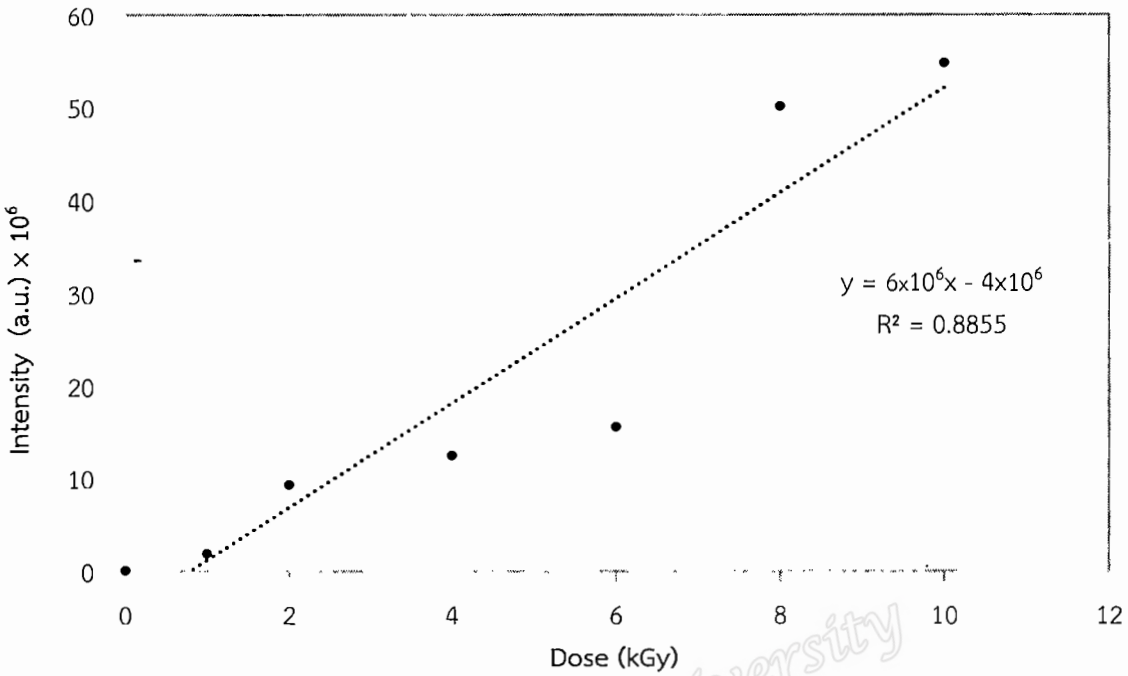


ภาพที่ 4.14 กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

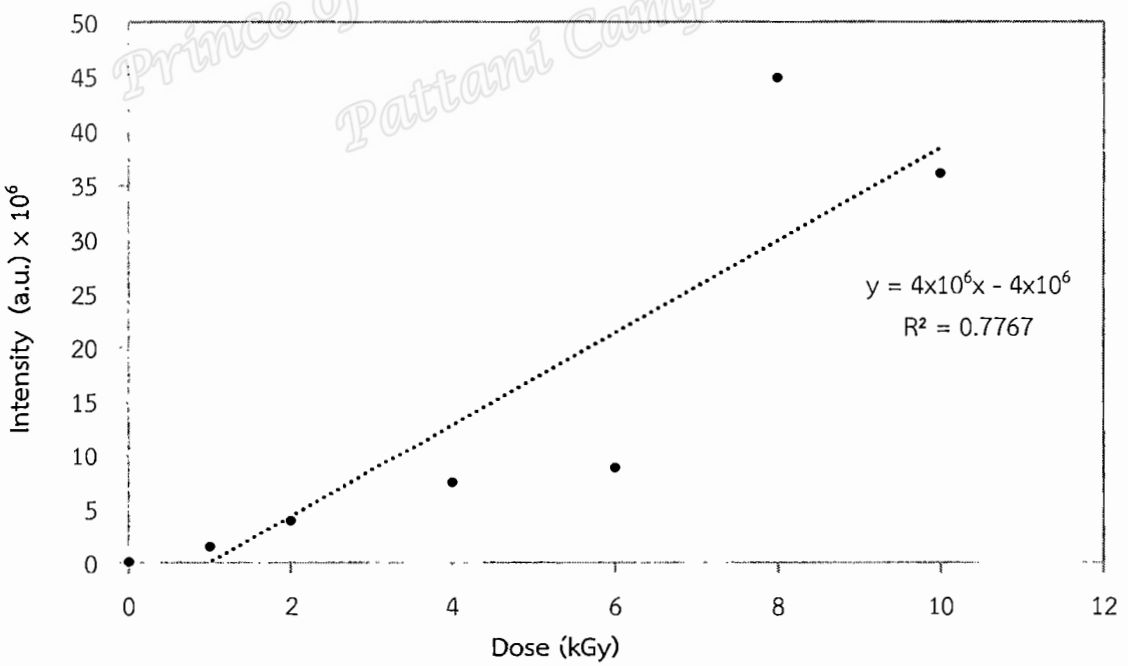
Prince of Songkla University Pattani Campus



ภาพที่ 4.15 กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่าง ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.16 กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่าง ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.17 กราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่รังสีระดับต่างๆ ของตัวอย่าง ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส

Prince of Songkla University Pattani Campus

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ด้วยรังสีแกมมา โดยข้าวเกรียบปลาแบบสดถูกผลิตจากโรงงานผลิตข้าวเกรียบในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนปิดผนึกปากถุงด้วยความร้อน บรรจุใส่ลังโฟมที่มีน้ำแข็ง (อัตราส่วนน้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์ 1:1 โดยน้ำหนัก) ขนส่งสู่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง เก็บรักษาภายใต้สภาวะแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 41±1 สุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

จากการนำตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ไปฉายรังสีแกมมาและอ่านค่าการตอบสนองของสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์หรือ TL intensity ด้วยเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ พบว่า เมื่อผลึกผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างค่อย ๆ ถูกเผาจนถึงอุณหภูมิสูงสุด พบว่า TL Intensity จะแปรผันตรงกับปริมาณอิเล็กตรอนอิสระ และพบตำแหน่งอุณหภูมิการตอบสนองในตัวอย่างตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการตอบสนองในช่วง 200 ถึง 400 องศาเซลเซียสของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ของเปลือกหอยในงานวิจัยของ Ziegelmann *et al.* (1999) และ Ijaz *et al.* (2008) และ การตอบสนองของ TL intensity ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาดังกล่าวมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น

ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ที่เก็บรักษาที่สภาวะการเก็บในห้องปรับอากาศและแช่เย็น พบว่าที่การเก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็นร่วมกับการฉายรังสีปริมาณ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ที่นำมาจากผู้ผลิตจากโรงงานผลิตข้าวเกรียบในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ บรรจุแบบปิดสนิทธรรมดามีอากาศอยู่ภายในด้วยพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน พบว่าสามารถลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลงได้ และปริมาณรังสีเพียง 1 กิโลเกรย์ ก็สามารถกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ได้หมด ข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสียังคงมีคุณภาพดีทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ แม้ว่าค่า Thiobarbituric acid (TBA) ในตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสีปริมาณ 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ จะมีค่าสูงกว่าข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสี แต่คะแนนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาแบบสดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากข้าวเกรียบปลาแบบสดที่ไม่ฉายรังสี แม้จะฉายรังสีสูงถึงปริมาณ 1 กิโลเกรย์ ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ จึงน่าจะ

เพียงพอสำหรับใช้ในการลดจำนวนจุลินทรีย์และกำจัดแบคทีเรียพวก coliforms และ *Staphylococcus aureus* ที่ปนเปื้อนในข้าวเกรียบปลาแบบสดได้โดยไม่ทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ควรอบตัวอย่างก่อนนำไปฉายรังสีแกมมาที่ระดับต่างๆ เพื่อความเสถียรของข้อมูล

5.2.2 ควรทำการทดสอบตัวอย่างที่ระดับโดสจากมากไปน้อย โดยทำการทดสอบตัวอย่างเดียวกันต่อเนื่องจนเสร็จสิ้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการจางหายของอิเล็กตรอน

5.2.3 การฉายรังสีในระดับปกติที่ใช้กับการถนอมอาหาร สามารถทำลายเชื้อโรคได้เกือบหมด แต่อาจไม่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ เนื่องจากอาจมีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเซลล์เดี่ยวหลงเหลืออยู่ผู้บริโภคจึงควรใช้ความระมัดระวังในผู้บริโภคอาหาร ภายหลังจากการฉายรังสี ถ้ามีการเก็บรักษาอาหารที่ไม่ดีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียที่หลงเหลืออยู่จะเริ่มแบ่งตัวอีกครั้ง ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่หลงเหลืออยู่ในอาหารฉายรังสีมีอันตรายเช่นเดียวกับเชื้อในอาหารที่ไม่ได้ฉายรังสี

5.2.4 ในกระบวนการบรรจุข้าวเกรียบปลาแบบสดในถุงพลาสติก ควรเพิ่มระบบในการดึงออกจากถุงบรรจุภัณฑ์ให้มากที่สุด ก่อนนำไปฉายรังสี จะช่วยยืดอายุให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสดมีอายุการเก็บยาวนานขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

บรรณานุกรม

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 297, พ.ศ. 2549. เรื่องอาหารฉายรังสี กิจจานุเบกษา. 1 กันยายน 2549. เล่มที่ 123 ตอนที่ 93 ง.

จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตและศิริลักษณ์ สิงห์เพชร. 2013. ผลของรังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอนต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอบเชย*c(Cinnamomum zeylanicum)*. กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).

ชาตรี เอี้ยพิณและภาราได แจ่มจำรูญ. 2550. ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันหัวหอมใหญ่อบแห้ง. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ถนอมเกียรติ จันทร์จิรจิตร พรรณี พักคง สมจิตต์ ปาละกาศ วารุณี วารัญญานนท์และวันวิสา สุดประเสริฐ. 2551. การตรวจสอบเครื่องปรุงรสฉายรังสีด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนต์. ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัช ชิตตระการ. 2541. การตรวจและการวัดรังสี 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันทิชา ตุพิลา ปัทมา ระตะนะอาพร นงนุช รักสกุลไทยและ พงษ์เทพ วิไลพันธ์. 2553. ความไวต่อรังสีของแบคทีเรียก่อโรคในหอยนางรม *(Crassostrea belcheri)* และอาหารเลี้ยงเชื้อ. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ 2545 วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชชุดา ประดิษฐ์. 2553. การผลิตและควบคุมคุณภาพต้นกาเนิดรังสีมาตรฐานไอโดดีน-131. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2540. การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กทม. หน้า 173-195.

สุมัณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. จุลชีววิทยาทางอาหารม โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, หน้า 35-54

เสาวพงศ์ เจริญและสุรศักดิ์ สัจจบุตร. 2550. ผลของรังสีแกมมาต่อคุณภาพของปูอัด. กลุ่มงานวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล วรพงศ์ อัศวเกศมณีและไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2552. ผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์อาหารทอด : กรณีศึกษาในไก่ทอดและปาท่องโก๋. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร

อาทิตยา สุขเกษม วันวิสา สุดประเสริฐและนายอารักษ์ วิทิตธีรานนท์. 2552. ผลของแร่องค์ประกอบต่อการวิเคราะห์สัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของกระเทียมฉายรังสี. ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aitken, M.J. 1985. Thermoluminescence dating AcademicPress. NewYork.

Aitken, M. J. 1990. Science-based dating in archaeology. Lodon: Longman.

Ahn J., Akram K., Muhammad Shahbaz., Kwon J. 2014. School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Republic of Korea.

Barbosa-Canovas, G. V. , U. R. Pothakamury, E. Palou and B. G. Swanson. 1998. Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker, Inc. New York.

Boyle R. 1664. Observations made this 27th of October, 1663, about Mr. Clayton's Diamond. In: R. Boyle, Editor, Experiments and Considerations Touching Colours, Henry Herringman, London, pp. 413-423.

Brynjolfsson, A. 1989. Future radiation sources and identification of irradiated foods. Food Technol. 43(7), 84 -89.

Cheow, C. S. and Yu, S. Y. 1997. Effect of fish protein, salt, sugar and monosodium glutamate on the gelatinization of starch in fish-starh mixtures. Journal of the food Processing and Preservation. 21(2), 161-177.

Cheow, C. S., Yu, S. Y. and Howell, N. K. 1999. Effect of fish protein, salt, sugar and monosodium glutamate on the viscoelastic properties fish cracker (keropok) gel. Journal of the food Processing and Preservation. 23(1), 21-37.

Cheow, C. S., Yu, S. Y., Howell, N. K and Dzulkifly, M. H. 2002. Relationship between physicochemical properties starches and expansion of fish Cracker 'Keropok'. Journal of food Quality. 27(1), 1-12.

Cruz-Zaragoza E., J.Marcazzo´, S.DellaMonaca, C.Boniglia, R.Gargiulo, E.Bortolin. 2012. Thermoluminescence analysis of irradiated oyster shells

Dias, S., Romos, L. and Schwan. F. 2013. Characterization of spoilage bacteria in pork sausage by PCR-DGGE analysis. Food Science and Technology (Campinas) 33(3), 468-474.

Rangsit University Pathumthani Campus

Daniel R. 2007. Advantages and Limitations of Thermoluminescence dating of Heated Flint from Paleolithic Sites, Geoarchaeology: An International Journal, Vol. 22, No. 6, pp. 671-683..

IAEA. 1999. Facts about food irradiation. International Consultative Group on Food Irradiation. http://www.iaea.org/icgfi retrieved on May 14, 2005.

Ijaz A. Bhatti, Jeongeun Lee, Yun-Deuk Jang, Kyong-Su Kim, Joong-Ho Kwon. 2007. Analysis of shellfish by thermoluminescence and X-ray diffraction methods: Knowledge of gamma ray treatment and mineral charac terization.

Frazier, W. C. and D. C. Westhoff. 1988. Food Microbiology. 4th ed. McGraw-Hill Book, Co. New York.

Gesner C. 1555. De paris et admirandis herbis quae sive quod noctu luceant, sive alias ob-causas, Lunariae nominantur et obiter de alias etiam rebus, quae in tenebris lucent, Commentariolus (A short commentary on rare and marvelous plants that are called lunar either because they shine at night or for Other reasons, and also on Other things that shine in darkness), Tiguri, Zürich.

Gungor, E. and Gokoglu, N. 2010. Determination of microbial contamination sources at a frankfurter sausage processing line. Turkish Journal of Veterinary and Animal Scineces. 34(1), 53-59

Hackwood, S. 1991. An introduction to the irradiation processing of foods. In " Food Irradiation". S. Thorne (ed.). Elsevier Science Publishers, Ltd. Essex. pp. 1- 18.

Harvery E.N. 1957. A History of Luminescence: From the Earliest Times until 1900, The American Philosophical Society, Philadelphia.

Ikeya, M. 1993. New application of electron spinresonance. World Scientific. Singappore.

Jay, J. M. 1986. Modern Food Microbiology. 3rd ed. Van Nostrand Reinheld Co., New York.

Jenkins, R. K., D. W. Thayer and T. J. Hansen. 1989. Effect of low dose irradiation and post irradiation cooking and storage on the thiamine content of fresh pork. Journal of food Sciences. 54(6), 1461-1465.

Prince of Songkla University Pattani Campus

Katta, S. R., D. R. Rao, G. R. Sunki, and C. B. Chawan. 1991. Effect of gamma irradiation on whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids. Journal of food Sciences. 56(2), 371-372.

King, A. 2002. Devolopment and sensory acceptability of cracker made from the big-eye fish (Brachydeuterus auritus). Food and Nutrition Bulletin. 23(3), 317-320.

Kyaw, Z. Y., Cheow, C. S., Yu, S. Y. and Dzulkifly, M. H. 2001. The effect of pressure cooking on the microstructure and expansion of the fish Cracker (Keropok). Journal of food Quality. 24(3), 181-194.

Lamuka, P. O., G. R. Sunki, C. B. Chawan, D. R. Rao and L. A. Shackelford. 1992. Bacteriological quality of freshly processed broiler chickens as affected by carcass pretreatment and gamma irradiation. J. Food Sci. 57(2), 330-332.

Loaharanu, P. 1995. Food Irradiation : current status and future prospects. pp. 90-111. In "New Methods of Food Proeservation". G. W. Gould (ed.). Blackie Academic & Professional, Glasgow, U.K.

Monk, J. D. , L. R. Beuchat and M. P. Doyle. 1995. Irradiation inactivation of foodborne microorganisms. J. Food Prot. 58 (2), 197-208.

Mondy, N. I. and B. Gosselin. 1989. Effects of irradiation on discoloration, phenols and lipids of potatoes. J. Food Sci. 54(4), 982 - 984.

Moseley, B. E. B. 1989. Ionizing Radiation : Action and Repair. pp. 43-70. In "Mechanisms of Action of Foods Preservation Procedures". G. M. Gould (ed.). Elsevier Science Publishers, Ltd. , Essex.

Radomyski, T., E. A. Murano, D. G. Olson and P. S. Murano. 1994. Elimination of pathogens of significance in food by low dose irradiation : a review. J. Food Prot. 57(1), 73-86.

Nurul, H., Boni, I. and Noryati, I. 2009. The effect of different ratios of Dory fish to tapioca flour on the linear expansion, oil absorption, colour and hardness of fish crackers. International food Research Journal. 16, 159-165.

Pinnioja, S. 1998. Thermoluminescence of minerals useful for identification of irradiated Sea food.

Sachindra, M., Sakhare, Z., Yashoda, P. and Rao, N. 2005. Microbail profile of buffalo sausage during processing and storage. Food Control. 16(1), 31-35.

Prince of Songkla University Pattani Campus

Skala, H., McGown, L. and. Waring, P. 1987. Wholesomeness of irradiated Foods. J. Food Prot. 50(2), 150-60.

Subularse, V. C., J. A. Liuzzo, R. M. Rao and R. M. Grodner. 1991. Cooking quality of brown rice as influenced by gamma irradiation. J. Food Sci. 56(1) : 96-98, 108.

Tongdang, T., Meenun, M and Chainui, J. 2008. Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava Cracker (Keropok). 60(10), 568-576.

Tongdang, T. 2008. Mini review Cracker 'Keropok' : A review on factor influencing expansion. International food Research Journal. 18(3), 855-866.

Vichaidid, T., Soodpasert, T., Oophathum, C., Limsuwan, P.,2008. Gamma- Ray spectormery and neutron activation analysis for dose rate determination of sediment from Mea basin in ESR dating. Faculty of science. King Mongkut's University of Tecnology Thonburi.

WHO. 1994. Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. World Health Organization.

Ziegelmann, K.W. Bögl, G.A. Schreiber. 1998. TL and ESR signals of mollusc shells correlations and suitability for the detection of irradiated foods.

Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก 1 (A-D) แสดงผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ไม่ฉายรังสีที่ (Control) เทียบกับข้าวเกรียบปลาแบบสด (กือโป๊ะ) ฉายรังสี 1, 2 และ 3 กิโลเกรย์ ตามลำดับ

(A)

0 kGy (Control)												
Storge time (Day)	25°C						4°C					
	Outer surface portion			Interior portion			Outer surface portion			Interior portion		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
1	53.34±0.11	1.61±0.06	16.56±0.34	48.98±0.72	1.29±0.16	11.51±0.04	48.55±1.25	1.56±0.02	11.37±0.43	45.53±0.39	1.93±0.12	12.72±0.60
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	46.97±0.72	1.37±0.17	10.06±0.41	48.12±0.45	1.65±0.12	11.78±0.64
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Prince of Songkla University Pattani Campus

(B)

1 kGy (Control)												
Storge time (Day)	25°C						4°C					
	Outer surface portion			Interior portion			Outer surface portion			Interior portion		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
1	52.34±0.11	1.61±0.06	16.56±0.34	48.98±0.72	1.29±0.16	11.51±0.04	51.95±0.25	1.65±0.11	15.16±0.34	48.49±0.34	1.28±0.11	11.58±0.32
2	52.14±0.25	1.33±0.18	16.11±0.43	49.01±0.71	1.51±0.67	11.74±1.01	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	49.87±0.34	1.33±0.08	14.89±0.30	49.96±0.95	1.33±0.08	14.89±0.51
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	48.96±0.71	1.40±0.15	12.13±0.78	51.01±0.47	1.34±0.13	14.23±0.32
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	48.45±0.64	1.10±0.15	10.28±1.02	51.21±0.43	1.10±0.06	13.79±0.39
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45.95±0.71	1.18±0.15	11.25±0.78	51.34±0.47	1.55±0.13	14.09±0.32
30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	43.92±0.55	1.21±0.06	11.65±0.38	51.41±0.18	0.96±0.03	13.45±0.08

Prince of Songkla University Pattani Campus

(C)

2 kGy (Control)												
Storge time (Day)	25°C						4°C					
	Outer surface portion			Interior portion			Outer surface portion			Interior portion		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
1	52.23±0.16	1.61±0.15	15.21±1.01	49.16±0.08	1.39±0.33	12.11±0.12	51.53±0.39	1.66±0.13	14.77±0.38	48.50±1.70	1.36±0.16	11.56±0.34
2	52.31±0.14	1.37±0.12	15.11±0.25	49.02±0.23	1.31±0.53	12.35±0.21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	48.83±0.76	1.61±0.12	13.93±0.91	45.64±0.23	1.30±0.11	10.91±1.11
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	46.82±1.23	1.01±0.12	11.09±0.17	51.43±0.25	1.53±0.08	14.79±0.17
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	46.68±1.91	1.02±0.15	10.79±0.78	48.66±0.53	1.05±0.08	14.09±0.24
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45.55±0.76	1.08±0.14	11.01±0.69	51.18±0.75	1.26±0.15	13.49±0.51
30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	43.84±0.49	1.21±0.15	11.68±0.43	51.26±0.52	0.86±0.08	13.01±0.18

Prince of Songkla University Pattani Campus

(D)

Storge time (Day)	3 kGy (Control)											
	25°C						4°C					
	Outer surface portion			Interior portion			Outer surface portion			Interior portion		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
1	52.48±0.06	1.05±1.15	14.35±1.21	49.56±0.16	1.31±0.28	13.24±2.10	51.52±1.10	1.67±0.23	14.70±0.21	48.48±1.12	1.36±0.32	11.50±0.25
2	52.67±0.16	1.24±0.43	11.54±0.45	50.15±065	1.23±1.23	13.17±0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	51.47±0.33	1.23±0.10	12.64±0.02	50.78±0.86	1.11±0.02	14.02±0.14	48.77±0.69	1.73±0.31	14.35±0.55	46.64±0.69	1.64±0.23	12.05±0.92
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45.03±0.59	1.19±0.10	12.64±0.37	52.57±0.13	1.24±0.01	15.41±0.12
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45.64±1.28	1.04±0.16	11.64±1.36	51.15±0.48	0.86±0.02	14.25±0.16
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45.42±0.69	1.23±0.13	11.55±0.62	51.14±0.53	0.76±0.10	13.41±0.17
30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	43.80±0.50	1.24±0.15	11.93±0.54	51.15±0.57	0.82±0.05	13.38±0.24

Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

1) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยวิธี Air Oven Method (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)
2. ถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เวลา 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงชั่งน้ำหนัก

2. กระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง

4. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำ กลับไปเข้าตู้อบและกระทำซ้ำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

Prince of Songkla University Pattani Campus

2) วิเคราะห์ปริมาณเถ้า

อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. ถ้วยคูซิเบิล
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้อง (crusible) ในเตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เอาออกมาใส่ในโถดูดความชื้น นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกค่า

2. นำถ้วยกระเบื้องไปอบอีกครั้งตามข้อ 1 ชั่งน้ำหนักโดยที่น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 30 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่แห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

4. นำถ้วยกระเบื้องไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จากนั้นทำตามข้อ 1-2 แล้วคำนวณดังสูตร

Prince of Songkla University Pattani Campus

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

W_1 = น้าหนักคงที่ของถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W_2 = น้าหนักของเถ้าและถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

3) การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

อุปกรณ์

1. เครื่องพีเอชมิเตอร์
2. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่สับละเอียดประมาณ 10 กรัม
2. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วโฮโมจิไนซ์นาน 2 นาที
3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ประมาณ 100 มิลลิลิตร
4. จุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างและบันทึกค่าความเป็นกรดด่าง

4) การวิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid ดัดแปลงตามวิธีของ Khalafalla *et al.* (2015)

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่น
2. เตาหลุมความร้อน (heating mantle)
3. คิวเวตแก้ว
4. หลอดทดลอง
5. บิกเกอร์ขนาด 250 และ 600 มิลลิลิตร.

สารเคมี

1. 2-ไทโอบาบิทูริก แอซิด
2. กรดแอซิติก
3. กรดไฮโดรคลอริก
4. แอนตี้ โฟมมิง เอเจนท์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักอย่างละเอียด 10 กรัม ปั่นให้ละเอียดกับน้ำ 50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์นาน 2 นาที ถ่ายลงในขวดก้นกลมกลั้วน้ำด้วยกลั่น 47.5 มิลลิลิตร เติม 4 N กรดไฮโดรคลอริก 2.5 มิลลิลิตร
2. เติม glass bead 2-3 เม็ด และแอนตี้โฟมมิงเอเจนท์ 0.5 มิลลิลิตร
3. นำไปกลั่นให้ได้ distrillate ประมาณ 50 มิลลิลิตร

Prince of Songkla University Pattani Campus

4. ใช้ปิเปตถ่ายสารละลายตัวอย่างในข้อ 3. จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่แห้ง เติม TBARs reagent 5 มิลลิลิตร (ละลาย 2-ไทโอบาบิทูริกแอซิดใน 90% กรดแอซิติก) ปิดฝาเขย่าให้ผสมเข้ากันดี นาไปต้มในน้ำเดือด 35 นาที

5. ทำให้เย็นลงโดยการแช่ในน้ำเย็นประมาณ 10 นาที

6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

7. คำนวนค่า TBA ในรูปของ malondaldehyde โดยคำนวณด้วยเฟคเตอร์ 7.8

8. รายงานค่า TBA เป็น mg malonaldehyde/kg.sample

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1) การวัดค่าสีในระบบ CIE ด้วยเครื่อง Hunter Lab

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. เตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบ โดยนำตัวอย่างข้าวเกรียบปลาหั่นเป็นท่อนตามขวางให้มีความยาวท่อนละ 10 เซนติเมตร

2. นำตัวอย่างมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab โดยวัดตรงบริเวณผิวด้านนอกและผิวด้านในตรงบริเวณหน้าตัดของท่อนข้าวเกรียบ อ่านค่าสีโดยใช้ระบบ CIE Lab ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L^* a^* และ b^*

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตัวอย่างแบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสด (นึ่ง)

ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ

ชื่อ-สกุล.....วันที่.....

เวลา.....เพศ .....อายุ..... ปี.....

คำแนะนา กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบในแต่ละตัวอย่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด และ**กรุณากลั้วปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง** โดยกำหนดให้

1 ไม่ชอบเลย 2 ไม่ชอบมาก 3 ไม่ชอบปานกลาง 4 ไม่ชอบเล็กน้อย
5 เฉยๆ 6 ชอบเล็กน้อย 7 ชอบปานกลาง 8 ชอบมาก 9 ชอบเป็นพิเศษ

คุณลักษณะ	ระดับคะแนนความชอบ	
	รหัส 1	รหัส 2
กลิ่นควัน		
เนื้อสัมผัส		
สี		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

Prince of Songkla University Pattani Campus

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแบบสด (ทอด)

ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ

ชื่อ-สกุล.....วันที่.....

เวลา.....เพศ .....อายุ..... ปี.....

คำแนะนา กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบในแต่ละตัวอย่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด และ**กรุณากลั้วปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง** โดยกำหนดให้

1 ไม่ชอบเลย 2 ไม่ชอบมาก 3 ไม่ชอบปานกลาง 4 ไม่ชอบเล็กน้อย
5 เฉยๆ 6 ชอบเล็กน้อย 7 ชอบปานกลาง 8 ชอบมาก 9 ชอบเป็นพิเศษ

คุณลักษณะ	ระดับคะแนนความชอบ	
	รหัส 1	รหัส 2
กลิ่น		
เนื้อสัมผัส		
สี		
รสชาติ		
ความชอบโดยรวม		

Prince of Songkla University Pattani Campus

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นางสาวนินูรร์ มุกาวี

รหัสนักศึกษา 5620320805

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555

ทุนการศึกษา

ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมการศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นินูรร์ มุกาวี และธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ. 2560. การตอบสนองต่อปริมาณรังสีของข้าวเกรียบปลาแบบสด (กรือโป๊ะ) ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนต์. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ครั้งที่ 10 ประจำปีการศึกษา 2559. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 15-16 ตุลาคม 2559.

Prince of Songkla University Pattani Campus