

การศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง
A STUDY ON CANNED GRUEL PRODUCTION FROM
RED JASMINE BROWN RICE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-053-256

การศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง

**A STUDY ON CANNED GRUEL PRODUCTION FROM
RED JASMINE BROWN RICE**



พลอยไพลิน ชำนิวิกย์

PLOYPAILIN CHUMNIWIKRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-053-256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON CANNED GRUEL PRODUCTION FROM
RED JASMINE BROWN RICE**

PLOYPAILIN CHUMNIWIKRI



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2016

KMITL-2016-AI-M-053-256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง
A STUDY ON CANNED GRUEL PRODUCTION FORM RED JASMINE
BROWN RICE

ชื่อนักศึกษา นางสาวพลอยไพลิน ชำนิวิทย์


รหัสประจำตัว 56608009

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุท

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--|
| ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุท |  |
| ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ | |
| ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ | |
| รศ.เขวาลักษณ์ สุรพันธ์พิสิษฐ์ | |

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 5 กรกฎาคม 2559 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 27 เดือน 09 พ.ศ. 2559

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง |
| นักศึกษา | นางสาวพลอยไพลิน ชำนิวิทย์ |
| รหัสประจำตัว | 56608009 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การอาหาร |
| พ.ศ. | 2559 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร.ยุพร พีชกมูทร |

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง เริ่มต้นจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในระหว่างการเก็บรักษามะลิแดงข้าวกล้องหอมมะลิแดงเป็นระยะเวลา 6 เดือนนั้น มีผลให้เมล็ดข้าวมีค่าความชื้นและปริมาณอะไมโลสเพิ่มสูงขึ้น จากร้อยละ 10.78 เป็น 12.00 และร้อยละ 20.44 เป็น 23.39 ตามลำดับ อัตราการยืดตัวและค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ตรงข้ามกับค่าความเหนียวและค่าความสว่าง (L^*) ของเมล็ดข้าวที่มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ในด้านคุณภาพการหุง ระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม อัตราการขยายตัว และอัตราการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น

การผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องทำโดยบรรจุเมล็ดข้าว 20 กรัม ลงในกระป๋องขนาด 307×113 (83×46 mm) เติมน้ำเกลือที่มีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/w) จำนวน 150 กรัม ปิดฝากระป๋องทันที ใช้สภาวะการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการฆ่าเชื้อ 20 นาทีและความดัน 2 บาร์ จะให้ค่า F_0 เท่ากับ 11.2 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้มีลักษณะเหมือนกับข้าวต้มที่วางขายตามท้องตลาด ในการทดลองได้ศึกษาผลของการแช่ข้าวในกระป๋องเป็นระยะเวลา 0, 20, 50 และ 80 นาที ก่อนนำไปฆ่าเชื้อ พบว่า คุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้ม มีแนวโน้มลดลง ตรงข้ามกับค่าความขุ่นของน้ำข้าวต้มและสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่ออายุการเก็บรักษาของข้าวกล้องหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้นจาก 1 เดือน เป็น 6 เดือน พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีค่าลดลง ค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น รวมทั้งเมื่ออายุการเก็บรักษาของข้าวที่ใช้ในการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 1 เดือน เป็น 6 เดือน ทำให้ความแข็งของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในช่วงเดือนที่ 2 ถึง 4 สามารถใช้สภาวะเดียวกันในการผลิต โดยข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีค่าความแข็ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพข้าวต้มบรรจุกระป๋องหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง ค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น และในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษา สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มเพิ่มสูงขึ้นมาก เป็นผลให้ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋องลดลงมาก หลังจากนั้นจนถึง 6 เดือน การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ด้านการวิเคราะห์จุลินทรีย์ พบว่า ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 30 CFU/g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

yellow color (b*) level increases as time passes. After one month of storage, the water absorption level of gruel increased significantly. This resulted in a significant reduction in hardness and stickiness of the gruel. However, after that until six months, there is no statistically significant change in hardness and stickiness. *Clostridium botulinum* and *Bacillus stearothermophilus* was not found during the analysis of microorganisms within the six months. The total plate count was less than 30 CFU/g.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อข้าพเจ้าในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเป็นรูปเล่มสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ศศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ และ รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิสิทธิ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆ เรื่องเสมอมา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่เทคนิค ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ธุรการในงานเอกสารต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และเป็นกำลังใจทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

พลอยไพลิน ชำนิวิทย์

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | III |
| กิตติกรรมประกาศ..... | V |
| สารบัญ..... | VI |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| สารบัญภาพ..... | XI |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง..... | 3 |
| 2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวแดงที่ใช้บริโภค..... | 4 |
| 2.1.2 คุณประโยชน์ของข้าวกล้องหอมมะลิแดง..... | 4 |
| 2.1.3 สีของข้าวกล้องแดง..... | 6 |
| 2.2 คุณภาพข้าวสุก..... | 8 |
| 2.2.1 ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน..... | 8 |
| 2.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก..... | 10 |
| 2.2.3 อุณหภูมิแป้งสุก..... | 10 |
| 2.2.4 ระยะเวลาในการหุงต้มและวิธีการหุงต้ม..... | 11 |
| 2.2.5 อัตราการยึดตัวของเมล็ดข้าวสุก..... | 11 |
| 2.2.6 กลิ่นหอม..... | 11 |
| 2.2.7 ปริมาณโปรตีน..... | 12 |
| 2.2.8 ลักษณะปรากฏ..... | 12 |
| 2.2.9 ปริมาณความชื้น..... | 12 |
| 2.3 เนื้อสัมผัสของข้าวสุก..... | 13 |
| 2.4 คุณสมบัติที่เปลี่ยนไประหว่างการเก็บรักษา..... | 13 |
| 2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บข้าวกล้อง..... | 14 |
| 2.4.2 กลไกที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาข้าว..... | 15 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5 ข้าวต้ม..... | 17 |
| 2.6 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง..... | 17 |
| 2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ..... | 17 |
| 2.6.2 การบรรจุ..... | 17 |
| 2.6.3 การไล่อากาศ..... | 18 |
| 2.6.4 การปิดผนึก..... | 19 |
| 2.6.5 การฆ่าเชื้อ..... | 19 |
| 2.6.6 การทำให้เย็น..... | 23 |
| 2.7 การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน..... | 23 |
| 2.7.1 ค่า D (Decimal Reduction Time)..... | 23 |
| 2.7.2 ค่า Z (Z-Value)..... | 24 |
| 2.7.3 ค่า F (Sterilizing Value)..... | 26 |
| 2.8 การพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวบรรจุกระป๋องและคุณภาพของข้าว..... | 27 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ..... | 31 |
| 3.1 วัตถุดิบ..... | 31 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง..... | 31 |
| 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์..... | 31 |
| 3.4 สารเคมี..... | 32 |
| 3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ..... | 33 |
| 3.6 สถานที่ทำการทดลอง..... | 33 |
| 3.7 วิธีการดำเนินงาน..... | 33 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 39 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..... | 39 |
| 4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของของข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระหว่าง การเก็บรักษา..... | 39 |
| 4.3 ผลการคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าว กล้องหอมมะลิแดง..... | 45 |
| 4.4 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ เตรียมจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน..... | 47 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา..... | 57 |
| 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง..... | 63 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 64 |
| บรรณานุกรม..... | 66 |
| ภาคผนวก..... | 75 |
| ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี..... | 76 |
| ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ..... | 87 |
| ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพด้านการหุงต้ม..... | 91 |
| ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์..... | 93 |
| ภาคผนวก จ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส..... | 95 |
| ภาคผนวก ฉ Heat penetration test and process schedule recommendation report..... | 96 |
| ภาคผนวก ช ร้อยละปริมาณการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดง..... | 104 |
| ภาคผนวก ซ รูปภาพข้าวต้มบรรจุกระป๋อง..... | 105 |
| ภาคผนวก ฌ รูปภาพการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องหลังจากผลิตเสร็จ..... | 117 |
| ภาคผนวก ญ วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการผลิต..... | 118 |
| ภาคผนวก ฎ การเร่งอายุการเก็บผลิตภัณฑ์..... | 120 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 121 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ 100 กรัม)..... | 4 |
| 2.2 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส..... | 9 |
| 2.3 การแบ่งประเภทข้าวตามค่าความคงตัว..... | 10 |
| 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามลำดับอุณหภูมิของแป้งสุก..... | 10 |
| 2.5 ค่าความทนทานต่อความร้อน (D, Z) ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆของแบคทีเรียที่พบในอาหารกระป๋อง..... | 25 |
| 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงเปรียบเทียบกับข้าวขาวหอมมะลิ..... | 39 |
| 4.2 คุณลักษณะทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ..... | 40 |
| 4.3 อัตราการยืดตัว ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของข้าวสุกที่เตรียมจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ..... | 41 |
| 4.4 ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสุกที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ..... | 43 |
| 4.5 คุณภาพด้านการหุงของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลาต่างๆ..... | 44 |
| 4.6 Heat Penetration Test Result..... | 45 |
| 4.7 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี L* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 48 |
| 4.8 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี a* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 49 |
| 4.9 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี b* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 49 |
| 4.10 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 51 |
| 4.11 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 51 |
| 4.12 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความแข็ง (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 53 |
| 4.13 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความเหนียว (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน..... | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....55 | |
| 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 2 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....55 | |
| 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 3 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....55 | |
| 4.17 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 4 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....56 | |
| 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 5 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....56 | |
| 4.19 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 6 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน....56 | |
| 4.20 ค่าสี L^* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่าง การเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....57 | |
| 4.21 ค่าสี a^* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่าง การเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....58 | |
| 4.22 ค่าสี b^* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่าง การเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....58 | |
| 4.23 ค่าความขุ่น (NTU) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันใน ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....59 | |
| 4.24 สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....60 | |
| 4.25 ค่าความแข็ง (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันใน ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....61 | |
| 4.26 ค่าความเหนียว (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....62 | |
| 4.27 ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Bacillus stearothermophilus</i> และ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน.....62 | |
| 4.28 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง.....63 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างหลักของแอนโซไซยานิน..... | 6 |
| 2.2 ลักษณะโครงสร้างองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน..... | 9 |
| 2.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา..... | 16 |
| 2.4 ขั้นตอนการเติมน้ำของหมอนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ..... | 20 |
| 2.5 ขั้นตอนการให้ความร้อนของหมอนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ..... | 21 |
| 2.6 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อของหมอนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ..... | 21 |
| 2.7 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิของหมอนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ..... | 22 |
| 2.8 สิ้นสุดกระบวนการของหมอนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ..... | 22 |
| 2.9 กราฟจำนวนสปอร์ของจุลินทรีย์ที่เหลืรอดที่เวลาและอุณหภูมิคงที่..... | 24 |
| 2.10 แสดงการพลอตกราฟการส่งผ่านความร้อนในช่วงการให้ความร้อน..... | 27 |
| 3.1 แสดงขั้นตอนการผลิตข้าวต้มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง..... | 36 |
| 4.1 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 1 (ซ้าย) และเดือนที่ 6 (ขวา)..... | 42 |
| 4.2 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงก่อนหุง (ซ้าย) และหลังหุง (ขวา)..... | 43 |
| 4.3 ลักษณะข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง..... | 46 |
| 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่แช่ใน กระป๋องเป็นระยะเวลาต่างๆ..... | 47 |
| 4.5 สีของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาไว้ในเดือน 1 ถึง เดือน 6..... | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก กว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆ (Ashish และคณะ, 2012) ประเทศไทยถือเป็นประเทศหนึ่งที่ปลูกข้าวมากเป็นอันดับต้นของเอเชีย และยังเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่รองจากอินโดนีเซีย และเวียดนาม คิดเป็น ร้อยละ 20.50 ของตลาดรวม (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2557)

ข้าวเป็นอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย และมีกรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมบริโภคในรูปของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสีมาแล้ว ซึ่งการขัดสีข้าวนั้นจะทำให้สูญเสียสารอาหารต่างๆ มากมาย เช่น โปรตีน วิตามิน โยอาหาร และเกลือแร่ แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น จึงสนใจและเปลี่ยนพฤติกรรมมาบริโภคข้าวที่ผ่านการขัดสีน้อย เช่น “ข้าวกล้องหอมมะลิแดง” ซึ่งถือว่าเป็น ธัญพืช ที่ให้ความสมดุลทางโภชนาการ มีใยอาหารสูง มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ มีสารต้านโรค อุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ลดความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วย (Zhang และคณะ, 2015) โดยแบ่งในข้าวกล้องหอมมะลิแดงถือเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ที่มีการย่อยสลายอย่างช้า ทำให้น้ำตาลในเลือดอยู่ในสภาวะควบคุม จึงช่วยในการป้องกันและบรรเทาโรคเบาหวานได้ดี และให้พลังงานต่ำ (ไมตรี, 2553) โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากเชื้อหุ้มเมล็ดสีแดง รวมถึงได้ผ่านการปรับปรุงสายพันธุ์ทำให้เป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมและรสชาติอร่อย

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้ประสบปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติต่างๆ อยู่บ่อยครั้ง เมื่อเกิดปัญหาทางภัยพิบัติ อาหารจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ประสบภัยต้องการ จึงเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้ผู้วิจัยสนใจในการผลิตข้าวต้มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง เนื่องจากข้าวต้มเป็นอาหารที่รับประทานง่าย มีคุณค่าทางโภชนาการ ทานได้ทั้งผู้สูงอายุ เด็กและผู้ป่วย ที่ต้องการอาหารที่ย่อยง่ายและมีประโยชน์ รวมถึงประชาชนทั่วไปก็สามารถรับประทานได้ อีกทั้งการบรรจุกระป๋องสามารถเปิดรับประทานได้ง่าย สะดวก มีปริมาณที่เพียงพอสำหรับการรับประทานต่อครั้ง เก็บรักษาไว้ได้นาน และกระป๋องสามารถนำไปรีไซเคิลได้หลังจากรับประทานแล้ว ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดประสบปัญหาทางภัยพิบัติได้

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความแปรปรวน ทั้งในด้านของความแตกต่างของข้าวไม่ว่าจะเป็นชนิดของข้าว สายพันธุ์ของข้าว การปลูก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา รวมถึงอายุการเก็บของข้าว ที่จะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี (ณัฐธิดา และคณะ, 2556) โดยข้าวที่มีอายุการเก็บที่แตกต่างกันตั้งแต่ข้าวใหม่หลังจากการเก็บเกี่ยว จนถึงการเก็บรักษาจนกลายเป็นข้าวเก่า จะมีผลต่อความแตกต่างกันทั้งลักษณะกายภาพ คุณสมบัติของข้าว และคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ความนุ่ม สมบัติในด้านการดูดซึมน้ำ การพองตัว และความหนืด เมื่อนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องจัดทำกระบวนการผลิตให้มีความสอดคล้องกับวัตถุดิบ มีความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอและมีคุณภาพเทียบเท่ากันในทุกการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาผลของอายุการเก็บของข้าวกล้องหอมมะลิแดง ต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้ เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตข้าวกล้องหอมมะลิแดงแต่ละอายุการเก็บที่จะนำไปผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของของข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษา
2. คำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง
3. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตงานวิจัยจะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของกระบวนการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระดับอุตสาหกรรม และศึกษาถึงระยะเวลาในการเก็บข้าวที่ต่างกันที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตและคุณลักษณะของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ศึกษาถึงวิธีการตรวจสอบคุณภาพของข้าวก่อนนำมาใช้ในกระบวนการ ทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ ตลอดจนคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง (Red jasmine brown rice)

ข้าวกล้องหอมมะลิแดง หรือข้าวกล้องหอมแดง เป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเข้มเมื่อหุงสุก ข้าวสุกมีลักษณะนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวดอกมะลิ 105 เนื่องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเป็นข้าวที่พัฒนามาจากข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แต่มีชั้นรำเป็นสีแดง ชั้นรำที่มีสีแดงจะมีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่มีฤทธิ์ทางยา เช่น สร้างความแข็งแรงของเลือด มีผลในการต้านอนุมูลอิสระ (อตุลย์, 2557) มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยปกติจะกะเทาะเปลือกออกเพียงชั้นเดียว หรือสีให้เป็นข้าวกล้อง ถ้าขัดสีไปหลายครั้งก็กลายเป็นข้าวขาวธรรมดา

การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิแดงเริ่มต้นจาก พุทธศักราช 2525-2527 ได้มีการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ โดยนายบุญโฮม ชำนาญกุล เป็นผู้อำนวยการสถานี พบว่าในรวงข้าวจำนวนหนึ่งมีเมล็ดที่เป็นข้าวเหนียวปนอยู่ด้วย เข้าใจว่าเกิดจากการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติ ซึ่งพบอยู่เสมอ นอกจากนี้เมื่อนำเมล็ดข้าวปน ไปปลูกพบว่า ในกอหนึ่งให้เมล็ดที่มีเยื่อหุ้มเป็นสีแดงเรื่อ ๆ มีแป้งทั้งชนิดที่เป็นข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (กลุ่มถ่ายทอดวิทยาการผลิตเมล็ดพันธุ์ดี ศูนย์เมล็ดข้าวขอนแก่น, 2557)

พุทธศักราช 2529-2533 นักวิจัยกลุ่มนี้ได้นำเฉพาะเมล็ดข้าวเจ้าที่มีเยื่อหุ้มเป็นสีแดงมาปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกเพื่อการคัดเลือกสายพันธุ์ จนในปีพุทธศักราช 2533 มี เพี้ยกระโดดสีน้ำตาลระบาดรุนแรง พบว่ามีสายพันธุ์ที่ไม่ถูกทำลาย และคัดได้สายพันธุ์ข้าวเบาและข้าวหนักดีเด่นที่ต้านทานเพี้ยกระโดดสีน้ำตาลไว้

พุทธศักราช 2535 เกษตรกรที่อยู่ใกล้ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ได้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ดีเด่นไปปลูกและแปรรูปผลผลิตเป็นข้าวกล้องแดงจำหน่าย

พุทธศักราช 2536 นักวิจัยค้นพบว่า อายุสุกเก็บเกี่ยวของข้าวแดงหอมในแปลงเกษตรกรยังมีการกระจายตัว ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกจึงนำสายพันธุ์ข้าวเบาและข้าวหนักมาคัดเลือกใหม่ในปี พ.ศ. 2538 ได้สายพันธุ์ KDML105R-PSL-E-14 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวเบาที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และกรมการข้าวได้เสนอขอขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตรเป็นพันธุ์ข้าวทั่วไป โดยใช้ชื่อว่า “ข้าวหอมแดง (Red Hawm Rice)” และด้วยมีที่มาจากข้าวหอมมะลิ 105 บ้างจึงเรียกข้าว

ชนิดนี้ว่า “ข้าวหอมมะลิแดง” (กลุ่มถ่ายทอดวิทยาการผลิตภัณฑ์พันธุ์ดี ศูนย์เมล็ดข้าวขอนแก่น, 2557)

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่ใช้บริโภค

สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2541) ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ในตัวอย่างข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกพบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิแดงมีเส้นใยอาหาร (Dietary Fiber) และวิตามินบี 6 สูงกว่าข้าวกล้องข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่มีธาตุเหล็กและวิตามินต่างๆ ต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวกล้องข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ 100 กรัม)

| คุณค่าทางโภชนาการ | ข้าวกล้องหอมมะลิแดง | ข้าวกล้องข้าวขาวดอกมะลิ105 |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| เส้นใยอาหาร (กรัม) | 4.63 | 3.73 |
| เหล็ก (มิลลิกรัม) | 0.91 | 0.94 |
| สังกะสี (มิลลิกรัม) | 0.02 | 1.48 |
| วิตามินอี (ไมโครกรัม) | 83.10 | 159.48 |
| วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม) | 0.29 | 0.37 |
| วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม) | 0.01 | 0.01 |
| วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม) | 0.26 | 0.22 |

ที่มา : สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2541)

2.1.2 คุณประโยชน์ของข้าวกล้องหอมมะลิแดง

การบริโภคข้าวกล้องหอมมะลิแดงจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่างได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยเสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มากเป็นส่วนใหญ่ในข้าวกล้อง คือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 (Thiamin) ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในขบวนการเปลี่ยนแปลงในร่างกายให้เป็นพลังงานและช่วยในการทำงานของระบบประสาทในการบังคับกล้ามเนื้อ (เทอดศักดิ์, 2542) วิตามินบี 2 (Riboflavin) ช่วยป้องกันโรคปากนกกระชอกและช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (Niacin) ช่วยในการทำงานของระบบผิวหนังและระบบประสาท นอกจากวิตามินแล้ว ข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้าวยังมี วิตามินอี เซเลเนียม และ

แมกนีเซียม ประกอบอยู่ด้วย แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการทำงานในระบบต่างๆของร่างกายให้แข็งแรงยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกาย ส่วนเส้นใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (Polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีอยู่มากในเชื้อหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง เมื่อบริโภคน้ำเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อยเส้นใยอาหารได้ทั้งหมด จึงถูกขับออกมา และช่วยพาสีที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูก และช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีบทบาทในการลดความเสี่ยงจากโรคเบาหวาน โรคไขมันในเส้นเลือด โรคท้องผูก และโรคมะเร็งลำไส้ (บรรจบ, 2553)

บทบาทข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่อโรคเบาหวาน การรับประทานคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนระบบย่อยจะใช้เวลาในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นกลูโคส กลูโคสที่ได้จะเข้าไปในร่างกายอย่างช้าๆ เป็นอัตราเร็วที่พอดีกับการสร้างอินซูลินของร่างกาย ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้องจึงมีผลต่ออัตราความเร็วในการย่อยข้าวกล้องที่พอดีกับอัตราความเร็วในการผลิตอินซูลิน ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างการรับประทานกับการใช้น้ำตาลของร่างกาย ไม่ทำให้ตับอ่อนทำงานหนักเกินไป และจากการทดสอบพบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่หุงสุกแล้วมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลกลูโคสในเวลา 20 นาทีแรกก่อนข้างเช้า คือ 10.60 กรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณน้ำตาลกลูโคสหลังจากย่อยผ่านไป 120 นาที มีค่าเพียง 8.59 กรัมต่อ 100 กรัม แสดงให้เห็นว่า ข้าวหอมมะลิแดงน่าจะเป็นข้าวพื้นเมืองที่มีดัชนีน้ำตาลที่เหมาะสมกับการส่งเสริมให้ผู้บริโภคที่อยู่ในภาวะปกติ หรือผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 รับประทาน เพราะเมื่อรับประทานข้าวชนิดนี้เข้าไปแล้ว ร่างกายจะมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเพิ่มสูงขึ้นช้ากว่าข้าวเจ้าทั่วไป (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2557)

บทบาทข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่ออาการท้องผูก ข้าวกล้องมีเส้นใยอาหารสูง ทำให้กากอาหารมีมากขึ้น โดยเส้นใยอาหารในอุจจาระจะช่วยอุ้มน้ำเอาไว้ ทำให้อุจจาระมีลักษณะนิ่ม ถูกขับออกมานอกร่างกายได้ง่าย และยังช่วยกระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ ทำให้การขับถ่ายออกมาตรงตามเวลา (บรรจบ, 2553)

บทบาทข้าวกล้องหอมมะลิแดงในการควบคุมไขมันในเส้นเลือด เส้นใยอาหารในข้าวกล้องสามารถดูดซับไขมันในลำไส้ ทำให้ไขมันมีโอกาสซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อย

บทบาทข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่อมะเร็งลำไส้ เส้นใยอาหารในข้าวกล้องสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ทั้งนี้มะเร็งลำไส้ใหญ่เกิดได้จากการรับประทานเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนและไขมันสูง ไม่มีเส้นใยอาหาร ซึ่งเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่มักจะค้างอยู่ในลำไส้ ไม่สามารถย่อยสลายได้หมด เมื่อโปรตีนและไขมันถูกน้ำย่อย ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นยางเหนียวๆ ติดกับลำไส้ใหญ่ อีกทั้งไขมันในเนื้อสัตว์จะเรียกเอาน้ำดีออกมาย่อยจึงอุ้มน้ำดีไว้ด้วย กรดน้ำดีนี้จะ

อาหารของแบคทีเรียส่งผลให้แบคทีเรียสร้างสารก่อมะเร็ง ซึ่งพบว่าทำให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้องซึ่งมีเส้นใยอาหารจะทำให้ขับถ่ายได้สะดวก สามารถป้องกันมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (บรรจบ, 2553)

บทบาทของข้าวกล้องหอมมะลิแดงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกันโรคที่สมบูรณ์ เนื่องจากในข้าวกล้องจะมีวิตามินบี 6 เป็นโคเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอาหารให้เกิดพลังงาน และกระบวนการสร้างสารภายในร่างกาย มีความจำเป็นต่อการสร้างน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร อีกทั้งร่างกายจำเป็นต้องใช้วิตามินบี 6 ในการสร้างแอนติบอดีและเม็ดเลือดแดง (เทอดศักดิ์, 2542)

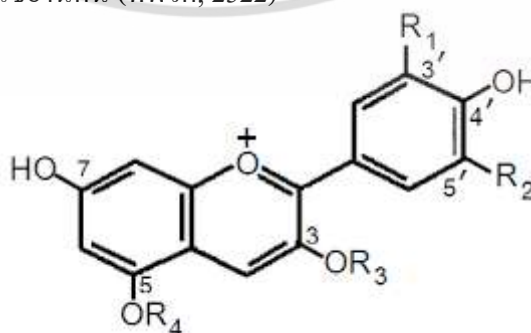
2.1.3 สีของข้าวกล้องหอมมะลิแดง

สีของข้าวกล้องจะแสดงออกที่เนื้อเยื่อชั้น pericarp ส่วน endosperm ข้าวกล้องที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงจะมีสารพวกแอนโทไซยานินอยู่ (ภัทรพร และ สุนันทา, 2549)

2.1.3.1 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน จัดเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สี ชมพู แดง ม่วง และน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ใน vacuolar sap ของพืช สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทชนิดไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (non-hydroxyl solvent) เช่น อะซิโตน (acetone) เบนซีน (benzene) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และอีเทอร์ (ether) เป็นต้น (ทิพวดี, 2522)

แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxyl และ polymethoxyl ของสารฟลาเวียม (flavylium) หรือ 2-phenylbenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานิน หรือที่เรียกว่า aglycone ซึ่งจับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β -glycosidic ดังภาพที่ 2.1 และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้างแอนโทไซยานิน (ทิพวดี, 2522)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน

ที่มา : Jadwiga (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

1. ใช้เป็นสีย้อมอาหาร (food dye) เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารแอนโทไซยานินสามารถอยู่ในรูปแบบผงและของเหลว จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของอาหารและผสมกับส่วนของไข่ขาวเพื่อใช้เป็นสารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) แทนการใช้แป้ง รวมทั้งเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ต่ำ แต่ทั้งนี้สีผสมอาหารแอนโทไซยานินไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ามะนาว และครีมเปรี้ยว (นารีรัตน์, 2553)

2. ใช้เป็นส่วนผสมในแชมพู ซึ่งสารแอนโทไซยานินจะช่วยกระตุ้นให้เซลล์รากผม (keratinocytes) สร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมหน้าผมหงอก (keratinocytes) สร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมหน้าผมหงอก

3. ใช้เป็นส่วนผสมในสารกันแดด (sunscreen) ช่วยให้ผิวหนังอุ่นกว่าวัย ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของผิวหนัง เนื่องจากสารแอนโทไซยานินช่วยยับยั้งความเสียหายของผิวหนังจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ที่เกิดจากแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อใช้ร่วมกับวิตามินอีจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ทำสบู่ได้ด้วย (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

4. ช่วยในการผสมเกสร โดยแมลงจะชอบสีสันของดอกไม้ต่างกัน เช่น ผีชอบดอกสีน้ำเงิน หรือเหลือง และมีลายเส้นของดอกไม้ที่โดดเด่น ผีเสื้อชอบดอกสีแดง ชมพู นกชอบดอกสีแดง ส้ม ดั้วและค้างคาวชอบดอกสีไม่สดใส และไม่ฉลาด (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

5. ช่วยดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวคลื่นสั้น จึงมีพลังงานสูงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยไปขัดขวางการจำลองแบบของดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (สัมพันธ์, 2546)

6. ช่วยลดไขมันในเลือด โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) เช่น ในการสังเคราะห์แสงจะมีการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ขึ้น แอนโทไซยานินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนี้ ทำให้พิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดไป ในแง่ของโภชนาการแอนโทไซยานินช่วยลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจนกับคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL-cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันที่ไม่พึงประสงค์ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเดียวกันจะเพิ่มปริมาณของคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นสูง (HDL-cholesterol) ที่เป็นไขมันดี ดังนั้นการดื่มน้ำองุ่นแดง วันละ 2-3 แก้วจะช่วยลดอัตราเสี่ยงการแข็งตัวของเลือดได้ (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

2.2 คุณภาพข้าวสุก

คุณภาพข้าวสุก หมายถึง ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวภายหลังจากการหุง เภณท์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพข้าวสุกจะแตกต่างกันไปตามนิสัยในการรับประทานข้าวของผู้บริโภคในแต่ละท้องถิ่น คุณภาพข้าวสุกเหล่านี้จะแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละพันธุ์ ในเมล็ดข้าวสารซึ่งใช้ในการบริโภคทั่วไป มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 75-80 ความชื้นร้อยละ 14 และมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 4-14 แป้งข้าวจึงมีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติการหุงต้มรับประทาน (งามชื่น, 2540) คุณสมบัติทางกายภาพเคมีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

2.2.1 ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Amylose and Amylopectin Content)

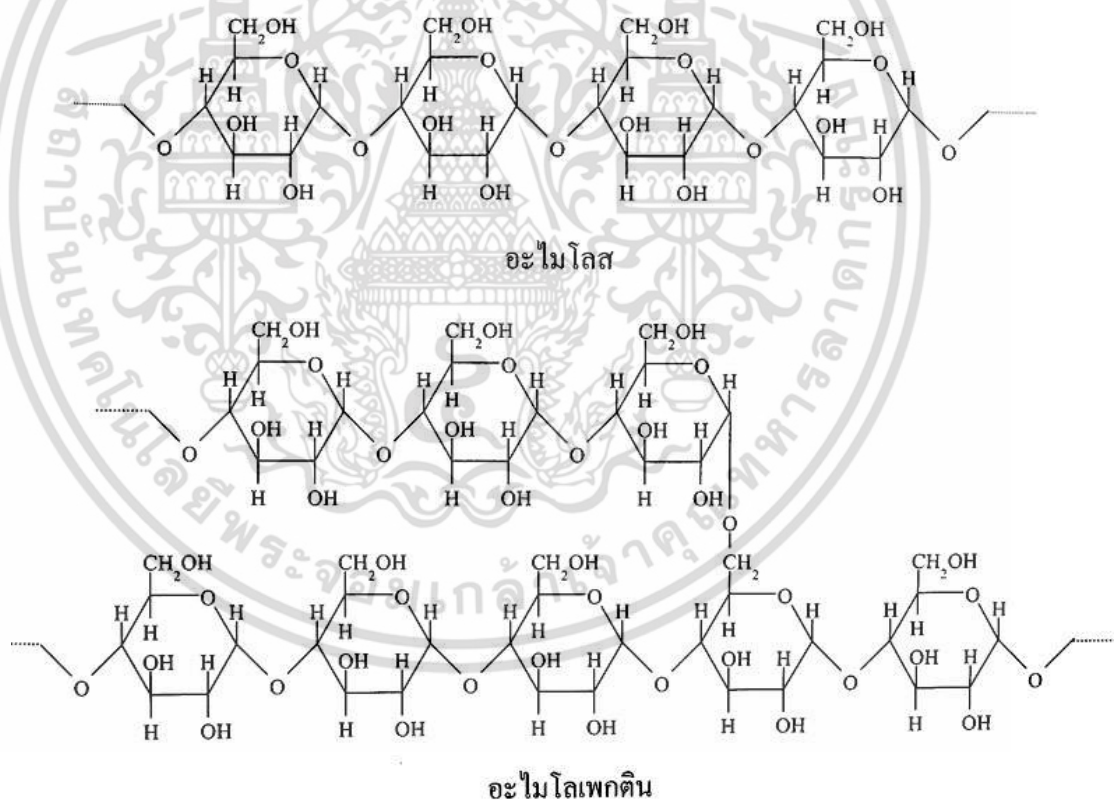
คาร์โบไฮเดรตที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปของเมล็ดสตาร์ชประกอบไปด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินประมาณร้อยละ 12-35 เป็นโพลิเมอร์ของดิกลูโคสที่อยู่ในรูปไพราโนส (Pyranose) มาต่อกันเป็นเส้นตรงยาวประมาณ 500-2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glucosidic linkage ดังภาพที่ 2.2 อะไมโลสไม่สามารถละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อะไมโลสจะละลายได้ดีในสารละลายต่าง และทำปฏิกิริยากับสารละลายเจือจางของไอโอดีนแล้วให้สีน้ำเงิน จึงสามารถใช้หาปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างข้าวต่างๆ และหาอัตราการเกิดเจลาตินในซ้ของข้าวได้โดยการวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร อะไมโลเพคติน เป็นไฟเบอร์ของดิกลูโคสที่ต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขา (Branch chain) โดยจุดที่มีการแตกแขนงจะจับกันด้วยพันธะ α -1,6 glucosidic linkage อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545) ข้าวเจ้าในประเทศไทยมีส่วนประกอบของ อะไมโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 12-33 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

| ประเภทข้าว | ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ) | ลักษณะข้าวสุก |
|------------------------|------------------------|--------------------|
| ข้าวเหนียว | 1 - 2 | เหนียวมาก |
| ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก | 2 - 9 | เหนียวนุ่ม |
| ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ | 9 - 20 | เหนียวนุ่ม |
| ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง | 20 - 25 | นุ่มค่อนข้างเหนียว |
| ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง | 25 - 33 | ร่วนแข็ง |

ที่มา : Juliano และ Goddard (1986)

ปริมาณอะไมโลสในเมล็ดข้าวจะสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ได้แก่ ลักษณะความนุ่มหรือความแข็ง และความเหนียวหรือร่วน ในการหุงข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดซึมน้ำมาก และข้าวสุกที่ได้จะร่วนแข็ง ในขณะที่ข้าวอะไมโลสต่ำจะดูดซึมน้ำได้น้อยจึงมีลักษณะเหนียวติดกัน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

ที่มา : Freach (1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

แม้ปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในข้าวสารบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน แต่เมื่อหุงเป็นข้าวสุกอาจมีคุณภาพแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกเมื่อเย็นแล้วมีความแข็งหรืออ่อนแตกต่างกัน โดยข้าวที่มีความคงตัวของเจลต่ำจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของเจลสูงเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน (Juliano, 1982)

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทข้าวตามค่าความคงตัว

| ประเภทแป้งสุก | ระยะทางที่แป้งไหล (มม.) (แป้ง 100 มก. ใน KOH 0.2 N 2 มล.) |
|----------------|--|
| แป้งสุกแข็ง | 26-40 |
| แป้งสุกปานกลาง | 41-60 |
| แป้งสุกอ่อน | 61-100 |

ที่มา : Juliano (1980)

2.2.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature)

เป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองในน้ำ ความร้อนจะทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลในบริเวณผลึก การดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวเต็มที่จนแป้งกลายเป็นเจล และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็น โปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง จะหุงค้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ณรงค์พันธุ์, 2549) โดยสามารถแบ่งประเภทข้าวตามลำดับอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามลำดับอุณหภูมิของแป้งสุก

| อุณหภูมิแป้งสุก (องศาเซลเซียส) | ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก |
|--------------------------------|-----------------------|
| ต่ำกว่า 70 | ต่ำ |
| 70 - 74 | ปานกลาง |
| สูงกว่า 75 | สูง |

ที่มา : Juliano (1972)

Kongseree (1979) พบว่าข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ หากมีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางหรือสูงจะทำให้ข้าวไม่สุกและข้าวสุกที่ได้จะแข็งกระด้าง ในทำนองเดียวกันข้าวอะไมโลสต่ำควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เนื่องจากในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะดูดน้ำเข้าไปด้วยทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความชื้นภายในเมล็ดสูงขึ้น หากข้าวอะไมโลสต่ำมีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางหรือสูง ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวเมื่อสุกแล้วอาจสูงเกินไปทำให้ข้าวมีลักษณะแฉะ

2.2.4 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) และวิธีการหุงต้ม

การต้มเมล็ดข้าวให้สุกโดยทั่วไปอาจใช้เวลา 14-24 นาที หรือมากกว่านั้น เมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด ซึ่งระยะเวลานี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส นอกจากนี้วิธีการหุงต้มยังมีส่วนทำให้คุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน เช่น การหุงต้มข้าวอะไมโลสสูงหากใส่น้ำน้อยจะแข็งกระด้าง แต่เมื่อใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นและทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้นด้วย การหุงข้าวโดยรินน้ำทิ้ง (เช็ดน้ำ) เป็นการทำให้ข้าวมีโอกาสดูดน้ำได้มากและทำให้ข้าวแข็งกระด้างน้อยลง เพราะระหว่างการคงข้าวหรือทิ้งข้าวให้ระอุบนเตาไฟเต็มที่ เพื่อไล่ความชื้นที่มีมากเกินไป ข้าวยังคงความร้อนสูง ซึ่งมีผลทำให้เมล็ดสุกได้ (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกดังกล่าวข้างต้น แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาหุงต้มออกไปอีก เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากัน ข้าวที่มีเมล็ดหนาจะต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ในทำนองเดียวกันโปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ และทำให้เวลาหุงต้มนานออกไป (งามชื่น, 2536)

2.2.5 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio)

ในระหว่างการหุงข้าวเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว ในข้าวบางพันธุ์เมล็ดข้าวสามารถยืดตัวได้มากซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่เป็นที่นิยม การที่เมล็ดยืดตัวได้มากหากเมล็ดข้าวสุกไม่เหนียวติดกัน คุณสมบัตินี้ช่วยเสริมให้ข้าวขึ้นหม้อได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้น ไม่อัดกันแน่น (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

2.2.6 กลิ่นหอม (Aroma)

กลิ่นหอมของข้าวเป็นลักษณะพิเศษที่เป็นที่นิยมของคนไทยและผู้บริโภคบางกลุ่ม มีรายงานว่าข้าวที่มีกลิ่นหอมเนื่องจากมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป ซึ่งสารดังกล่าวนี้พบในข้าวหอมพันธุ์ต่างๆ ปริมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม และพบในข้าวกล้องประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (Buttery และคณะ, 1986) สารหอมชนิดนี้ยังพบปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม ในการทดสอบข้าวหอมนั้น กระทำโดยแช่เมล็ดข้าวในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 10

ปิดฝาให้สนิท เพื่อให้สารหอมระเหยออกมา แล้วจึงคมแยกข้าวหอมออกจากข้าวที่ไม่มิกกลิ่นหอม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

โปรตีนในข้าวมีไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 16.8 ดังนั้นปริมาณโปรตีนจึงคำนวณจาก Kjeldahl nitrogen คูณด้วย 5.95 ปริมาณไนโตรเจนนี้ได้มาจาก glutenin ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในข้าว ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าและมีแนวโน้มที่จะต้านทานการแตกหักเมื่อหุงนานเกินไป และโปรตีนยังมีส่วนทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าลง ความนุ่ม ความเหนียวก็จะลดลงด้วย (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

2.2.8 ลักษณะปรากฏ (Appearance)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะปรากฏของข้าวสุก คือ ความขาว (Whiteness) และความมัน (Luster) ลักษณะปรากฏของข้าวสุกที่ดีคือ เมล็ดข้าวสุกต้องไม่แข็งหรือนิ่มจนเกินไป มีความมันวาว ซึ่งความมันของข้าวเกิดจากการละลายของคาร์โบไฮเดรตในน้ำร้อน และปริมาณลิปิดที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว (Matsuo และ Hoshikawa, 1993)

Juliano (1980) พบว่าคุณภาพข้าวสุกนอกจากจะขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆของเมล็ดข้าวดังกล่าวแล้ว วิธีการหุงยังมีส่วนทำให้คุณภาพข้าวสุกแตกต่างกันอีกด้วย เช่น การหุงต้มข้าวอะไมโลสสูงหากใส่น้ำน้อยจะแข็งกระด้างมาก แต่เมื่อใส่น้ำเพิ่มขึ้นจะช่วยให้ข้าวนุ่มและการขยายปริมาตรเพิ่มมากขึ้นด้วย

2.2.9 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ความชื้นในเมล็ดข้าวจะมีผลต่อการที่ข้าวหุงขึ้นหม้อและความร่วนของข้าวเช่นกัน ข้าวที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อ และมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวใหม่ ในประเทศไทยผู้บริโภคริโภคข้าวเจ้านิยมบริโภคข้าวเก่าซึ่งหุงขึ้นหม้อดีกว่า และราคาข้าวเก่าอาจสูงกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ความชื้นในข้าวยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาข้าว ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูง จะทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆเจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น (ณรงค์พันธุ์, 2549)

2.3 เนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) ของข้าวสุกเป็นสมบัติที่สำคัญมากของข้าว ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของข้าวสุก คือปริมาณอะไมโลส ปริมาณ โปรตีน และอุณหภูมิแป้งสุก ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวประกอบด้วยสมบัติ 2 ประการ คือ ความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness) โดยที่ความแข็ง หมายถึงสมบัติในการต้านแรง ที่มากระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเหนียว หมายถึงสมบัติในการเกาะกันระหว่าง เมล็ดข้าว (Jowitt, 1974)

Okabe (1979) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีดังนี้

1. พันธุ์ข้าว ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีความแข็งมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ
2. อายุข้าวใหม่ (Fresh rice) คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บ 2 – 3 เดือน หลังการเก็บเกี่ยว จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่มและเหนียวกว่าข้าวที่เก็บนาน 6 เดือน ซึ่งจะร่วนและแข็งกว่า
3. อุณหภูมิการเก็บ อุณหภูมิในการเก็บจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก พบว่าถ้าเก็บข้าวสุกที่อุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส ข้าวสุกจะมีความแข็งต่ำกว่าข้าวสุกที่เก็บที่อุณหภูมิ 2-10 องศาเซลเซียส
4. การแช่ข้าวและปริมาณน้ำที่ใช้หุง เนื้อสัมผัสของข้าวสุกขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้หุง ถ้าใช้น้ำมากข้าวจะมีลักษณะเหนียวนุ่ม แต่ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะทำให้ข้าวแข็ง พบว่าข้าวเก่าต้องใช้น้ำในการหุงมากกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้การแช่ข้าวก่อนหุง จะทำให้ข้าวมีความเหนียวเพิ่มขึ้นอีกด้วย

2.4 คุณสมบัติของข้าวที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา

คุณสมบัติทางด้านการหุงต้มและคุณภาพการรับประทาน (Eating quality) ของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องโดยเกิดขึ้นตั้งแต่การเก็บเกี่ยว ระหว่างการเก็บรักษา จนถึงผู้บริโภค โดยขึ้นอยู่กับสถานะของการเก็บรักษาที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความชื้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าว โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Properties) ของ ลิพิด (Lipid) โปรตีนและองค์ประกอบอื่น ซึ่งมีผลมาจากเอนไซม์และออกซิเจนทำให้คุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ (Hydration) การพองตัว (Swelling) ความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหอมลดลง โดยพบว่าอุณหภูมิมิผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าสถานะอื่น ข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่จะได้ลักษณะข้าวหุงสุกที่นุ่มและ เกาะติดกัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก อุ่มน้ำได้น้อย ขยายปริมาตรไม่มาก ตรงกันข้ามกับข้าวหุงสุกจากข้าวเก่าซึ่งร่วนแข็ง ไม่เกาะติดกัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อย อุ่มน้ำมาก ขยายปริมาตรมาก นอกจากนี้ข้าวที่เก็บไว้นานในอุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากถ้าเก็บในอุณหภูมิต่ำ สำหรับกลิ่นและรสชาติของข้าวเก่า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบของข้าว โดยเฉพาะในกลุ่มของสารระเหยที่ให้กลิ่นผิดปกติ จากไขมัน กรดอะมิโนและวิตามิน เช่น สารกลุ่มแอลดีไฮด์ คีโตน เป็นต้น โดยในระหว่างการเก็บรักษาสารเหล่านี้จะเพิ่มหรือลดลงบ้าง แต่มีผลต่อกลิ่นที่ผิดปกติ ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (อรอนงค์, 2550)

ข้าวที่เก็บรักษาไว้จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าว ส่งผลให้มีการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลให้มีความคงตัวและการละลายในน้ำน้อยลง มีผลให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะข้าวหุงสุกของข้าวเก่าจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ ความหนืดและความคงตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางด้านเคมีได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณอะไมโลส และแป้งยังคงใกล้เคียงกับข้าวใหม่ (Moritaka และ Yamamatsu, 1972)

ในการเก็บรักษาข้าวกล้องพบว่า ส่วนของอะไมโลสในแป้งจะเกิดการเกาะเกี่ยวกับโปรตีน กลายเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เพิ่มขึ้น การพองตัวของเมล็ดแป้งจากการหุงต้มน้อย จึงใช้เวลาในการหุงต้มนาน ข้าวสุกจึงมีลักษณะร่วนแข็งกว่าข้าวขาว (Barber, 1972)

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บข้าวกล้อง

อายุการเก็บหมายถึง ช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จนถึงผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ อายุการเก็บมีความสัมพันธ์กับธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดคือ อายุการเก็บสั้น เพราะข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากจึงเกิดกลิ่นหืนระหว่างการเก็บรักษา ทำให้อายุการเก็บสั้น อีกประเด็นคือ หุงสุกช้า เพราะข้าวกล้องมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดหนาเป็นไข (Thick cuticle) ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ ทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดลดลง ต้องใช้เวลาในการหุงต้มนาน Smith และคณะ (1985) ได้ปรับปรุงเวลาในการหุงข้าวให้เร็วขึ้น โดยการแช่ข้าว (Soaking) ในน้ำกลั่น และในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับแคลเซียมร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 21 และ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 15 นาที พบว่า การแช่ข้าวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับแคลเซียมร้อยละ 1 มีการดูดซึมน้ำมากกว่าการแช่ข้าวในน้ำกลั่น นอกจากนี้ การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บข้าวกล้อง ได้แก่

2.4.1.1 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการยืดหรือลดอายุข้าวกล้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเกิดกลิ่นหืนในข้าวกล้องได้เร็ว Shibuya และคณะ (1974) รายงานว่า การเก็บข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 30 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 75 วัน เมื่อนำมาหุงต้ม พบว่า สารระเหยเฮกเซน ซาแนล เพนทาแนล และ 3-เมทิลบิวทาแนล ที่บ่งบอกถึงกลิ่นหืนในข้าวกล้องที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นในปริมาณร้อยละ 57 ส่วนข้าวกล้องที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารดังกล่าวเพียงร้อยละ 31 เท่านั้น

2.4.1.2 ภาชนะบรรจุ หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ สามารถคุ้มครองและรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ตลอดอายุการเก็บรักษา การพิจารณาเลือกใช้ภาชนะบรรจุอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้ คือ เมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์แล้วไม่เปลืองเนื้อที่ในการขนส่ง การบรรจุควรทำได้ง่าย เล็กกว่าวัสดุที่ใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สะดวกในการกำจัดซาก และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม (วุฒิชัย, 2533) สำหรับภาชนะบรรจุข้าวควรทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันแสง ออกซิเจน การซึมผ่านของความชื้น ป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ การซึมผ่านของกลิ่นไม่พึงประสงค์ และต้องมีความแข็งแรงป้องกันการแตกหักของเมล็ดได้

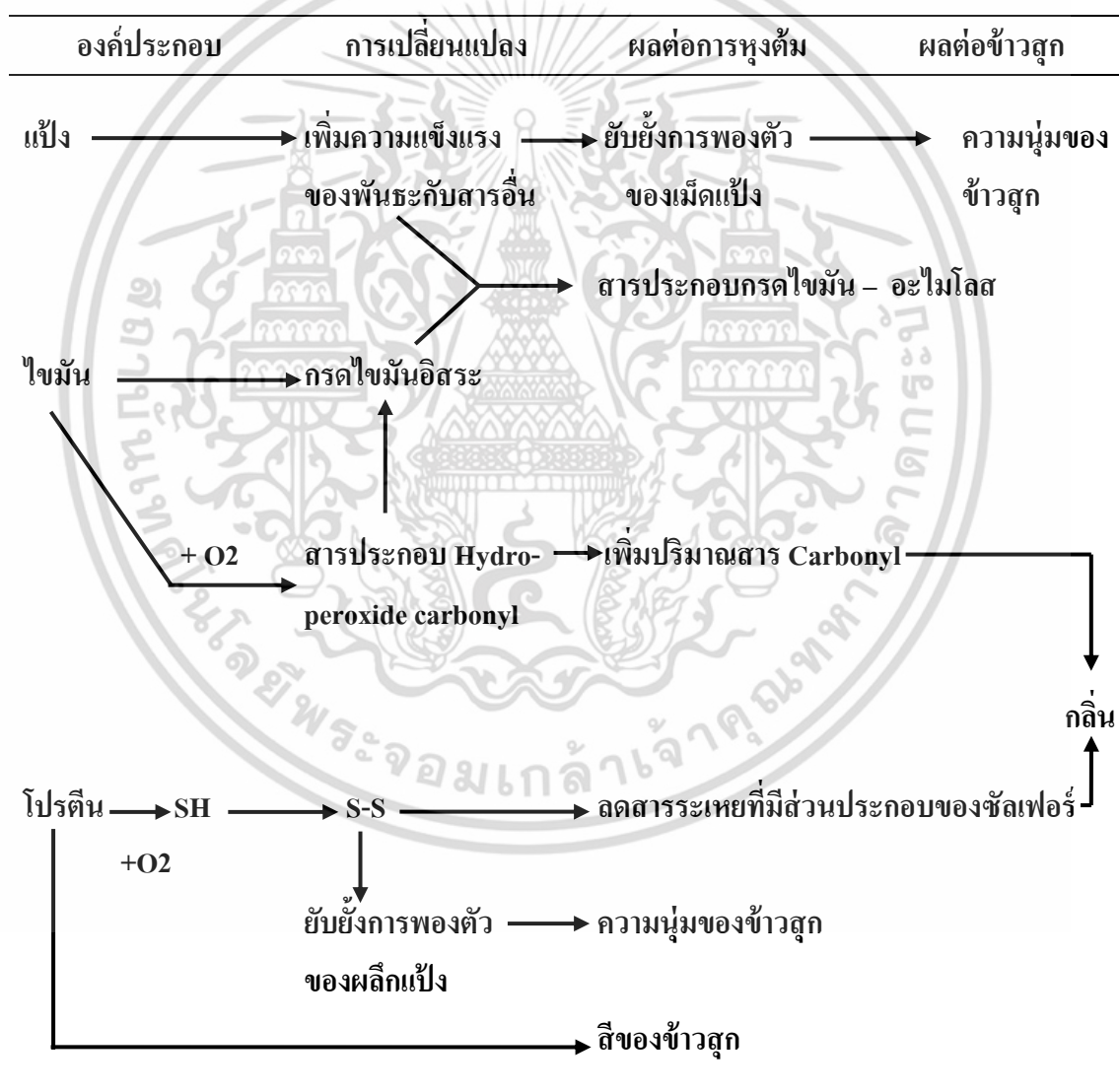
2.4.1.3 เวลา ปกติอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องประมาณ 3-6 เดือน เมื่อเก็บรักษานานขึ้นคุณภาพของข้าวกล้องจะลดลง Sharp และ Timme (1986) ทดลองเก็บข้าวกล้องที่มีความชื้นร้อยละ 11.4 บรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีนภายใต้สภาวะสูญญากาศเป็นเวลา 9 เดือน พบว่า เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเดือนที่ 9 ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กรดไขมันนี้ถูกออกซิไดซ์เป็นสารอื่นที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ต้องอาศัยปัจจัยอื่น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และชนิดภาชนะบรรจุเข้าช่วยในการยืดอายุการเก็บข้าวกล้องให้นานขึ้น

2.4.2 กลไกที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาข้าว

ระหว่างการเก็บรักษาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับลิปิด แป้งและโปรตีนดังนี้ (ภาพที่ 2.3) คือ ลิปิดเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมันอิสระที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์ เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลส และสารประกอบคาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน การเกิดออกซิเดชันของโปรตีนเป็นการเกิดพันธะไคซัลไฟด์จากหมู่ซัลไฮดริลทำให้แรงในการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับสตาร์ชเพิ่มขึ้น มีผลยับยั้งการขยายตัวของเมล็ดแป้งในระ

หว่างการหุงต้มและส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก นอกจากนี้ ไขมันเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะได้สารประกอบประเภท hydro peroxides carbonyl สารประเภท Carbonyl เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ข้าวมีกลิ่นหืนเช่นเดียวกับการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน ในส่วนของโปรตีน เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถัน (-s-s-) ที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ลดลง และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของข้าว ในขณะเดียวกัน สารประกอบของ -s-s- นี้ยังมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสุกมีความนุ่มลดลง และขยายปริมาตรรวม (bulk volume) ได้มากขึ้น หรือขึ้นหม้อดีขึ้น ทั้งนี้ เมล็ดข้าวคุดน้ำได้มากขึ้น โดยไม่แตกตัว น้ำข้าวจะใสขึ้น เมล็ดข้าวอาจต้องใช้เวลาต้มให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย สีของข้าวอาจคล้ำมากขึ้น ในข้าวเก่าจะมีกลิ่นสาบ เมล็ดเหลืองมากขึ้น สืบเนื่องจากปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างเชื้อจุลินทรีย์หรือเคมีในข้าวเปลือกที่ได้รับความชื้นและความร้อนสูง ก่อนที่จะทำการลดความชื้น (Moritaka และ Yamamatsu, 1972)



ภาพที่ 2.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา : Moritaka และ Yamamatsu (1972) อ้างโดย กรมวิชาการเกษตร (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ข้าวต้ม

ข้าวต้ม เป็นอาหารชนิดหนึ่ง ทำมาจากข้าว โดยวิธีการทำจะคล้าย ๆ กับการหุงข้าวด้วยหม้อปกติ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ข้าวต้มจะใส่น้ำมากกว่าการหุงข้าวธรรมดา ระยะเวลาในการทำก็จะใกล้เคียงกับการหุงข้าวธรรมดาหรืออาจจะนานกว่า ข้าวต้มมีหลายประเภทมีทั้งข้าวต้มขาวและข้าวต้มหมู ในบางประเทศอาจใช้ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ หรือนำข้าวไปต้มในนม ถ้าต้มนานเกินไปจะกลายเป็นโจ๊ก ซึ่งบางประเทศก็ถือว่าข้าวต้มและโจ๊กก็คืออาหารชนิดเดียวกัน (อานนท์, 2555)

สำหรับในประเทศไทย ข้าวต้มอาจแบ่งประเภทได้ดังนี้

1. ข้าวต้มขาว จะเป็นข้าวต้มธรรมดาและไม่มีรสชาติ มักรับประทานกับกับข้าวหลายอย่าง เช่น ไข่เค็ม เป็นต้น
2. ข้าวต้มหมู คือ ข้าวต้มที่ใส่น้ำมันสัตว์ วิธีการหุงจะคล้ายๆ ข้าวต้มขาว แต่ข้าวต้มประเภทนี้จะใส่หมูหรือเนื้อสัตว์อื่น ๆ ลงไปด้วย ทำให้ข้าวต้มมีรสชาติดีกว่า
3. ข้าวต้มสามกษัตริย์ เป็นเมนูที่คิดค้นขึ้น โดยรัชกาลที่ 5 ระหว่างเสด็จประพาสต้น วิธีทำเหมือนข้าวต้มหมู แต่ไม่ใส่หมู จะใส่น้ำมันสัตว์ชนิดอื่นแทน เช่น ปลาทู, ปลาหมึก และกุ้ง

2.6 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง

กรรมวิธีในการผลิตอาหารกระป๋องประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ คือ

2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation)

คุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยตรง วัตถุดิบจะต้องผ่านการทำความสะอาด มีการคัดขนาดความแก่อ่อน เพื่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์และอยู่ในสภาพสด จากนั้นจึงทำการตัดแต่งแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไป การเตรียมวัตถุดิบมีขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ (บดินทร์, 2546)

2.6.2 การบรรจุ (Filling)

เมื่อวัตถุดิบผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้ว จะถูกส่งมาตามสายพานเข้าสู่แผนกบรรจุ ภาชนะบรรจุ อาจทำจากขวดแก้วหรือกระป๋องโลหะ ซึ่งส่วนมากจะมีเครื่องบังคับให้เคลื่อนที่ภาชนะบรรจุมาตามรางอัตโนมัติผ่านการทำความสะอาดเข้าแผนกบรรจุ การบรรจุอาจใช้แรงคนหรือเครื่องจักรก็ได้ โดยจะบรรจุส่วนที่เป็นของแข็งลงไปก่อนแล้วจึงบรรจุส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเกลือหรือน้ำเชื่อมลงไป ปัจจุบันนี้ภาชนะบรรจุอาจเป็นถุงหรือกล่องพลาสติกก็ได้ (บดินทร์, 2546)

2.6.3 การไล่อากาศ (Exhausting)

การไล่อากาศ คือ การไล่อากาศบริเวณช่องว่างเหนืออาหารก่อนทำการปิดผนึกภาชนะบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดแรงดันภายในภาชนะบรรจุระหว่างการฆ่าเชื้อ ป้องกันบวมของบรรจุภัณฑ์หรือการแตกของตะเข็บ รักษาคุณภาพอาหาร เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้อาหารเสื่อมเสีย ขยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ และป้องกันการกัดกร่อน (ทิพากร, 2559) การไล่อากาศโดยทั่วไปมี 4 วิธีคือ

2.6.3.1 การบรรจุอาหารขณะร้อน (Hot filling)

ใช้กับอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบและต้องผ่านการให้ความร้อนก่อนบรรจุ การบรรจุอาหารที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดของน้ำจะทำให้เกิดความดันของไอน้ำประมาณ 1 บรรยากาศในส่วนช่องว่างภายใน ดังนั้น ถ้ารีบปิดผนึกและทำให้เย็น ไอน้ำจะควบแน่นและทำให้เกิดสุญญากาศได้และเมื่อถูกทำให้เย็นจะเกิดการหดตัวของอาหาร นอกจากนี้การให้ความร้อนเบื้องต้น (pre-heat) แก่อาหารช่วยลดระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อลง โดยอุณหภูมิของอาหารขณะบรรจุและปริมาตรช่องว่างเหนืออาหารภายในภาชนะจะมีผลต่อสุญญากาศที่เกิดขึ้น การบรรจุที่อุณหภูมิสูงและมีช่องว่างเหนืออาหารน้อยจะทำให้เกิดสุญญากาศภายในภาชนะมากขึ้น

2.6.3.2 การให้ความร้อน (Thermal exhausting)

จะทำภายในภาชนะที่บรรจุอาหารแล้ว อาจเปิดฝาหรือปิดฝบบางส่วน ผ่านอ่างน้ำร้อนหรือห้องไอน้ำ (exhaust box) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ อาหารและภาชนะบรรจุจะถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส แล้วรีบนำไปปิดฝาทันที วิธีนี้เหมาะสมกับอาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนซึ่งจะเพิ่มอุณหภูมิของอาหารได้อย่างรวดเร็ว สำหรับอาหารที่มีการถ่ายเทแบบการนำความร้อนก็อาจใช้วิธีนี้ได้ แต่จะต้องให้ความร้อนเป็นเวลานานจนกว่าอุณหภูมิของอาหารจะสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่กำหนด วิธีนี้มักใช้ควบคู่กับการบรรจุขณะร้อน การให้ความร้อนสุญญากาศจะเกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิของอาหารขณะปิดฝาและปริมาตรช่องว่างเหนืออาหาร

2.6.3.3 การใช้วิธีกล (Mechanical exhausting)

ทำโดยการปิดผนึกภาชนะที่บรรจุอาหารแล้วภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งเกิดจากเครื่องมือกล โดยไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่อาหาร เหมาะสำหรับอาหารที่ไม่ทนความร้อนหรืออาหารแห้ง วิธีนี้สามารถทำให้เกิดสุญญากาศภายในภาชนะบรรจุสูง เนื่องจากสุญญากาศที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดเนื่องจากการหดตัวของอาหารหรือการควบแน่นของไอน้ำ ดังนั้นอุณหภูมิของอาหารขณะปิดฝาและปริมาตรช่องว่างเหนืออาหารจะไม่มีผลต่อสุญญากาศที่เกิดขึ้น วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับอาหารที่มีความหนืดสูงเพราะจะเก็บอากาศไว้ภายในอาหารได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.4 การฉีดไอน้ำเข้าไปในส่วนของช่องว่างเหนืออาหารที่บรรจุก่อนการปิดฝา

ทำโดยฉีดไอน้ำเข้าไปแทนที่อากาศ หลังจากฉีดได้ตามเวลาที่กำหนดฝาของภาชนะซึ่งถูกทำให้ร้อนแล้วจะเลื่อนลงมาแทนที่พร้อมกับการปิดผนึกฝาโดยอัตโนมัติ หลังจากไอน้ำควบแน่นจะเกิดสุญญากาศขึ้นภายในช่องว่างอาหาร วิธีนี้ไม่สามารถไล่อากาศที่อยู่ภายในเนื้ออาหารได้ ใช้สำหรับอาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน สุญญากาศที่เกิดขึ้นภายในภาชนะบรรจุจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำ ซึ่งแทนที่อากาศในส่วนของช่องว่างเหนืออาหาร ดังนั้น ทั้งปริมาณของช่องว่างเหนืออาหารและอุณหภูมิของอาหารขณะบรรจุจะมีผลต่อสุญญากาศภายในกระป๋อง แต่ปริมาณช่องว่างเหนืออาหารจะมีผลมากกว่าอุณหภูมิของอาหาร การเพิ่มปริมาณช่องว่างนี้จะทำให้สุญญากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขณะปิดฝา แต่ในการบรรจุต้องระวังไม่ให้มีฟองอากาศภายในเนื้ออาหารและต้องควบคุมให้ปริมาณช่องว่างเหนืออาหารอยู่ในช่วงที่กำหนด ความสูงของช่องว่างนี้ควรมีค่าประมาณ 10/32 ซึ่งจะทำให้เกิดสุญญากาศที่เหมาะสม (ทนง, 2524)

2.6.4 การปิดผนึก (Seaming)

สำหรับกระป๋องโลหะจะต้องผนึกด้วยเครื่องผนึกฝาที่ออกแบบโดยเฉพาะเพื่อให้เกิดการยึดกันระหว่างฝาและขอบกระป๋อง หลังการผนึกทับกันเป็นตะขอแบบสนิทแบบตะเข็บคู่ (double seam) ถ้าการผนึกทำไม่ถูกต้องจะมีผลเสียในขั้นตอนการทำลายจุลินทรีย์ทำให้เกิดการรั่วของภาชนะบรรจุได้ ดังนั้น ขั้นตอนการปิดผนึกต้องทำอย่างระมัดระวัง ถ้าเป็นขวดแก้วจะปิดด้วยฝาที่ทำจากเหล็กเคลือบดีบุกในแบบที่เป็นเกลียวหมุนได้หรือตะเข็บงอได้ (บดินทร์, 2546)

2.6.5 การฆ่าเชื้อ (Process)

หมายถึง การใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุปิดสนิท ปริมาณความร้อนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร การหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ผู้ผลิตอาหารกระป๋องมีจุดมุ่งหมายว่า ความร้อนที่ใช้จะสามารถทำให้อาหารส่วนใหญ่ปราศจากเชื้อ แต่ในทางปฏิบัติผลที่ได้อาจไม่เป็นไปตามนั้น ดังนั้น แทนที่จะทำลายจุลินทรีย์ในอาหารให้ตายหมดอาจทำลายเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสียภายใต้สภาพแวดล้อมปกติที่ใช้เก็บอาหารเท่านั้น โดยปล่อยให้จุลินทรีย์บางชนิดอยู่ในอาหารแต่ไม่สามารถเจริญได้เรียกว่าเป็นการทำให้ปราศจากเชื้อทางการค้า (Commercially Sterilization) การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องถือเอาอุณหภูมิและเวลาที่ทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* เป็นหลัก ถ้าอาหารปลอดภัยจากสปอร์และสารพิษของเชื้อนี้ก็จะปลอดภัยจากเชื้อชนิดอื่นด้วย พบว่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สามารถทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* ได้ แต่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ฆ่าเชื้อนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของอาหาร อาหารที่เป็น

กรดสูงจะใช้ความร้อนในการทำลายเชื้อน้อยกว่าอาหารที่เป็นกรดต่ำ ดังนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรม จึงนิยมเติมกรดลงในอาหารบางชนิดเพื่อลดปริมาณความร้อนที่ใช้ฆ่าเชื้อ (บดินทร์, 2546)

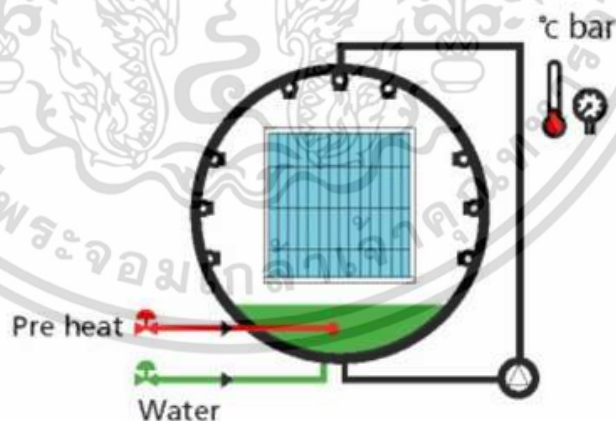
2.6.5.1 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ (Waterspray overpressure retort)

ในปัจจุบัน การฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ชนิดของบรรจุภัณฑ์ หนึ่งในกระบวนการฆ่าเชื้อที่นิยมก็คือ หม้อฆ่าเชื้ออาหารในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว สามารถทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่บรรจุภัณฑ์ (บริษัทเนชั่นแนล ไคเร็ค เน็ทเวิร์ค จำกัด, 2557)

หม้อนึ่งฆ่าเชื้ออัดความดันพ่นน้ำ ควบคุมการทำงานโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ สำหรับการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในภาชนะทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นถุงอลูมิเนียม ขวดแก้ว พลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม หรืออื่นๆ ด้วยกระบวนการพ่นน้ำหมุนวนทั้งด้านบนและด้านข้างผสมกับไอน้ำ และลมทำให้เกิดกระจายความร้อนภายในหม้ออย่างทั่วถึงทั้งในช่วงขณะฆ่าเชื้อและทำความเย็น โดยมีกระบวนการดังนี้

1. การเติมน้ำ (Water filing)

ขั้นตอนแรกของการทำงาน วาล์วน้ำเข้าเปิดให้น้ำเข้าภายในหม้อจนถึงระดับน้ำที่ตั้งไว้ (ประมาณ 100 ลิตรต่อตะกร้า) โดยไม่เกินระดับของท่อไอน้ำ โดยอีกทางเลือกหนึ่ง เราสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการได้



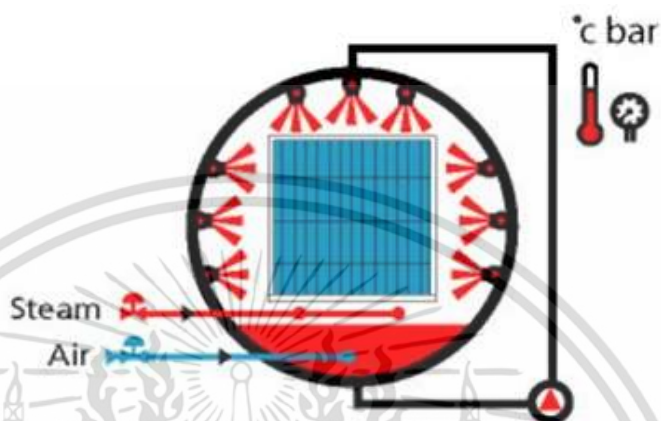
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการเติมน้ำของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ

ที่มา : บริษัทเนชั่นแนล ไคเร็ค เน็ทเวิร์ค จำกัด (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การให้ความร้อน (Heating)

วาล์วไอน้ำเปิดพร้อมปั๊มน้ำหมุนวน ทำให้ไอน้ำผสมกับน้ำที่พ่นจากด้านข้างและด้านบน เพื่อกระจายความร้อนภายในหม้อได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็วจนอุณหภูมิภายในหม้อเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ โดยขณะเดียวกันวาล์วลมจะเปิดอัตโนมัติเพื่อควบคุมความดันภายในหม้อ เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์

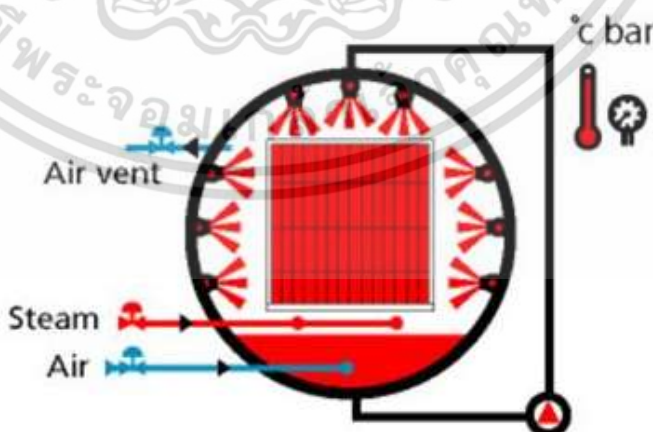


ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการให้ความร้อนของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ

ที่มา : บริษัทเนชั่นแนล ไดเรค เน็ทเวิร์ค จำกัด (2557)

3.) การฆ่าเชื้อ (Sterilization)

เมื่ออุณหภูมิและความดันถึงระดับที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้แล้ว หน่วยประมวลผลกลางจะควบคุมการทำงานของวาล์วต่างๆ ประกอบด้วย วาล์วไอน้ำ วาล์วลม วาล์วระบายความดัน วาล์วระบายน้ำ และปั๊มน้ำหมุนวน เพื่อรักษาอุณหภูมิและความดันให้คงที่ภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้



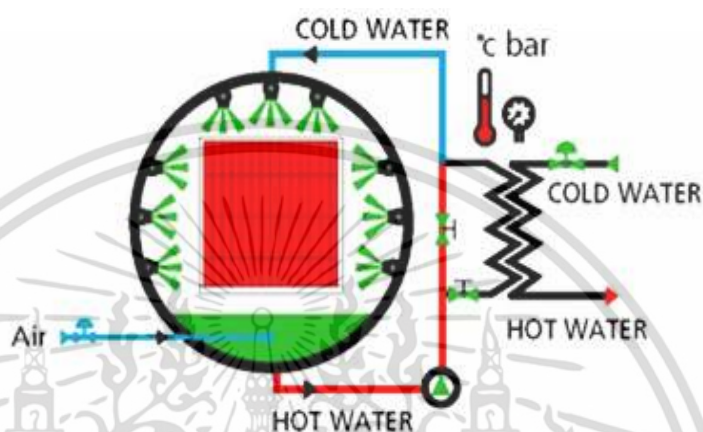
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ

ที่มา : บริษัทเนชั่นแนล ไดเรค เน็ทเวิร์ค จำกัด (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) การลดอุณหภูมิ หรือการทำให้เย็น (Cooling)

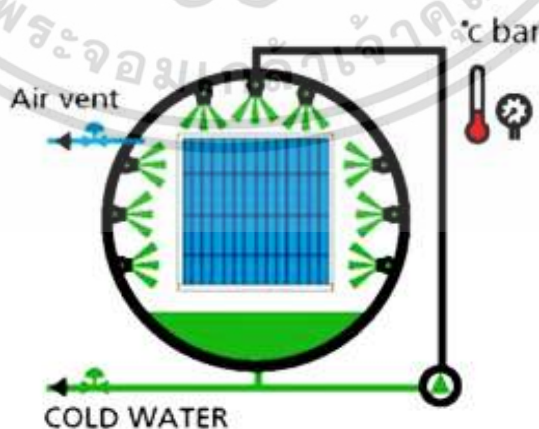
เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่าเชื้อ วาล์วไอน้ำจะปิดและวาล์วน้ำเย็นจะเปิดน้ำเย็นเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้ น้ำหมุนวนจากภายในหม้อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหมุนวนไปเรื่อยๆ เพื่อลดอุณหภูมิภายในหม้อจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ และในขณะเดียวกันวาล์วระบายน้ำจะเปิดเพื่อรักษาระดับน้ำภายในหม้อ ส่วนความดันภายในหม้อยังคงถูกควบคุม เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ
ที่มา : บริษัทเนชั่นแนล ไคเร็ค เน็ทเวิร์ค จำกัด (2557)

5.) สิ้นสุดกระบวนการทำงาน (End of cycle)

เมื่ออุณหภูมิลดระดับถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ปั๊มน้ำจะหยุดทำงานและวาล์วระบายความดันจะเปิด เพื่อลดระดับความดันภายในหม้อให้เท่ากับความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นวาล์วระบายน้ำจะเปิด เพื่อระบายน้ำออกพร้อมระบบปล่อยประตูจะเปิดออกอัตโนมัติ



ภาพที่ 2.8 สิ้นสุดกระบวนการของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ

ที่มา : บริษัทเนชั่นแนล ไคเร็ค เน็ทเวิร์ค จำกัด (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 การทำให้เย็น (cooling)

หลังจากกระบวนการให้ความร้อนแล้วจะต้องรีบทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงทันที โดยให้กระป๋องแช่ในน้ำเย็นจัดหรือโดยการพ่นน้ำเย็นจัดใส่กระป๋อง การทำให้เย็นมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารเนื่องจากความร้อนส่วนเกิน โดยการลดอุณหภูมิของอาหารหลังจากฆ่าเชื้อแล้วลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นจนอุณหภูมิลดถึงระดับหนึ่ง ซึ่งมีความร้อนเหลืออยู่พอที่จะทำให้ผิวนอกของกระป๋องแห้งสนิทปราศจากหยดน้ำที่เกาะอยู่บนกระป๋อง เพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนกระป๋องขณะเก็บรักษา แต่ไม่ควรลดอุณหภูมิของกระป๋องต่ำเกินไป เนื่องจากถ้าลดอุณหภูมิต่ำเกินไปหลังจากนำขึ้นจากน้ำยังมีความร้อนเหลืออยู่ไม่เพียงพอที่จะทำให้กระป๋องแห้งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นแล้ว จะต้องใช้ลมเป่าให้ภาชนะบรรจุแห้งช่วยป้องกันการเกิดสนิมของกระป๋องน้ำที่ใช้ในการทำให้เย็นต้องเป็นน้ำที่สะอาด เนื่องจากภาชนะบรรจุรั่วจะเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหาร ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ และน้ำที่ใช้ใช้นั้นควรเป็นน้ำอุ่นก่อนแล้วจึงค่อยๆ ปรับอุณหภูมิให้เย็นลงตามลำดับ

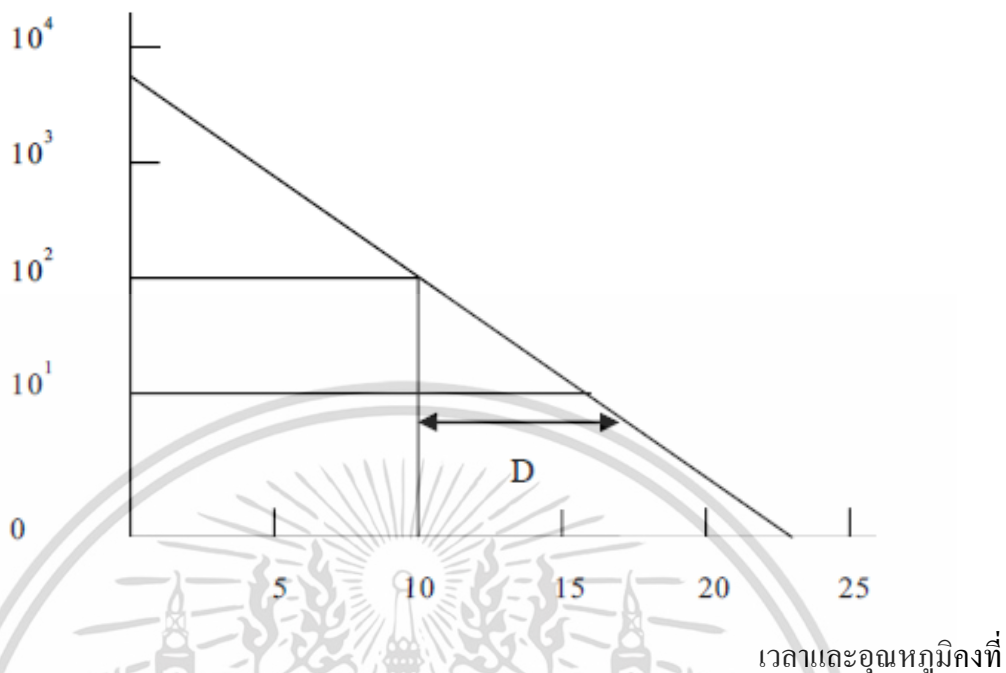
2.7 การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ได้แก่

2.7.1 ค่า D (Decimal Reduction Time)

ค่า D หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ลงร้อยละ 90 ของที่มีอยู่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกัน การหาค่า D ทำโดยใส่สปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนแน่นอนลงในภาชนะบรรจุแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งที่โดยใช้เวลานานต่าง ๆ กัน นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเซมิล็อก เพื่อให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยแนวตั้งเป็น ล็อกสเกล แสดงจำนวนสปอร์ที่เหลือรอดอยู่ แนวนอนเป็นสเกลปกติ แสดงเวลาที่ใช้ให้ความร้อน แสดงดังภาพที่ 2.9

จำนวนสปอร์ที่เหลือรอด



ภาพที่ 2.9 กราฟจำนวนสปอร์ของจุลินทรีย์ที่เหลือรอดที่เวลาและอุณหภูมิคงที่
ที่มา : วันชัย (2546)

จากภาพที่ 2.9 ถ้าให้ความร้อนต่อสปอร์จำนวน 10,000 สปอร์ ที่อุณหภูมิ 240 องศาฟาเรนไฮด์ ต้องใช้เวลา 10 นาที เพื่อลดจำนวนสปอร์จาก 10,000 ให้เหลือ 1,000 หรือลดลงร้อยละ 90 (1 log cycle) ดังนั้นค่า D₂₄₀ เท่ากับ 10 นาที ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่า D คือ ชนิดของสปอร์และชนิดของอาหารที่สปอร์แขวนลอยอยู่

2.7.2 ค่า Z (Z-Value)

ค่า Z หมายถึง จำนวนองศาฟาเรนไฮด์ หรือองศาเซลเซียสที่ต้องการเพื่อเปลี่ยน Thermal death time Curve (TDT Curve) ไป 1 log cycle หรือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนค่า D ไป 10 เท่า โดยค่า D และค่า Z ของแบคทีเรียที่พบในอาหารกระป๋องแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าความทนทานต่อความร้อน (D, Z) ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆของแบคทีเรียที่พบในอาหารกระป๋อง

| Bacteria groups | Approximate range of Heat resistance | |
|--|--------------------------------------|--------|
| | D | Z |
| Low-acid and semi-acid food (pH above 4.5) | | |
| Thermophiles (spores) | D250 | Z (°F) |
| Flat-sour group (<i>B.stearotherophilus</i>) | 4.0-5.0 | 14-22 |
| Gaseous-spoilage group (<i>C. theomosaccharolyticum</i>) | 3.0-4.0 | 16-22 |
| Sulfide stinkers (<i>C.nigrificans</i>) | 2.0-3.0 | 16-22 |
| Mesophiles (spore) | | |
| Putrefactive anaerobes | | |
| <i>C. botulinum (type A and B)</i> | 0.1-0.2 | 14-18 |
| <i>C. sporogenes</i> group (including <i>P.A. 3679</i>) | 1.0-1.5 | 14-18 |
| Acid food (pH 4.0-4.5) | | |
| Thermophiles (spores) | | |
| <i>B.coagulans</i> (facultatively mesophilic) | 0.01-0.07 | 14-18 |
| Mesophiles (spores) | D212 | Z (°F) |
| <i>B.polymyxa</i> and <i>B. macerans</i> | 0.1-0.5 | 12-16 |
| Butyric anaerobes (<i>C.pasturianum</i>) | 0.1-0.2 | 12-16 |
| High-acid foods (pH 4.00 and below) | | |
| Mesophiles non spore bearing bacteria | D150 | Z (°F) |
| <i>Lactobacillus</i> spp. <i>Leuconostoc</i> spp. | | |
| And yeasts and molds | 0.5-0.1 | 8-10 |

ที่มา : Stumbo (1973)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ค่า F (Sterilizing Value)

ค่า F หมายถึง จำนวนนาทีที่อุณหภูมิซึ่งใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนในอาหาร ภายใต้สภาวะที่กำหนด ในการหาค่า F จำเป็นจะต้องรู้ค่า Z และอุณหภูมิที่ใช้ ซึ่งจะเรียกค่า F_0 ว่า Lethal Rate (อัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์) สามารถเปิดตารางหรือคำนวณได้จากสูตร (วันชัย, 2546)

$$\text{Lethal Rate} = \frac{1}{\log_{-1} \frac{(250 - CT)}{Z}}$$

การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Thermal process calculation) สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

a) General หรือ Graphical method

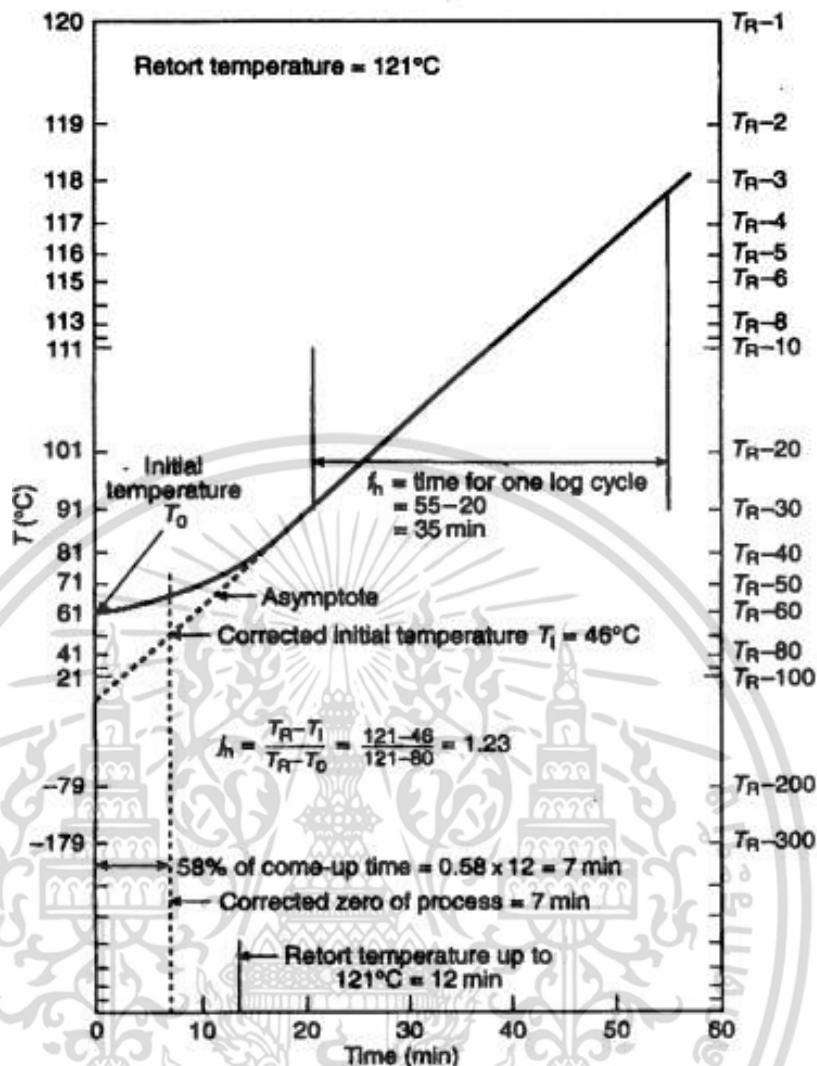
เป็นการหาค่า อัตราการตาย (Lethal Rate) จากการวัดอุณหภูมิทุกช่วงระยะเวลาปกติมักใช้ ทุกๆ 1 นาที เปิดตารางค่า Lethal Rate ของอุณหภูมิเหล่านั้น แล้วบวกรวมค่า อัตราการตาย (Lethal Rate) ที่ได้เข้าด้วยกัน คือค่า total lethality หรือ F_0 ของกระบวนการนั้นๆ

b) Formula Method

การใช้สูตรคำนวณ เป็นการหาค่าเวลาจากการพล็อตกราฟอัตราการส่งผ่านความร้อนที่จุดร้อนช้าภายในอาหารบนกราฟเซมิล็อก ลักษณะกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งกราฟเส้นตรงที่ได้จะมีจุดตัดและค่าความชันแสดงด้วยค่า j และ f_h ตามลำดับ ซึ่งค่า j และ f_h ขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของอาหาร ส่วนที่เป็นเป็นเส้นตรงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\log \left[\frac{T_R - T}{T_R - T_0} \right] = \frac{-t}{f_h} + \log j$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 แสดงการพลอตกราฟการส่งผ่านความร้อนในช่วงการให้ความร้อน
ที่มา : Holdsworth (1997)

2.8 การพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวบรรจุกระป๋อง และคุณภาพของข้าว

Roberts และคณะ (1953) ได้พัฒนากรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกกระป๋อง โดยนำข้าวสารมาล้างและแช่ในน้ำเย็น 30-45 นาที แล้วต้มเป็นเวลา 2-4 นาที จนข้าวมีความชื้นเป็นร้อยละ 55 บรรจุข้าวลงกระป๋องปิดฝาภายใต้สุญญากาศ นำเข้าเครื่องรีตอร์ต (Retort) เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ก่อนบริโภคต้องนำข้าวกระป๋องมาต้มในน้ำเดือด จะได้ข้าวหุงสุกแต่มีลักษณะและกว่าปกติ ดังนั้น จึงมีกลุ่มนักวิจัยทำการปรับปรุงกรรมวิธีให้ดีขึ้นหลายวิธีการ เช่น การแช่ข้าวในน้ำมัน เพื่อลดการเกาะติดกันและและ (Ferrel และคณะ, 1960 ; Sripathy และคณะ, 1960)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วุฒิชัย (2543) กล่าวถึงกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระดับอุตสาหกรรมโดยไม่ใช่สารเคมี กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยทำให้ข้าวสุกบางส่วนหรือเมล็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์ระหว่างร้อยละ 75–85 และดูดซับน้ำไว้ร้อยละ 50–55 ด้วยการนำข้าวสารที่สะอาดเกลี่ยบนตะแกรง น้ำหนัก 500 – 600 กรัมต่อตะแกรง ฉีดพ่นด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 -15 นาที หรือการต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5–10 นาที นำมาบรรจุกระป๋องแล้วปิดผนึก ระยะเวลาในการฆ่าหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ใช้อุณหภูมิของรีทอร์ตหรือหม้อนึ่งความดันไอที่ 114–116 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30–50 นาที คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและมีความสุกสม่ำเสมอ

ชไมพร และคณะ (2555) ได้ศึกษาการนำข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105ก มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวต้มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาวิธีการผลิตข้าวต้มและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง รวมทั้งศึกษาการยอมรับลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าหุงข้าวตามอัตราส่วนข้าวสารต่อน้ำ 1:1, 1:2 และ 1:3 และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของข้าวสุกก่อนบรรจุข้าวสุกในขวดแก้วปริมาณ 15, 20, 25 และ 30 กรัม บรรจุน้ำให้มีน้ำหนักสุทธิ 180 กรัม นำมาทดลองฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน ไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พบว่าข้าวที่หุงด้วยอัตราส่วน 1:1 ทำให้ข้าวต้มที่ได้มีความแข็งมากที่สุด ปรับปรุงต่อโดยการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวลงเป็นอัตราส่วนข้าวสารต่อน้ำ 1:0.2, 1:0.4 และ 1:0.6 ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่า อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวสุกมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำในการหุงมาก เมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำได้มากและมีการขยายตัวได้ดี ข้าวที่ได้จึงมีความแข็งลดลงส่งผลให้มีความสว่างมากขึ้น เมื่อนำไปทำข้าวต้มและทำการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบและการยอมรับ โดยใช้ 7 point hedonic scale พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบที่อัตราส่วน 1:0.4 มากที่สุด

ณัฐธิดา และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาหาระดับความสุกของข้าวและอัตราส่วนของข้าวกล้องแดงสุกบางส่วนกับน้ำที่เหมาะสมในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ทดลองบรรจุลงในขวดแก้วโดยการเตรียมข้าวกล้องแดงสุกบางส่วน โดยต้มข้าวกล้องแดงกับน้ำที่อัตราส่วน 1 : 8 ใช้เวลาในการต้ม 5 , 10 และ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส และบรรจุข้าวกล้องแดงสุกบางส่วนกับน้ำลงในขวดแก้ว ในอัตราส่วน 20 : 140, 20 : 145 และ 20 : 150 จากนั้นฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำข้าวต้มที่ได้มาวิเคราะห์ทางกายภาพ ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวต้มที่อัตราส่วนของข้าวกล้องแดงสุกบางส่วนกับน้ำเท่ากับ 20 : 145 เวลาที่ใช้ในการต้ม 5 , 10 และ 15 นาที และข้าวต้มที่อัตราส่วนของข้าวกล้องแดงสุกบางส่วนกับน้ำเท่ากับ 20 :

150 เวลาที่ใช้ในการต้ม 5 นาที เป็นข้าวต้มที่เป็นที่ชอบรับของผู้ชิม จึงได้เลือกอัตราส่วนเหล่านี้ไป
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบเขียวระบุชื่อในการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลของอายุของข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องแดงตัม โดยนำข้าวกล้องแดงใหม่ไปทดลองในอัตราส่วนที่ได้เลือกไว้ ซึ่งผลการทดลองพบว่า อายุของข้าวส่งผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องแดงตัม โดยข้าวตัมที่ทำจากข้าวใหม่ มีค่าความแข็งลดลงและค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องแดงตัมที่ทำจากข้าวเก่า จึงแสดงให้เห็นว่าอายุของข้าวกล้องแดงมีผลต่อคุณภาพของข้าวตัมสำเร็จรูป

กาญจนา และคณะ (2528) นำข้าวกล้อง และข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 บรรจุในภาชนะ 4 แบบ คือกระสอบปอบบรรจุ 100 กิโลกรัม โองเคลือบบรรจุ 150 กิโลกรัม ถุงพลาสติกบรรจุ 1 กิโลกรัมและถุงพลาสติกสุญญากาศบรรจุ 1 กิโลกรัม และเก็บในโรงเก็บสภาพอุณหภูมิห้องที่โรงสีข้าวทดลองคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบคุณภาพการรับประทาน คุณภาพการหุงต้ม ความคงตัวของแป้งสุกปริมาณ โปรตีน และกรดไขมัน พบว่าคุณภาพการรับประทานข้าวกล้องหรือข้าวสารที่บรรจุในถุงพลาสติกสุญญากาศเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะเมื่อนำมาหุงต้มจะได้ข้าวสุกที่มีคะแนนกลิ่นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บ 12 เดือน ขณะที่การเก็บด้วยกระสอบพลาสติก หรือโอง สามารถเก็บข้าวสารได้เพียง 2-3 เดือนก็จะเกิดกลิ่นสาบขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้าวสารมาหุงสุก ข้าวเก่ามีแนวโน้มที่มีความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลง แต่การดูดซึมน้ำ และขยายตัวตามปริมาตร(ขึ้นหม้อ) เพิ่มขึ้น ค่าการคืนตัว (Set back) ของข้าวเก่าจะสูงกว่าข้าวใหม่ ในขณะที่มีปริมาณ อะไมโลสร้อยละ 26 โปรตีนร้อยละ 8.77 และการสลายเมล็ดในสารละลายเบสของข้าวสาร(คะแนน 5.0) ไม่เปลี่ยนแปลง

Yadav และคณะ (2007) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณลักษณะการหุงข้าวสายพันธุ์อินเดีย 4 ชนิดที่ไม่ใช่ข้าวบัสมาติ (non-basmati) ได้แก่ Jaya, P-44, HKR-120, Sharbati และ 2 ชนิดที่เป็นข้าวบัสมาติ (basmati) ได้แก่ HBC-19 และ Bas-370 พบว่าความยาวและความกว้างของข้าวที่ผ่านการขัดสีมีค่าอยู่ระหว่าง 5.85-8.25 มิลลิเมตร และ 1.65-2.93 มิลลิเมตร ตามลำดับ ข้าวบัสมาติจะมีอัตราการยืดตัวสูง สามารถอุ้มน้ำได้มาก และมีของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่ำ และพบว่าค่าการอุ้มน้ำและอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่เพิ่มขึ้น อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกแสดงให้เห็นความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อความกว้าง ความยาว และความแข็งของเมล็ดข้าวสุก และเวลาที่ใช้ในการหุงมีนัยสำคัญอย่างมากต่อค่าความแข็ง การดูดซึมน้ำ และปริมาณอะไมโลส

พัศกร และคณะ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 10, 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยไม่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้า พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความสามารถในการดูดน้ำ

ของข้าวกล้องและข้าวสาร โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะสามารถดูดน้ำได้มากกว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้นความสามารถในการดูดน้ำจะเพิ่มขึ้น และข้าวสารสามารถที่จะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวกล้อง อัตราส่วนการดูดน้ำของข้าวสารเฉลี่ย เท่ากับ 2.60 และอัตราส่วนการดูดน้ำของข้าวกล้องเฉลี่ยเท่ากับ 1.56 ดังนั้นการหุงข้าวสารจึงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการหุงข้าวกล้องซึ่งระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องและข้าวสารจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และปริมาณอะไมโลสของข้าว ข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างคงที่ในช่วงร้อยละ 13.1 – 13.5 ส่วนข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14.6 ความแข็ง (Hardness) ของข้าวสุก จะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำจะมีความแข็งน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง แต่มีความเหนียวของข้าวสุก (Stickiness และ Adhesiveness) มากกว่า ความหอมหรือปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) โดยเฉลี่ยที่พบในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสารและมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา การเก็บที่ 15 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการลดลงของสาร 2AP ได้ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ในระยะเวลา 4 เดือนแรก

Keawpeng และคณะ (2015) ศึกษาผลของอายุข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพของข้าว พบว่า เมื่ออายุของข้าวเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพของข้าว โดยเมื่อข้าวมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งมากเมื่อเทียบกับข้าวใหม่ และมีความเหนียวลดลง โดยเวลาและอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน มีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความแข็งเพิ่มขึ้น

ละมุล (2555) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าวพบว่า ปริมาณอะไมโลสที่มากขึ้น ทำให้การขยายปริมาตรและการอุ้มน้ำของข้าวสุกมีค่าเพิ่มขึ้น และการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลต่อการอุ้มน้ำและอัตราการยึดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น

วรรณิณี (2556) ศึกษาถึงผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการคืนรูปจากเยือกแข็งต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการเก็บรักษาในช่วง 0-12 เดือนเป็นวัตถุดิบ พบว่าข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือนมีความแข็งมากกว่าและความเหนียวน้อยกว่าข้าวหุงสุกจากข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 3 และ 0.7 เดือนตามลำดับ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงสายพันธุ์โกเมนแดงสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ เก็บเกี่ยวเดือนพฤศจิกายน (2557)
- 3.1.2 เคลือบรีโกลด์ เสริมไอโอดีน ทรายปรงทิพย์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

- 3.2.1 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ (Waterspray overpressure retort) บริษัท KM grandpack รุ่น 1 ตะกร้า
- 3.2.2 กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ (Aluminized organosol) ชนิดกระป๋อง 2 ชั้น ขนาดบรรจุ 307 × 113 (83 × 46 mm) ขนาดบรรจุ 7 ออนซ์ (215 กรัม)
- 3.2.3 เครื่องปิดผนึกฝากระป๋อง (Seamer)
- 3.2.4 เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum Sealer)
- 3.2.5 ถุงสุญญากาศ (Vacuum Bag) ขนาดกว้าง 7 × 11 นิ้ว
- 3.2.6 กระชอนสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร
- 3.2.7 หม้อสแตนเลสเบอร์ 30
- 3.2.8 เครื่องชั่ง
- 3.2.9 เตาแก๊ส

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400, Japan
- 3.3.2 เครื่องวัดความชื้น Lovibond รุ่น TurbiCheck, Germany
- 3.3.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Ohaus รุ่น PA4102, USA
- 3.3.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น TE214S, Switzerland
- 3.3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA-XT Plus, UK
- 3.3.6 เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง UV- spectrophotometer รุ่น UV1601, Japan
- 3.3.7 เตาเผา Nabertherm LT40, Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------|--|------------------------------------|
| 3.3.8 | ตู้อบลมร้อน | Memmert UM 400, Germany |
| 3.3.9 | เครื่องบดแบบละเอียด | Retsh ZM 1000, Germany |
| 3.3.10 | ชุดวิเคราะห์ไขมัน | Gerhardt รุ่น s306AK, Germany |
| 3.3.11 | ชุดวิเคราะห์โปรตีน | Gerhardt รุ่น Vapodest30s, Germany |
| 3.3.12 | ชุดย่อยโปรตีน | Gerhardt รุ่น KB8s, Germany |
| 3.3.13 | ชุดวิเคราะห์เยื่อใย | Foss รุ่น FIBERTEX 1020, China |
| 3.3.14 | หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ | SS-245 Tomy, Japan |
| 3.3.15 | ตู้บ่มเชื้อ | Heraeus Kendro, Germany |
| 3.3.16 | ตู้ปลอดเชื้อ | Boss tech, USA |
| 3.3.17 | เครื่องปั่น | Tefal รุ่น BL3071AB, China |
| 3.3.18 | หม้อหุงข้าว | Oxygen รุ่น RC115, Thailand |
| 3.3.19 | เวอร์เนียคาลิเปอร์ | Mitutoyo, Japan |
| 3.3.20 | อะลูมิเนียมแคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร (2 ออนซ์) | |
| 3.3.21 | เตาให้ความร้อน | |
| 3.3.22 | นาฬิกาจับเวลา | |
| 3.3.23 | ไมโครปิเปต 1000 และ 5000 ไมโครลิตร | |
| 3.3.24 | โถดูดความชื้น | |
| 3.3.25 | เครื่องแก้ว | |

3.4 สารเคมี

| | | |
|--------|---------------------|------------------|
| 3.4.1 | Ethyl alcohol 95% | |
| 3.4.2 | Sodium Hydroxide | J.T Baker, USA |
| 3.4.3 | Glacial acetic acid | Carloerba, Italy |
| 3.4.5 | Iodine | Carloerba, Italy |
| 3.4.6 | Potassium iodine | J.T Baker, USA |
| 3.4.7 | Potato from amylase | Sigma, USA |
| 3.4.8 | Acetone | Merck, Germany |
| 3.4.9 | Boric acid | Merck, Germany |
| 3.4.10 | Celite | Merck, Germany |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------|-----------------------------|-------------------|
| 3.4.11 | Petroleum ether | Merck, Germany |
| 3.6.12 | Sulfuric acid | Merck, Germany |
| 3.4.13 | ชุด Total dietary fiber kit | Megazyme, Ireland |

3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ

| | | |
|-------|------------------|----------------|
| 3.5.1 | Plate Count Agar | Bacton, France |
| 3.5.2 | Dextrose | Bacton, France |
| 3.5.3 | Beef extract | Merck, Germany |
| 3.5.4 | Peptone | Bacton, France |

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.7 วิธีการดำเนินงาน

3.7.1 การเตรียมข้าวกล้องหอมมะลิแดง

นำข้าวกล้องหอมมะลิแดงสายพันธุ์มะลิโกเมนสุรินทร์ (Mali Gomain Surin) ที่เก็บเกี่ยวใหม่ในเดือนพฤศจิกายน (ข้าวใหม่) ที่ผ่านการกระเทาะเปลือกออกแล้วมาทำการเก็บรักษาโดยบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ (Vacuum Bag) ที่ทำจากพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนเคลือบไนลอน (Polyamide, PA) ขนาดกว้าง 7 × 11 นิ้ว ถูกละ 1 กิโลกรัม แล้วปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum Sealer) ใส่กล่องทึบแสง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเตรียมสำหรับนำมาใช้ในการทดลองต่อไป (เก็บรักษาไม่เกิน 6 เดือน)

3.7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

นำข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนแรก จากข้อ 3.7.1 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2005)

3.7.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของของข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษา

นำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้จากข้อที่ 3.7.1 มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีทุกเดือนเป็นเวลา 6 เดือน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำกระบวนการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง และศึกษาถึงความสัมพันธ์ของอายุข้าวต่อคุณลักษณะที่ได้ โดยทำการวิเคราะห์ดังนี้

3.7.3.1 วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส เตรียมตัวอย่างโดยการนำข้าวสารไปสกัดไขมัน ออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (เฮกเซน) จากนั้นวิเคราะห์อะไมโลสตามวิธี มกษ.4004-2555 อ้างอิง ในภาคผนวก ก.

3.7.3.2 วิเคราะห์หาความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2005) โดยชั่งตัวอย่างที่ทำกรบด แล้วใส่ในอะลูมิเนียมแคนท์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 4 กรัม อบที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปคำนวณร้อยละความชื้น จากสมการ

$$\text{คำนวณร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.7.3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Texture analyzer) เตรียมตัวอย่างโดย นำข้าวสารไปขาวข้าว 1 ครั้ง นำไปหุงโดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้ายี่ห้อ Oxygen รุ่น RC-115 โดยหุง อัตราข้าว 1 ส่วน ต่อน้ำ 1.8 ส่วน จากนั้นวัดโดยใช้วิธีการวัดค่าการต้านแรงกด (Back extrusion test) ตามวิธีของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2005)

3.7.3.4 วิเคราะห์การยืดตัวของเมล็ดข้าว (Grain elongation) นำเมล็ดข้าวที่หุงได้จาก ข้อ 3.7.3.3 มาวิเคราะห์การยืดตัวของเมล็ดข้าว โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ คัดแปลงจาก Juliano และ Perez (1984) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำสุ่มข้าวสารและข้าวสุกซ้ำละ 10 เมล็ด วัดความยาว (มิลลิเมตร) คำนวณค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณหาอัตราการยืดตัวของเมล็ด

$$\text{อัตราการยืดตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร 10 เมล็ด}}$$

3.7.3.5 วิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE LAB โดยใช้เครื่อง Minolta, CR-400 เตรียม ตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างข้าวสุก 40 กรัม ที่หุงต้มตามวิธีการในข้อ 3.7.3.3 ใส่อลูมิเนียมแคนท์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 จุด บันทึกค่า ความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*)

3.7.3.6 วิเคราะห์คุณภาพด้านการหุง (Cooking quality of grains)

1.) วิเคราะห์ค่า Optimum cooking time ตามวิธีการของ Mohapatra และ Bal (2006) วิเคราะห์โดยชั่งข้าวกล้อง 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำก้น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้ม เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำเดือด หลังจากนั้น 10 นาที นำเมล็ดข้าวในน้ำเดือด ออกมา 10 เมล็ด กดลงบนจานแก้วใสที่สะอาด หลังจากนั้นทำแบบเดียวกันทุกๆ 1 นาที โดย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cooking time หรือ เวลาต้มสุก จะถูกบันทึกเมื่อตัวอย่างข้าวอย่างน้อยร้อยละ 90 ไม่มีใจกลางสีขาว (ไตข้าว) อีกต่อไป เมื่อพบว่าข้าวสุกแล้ว (ไม่มีไตข้าว) ให้ต้มต่อไปอีก 2 นาที เพื่อให้แน่ใจว่า เมล็ดข้าวเกิดเจลลาติไนซ์เซชัน ดังนั้น Optimum cooking time คือ เวลาที่บวกเพิ่มไปอีก 2 นาที หลังจากบันทึกค่า cooking time แล้ว

2.) วิเคราะห์อัตราการขยายตัว (Volume expansion ratio) คัดแปลงจาก สุรศักดิ์ (2550) วิเคราะห์โดยชั่งข้าวกล้อง 2.5 กรัม ใสลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นวัด ความสูงของข้าวที่ใส่ลงไป เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร ปิดหลอดทดลองด้วยลูกแก้ว นำไปต้มใน น้ำเดือดเป็นเวลาเท่า optimum cooking time ตามข้อ 1.) เมื่อครบเวลาเทน้ำออกจากหลอดทดลอง วัดความสูงของข้าวในหลอดทดลอง นำไปคำนวณอัตราการขยายตัวตามสมการ

$$\text{อัตราการขยายตัว (Volume expansion ratio)} = \frac{\text{ความสูงของเมล็ดข้าวหลังต้ม}}{\text{ความสูงของเมล็ดข้าวก่อนต้ม}}$$

3.) วิเคราะห์อัตราการดูดซึมน้ำ (Water uptake ratio) คัดแปลงจาก Mohapatra และ Bal (2006) วิเคราะห์โดยนำเมล็ดข้าวกล้องจำนวน 10 เมล็ด มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าเป็นน้ำหนักข้าวกล้องก่อนหุง จากนั้นนำข้าวกล้องทั้ง 10 เมล็ดมาต้มในน้ำ เดือด 100 มิลลิลิตร ด้วยเวลา optimum cooking time ตามข้อ 1.) เมื่อครบเวลานำมาสะเด็ดน้ำโดย ใช้กระชอนความถี่ 16 mesh ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องหลังหุง นำไปคำนวณ อัตราการขยายตัวตามสมการ

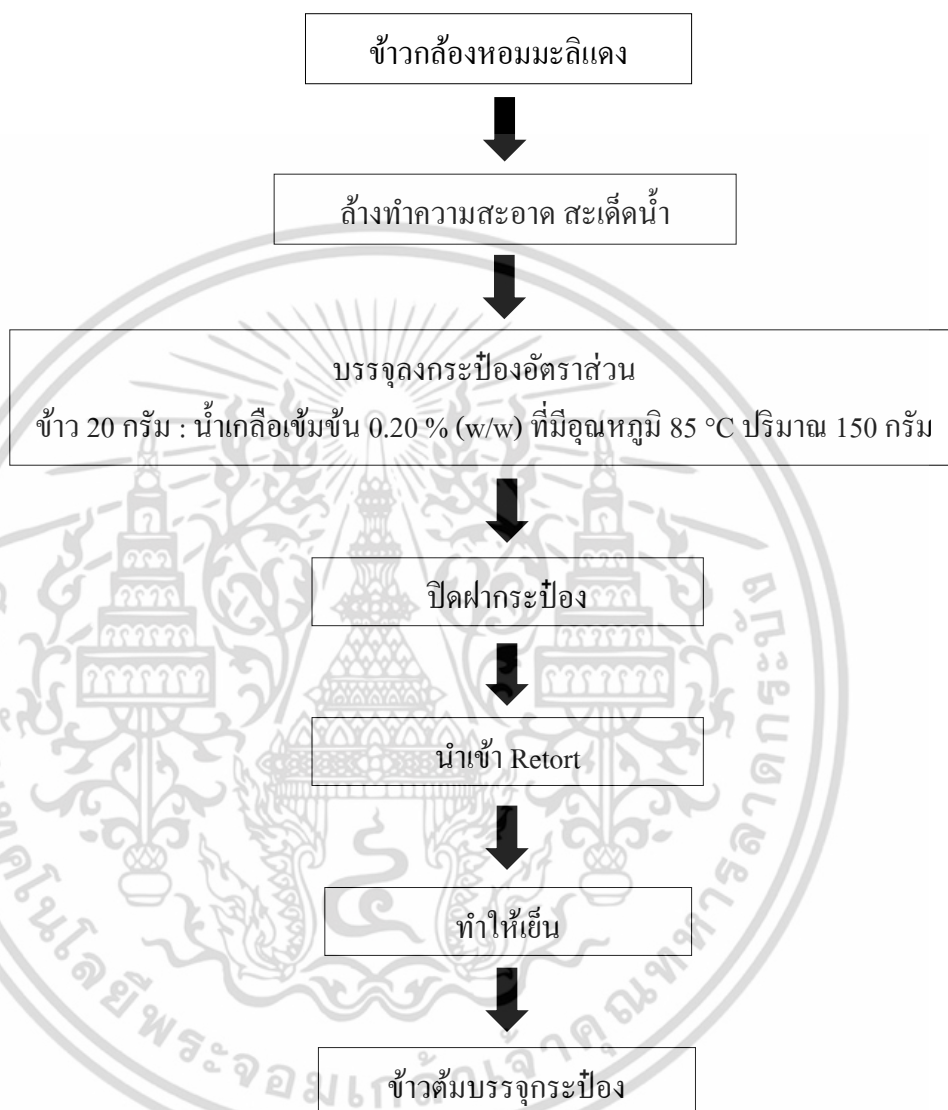
$$\text{อัตราการดูดซึมน้ำ (Water uptake ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้องหลังหุง}}{\text{น้ำหนักข้าวกล้องก่อนหุง}}$$

3.7.4 จำนวนเวลาในการฆ่าเชื้อ (F₀) ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอม มะลิแดง

นำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ได้จากการเตรียมโดยล้างข้าวด้วยวิธีน้ำล้น 2 นาที ทิ้งไว้ให้ สะเด็ดน้ำ 15 นาที จากนั้นบรรจุข้าวกล้องหอมมะลิแดง 20 กรัม ในกระป๋องชนิดกระป๋อง 2 ชั้น เคลือบแลคเกอร์ ขนาดบรรจุ 307 × 113 ที่ติดตั้งเข็มวัดอุณหภูมิคู่ควบ (Thermocouple) ที่ด้านข้าง กระป๋อง โดยให้ปลายเข็มวางที่จุดกึ่งกลางกระป๋อง จากนั้นเติมน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/w) ที่ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วปิดผนึกฝาด้วยเครื่องปิดผนึกทันที บรรจุตัวอย่างข้าวต้มกระป๋องให้ เต็มตะกร้า (Fully loaded) นำผลิตภัณฑ์ไปฆ่าเชื้อในรีโตร์ทชนิด Waterspray overpressure retort โดยต่อสายสัญญาณจากเข็มวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ ตั้งอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส

นาน 20 นาที ที่ความดัน 2 บาร์ บันทึกอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อและอุณหภูมิอาหารในภาชนะบรรจุทุก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 นาที จนสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็น โดยข้อมูลจะถูกส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่บันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม E-VAL TM software นำข้อมูลมาคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยวิธี Ball formula method (Holdsworth, 1997) กระบวนการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋อง แสดงดังรูปภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการผลิตข้าวต้มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

3.7.5 ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน

ทดลองผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องตามวิธีการดังภาพที่ 3.1 โดยเพิ่มขั้นตอนการแช่ข้าวในกระป๋อง ก่อนนำไปให้ความร้อนในรีทอร์ท การทดลองทำได้โดยการนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บ 1 ถึง 6 เดือน มาล้างทำความสะอาดด้วยวิธีน้ำล้นเป็นเวลา 2 นาที ตั้งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที บรรจุกระป๋องในปริมาณ 20 กรัม เติมน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/w) ที่มีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส ปิดฝากระป๋องทันที ตรวจเช็คน้ำหนักของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นาที โดยการนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงในกระป๋องมาตลบนกระชอนขนาด 16 mesh ตั้งทิ้งไว้ 30 วินาที ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก กำหนดหาปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้อง เพื่อเลือกระยะเวลาที่ข้าวกล้องดูดซึมน้ำไปร้อยละ 0, 75, 90 และ 100 ของปริมาณน้ำที่ข้าวสามารถดูดซึมได้ นำไปใช้ในการเตรียมข้าวกล้องหอมมะลิแดง เพื่อใช้ในการทำข้าวต้มบรรจุกระป๋อง โดยใช้เวลาฆ่าเชื้อตามค่า F_0 ที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 3.7.4 ทำการทดลองกับข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้ในข้อ 3.7.1 ทุกเดือน เป็นระยะเวลาหกเดือน

นำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เตรียมได้จากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้แตกต่างกัน มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัส ดังมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

3.7.5.1 วิเคราะห์ค่าสีของข้าวต้ม ด้วยระบบ CIE LAB โดยใช้เครื่อง Minolta, CR-400 เตรียมตัวอย่างโดยแยกข้าวและน้ำ โดยเทข้าวออกจากกระป๋องใส่ในกระชอนขนาด 16 mesh ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 วินาที จากนั้นชั่งข้าวต้ม 40 กรัม ใส่ลูมิเนียมแคน กลี๋ยผิวหน้าให้เรียบ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 จุด บันทึกค่า ความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)

3.7.5.2 วิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำข้าวต้ม โดยใช้เครื่อง Lovibond รุ่น TurbiCheck โดยการนำข้าวต้มมาแยกข้าวและน้ำ โดยเทข้าวออกจากกระป๋องใส่ในกระชอนขนาด 16 mesh ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 วินาที ควบน้ำข้าวใส่ในหลอดตัวอย่าง 1 ml และเจือจางด้วยน้ำกลั่น 9 ml วัดด้วยเครื่อง Lovibond รุ่น TurbiCheck ได้ค่าความขุ่นในหน่วย Nephelometric Turbidity Units, NTU โดยใช้น้ำยามาตรฐาน (Turbi standard) ค่า < 0.1, 20, 200 และ 800 NTU เป็นตัวเทียบ

3.7.5.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวต้ม ใช้วิธีการวัดค่าการต้านแรงกด (Back extrusion test) โดยวิธีของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2005) อ้างอิงในภาคผนวก ข.

3.7.5.4 วิเคราะห์สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม บันทึกปริมาณข้าวและน้ำที่บรรจุก่อนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเมื่อได้เป็นตัวอย่างข้าวต้มทำการกรองแยกน้ำผ่านกระชอนขนาด 16 mesh จับเวลา 2 นาที บันทึกน้ำหนักน้ำ และน้ำหนักเนื้อที่กรองได้

$$\text{การดูดซึมน้ำของข้าวต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวต้มที่กรองได้}}{\text{น้ำหนักข้าวก่อนให้ความร้อน}}$$

3.7.5.5 ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวต้ม ใช้วิธีทดสอบแบบให้คะแนน

ความชอบ (9-point hedonic scale) โดยกำหนดให้ 9 คือชอบมากที่สุด และ 1 คือไม่ชอบมากที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินผลในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยเสิร์ฟข้าวต้มที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส โดยไม่ได้รับประทานร่วมกับเครื่องเคียงใดๆ

3.7.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองนำข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงจากข้อ 3.7.5 มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบเช็คคุณภาพทางด้านกายภาพและจุลชีววิทยาทุกเดือนเป็นระยะเวลาหกเดือน

3.7.6.1 วิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพตามข้อ 3.7.5.1 ถึง 3.7.5.4

3.7.6.2 วิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา โดยตรวจสอบดังนี้

- 1) ตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) โดยใช้วิธีของ AOAC (2005) อ้างอิงในภาคผนวก ง.
- 2) ตรวจวิเคราะห์ *Clostridium botulinum* โดยวิธีของ Bacteriological Analytical Manual, BAM (2001) อ้างอิงในภาคผนวก ง.
- 3) ตรวจวิเคราะห์ *Bacillus sterothermophilus* ดัดแปลงจาก Shitandi และคณะ (2006) อ้างอิงในภาคผนวก ง.

3.7.7 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

นำข้าวต้มบรรจุกระป๋องมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยวิเคราะห์ปริมาณ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ปริมาณเส้นใยอาหาร และ คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2005) อ้างอิงในภาคผนวก ก. และวิตามินบี 6 และ ปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีการของ AOAC (2005) รวมทั้งส่งข้าวต้มบรรจุกระป๋องไปวิเคราะห์ข้อมูลทางโภชนาการที่ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขากรุงเทพฯ

3.7.8 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design , CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยา และทำการทดลอง 5 ซ้ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี (Duncan's Multiple. Range Test, DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี

Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ข้าวกล้องหอมมะลิแดงใหม่ที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ๋า และคาร์โบไฮเดรต เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ใช้ในการทดลอง ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้าวกล้องและข้าวขาวหอมมะลิจากงานวิจัยของ Juliano (1993) และอรอนงค์ (2550) ที่ศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขาว จะเห็นได้ว่า ข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวกล้องมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และเถ๋าในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และมีองค์ประกอบทางเคมีที่มากกว่าข้าวขาว เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีมากบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด (เทอดศักดิ์, 2542) ซึ่งเป็นส่วนที่ข้าวขาวถูกขัดสีออกไป แต่ข้าวกล้องหอมมะลิแดงและข้าวกล้อง จะถูกกระเทาะเพียงแค่เปลือกออกไปเท่านั้น ทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่สูงกว่าข้าวขาวหอมมะลิ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงเปรียบเทียบกับข้าวขาวหอมมะลิ

| องค์ประกอบทางเคมี ของเมล็ดข้าว | ข้าวกล้องหอมมะลิแดง (ร้อยละ) | ข้าวกล้อง* (ร้อยละ) | ข้าวขาวหอมมะลิ** (ร้อยละ) |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| ความชื้น | 10.78±0.20 | 14.00 | 12.10 |
| โปรตีน | 9.56±0.87 | 8.30 | 7.60 |
| ไขมัน | 3.89±0.08 | 2.80 | 0.30 |
| เส้นใยอาหาร | 1.00±0.07 | 1.00 | 0.20 |
| เถ๋า | 1.76±0.01 | 1.50 | 0.40 |
| คาร์โบไฮเดรต | 73.01±0.87 | 73.00 | 79.40 |

*อ้างอิงจาก Juliano (1993) และ **อ้างอิงจาก อรอนงค์ (2550)

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของของข้าวกล้องหอมมะลิแดงในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมาวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี ด้านกายภาพและคุณภาพการหุงต่างๆเดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา คุณภาพด้านเคมีทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณอะไมโลสของเมล็ดข้าว แสดงดังตารางที่ 4.2 จากตารางจะเห็นว่า ค่าความชื้นและค่าอะไมโลส จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาสั้น ค่าความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่ใช้ในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนเคลือบไนลอน (Polyamide, PA) ที่อากาศยังสามารถซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ได้ อีกทั้งเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศแวดล้อม จึงทำให้ค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศระหว่างการเก็บรักษา (นราพร, 2553) ซึ่งปริมาณความชื้นของข้าวสัมพันธ์กับอายุการเก็บรักษาข้าวอย่างยิ่ง เนื่องจากความชื้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยตามมาตรฐานองค์การการค้าข้าวของสหรัฐอเมริกา กำหนดว่า ข้าวไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 14 (สิริธร, 2552) เมื่อพิจารณาปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องหอมมะลิแดงพบว่า อยู่ในช่วงข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 พบว่า ปริมาณอะไมโลสมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้น โดยระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมล็ดข้าว เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัววัตถุดิบเองหรือเกิดจากการเก็บรักษาไว้รวมกันในปริมาณมาก ซึ่งความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงอะไมโลเพคตินในข้าวให้กลายเป็นอะไมโลส (Jutarop และ Somchai, 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chrastil (1990) ซึ่งพบว่าปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลา 12 เดือน

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ

| ระยะเวลา (เดือน) | ความชื้น (ร้อยละ) | อะไมโลส (ร้อยละ) |
|------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 10.78 ^d ± 0.20 | 20.44 ^d ± 0.61 |
| 2 | 10.80 ^d ± 0.16 | 20.56 ^d ± 0.39 |
| 3 | 10.99 ^d ± 0.10 | 21.78 ^c ± 0.66 |
| 4 | 11.66 ^c ± 0.45 | 22.28 ^{bc} ± 0.57 |
| 5 | 12.00 ^b ± 0.12 | 22.90 ^{ab} ± 0.54 |
| 6 | 12.34 ^a ± 0.03 | 23.39 ^a ± 0.22 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางกายภาพ ในด้านอัตราการยัดตัว ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวสุกแสดงดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า อัตราการยัดตัว ค่าความแข็งของข้าวสุก มีค่าเพิ่มมากขึ้นและค่าความเหนียวของข้าวสุกมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากในช่วงเวลาที่มีการเก็บรักษาข้าว จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ดข้าวโดยสายพอลิเมอร์ที่จับกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับองค์ประกอบอื่น ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน (Ohno และ Ohisa, 2005) จึงทำให้สมบัติด้านการ

ดูดซึมน้ำ การพองตัว และเนื้อสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอัตราการยัดตัว ค่าความแข็ง ของข้าว
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุหรือบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆเพิ่มขึ้น และค่าความเหนียวของข้าวมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรราชินี (2556) ซึ่งศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวต่อคุณภาพ ด้านเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกโดยพบว่า ค่าความแข็งของข้าวหุงสุกจากข้าวที่มี ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือนมีค่ามากกว่าข้าวหุงสุกจากข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา 3 และ 0.7 เดือน เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ พัสกร และคณะ (2546) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิและ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า ความแข็งของข้าวกล้องสุกเกิดจากการเก็บรักษา โดยค่าความแข็งนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการ เก็บรักษาข้าว อัตราส่วนของปริมาณอะไมโลสก็เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติ แตกต่างกัน โดยเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มสูงขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยน้ำ เพิ่มมากขึ้นในระหว่างการหุง ดังนั้นข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานขึ้น จึงมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง มากขึ้นและร่วนฟู เป็นผลให้ค่าความเหนียวลดลง (Juliano และคณะ, 1965; Perez และ Juliano, 1979)

ตารางที่ 4.3 อัตราการยืดตัว ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของข้าวสุกที่เตรียมจากข้าวกล้องหอม มะลิ แดงที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ

| ระยะเวลา (เดือน) | อัตราการยืดตัว | ค่าความแข็ง (g.f) | ค่าความเหนียว (g.f) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1.10 ^c ± 0.01 | 2628.90 ^d ± 291.78 | 113.60 ^a ± 27.90 |
| 2 | 1.13 ^b ± 0.01 | 2703.10 ^{cd} ± 61.48 | 114.60 ^a ± 34.82 |
| 3 | 1.13 ^{ab} ± 0.02 | 2951.00 ^{bc} ± 292.02 | 117.86 ^a ± 28.32 |
| 4 | 1.13 ^{ab} ± 0.03 | 3110.30 ^{ab} ± 312.27 | 86.88 ^{ab} ± 28.30 |
| 5 | 1.15 ^a ± 0.01 | 3266.40 ^{ab} ± 128.71 | 62.76 ^b ± 9.29 |
| 6 | 1.15 ^a ± 0.01 | 3337.10 ^a ± 189.12 | 57.70 ^b ± 9.79 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพ 4.1 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 1 (ซ้าย) และเดือนที่ 6 (ขวา)

ด้านค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดง ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของข้าวกล้องหอมมะลิแดงระยะเวลา 1 และ 6 เดือน จะพบว่าสีของเมล็ดข้าวเมื่อเก็บไว้จะมีสีคล้ำขึ้น เมื่อนำมาตรวจสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าสีในด้านความสว่าง (L^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความสว่างจะลดลง (Barber, 1972) เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลานานจะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ เมื่อดูค่า a^* ซึ่งมีค่าเป็นบวก จะแสดงถึงค่าสีแดง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนค่า b^* ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงถึงค่าสีเหลือง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่า b^* มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า b^* ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยามอลาร์ด (maillard reaction) ของเมล็ดข้าว โดยเกิดจากสารประกอบ furosine (ε-N-(furoylmethyl L-lysine)) จากการทำปฏิกิริยา hydrolysis ของ Amadori compound (สารอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยามอลาร์ด) (Fernandez และคณะ, 1999) ของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าความสว่างของข้าว (L^*) ลดลง สอดคล้องกับ เพลงพิน (2541) ซึ่งพบว่าข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6-12 เดือน เมื่อเปรียบเทียบเมล็ดข้าวสารกับข้าวหลังผ่านการหุงสุก พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับเมล็ดข้าวสาร กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความสว่างของข้าวสุกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเมล็ดข้าวสารและข้าวสุก (ภาพที่ 4.2) จะพบว่าค่าสีด้านความสว่าง ค่า a^* และค่า b^* ของข้าวสุกมีค่าน้อยกว่าข้าวสาร การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของแอนโทไซยานินในระหว่างการหุงต้ม โดยมีน้ำ ออกซิเจน และความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือข้อผิดพลาดในการตีความหรือการนำไปใช้ กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารทราบ และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Socaciu, 2008) อีกทั้งน้ำยังมีสถานะเป็นกลาง ซึ่งสีของแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของเฟลโวลีเทียมไอออนบวก ซึ่งเป็นสารที่ให้สีแดง เมื่อได้รับน้ำซึ่งมีสถานะเป็นกลาง ปริมาณเฟลโวลีเทียมไอออนบวกจะลดลง เนื่องจากการเกิดไฮเดรชัน ไปเป็นคาร์บินอลเบส เกิดเป็นโครงสร้างที่มีสีน้ำเงิน (Castaneda-Ovando, 2009) เป็นผลให้ข้าวสุกมีสีเข้มขึ้น ค่าความสว่าง ค่า a^* และค่า b^* ของข้าวสุกจึงลดลง

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสุกที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

| ระยะเวลา (เดือน) | ข้าวสาร | | | ข้าวสุก | | |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* |
| 1 | 40.05 ^c ± 0.62 | 13.05 ^a ± 0.38 | 8.01 ^b ± 0.56 | 36.72 ^d ± 0.70 | 11.74 ^a ± 1.05 | 4.20 ^a ± 0.73 |
| 2 | 39.99 ^c ± 0.65 | 13.13 ^a ± 0.54 | 8.32 ^b ± 0.70 | 36.42 ^c ± 0.41 | 12.20 ^a ± 0.81 | 4.40 ^a ± 0.60 |
| 3 | 38.59 ^b ± 0.47 | 12.42 ^a ± 0.87 | 8.89 ^a ± 0.88 | 35.53 ^b ± 0.55 | 11.70 ^a ± 0.51 | 4.62 ^a ± 0.99 |
| 4 | 38.10 ^b ± 0.54 | 12.78 ^a ± 0.37 | 9.05 ^a ± 0.49 | 35.10 ^b ± 0.69 | 11.75 ^a ± 0.24 | 4.47 ^a ± 0.99 |
| 5 | 37.11 ^a ± 0.34 | 12.81 ^a ± 0.45 | 9.02 ^a ± 0.37 | 34.17 ^a ± 0.42 | 11.76 ^a ± 0.51 | 4.81 ^a ± 0.54 |
| 6 | 36.86 ^a ± 0.46 | 12.88 ^a ± 0.47 | 8.89 ^a ± 0.27 | 33.01 ^a ± 0.76 | 11.73 ^a ± 0.68 | 4.89 ^a ± 0.53 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 ข้าวกล้องหอมมะลิแดงก่อนหุง (ซ้าย) และหลังหุง (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลในด้านคุณภาพการหุงของเมล็ดข้าว ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าสำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม อัตราการขยายตัว และอัตราการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อข้าวมีอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของข้าวสุกขยายตัวโดยรอบ โดยเฉพาะในด้านยาว จึงทำให้มีอัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น และในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการหุงนั้น จะใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 และ 6 เนื่องจากข้าวสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการหุงต้มให้สุกจึงนานขึ้น (นราพร, 2553) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ละมุล (2555) ซึ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว โดยพบว่า การเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่งผลต่อการอู่น้ำและอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น Desikachar (1956) และจากงานวิจัยของ Danbaba และคณะ (2011) พบว่า คุณภาพการหุงต้มของข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสและอัตราการดูดซึมน้ำ โดยเมื่อระดับปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น จะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 คุณภาพด้านการหุงของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลาต่างๆ

| ระยะเวลา (เดือน) | ระยะเวลาที่ใช้ในการหุง | อัตราการขยายตัว | อัตราการดูดซึมน้ำ |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 19.00 ^b ± 0.00 | 2.19 ^d ± 0.10 | 1.71 ^c ± 0.01 |
| 2 | 19.00 ^b ± 0.00 | 2.25 ^{bc} ± 0.09 | 1.74 ^c ± 0.06 |
| 3 | 19.00 ^b ± 0.00 | 2.29 ^{bc} ± 0.07 | 1.88 ^b ± 0.08 |
| 4 | 19.00 ^b ± 0.00 | 2.32 ^{ab} ± 0.07 | 1.90 ^b ± 0.02 |
| 5 | 19.67 ^a ± 0.58 | 2.42 ^b ± 0.08 | 2.02 ^a ± 0.06 |
| 6 | 20.00 ^a ± 0.00 | 2.66 ^a ± 0.12 | 2.06 ^a ± 0.05 |

หมายเหตุ^{a,b,c} : ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3 ผลการคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) ในการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง

ในการคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อจะเสียบ thermocouple จำนวน 12 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปวางในจุด cold spot ของเครื่องรีทอร์ท โดยกำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการฆ่าเชื้อ 20 นาทีและความดัน 2 บาร์ เพื่อคำนวณค่า F_0 ของตัวอย่าง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 Heat Penetration Test Result

| Product | Red brown jasmine rice gruel |
|---|------------------------------|
| Can size | 307×113 (3 pieces) can |
| Number of containers used in studies | 24 cans |
| Maximum fill weight* | 20 gm |
| Net weight | 170 gm |
| Moisture content of rice | 11 % |
| pH | 6.3 |
| Headspace | 0.8 cm |
| Vacuum | 5 inch Hg |
| Minimum initial product temperature | 40 °C (104 °F) |
| Minimum overpressure during sterilization | 2.0 bar |
| Minimum Come Up Time | 15 minutes |
| Container orientation | Vertical orientation |
| Process temperature | 120 °C (248 °F) |
| Process time | 20 minutes |
| j value | 0.51 |
| fh value | 9.77 |
| F_0 (Ball formula method) | 11.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนการฆ่าเชื้อมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และมีค่า Minimum Come Up Time เท่ากับ 15 นาที ซึ่งหมายความว่าต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนาน 15 นาทีจึงส่งผลให้ภายในรีaktorมีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อดูค่า F_0 พบว่าได้ค่าเท่ากับ 11.2 ซึ่งหมายความว่า กระบวนการผลิตในการทดลองนี้ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและก่อให้เกิดโรคได้ในระดับ Commercial sterilization ได้ ซึ่งตามกฎหมายในประเทศไทยนั้นกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ค่าความเป็นกรดต่ำ (pH 4.5) มีค่า F_0 เท่ากับ 3 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2556) ดังนั้น เวลา 20 นาทีจึงเป็นเวลาที่สามารถในการฆ่าเชื้อข้าวต้มบรรจุกระป๋องในการทดลองครั้งนี้ได้ ลักษณะของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้แสดงดังภาพที่ 4.3

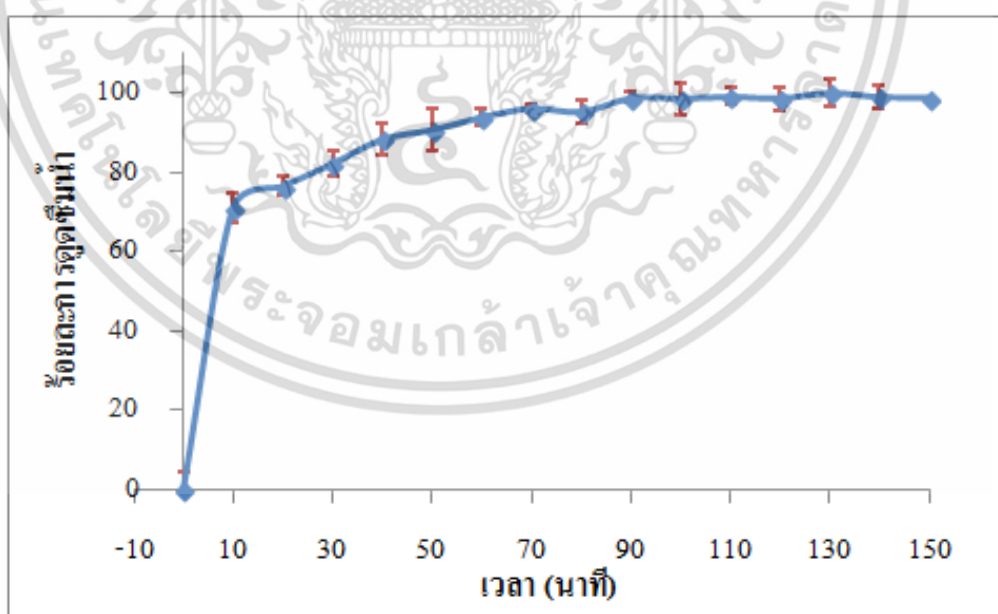


ภาพที่ 4.3 ลักษณะข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน

การศึกษาค้นคว้าผลของการแช่ข้าวในกระป๋องก่อนการนำไปให้ความร้อนในรีโพรทที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อผลิตเป็นข้าวต้มกระป๋อง ทำโดยบรรจุข้าว 20 กรัม ในกระป๋องเติมน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/w) ปริมาตร 150 กรัม ที่มีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปิดผนึกกระป๋องทันที และแช่ข้าวในกระป๋องเป็นระยะเวลาต่างๆ ติดตามปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซึม ดังภาพที่ 4.4 พบว่า การที่เมล็ดข้าวสารมีรูพรุน จึงทำให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้รวดเร็วมก ซึ่งการแช่ข้าวในน้ำร้อนช่วยให้เมล็ดข้าว สามารถดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น (Karel และคณะ, 2005) เพียง 10 นาทีแรกสามารถดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 71 หลังจากนั้นการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวจะเริ่มช้าลงมาก และหลังจาก 50 นาที อัตราการดูดซึมน้ำก็ยิ่งลดต่ำลงอีก และหลังจาก 90 นาทีไปแล้ว ร้อยละปริมาณการดูดซึมน้ำเข้าสู่สมดุล (ภาคผนวก ข.) โดยพบว่าที่เวลา 20, 50 และ 80 นาที เมล็ดข้าวสามารถดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 75, 90 และ 100 ในการทดลองนี้ได้ออกใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องก่อนนำไปให้ความร้อนในรีโพรทเท่ากับ 0, 20, 50 และ 80 นาที ลักษณะปรากฏของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้ในทุกสภาวะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข. พบว่าในทุกสภาวะมีลักษณะของข้าวต้มที่เหมือนกันกับข้าวต้มที่วางขายตามท้องตลาด จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวต้มกระป๋องที่ผลิตได้หลังจากที่เก็บรักษาไว้สามวัน เพื่อทำให้ข้าวต้มดูดซึมน้ำที่เหลือในกระป๋อง (ภาคผนวก ฉ.)



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่แช่ในกระป๋องเป็นระยะเวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาจากค่าสีของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นลักษณะทางกายภาพประการแรก ที่แสดงให้เห็นให้ผู้บริโภคเห็นจากการมองด้วยสายตา โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยระบบ CIE LAB โดยที่ L* จะหมายถึงค่าความสว่างของสี ส่วนค่า a* จะหมายถึง ความเขียว (-a) และแดง (+a) และค่า b* จะหมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน (-b) และสีเหลือง (+b) ผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวต้มกระป๋องที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆของข้าวที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.9 พบว่าข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บเดียวกัน การแช่ข้าวในกระป๋องที่ระยะเวลาต่างๆ ข้าวต้มที่ผลิตได้มีค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ถ้าพิจารณาจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน จะพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่างของข้าวต้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และค่าสีแดง และค่าสีเหลือง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวเพิ่มมากขึ้น โดยจะพบว่าค่าสีของข้าวต้มกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 1 มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 44.81-45.65 ค่าสีแดงอยู่ในช่วง 9.23-9.27 และสีเหลืองอยู่ในช่วง 3.06-3.25 ในขณะที่ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 6 มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 39.70-40.08 ค่าสีแดงอยู่ในช่วง 10.56-11.28 และค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 4.04-4.47 ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะปรากฏของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลาต่างๆ จะเห็นถึงความแตกต่างของสีอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมาจากคุณภาพเริ่มต้นของวัตถุดิบ (ภาพที่ 4.1) เมื่อวัตถุดิบเริ่มต้นมีสีคล้ำขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้มีสีเข้มมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี L* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 45.65 ^{aA} ± 1.01 | 45.38 ^{aA} ± 0.81 | 44.90 ^{aA} ± 1.04 | 44.81 ^{aA} ± 0.99 |
| 2 | 44.95 ^{aA} ± 1.19 | 44.47 ^{bA} ± 0.57 | 44.49 ^{abA} ± 0.89 | 44.23 ^{abA} ± 0.76 |
| 3 | 43.34 ^{bA} ± 0.74 | 43.38 ^{cA} ± 0.92 | 43.59 ^{bA} ± 1.06 | 43.28 ^{bA} ± 1.13 |
| 4 | 43.08 ^{bA} ± 0.75 | 42.25 ^{dA} ± 0.46 | 42.23 ^{cA} ± 0.93 | 42.06 ^{cA} ± 0.91 |
| 5 | 41.08 ^{cA} ± 0.84 | 41.39 ^{dA} ± 0.98 | 41.48 ^{cA} ± 0.93 | 41.82 ^{cA} ± 0.72 |
| 6 | 40.08 ^{cA} ± 0.76 | 39.82 ^{eA} ± 0.55 | 39.70 ^{dA} ± 0.79 | 40.11 ^{dA} ± 0.89 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี a* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 9.27 ^{ba} ±0.88 | 9.26 ^{bcA} ±0.82 | 9.64 ^{bcA} ±0.96 | 9.23 ^{ba} ±0.49 |
| 2 | 9.07 ^{ba} ±1.07 | 9.50 ^{ba} ±0.77 | 9.58 ^{bcA} ±0.85 | 9.34 ^{ba} ±0.89 |
| 3 | 9.98 ^{abA} ±0.82 | 10.20 ^{abA} ±0.59 | 10.36 ^{abA} ±1.03 | 10.11 ^{abA} ±0.71 |
| 4 | 8.85 ^{ba} ±0.98 | 8.43 ^{ca} ±0.80 | 8.62 ^{ca} ±0.96 | 9.08 ^{ba} ±0.91 |
| 5 | 9.42 ^{ba} ±0.71 | 9.38 ^{bcA} ±1.12 | 9.06 ^{ca} ±0.45 | 9.34 ^{ba} ±0.99 |
| 6 | 10.99 ^{aA} ±0.85 | 11.03 ^{aA} ±0.67 | 11.28 ^{aA} ±0.72 | 10.56 ^{aA} ±0.68 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

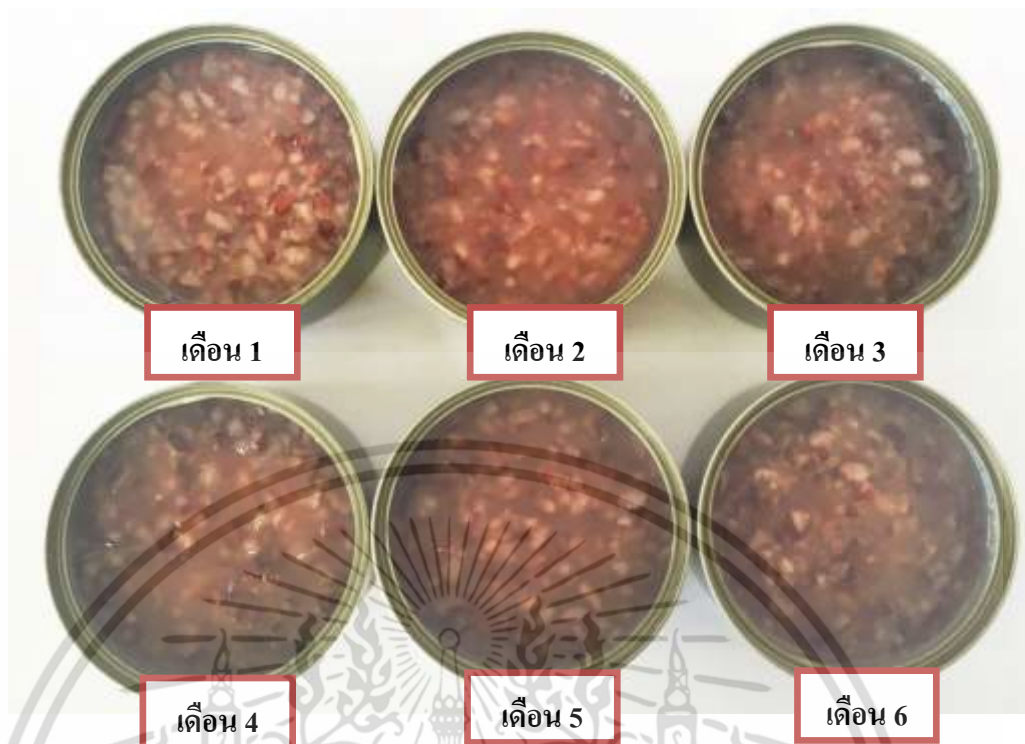
ตารางที่ 4.9 ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวต่อค่าสี b* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 3.06 ^{ca} ±0.44 | 3.67 ^{aA} ±1.02 | 3.49 ^{aA} ±0.61 | 3.25 ^{ca} ±0.79 |
| 2 | 3.46 ^{bcA} ±0.26 | 3.46 ^{aA} ±1.25 | 3.95 ^{aA} ±1.02 | 3.67 ^{bcA} ±0.62 |
| 3 | 4.73 ^{aA} ±0.99 | 4.16 ^{aA} ±0.73 | 4.59 ^{aA} ±1.11 | 4.74 ^{aA} ±0.79 |
| 4 | 4.33 ^{abA} ±1.08 | 4.52 ^{aA} ±0.73 | 4.44 ^{aA} ±0.68 | 4.42 ^{abA} ±0.62 |
| 5 | 4.03 ^{abcA} ±0.93 | 4.36 ^{aA} ±0.98 | 4.38 ^{aA} ±1.12 | 4.11 ^{abcA} ±0.79 |
| 6 | 4.12 ^{abA} ±0.76 | 4.11 ^{aA} ±0.58 | 4.47 ^{aA} ±0.75 | 4.04 ^{abcA} ±0.66 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C}: ตัวอักษรต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 สีของข้าวตังบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาไว้ในเดือน 1 ถึง เดือน 6

เมื่อพิจารณาค่าความชุ่มของน้ำข้าวตังบรรจุกระป๋องและสัดส่วนการดูดซึมน้ำ (water uptake ratio) ของข้าวตังในกระป๋องแสดงผลดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 80 นาที จะทำให้ค่าความชุ่มของน้ำข้าวตัง และสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวตังเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น จะพบว่าค่าความชุ่มของน้ำข้าวตัง และสัดส่วนของการดูดซึมน้ำของข้าวตังจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอย่างเช่น ข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 1 เมื่อแช่ในกระป๋องเป็นเวลา 80 นาที ก่อนเข้รืเทอร์ที่มีสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวตังกระป๋องเท่ากับ 6.52 ในขณะที่ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาไว้ในเดือนที่ 6 หลังจากบรรจุกระป๋องแล้วนำเข้รืเทอร์ทันที มีค่าสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวตังในกระป๋องเท่ากับ 6.57

ตารางที่ 4.10 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 284.83 ^{cb} ±14.51 | 302.83 ^{cb} ±17.96 | 305.33 ^{bb} ±38.32 | 347.17 ^{ba} ±22.78 |
| 2 | 330.00 ^{ab} ±17.67 | 324.50 ^{bb} ±31.27 | 342.17 ^{aAB} ±10.42 | 366.67 ^{abA} ±18.05 |
| 3 | 309.83 ^{bc} ±7.33 | 329.17 ^{bcBC} ±9.99 | 337.00 ^{aAB} ±14.10 | 352.33 ^{abA} ±26.89 |
| 4 | 327.17 ^{abB} ±21.79 | 349.17 ^{aA} ±6.43 | 337.67 ^{aAB} ±10.86 | 358.00 ^{abA} ±22.74 |
| 5 | 327.50 ^{abB} ±16.86 | 336.67 ^{bcB} ±16.22 | 359.67 ^{aA} ±23.17 | 366.50 ^{abA} ±10.31 |
| 6 | 317.00 ^{abD} ±6.29 | 339.67 ^{bcC} ±5.28 | 361.83 ^{ab} ±9.41 | 372.83 ^{aA} ±6.67 |

หมายเหตุ ^{a,b,c} : ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C} : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 6.29 ^{bb} ±0.05 | 6.32 ^{cb} ±0.02 | 6.37 ^{eb} ±0.07 | 6.52 ^{ca} ±0.06 |
| 2 | 6.17 ^{bb} ±0.13 | 6.22 ^{cb} ±0.06 | 6.50 ^{deA} ±0.10 | 6.57 ^{ca} ±0.08 |
| 3 | 6.18 ^{bc} ±0.05 | 6.27 ^{cbC} ±0.05 | 6.36 ^{cdB} ±0.03 | 6.48 ^{ca} ±0.10 |
| 4 | 6.29 ^{bd} ±0.11 | 6.48 ^{bc} ±0.08 | 6.63 ^{bcB} ±0.02 | 6.80 ^{ba} ±0.02 |
| 5 | 6.30 ^{bc} ±0.04 | 6.54 ^{bb} ±0.05 | 6.67 ^{ba} ±0.05 | 6.79 ^{ba} ±0.10 |
| 6 | 6.57 ^{ac} ±0.05 | 6.77 ^{ab} ±0.13 | 6.93 ^{ab} ±0.13 | 7.26 ^{aA} ±0.06 |

หมายเหตุ ^{a,b,c} : ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C} : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มบรรจุกระป๋องและสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม สามารถสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวต้มได้ ค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มจะสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำข้าวต้ม ซึ่งส่วนใหญ่ คือ เม็ดแป้ง เมื่อเมล็ดข้าวดูดซึมน้ำ และได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัว อาจทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดถูกทำลายบางส่วน เป็นผลให้เม็ดแป้งเหล่านี้กระจายตัวออกมา ดังนั้น ถ้าค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มสูง แสดงว่าเยื่อหุ้มเมล็ดถูกทำลายมากของแข็งที่ละลายในน้ำจะกระจายออกมามาก เนื้อสัมผัสของข้าวต้มก็จะนิ่มลง (Thirumdas, 2015) ในทำนองเดียวกัน ถ้าข้าวต้มมีสัดส่วนการดูดซึมน้ำมาก แสดงว่ามีปริมาณน้ำในข้าวต้มสูง จึงเป็นผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวต้มนิ่ม ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในด้านความแข็งและความเหนียว แสดงดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ จะพบว่าผลการวิเคราะห์ด้านเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้านความชุ่มของน้ำข้าวต้มและสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม

เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวในกระป๋องเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปเป็น 80 นาที จะทำให้ค่าความแข็งของข้าวต้มในกระป๋องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอย่างเช่น ข้าวที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1 หลังจากบรรจุกระป๋อง นำไปให้ความร้อนในรีโอร์ททันที ข้าวต้มที่ผลิตได้มีค่าความแข็งเท่ากับ 460 g.f ในขณะที่ข้าวที่แช่ในกระป๋องเป็นเวลา 80 นาที ก่อนเข้ารีโอร์ท มีค่าความแข็งของข้าวต้มเท่ากับ 383 g.f ทั้งนี้เนื่องจาก เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวมีองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งเป็นตัวขัดขวางการดูดซึมน้ำของเมล็ด (งามชื่น, 2546) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bello และคณะ (2004) ที่ศึกษาถึงการแช่ข้าวกล้อง และข้าวขาวขัดสีในน้ำที่อุณหภูมิ 26-65 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวกล้องมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าข้าวขาวขัดสี เมื่อแช่ข้าวในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จะทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง ประกอบกับเมล็ดข้าวมีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อแช่ข้าวในน้ำร้อน ทำให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำไว้ในเมล็ด เมื่อนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง เมล็ดข้าวที่อุ้มน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว (Bello และคณะ, 2004) และเมล็ดข้าวที่สามารถอุ้มน้ำได้มากจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วกว่าเมล็ดข้าวที่ดูดซึมน้ำได้น้อย เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าว จึงส่งผลให้การยึดจับกันของโมเลกุลแป้งลดลง เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นและเม็ดแป้งบางส่วนกระจายตัวออกมา เป็นผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวต้มนิ่มลง เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวในกระป๋องเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.12 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความแข็ง (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บ ข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาท) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 460.35 ^{aA} ±50.65 | 435.27 ^{aAB} ±60.71 | 414.95 ^{aAB} ±53.97 | 383.95 ^{aB} ±63.09 |
| 2 | 434.64 ^{abA} ±13.07 | 381.56 ^{bcB} ±21.63 | 357.47 ^{bc} ±12.34 | 334.55 ^{bd} ±12.31 |
| 3 | 438.18 ^{abA} ±25.06 | 402.63 ^{bb} ±21.02 | 369.73 ^{bc} ±19.69 | 336.40 ^{bd} ±12.40 |
| 4 | 426.13 ^{bcA} ±29.26 | 387.36 ^{bcB} ±20.49 | 359.63 ^{bc} ±24.41 | 334.79 ^{bd} ±14.91 |
| 5 | 396.28 ^{cdA} ±31.11 | 368.23 ^{cb} ±26.72 | 350.25 ^{bb} ±27.95 | 312.47 ^{bc} ±22.52 |
| 6 | 385.15 ^{da} ±39.30 | 366.05 ^{cAB} ±23.12 | 340.23 ^{bb} ±28.34 | 311.42 ^{bc} ±28.51 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C}: ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความเหนียว (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

| ระยะเวลาการเก็บ ข้าวกล้อง (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาท) | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 1 | 102.30 ^{aA} ±11.50 | 97.02 ^{aAB} ±16.50 | 89.40 ^{aBC} ±13.05 | 83.42 ^{aC} ±10.06 |
| 2 | 94.72 ^{aA} ±12.26 | 89.06 ^{abAB} ±10.25 | 83.06 ^{aB} ±10.62 | 80.86 ^{aB} ±12.45 |
| 3 | 90.65 ^{aA} ±12.31 | 84.15 ^{bAB} ±8.17 | 83.18 ^{aAB} ±18.83 | 77.73 ^{aB} ±9.47 |
| 4 | 93.66 ^{aA} ±15.54 | 97.32 ^{abAB} ±10.28 | 81.88 ^{aB} ±9.35 | 78.40 ^{aB} ±8.47 |
| 5 | 96.71 ^{aA} ±11.10 | 91.30 ^{abAB} ±9.27 | 85.26 ^{aBC} ±11.38 | 78.44 ^{aC} ±9.94 |
| 6 | 95.72 ^{aA} ±13.94 | 90.61 ^{abAB} ±8.96 | 84.13 ^{aB} ±9.46 | 74.55 ^{aC} ±5.77 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{A,B,C}: ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิเพิ่มขึ้นจาก 1 เดือนไปเป็น 6 เดือน จะทำให้ค่าความแข็งของข้าวต้มบรรจุกระป๋องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอย่างเช่น ข้าวที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1 หลังจากบรรจุกระป๋อง นำไปให้ความร้อนใน รีทอร์ททันที ข้าวต้มที่ผลิตได้มีค่าความแข็งเท่ากับ 460 g.f แต่เมื่อนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงนี้เก็บรักษาไว้ในเดือนที่ 6 พบว่า ข้าวต้มที่ผลิตได้มีค่าความแข็งลดลงเป็น 385 g.f เมื่อเมล็ดข้าวสารเก็บรักษาไว้นานขึ้น ปริมาณอะไมโลสในข้าวเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.2) ในระหว่างการให้ความร้อนในรีทอร์ท ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของอะไมโลสที่อัดแน่น อยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวออกและจับกับ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ล้อมรอบ (กลีมารงค์ และ เกื้อกูล, 2546) ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เป็นผลให้เมล็ดข้าวต้มดูดซึมน้ำได้มากขึ้น จะเห็นได้จาก สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวต้มนุ่มลง

โดยภาพรวมจะพบว่า ในกรณีของข้าวใหม่ถ้าต้องการให้ข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีเนื้อสัมผัส นุ่ม จำเป็นต้องแช่ข้าวในกระป๋องก่อนนำเข้ารีทอร์ท ในขณะที่ข้าวเก่า หลังจากบรรจุลงกระป๋อง สามารถนำเข้ารีทอร์ทได้ทันที ตัวอย่างเช่น ข้าวกล้องหอมมะลิแดงในเดือนที่ 1 ที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.44 เมื่อแช่ในกระป๋องเป็นเวลา 80 นาที ก่อนนำไปให้ความร้อนในรีทอร์ท ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้มีสัดส่วนการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.52 ค่าความขุ่นของน้ำข้าวต้มเท่ากับ 347 NTU ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวต้มเท่ากับ 383 g.f ในขณะที่ เมื่อนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงนี้เก็บรักษาไว้ในเดือนที่ 6 ที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 23.39 เมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวต้มบรรจุกระป๋อง โดยหลังจากบรรจุนำเข้ารีทอร์ททันทีโดยไม่แช่ในกระป๋อง ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้ มีคุณภาพทางกายภาพใกล้เคียงกับข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวใหม่ คือ มีสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มเท่ากับ 6.52 มีค่าความขุ่นของน้ำข้าวต้มเท่ากับ 317 NTU มีค่าความแข็งของข้าวต้มเท่ากับ 385 g.f อย่างไรก็ตาม สำหรับข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในช่วง 2 ถึง 4 เดือน ที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 20.55-22.27 ที่สภาวะการแช่ข้าวในกระป๋องเท่ากัน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง ค่าความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋องจะทำหลังจากผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องเสร็จเป็นเวลา 2 อาทิตย์ ทำโดยการทดสอบด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9 - point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นนักศึกษาที่มีอายุอยู่ระหว่าง 20-24 ปี ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.14 ถึง 4.19 โดยจะแยกตามระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวกล้องหอมมะลิแดง

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทีก) | ลักษณะปรากฏ | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบโดยรวม |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0 | 6.88 ^a ±1.12 | 6.33±1.20 | 6.79±1.21 | 6.71 ^a ±1.12 |
| 20 | 6.63 ^{ab} ±1.01 | 6.00±1.25 | 6.41±1.21 | 6.29 ^{ab} ±0.86 |
| 50 | 6.29 ^b ±0.99 | 5.92±0.83 | 6.46±1.22 | 6.38 ^{ab} ±1.01 |
| 80 | 6.38 ^{ab} ±1.17 | 5.96±0.99 | 6.13±1.26 | 6.04 ^b ±1.23 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 2 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทีก) | ลักษณะปรากฏ | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม ^{ns} |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 0 | 6.63 ^a ±1.24 | 5.96±1.19 | 6.29 ^a ±1.19 | 6.21±1.22 |
| 20 | 6.33 ^{ab} ±1.68 | 5.95±1.27 | 5.58 ^b ±1.17 | 6.21±1.25 |
| 50 | 6.00 ^b ±1.25 | 5.38±1.24 | 5.75 ^{ab} ±1.22 | 5.83±1.27 |
| 80 | 6.23 ^b ±1.22 | 5.58±1.21 | 5.54 ^b ±1.25 | 5.79±1.10 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 3 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทีก) | ลักษณะปรากฏ ^{ns} | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบโดยรวม ^{ns} |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 5.96±1.16 | 5.46±1.14 | 5.96±0.99 | 6.08±1.44 |
| 20 | 6.12±1.23 | 5.63±1.17 | 5.50±1.14 | 5.54±1.10 |
| 50 | 5.91±1.28 | 5.38±1.24 | 5.54±1.28 | 5.67±1.24 |
| 80 | 6.12±1.29 | 5.83±1.28 | 5.58±1.10 | 5.50±1.44 |

หมายเหตุ ^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 4 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทิจ) | ลักษณะปรากฏ ^{ns} | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบโดยรวม ^{ns} |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 6.54±1.10 | 5.33±1.27 | 6.54 ^a ±1.06 | 6.38±1.13 |
| 20 | 6.54±1.22 | 5.38±1.17 | 6.38 ^{ab} ±1.05 | 6.50±1.06 |
| 50 | 6.33±1.05 | 5.46±1.22 | 6.00 ^b ±1.22 | 6.04±1.19 |
| 80 | 6.41±1.28 | 5.25±1.19 | 6.21 ^{ab} ±1.18 | 5.92±1.14 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 5 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทิจ) | ลักษณะปรากฏ ^{ns} | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบโดยรวม ^{ns} |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 6.12±1.48 | 4.91±1.50 | 5.71±1.30 | 5.08±1.38 |
| 20 | 5.83±1.24 | 5.04±1.30 | 5.54±1.25 | 5.33±1.34 |
| 50 | 6.17±1.40 | 4.96±1.28 | 5.58±1.28 | 5.25±1.42 |
| 80 | 6.08±1.53 | 5.04±1.39 | 5.50±1.18 | 5.38±1.47 |

หมายเหตุ^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวกล้อง
หอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในเดือนที่ 6 โดยใช้เวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องที่แตกต่างกัน

| เวลาในการแช่ (นาทิจ) | ลักษณะปรากฏ ^{ns} | กลิ่นรส ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบโดยรวม ^{ns} |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 6.13±1.42 | 4.83±1.67 | 4.83±1.17 | 5.37±1.24 |
| 20 | 6.42±1.25 | 4.70±1.43 | 4.50±1.32 | 5.25±1.19 |
| 50 | 6.21±1.10 | 4.79±1.25 | 4.75±1.19 | 5.04±1.30 |
| 80 | 6.46±1.41 | 4.79±1.38 | 4.67±1.27 | 5.08±1.25 |

หมายเหตุ^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าแนวโน้มที่ผู้ทดสอบยอมรับข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากสภาวะที่ไม่ต้องผ่านการแช่ข้าวในกระป๋องมากกว่าตัวอย่างข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผ่านการแช่ในกระป๋องก่อนเข้ารีเทอร์ท อาจเป็นไปได้ว่า ผู้ทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาชอบข้าวต้มที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากกว่านุ่ม โดยจะพบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตในสภาวะที่ไม่ต้องแช่ในกระป๋องมีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเมื่อข้าวกล้องหอมมะลิแดงเก็บรักษาไว้นานขึ้น เมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวต้มบรรจุกระป๋อง โดยเฉพาะในเดือนที่ 6 มีค่าน้อยกว่าข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตที่ผลิตจากข้าวใหม่ การที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงมีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง (ตาราง 4.1) จึงทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เป็นผลให้เกิดกลิ่นหืน หรือเมื่อข้าวกล้องหอมมะลิแดงเก็บไว้นานขึ้น สารประกอบที่ให้กลิ่นหอม (2-acetyl-1-pyrroline) อาจระเหยหายไป (Jirasak, 2008) โดยจะพบว่า คะแนนด้านกลิ่นรสของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเดือนที่ 6 มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสครั้งนี้ ทำโดยใช้นักศึกษา ซึ่งโดยส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า ควรเสิร์ฟพร้อมเครื่องเคียง ไม่ใช่เสิร์ฟเพียงแต่ข้าวต้ม จึงอาจเป็นผลให้คะแนนความชอบในครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยเป็นส่วนใหญ่

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา

นำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่ในกระป๋องที่แตกต่างกันมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบเช็คคุณภาพทางด้านกายภาพและจุลชีววิทยาทุกเดือนเป็นระยะเวลาหกเดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ด้านกายภาพได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.20 ค่าสี L^* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาท) | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 45.65 ^a ±1.01 | 45.38 ^a ±0.81 | 44.90 ^a ±1.04 | 44.81 ^a ±0.99 |
| 1 | 44.20 ^b ±0.97 | 44.04 ^b ±0.44 | 44.42 ^a ±0.76 | 44.13 ^a ±0.63 |
| 2 | 43.93 ^b ±0.47 | 43.41 ^b ±0.92 | 43.74 ^a ±0.95 | 43.83 ^a ±0.72 |
| 3 | 42.53 ^c ±0.68 | 42.18 ^c ±0.86 | 42.37 ^b ±1.04 | 42.19 ^b ±0.39 |
| 4 | 41.64 ^c ±0.94 | 41.06 ^d ±0.79 | 41.02 ^c ±1.03 | 41.00 ^c ±1.15 |
| 5 | 40.28 ^d ±0.63 | 39.93 ^c ±0.63 | 39.49 ^d ±0.89 | 39.41 ^d ±0.44 |
| 6 | 38.86 ^c ±0.72 | 38.99 ^c ±0.69 | 38.97 ^d ±0.59 | 38.75 ^d ±0.81 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ค่าดี a* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 9.27 ^{ab} ±0.88 | 9.26 ^{ab} ±0.82 | 9.64 ^a ±0.96 | 9.23 ^{ab} ±0.49 |
| 1 | 8.01 ^c ±0.47 | 8.07 ^c ±0.36 | 7.98 ^c ±0.51 | 7.95 ^c ±0.61 |
| 2 | 8.35 ^{bc} ±0.59 | 8.53 ^{abc} ±0.77 | 8.46 ^{bc} ±0.48 | 8.08 ^c ±0.52 |
| 3 | 8.97 ^{ab} ±0.48 | 8.36 ^{bc} ±0.66 | 8.78 ^{abc} ±0.75 | 8.49 ^{bc} ±0.74 |
| 4 | 8.88 ^{abc} ±0.61 | 8.74 ^{abc} ±0.91 | 9.16 ^{ab} ±0.30 | 8.74 ^{abc} ±0.37 |
| 5 | 9.19 ^{ab} ±0.33 | 9.43 ^{ab} ±0.83 | 9.32 ^{ab} ±0.74 | 9.28 ^{ab} ±0.86 |
| 6 | 9.45 ^a ±0.93 | 9.52 ^a ±0.87 | 9.58 ^a ±0.86 | 9.49 ^a ±1.04 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ค่าดี b* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 ^{ns} | 20 ^{ns} | 50 ^{ns} | 80 ^{ns} |
| 0 | 3.06±0.44 | 3.67±1.02 | 3.49±0.61 | 3.25±0.79 |
| 1 | 3.05±0.20 | 3.27±0.10 | 3.07±0.61 | 3.29±0.61 |
| 2 | 3.28±0.36 | 3.61±0.52 | 3.32±0.59 | 3.32±0.43 |
| 3 | 3.36±0.39 | 3.36±0.49 | 3.15±0.26 | 3.18±0.23 |
| 4 | 3.28±0.44 | 3.46±0.74 | 3.78±0.39 | 3.42±0.75 |
| 5 | 3.40±0.55 | 3.46±0.29 | 3.56±0.76 | 3.30±0.88 |
| 6 | 3.66±0.51 | 3.68±0.67 | 3.82±0.74 | 4.04±0.55 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตขึ้นโดยใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง L^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่สีแดง a^* มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าสีเหลือง b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กล่าวคือ ข้าวต้มบรรจุกระป๋องจะมีสีเข้มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน เนื่องจาก คุณสมบัติการรวมตัวกับสารอื่นของแอนโทไซยานิน (Co-pigment) โดยจะเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินกับไอออนของโลหะ (metal copigmentation) ที่เป็นองค์ประกอบของภาชนะบรรจุ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของเฟลวิลิยมแคทไอออน และเพิ่มความคงตัวของเฟลวิลิยมแคทไอออน ให้มีสีแดงเข้มขึ้น (Socaciu, 2008) สอดคล้องกับงานวิจัยของ บุปผา (2547) ซึ่งศึกษาการผลิตข้าวต้มบรรจุกระป๋องโดยวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่ 20, 25 และ 35 นาที ที่เก็บรักษา 1, 3 และ 6 เดือน พบว่าทุกสภาวะมีค่าความสว่างลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น

ตารางที่ 4.23 ค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 284.83 ^d ±14.51 | 302.83 ^b ±17.96 | 305.33 ^b ±38.32 | 347.17 ^d ±22.78 |
| 1 | 329.00 ^c ±9.85 | 353.33 ^a ±4.04 | 382.67 ^a ±7.09 | 392.00 ^c ±9.54 |
| 2 | 333.67 ^c ±8.50 | 357.67 ^a ±10.02 | 377.67 ^a ±5.13 | 386.67 ^c ±10.07 |
| 3 | 386.67 ^a ±10.06 | 349.67 ^a ±10.21 | 363.67 ^a ±11.37 | 391.67 ^c ±8.74 |
| 4 | 331.33 ^c ±10.02 | 362.67 ^a ±5.69 | 383.67 ^a ±9.50 | 425.00 ^{ab} ±19.47 |
| 5 | 331.33 ^c ±4.16 | 358.67 ^a ±3.51 | 387.33 ^a ±11.02 | 411.00 ^{bc} ±7.00 |
| 6 | 355.67 ^b ±11.93 | 365.67 ^a ±13.05 | 389.67 ^a ±12.09 | 442.33 ^a ±18.88 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.24 สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาท) | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 6.29 ^c ±0.05 | 6.32 ^c ±0.02 | 6.37 ^d ±0.07 | 6.52 ^c ±0.06 |
| 1 | 6.60 ^d ±0.03 | 6.73 ^c ±0.03 | 6.81 ^c ±0.01 | 6.91 ^b ±0.05 |
| 2 | 6.63 ^d ±0.04 | 6.67 ^d ±0.06 | 6.84 ^c ±0.02 | 6.93 ^b ±0.03 |
| 3 | 6.71 ^c ±0.05 | 6.78 ^c ±0.02 | 6.80 ^c ±0.07 | 6.89 ^b ±0.06 |
| 4 | 6.67 ^{cd} ±0.05 | 6.76 ^c ±0.04 | 6.91 ^b ±0.01 | 6.91 ^b ±0.04 |
| 5 | 6.71 ^b ±0.04 | 6.89 ^b ±0.03 | 6.99 ^a ±0.03 | 7.04 ^a ±0.05 |
| 6 | 6.89 ^a ±0.03 | 6.97 ^a ±0.02 | 7.07 ^a ±0.03 | 7.10 ^a ±0.03 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.23 พบว่า ค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 1 เดือนแรก ค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มจะเพิ่มสูงกว่าน้ำข้าวต้มที่เพิ่งผลิตเสร็จมาก เช่นเดียวกับสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ตารางที่ 4.24 แสดงสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มที่เก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 1 เดือนแรก สัดส่วนการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นมาก หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของการดูดซึมน้ำจะลดลง โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติในเดือนที่ 1 ถึง 2 ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่ต่างๆ การที่เมล็ดข้าวต้มดูดซึมน้ำได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษา อาจเกิดจากเม็ดแป้งมีสมบัติเป็น hydrophilic ที่สูงมาก จึงมีความสามารถดูดน้ำได้เมื่อทำให้เปียก หรือทิ้งไว้ในที่ที่มีความชื้นสูง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและค่อยๆ พองตัว อีกทั้งในเม็ดแป้งนั้นประกอบไปด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่จัดเรียงเป็นกลุ่ม ซึ่งแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเหมือนผลึก มีการพองตัวอย่างจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region อีกกลุ่มหนึ่งจะมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region หรือ gel phase (Chaudhry, 1979) ซึ่งในส่วนนี้จะส่งผลให้เมล็ดข้าวที่มีองค์ประกอบของเม็ดแป้งอยู่ในยังคงมีการดูดซึมน้ำอยู่ เนื่องจากภายในกระป๋องนั้นยังคงที่มีน้ำและความชื้นอยู่ในปริมาณมาก และการที่ในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวต้มมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้เมล็ดข้าวพองตัวมาก จนเกิดการเสีย

สภาพของเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดแป้งบางส่วนกระจายตัวออกมาภายนอก ส่งผลให้น้ำข้าวมีความขุ่นมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงดังตาราง 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ พบว่าในทุกระดับการแช่ ในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษา ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีค่าลดลงมาก ผลการทดลองทางด้านการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม กล่าวคือ เมื่อข้าวต้มดูดซึมน้ำได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้มลดลง อย่างไรก็ตามจะพบว่า หลังจาก 1 เดือนไปแล้ว เนื้อสัมผัสของข้าวต้มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง โดยจะพบว่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวต้มที่เก็บรักษาในเดือนที่ 1 ถึง 6 ยกเว้นตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาการแช่ 80 นาที

ตารางที่ 4.25 ค่าความแข็ง (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 460.35 ^a ±50.65 | 435.27 ^a ±60.71 | 414.95 ^a ±53.97 | 383.95 ^a ±63.09 |
| 1 | 369.04 ^b ±17.83 | 333.92 ^b ±20.37 | 312.84 ^b ±5.40 | 266.38 ^b ±18.88 |
| 2 | 357.66 ^{bc} ±16.08 | 323.66 ^b ±14.32 | 298.52 ^b ±15.52 | 239.36 ^b ±15.75 |
| 3 | 352.62 ^{bc} ±11.58 | 313.64 ^b ±11.36 | 289.38 ^b ±8.77 | 261.44 ^b ±5.83 |
| 4 | 340.24 ^{bc} ±12.43 | 313.88 ^b ±8.68 | 290.08 ^b ±9.01 | 260.04 ^b ±11.63 |
| 5 | 338.60 ^{bc} ±4.64 | 304.62 ^b ±14.06 | 283.94 ^b ±7.87 | 257.76 ^b ±16.45 |
| 6 | 327.38 ^c ±16.21 | 299.92 ^b ±5.03 | 272.86 ^b ±10.81 | 251.98 ^b ±10.65 |

หมายเหตุ ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ค่าความเหนียว (g.f) ของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตเมื่อใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน) | เวลาในการแช่ข้าว (นาที) | | | |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 0 | 20 | 50 | 80 |
| 0 | 102.30 ^a ±11.50 | 97.02 ^a ±16.50 | 89.40 ^a ±13.05 | 83.42 ^a ±10.06 |
| 1 | 84.80 ^b ±7.98 | 79.12 ^b ±3.29 | 69.22 ^b ±4.69 | 66.98 ^b ±5.02 |
| 2 | 84.60 ^b ±8.04 | 72.22 ^b ±2.56 | 67.92 ^b ±2.81 | 64.46 ^b ±4.18 |
| 3 | 81.44 ^b ±4.33 | 73.60 ^b ±3.54 | 68.32 ^b ±2.10 | 62.38 ^{bc} ±5.34 |
| 4 | 81.60 ^b ±3.54 | 71.04 ^b ±5.51 | 65.14 ^b ±4.31 | 58.96 ^{bc} ±3.63 |
| 5 | 84.08 ^b ±6.09 | 77.66 ^b ±5.84 | 62.12 ^b ±2.82 | 54.10 ^c ±3.78 |
| 6 | 82.94 ^b ±8.02 | 71.62 ^b ±5.37 | 60.24 ^b ±2.28 | 54.28 ^c ±4.77 |

หมายเหตุ^{a,b,c}: ตัวอักษรต่างกันแถวนี้แสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ในด้านจุลชีววิทยาจะวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในอาหารกระป๋องที่กระบวนการฆ่าเชื้อไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ โดยทำการวิเคราะห์หลังจากผลิตข้าวต้มเป็นระยะเวลาตั้งแต่เดือนที่ 1 จนถึงเดือนที่ 6 โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.27 พบว่าข้าวต้มที่เก็บรักษาไว้นั้นไม่พบเชื้อ *Clostridium botulinum* และ *Bacillus stearothermophilus* และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 30 CFU/g แสดงว่า ข้าวต้มที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

| ระยะเวลา (เดือน) | <i>Clostridium botulinum</i> | <i>Bacillus stearothermophilus</i> | Total plate count (CFU/g) |
|------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 1 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |
| 2 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |
| 3 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |
| 4 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |
| 5 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |
| 6 | ไม่พบ | ไม่พบ | < 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

เมื่อนำข้าวต้มบรรจุกระป๋องมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ แสดงดังตารางที่ 4.28 พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงปริมาณ 100 กรัม จะให้พลังงานทั้งหมด 40.24 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 1.08 กิโลแคลอรี โดยข้าวต้มบรรจุกระป๋อง 1 กระป๋องให้พลังงาน 68.41 กิโลแคลอรี ข้าวต้มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของน้ำเป็นจำนวนมากจึงมีค่าความชื้นสูงถึง 89.79 กรัม และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร โปรตีน ไขมัน เกล็ด และวิตามิน เท่ากับ 8.59, 0.98, 1.20, 0.30 และ 0.12 กรัม ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ พบว่า มีปริมาณวิตามินบี 1, วิตามินบี 2 และวิตามินบี 6 น้อยกว่า 0.030, 0.025 และ 0.005 มิลลิกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณโซเดียม แคลเซียม เหล็ก และแอนโทไซยานินเท่ากับ 74.62, 5.50, 0.29 มิลลิกรัม และ 4.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.28 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง

| คุณค่าทางโภชนาการ | ต่อ 100 กรัม |
|-----------------------------------|----------------|
| พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี) | 40.24 |
| พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี) | 1.08 |
| ไขมันทั้งหมด (กรัม) | 0.12 |
| ไขมันอิ่มตัว (กรัม) | 0.03 |
| โปรตีน (กรัม) | 1.20 |
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | 8.59 |
| เส้นใยอาหาร(กรัม) | 0.98 |
| โซเดียม (มิลลิกรัม) | 74.62 |
| วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม) | น้อยกว่า 0.030 |
| วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม) | น้อยกว่า 0.025 |
| วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม) | น้อยกว่า 0.005 |
| แคลเซียม (มิลลิกรัม) | 5.50 |
| เหล็ก (มิลลิกรัม) | 0.29 |
| แอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 4.11 |
| เถ้า (กรัม) | 0.30 |
| ความชื้น (กรัม) | 89.79 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นกรนำเอาข้าวกล้องหอมมะลิแดงมาผลิตเป็นข้าวต้มบรรจุกระป๋อง เนื่องจากเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาวที่ผ่านการขัดสี โดยเริ่มต้นจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ ด้านเคมี และคุณภาพการหุงของข้าวกล้องหอมมะลิแดง พบว่าค่าความชื้นและปริมาณอะไมโลสมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10.78 เป็น 12.00 และปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20.44 ไปเป็น 23.39 ในด้านกายภาพนั้นพบว่า อัตราการยืดตัวและค่าความแข็งของข้าวสุกมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความเหนียวของข้าวสุกมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.15, 2628.90-3337.10 g.f และ 57.70-113.60 g.f ตามลำดับ สำหรับค่าสีนั้นพบว่า ค่าความสว่างลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น สำหรับคุณภาพด้านการหุงของข้าวสุกนั้นพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม อัตราการขยายตัว และอัตราการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น

ในการผลิตข้าวต้มจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง สามารถผลิตได้โดยบรรจุข้าวกล้องหอมมะลิแดง 20 กรัม ในน้ำเกลือร้อนที่มีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 (w/w) จำนวน 150 กรัม ปิดฝากระป๋องทันที นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการฆ่าเชื้อ 20 นาที และความดัน 2 บาร์ จะได้ค่า F_0 เท่ากับ 11.2 ซึ่งเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อในระดับการฆ่าเชื้อทางการค้า (Commercial sterilization) และข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้ มีลักษณะเหมือนกับข้าวต้มที่วางขายในท้องตลาด

ผลของระยะเวลาการแช่ข้าวในกระป๋องเป็นเวลา 0, 20, 50 และ 80 นาที ต่อคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างๆกัน 6 เดือน พบว่าคุณภาพของข้าวต้มที่ผลิตได้ทั้ง 6 เดือนนั้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวในกระป๋องเพิ่มขึ้น จะทำให้ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวต้ม มีแนวโน้มลดลง ตรงข้ามกับค่าความชุ่มของน้ำข้าวต้มและสัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่ออายุการเก็บรักษาของข้าวกล้องหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้มีสีเข้มขึ้น ในกรณีของข้าวใหม่ ถ้าต้องการให้ข้าวต้มมีเนื้อสัมผัสนุ่ม ควรแช่ในกระป๋องก่อนเข้ารีทอร์ท ในขณะที่ข้าวเก่า หลังจากบรรจุกระป๋อง สามารถนำเข้ารีทอร์ทได้ทันที อย่างไรก็ตาม ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เก็บรักษาในช่วงเดือนที่ 2 ถึง 4 ที่มีปริมาณอะไมโลส

อยู่ในช่วงร้อยละ 20 ถึง 22 สามารถใช้สภาวะเดียวกันในการผลิต โดยข้าวต้มบรรจุกระป๋องมีค่าความแข็ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวต้มบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าความสว่าง L^* มีค่าลดลง ค่าสีแดง a^* ค่าสีเหลือง b^* มีค่าเพิ่มขึ้น ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษามีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้ ในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษา สัดส่วนการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวต้มเพิ่มสูงขึ้นมาก เป็นผลให้ค่าความแข็งของข้าวต้มบรรจุกระป๋องลดลงมาก หลังจาก 1 เดือนไปแล้ว เนื้อสัมผัสของข้าวต้มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง โดยจะพบว่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความเหนียวของข้าวต้มบรรจุกระป๋อง ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ ในด้านการวิเคราะห์จุลินทรีย์ พบว่า ในช่วงการเก็บรักษา 6 เดือน ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* และ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด มีค่าน้อยกว่า 30 CFU/g

ผลการวิเคราะห์ด้านคุณค่าทางโภชนาการพบว่า ข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากปริมาณ 100 กรัม จะให้พลังงานทั้งหมด 40.24 กิโลแคลอรี ข้าวต้มบรรจุกระป๋อง 1 กระป๋องให้พลังงาน 68.41 กิโลแคลอรี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร โปรตีน ไขมัน เกลือ และไขมัน เท่ากับ 8.59, 0.98, 1.20, 0.30 และ 0.12 กรัม ตามลำดับ มีปริมาณวิตามินบี 1, วิตามินบี 2 และวิตามินบี 6 น้อยกว่า 0.030, 0.025 และ 0.005 มิลลิกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณโซเดียม แคลเซียม เหล็ก และแอนโทไซยานิน เท่ากับ 74.62, 5.50, 0.29 มิลลิกรัม และ 4.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การผลิตข้าวต้มจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงให้มีความปลอดภัยเทียบเท่ากันในทุกกระบวนการผลิตนั้นจะขึ้นอยู่กับอายุการเก็บของข้าว จากผลการทดลองพบว่าเมื่อข้าวที่ใช้ในการผลิตเป็นข้าวใหม่ การแช่ข้าวในกระป๋องก่อนเข้ารีทอร์ท จะได้คุณภาพของข้าวต้มที่มีความใกล้เคียงกันกับข้าวต้มที่ใช้ข้าวที่มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน แต่เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลานานนั้น อาจส่งผลต่อคุณภาพด้านกลิ่นของเมล็ดข้าว เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่มีองค์ประกอบของไขมันในปริมาณที่สูง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว ก่อให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค จึงควรคำนึงถึงวิธีที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าว โดยควรเก็บรักษาข้าวในที่อุณหภูมิต่ำและใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติป้องกันแสงและอากาศซึมผ่าน จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดข้าวได้

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2545. **คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัทจิรวัดเน้เอ็กเพรส. 155 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 หน้า.
- กลุ่มถ่ายทอดวิทยาการผลิตเมล็ดพันธุ์ดี. 2557. **มาตรการการปลูกข้าวแดงและข้าวต่างสี ศูนย์เมล็ดข้าวขอนแก่น. [ระบบออนไลน์]**. แหล่งที่มา <http://kkn-rsc.ricethailand.go.th/rice/pedigree/rice-red.html>. (1 กรกฎาคม 2557).
- กาญจนา เนตรสำราญ, ละม้ายมาศ ขาวไชยมหา และงามชื่น คงเสรี. 2528. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดเมื่อเก็บในลักษณะข้าวกล้องและข้าวสาร**. วารสารวิชาการเกษตร. 1: 38-43.
- งามชื่น คงเสรี. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางเคมี**. การฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2540. **คุณภาพข้าวสุก**. วารสารจารย์พา. 38 : 41 – 44.
- ชไมพร จันทน์รงค์, ปรีดา ปานจร และพลอยไพลิน ชานวิทย์. 2555. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวต้มหอมมะลิบรรจุกระป๋อง**. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณัฐธิดา บำเพ็ญเพียร, ปิยรัตน์ กิตติสันทัด และพรนภา เสถียรนพแก้ว. 2556. **การผลิตข้าวกล้องแดงต้มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง**. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. 2549. **การศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวมุลสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง**. โปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

- ทนนง ภัครัชพันธ์. 2524. การใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูป. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. 158 หน้า.
- ทิพวดี จิตพิศุทธิ์. 2522. การสกัดแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ที่อุตสาหกรรมเกษตรพัฒนาผลิตภัณฑ์) สาขาวิชาพัฒนา ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทิพากร อยู่วิทยา. 2559. ขั้นตอนการผลิตอาหารกระป๋อง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kmutt.ac.th/foodeng/download/-3-2.pdf>. (30 พฤษภาคม 2559).
- เทอดศักดิ์ คำเหม็ง. 2542. บทบาทสารอาหารใน ข้าวกล้อง อาหารสุขภาพของคนไทย. วารสารศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง. 7(1) : 22-26.
- นราพร ดาลัย. 2553. การเก็บรักษาและการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวและแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นารีรัตน์ อนรรฆเมธี. 2557. Natural Blue Coloring : นวัตกรรมสีจากธรรมชาติ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://fic.nfi.or.th/upload/innovation/media/9319.pdf>. (1 กรกฎาคม 2557).
- บดินทร์ รินปิ่น. 2546. การผลิตและพัฒนาข้าวหอมมะลิผสมงาขาวบรรจุกระป๋อง. ปรินญาณิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บุปผา นุชนาด. 2547. การผลิตข้าวหนึ่งบรรจุกระป๋อง. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- บรรจบ ชุนทสวัสดิกุล. 2553. การดูแลสุขภาพผู้สูงอายุแบบบูรณาการ : ข้าวกล้องดีต่อสุขภาพ. สำนักการแพทย์ทางเลือก กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 171 หน้า.
- พัศกร เกียรติระกูล, เมธินี เห่าซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ. 2546. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 34 (4-6 พิเศษ) : 149-152.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลงพิน ศิวาพรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

ภัทรพร กระดังงา และสุนันทา ชัยวงศ์. 2549. การผลิตเส้นขนมจีนข้าวกล้อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไมตรี สุทธจิตต์. 2553. ข้าวและคุณค่าทางโภชนาการเพื่อสุขภาพ. ประชุมวิชาการข้าวเนื่องในโอกาสวันข้าวและชาวนาแห่งชาติ ครั้งที่ 1. วันที่ 3-4 มิถุนายน 2553 ณ โรงแรมอมารี ดอนเมือง กรุงเทพฯ.

มกษ. 4004-2555. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร-ข้าว. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 129 ตอนพิเศษ 173 ง.

ละมุล วิเศษ. 2555. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(1) : 172-180.

วันชัย สิทธิบุญ. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมอาหาร 1. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา. 2533. หลักการบรรจุ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 332 หน้า.

วุฒิชัย นาครักษา. 2543. กระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระดับอุตสาหกรรมประเทศไทย. สิทธิบัตรไทยเลขที่ 9584.

วรรณิณี เกตุคง. 2556. ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการคืนรูปจากเยือกแข็งต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. แอนโทไซยานิน (Anthocyanin).

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2541. **ข้าวแดงหอม และมาตรฐานการปลูก**. อ้างถึงใน ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าวกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2557. **ผลผลิตข้าวของโลก ความต้องการบริโภค และสต็อกคงเหลือ ปลายปี**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.thairiceexporters.or.th/world%20rice%20prod_cons_ends.htm (1 กรกฎาคม 2557).

สัมพันธ์ คัมภีรานนท์. 2546. แอนโทไซยานิน สีส้มเพื่อโลกสวย. 18 (186) : 53-56.

สุรศักดิ์ สัจจบุต. 2550. **ผลของการฉายรังสีแกมมาและสภาวะบรรจุต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องอะไมโลสต่ำ ข้าวอะไมโลสสูงและข้าวเหนียว**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สิริธร เบญจมสุทธุกุล. 2552. **การใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องเริ่มออกสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. **ข้าวกล้องหอมมะลิแดง. 2557**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.acfs.go.th/warning/view_Knowledge.php?id=97 (1 กรกฎาคม 2557).

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2556. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 – อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท**. สำนักอาหาร กระทรวงสาธารณสุข.

บริษัทเนชั่นเนล ไดเร็ก เน็ทเวิร์ค จำกัด. **หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันพ่นน้ำ**. 2557. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://ndn.co.th/th/retort_process.html. (1 กรกฎาคม 2557).

อดุลย์ โคลนพันธ์. 2557. **ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดงอินทรีย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.rakbankerd.com/products/view.php?product_id=4310&category_id=12&type_id=1. (1 กรกฎาคม 2557).

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 366 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อานนท์ ภาคมาลี. 2555. ข้าวต้ม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<https://www.gotoknow.org/posts/521504> (1 กรกฎาคม 2557).
- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC International.
- Ashish, J., Sughosh, M.R., Sarika, S., Abhinav, R., Swapnil, T., Sanjeeb, K.M., Nishant, K.S., Ashish, S., Naisarg, M., Vibhav, B. and Chitra, K. 2012. Effect of cooking on amylose content of rice. **European Journal of Experimental Biology**. 2 (2):385-388.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2001. **Chapter 17 - Clostridium botulinum**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm070879.html>. (1 กรกฎาคม 2557).
- Barber, S. 1972. Milled rice and changes during aging. Chemistry and Technology. D.F. Houston, ed. Am. Assoc. **Cereal Chemistry**. 215-263.
- Bello, M., Tolaba, MP and Suarez, C. 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **LWT - Food Science and Technology**. 37(8):811-816.
- Buttery, R.G.; Ling, L. C. and Mon, T. R. 1986. Quantitative analysis of 2-acetyl-1-pyrroline in rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 34 (1) :112-114.
- Chaudhry, M.A., 1979. **Structure, digestibility and composition of modified starchs**. Dissertation of University of New South Wales, Sydney, Australia, 306 p.
- Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M., Paez-Hernandez, M.E., Rodriguez, J.A. and Galan-Vidal, C. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**. 113(4):859-871.
- Chrastil, J. 1990. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 38: 1804-1809.

- Danbaba, N., Anounye, J. C., Gana, A. S., Abo, M. E., and Ukwungwu, M. N. 2011. Grain quality characteristics of Ofada rice (*Oryza sativa* L.): Cooking and eating quality. **International Food Research Journal**, 18, 619-624.
- Desikachar, H.S.R. 1956. Changes leading to improved culinary properties of rice on storage. **Cereal Chemistry**. 33:324-328.
- Fernandez, A.P., Guerra, H.E. and Garcia, V.B. 1999. Browning indicators in model systems and Baby cereals. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. 47:2872-2878.
- Ferrel, R.E., Kester, E.B. and Pence, J.W. 1960. Use of emulsifiers and emulsified oils to reduce cohesion in canned white rice. **Food Technology**. 14(2):102-105.
- Freach, A.D. 1979. **Allowed and preferred shapes of amylose**. Baker's Dig. 53(1) : 30.
- Holdsworth, S.D. 1997. **Thermal processing of packed foods**. Blackie Academic and Professional Co. Inc. : New York. 283 p.
- Jadwiga Wilska-Jeszka. 2002. Food colorants, pp.205-229. In Zdzislaw E. Sikorski, 2 nd ed. **Chemical and Functional Properties of Food Components**. CRC press.
- Jowitt R. 1974. The Terminology of Food Texture. **Journal of Texture Studies**. 5(3):351-358.
- Jirasak Kongkiattikajorn. 2008. Effect of Storage Time and Temperature on Volatile Aroma Compounds and Physicochemical Properties of Rice. **Kasetsart Journal. (Natural Science)**. 42:111 –117.
- Juliano, B.O. and Goddard, M.S. 1986. Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. Qual. Plant. **Plant Foods for Human Nutrition**. 36:35-41.
- Juliano, B.O. 1980. **Properties of the rice caryopsis**. In **Rice: Production and Utilization**. B.S. Luh, Ed. AVI Publishing Co., Westport. CT.
- Juliano, B.O. 1982. An international survey of method used for evaluation of the cooking and eating qualities of milled rice. **IRRI Research Paper Series No.77**,pp.1-28.

- Juliano, B.O. 1972. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. **In IRRI Rice Breeding**. IRRI, Los Baños, Philipines, pp: 389-405.
- Juliano, B.O. 1993. **Rice in Human Nutrition**. Food and Nutrition Series No.26. FAO. Rome.
- Juliano, B.O. and Perez, C.M. 1984. Result of a collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking. **Journal Cereal Science**. 2:281–92.
- Juliano, B.O., Onate, L.U. and Del Mundo, A.M. 1965. Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. **Food Technology**. 19:1006-1011.
- Jutarop, Y. and Somchai, C. 2014. Effect of temperature and heating duration of drying on quality of low amylose rice. **KKU Engineering Journal**. 41(1):91-98.
- Karel, H., Jirina, H. and Milan, H. 2005. Optimum Condition of Rice Puffing. **Food Research Institute Prague**. Prague. Czech Republic.
- Keawpeng, I. and Venkatachalam, K. 2015. Effect of aging on changes in rice physical qualities. **International Food Research Journal**. 22(6):2180-2187.
- Kongseree S. 1979. **Physicochemical properties of Thai rice varieties and methodology used in quality Improvement**. Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. P. 187-190. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines.
- Leelayuthsoontorn, P. and Thipayarat, A. 2005. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chemistry**. 96:606-613.
- Matsuo, T. and Hoshikawa, K. 1993. Science of the rice plant. In Morphology. **Food and Agriculture Policy Research Center**. 1:379-380.
- Mohapatra D and Bal S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**. 73(3):253-259.

- Moritaka, S. and Yasumatsu, K. 1972. The effect of sulphhydryl groups on deterioration of milled rice during storage. **Journal of Japanese Society of Food and Nutrition**. 25:59-62.
- Okabe, M. 1979. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. **Journal of Texture Studies**. 10:131-152.
- Ohno, T. and Ohisa, N. 2005. Studies on texture and chemical changes in aged rice grains. **Food Science and Technology Research**. 11:385-389.
- Perez, C.M. and Juliano, B.O. 1979. Indicators of eating quality for non-waxy rices. **Food Chemistry**. 4: 185-195.
- Robert, R.L., Houston, D.F. and Kester, E.B. 1953. Process for canning white rice. **Journal of Food Technology**. 7(2):78-80.
- Sharp, R.N. and Timme L.K. 1986. Effect of storage time, storage temperature and packing method on shelf life of brown rice. **Cereal Chemistry**. 63(3):247-251.
- Shibuya, N., Iwsaki, T., Yananase, H. and Chikubu, S. 1974. Studies on deterioration of rice during storage. **Journal of The Japanese Society for Food Science and Technology**. 21:597-603.
- Shitandi A., Oketch A. and Mahungu S. 2006. Evaluation of a *Bacillus stearothermophilus* tube test as a screening tool for anticoccidial residues in poultry. **Journal of Veterinary Science**. 7(2):177-180.
- Smith, D.A., Rao, R.M., Liuzzo, J.A. and Champagne, E. 1985. Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice. **Journal of Food Science**. 50 (5):926-931.
- Socaciu, C. 2008. **Food colorants chemical and functional properties: Factor affecting of anthocyanin**. Boca Raton. CRC Press.
- Sripathy, N.Y., Baliga, B.R. and Labiry, B.L. 1960. A note on the canning of rice. **Indian Food Packer**. 14(90):11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stumbo C.R. 1973. **Thermobacteriology in Food Processing**. 2 nd ed. Academic Press. : 10–13, 112-113. New York.

Thirumdas, R., Deshmukh, R.R. and Annapure, U.S. 2015. Effect of low temperature plasma processing on physicochemical properties and cooking quality of basmati rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 31:83-90.

Yadav, R.B., Khatkar, B.S. and Yadav, B.S. 2007. Morphological, physicochemical and cooking properties of some Indian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Journal of Agricultural Technology**. 3(2):203-210.

Zhang, X., Wang, L., Cheng, M., Wang, R., Luo, X., Li, Y. and Chen, Z. 2015. Influence of ultrasonic enzyme treatment on the cooking and eating quality of brown rice. **Journal of Cereal Science**. 63:140-146.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก1. การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส (มกษ.2555-4004)

1. อุปกรณ์

- 1.1 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
- 1.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.3 เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
- 1.4 เครื่องบดเมล็ดข้าวที่บดให้ละเอียดได้ถึง 80-100 เมช (mesh)
- 1.5 ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร
- 1.6 ปิเปตขนาดความจุ 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

- 2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol : C_2H_5OH) 95%
- 2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide : $NaOH$)
- 2.3 กรดกลacialอะซิติก (glacial acetic acid : CH_3COOH)
- 2.4 ไอโอดีน (iodine : I_2)
- 2.5 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide : KI)
- 2.6 อะไมโลส (potato amylose) มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95%

3. วิธีการเตรียมสารละลาย

3.1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 นอร์มัล (N) : ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร ขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.2. สารละลายกรดกลacialอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล (N) : ละลายกรดกลacialอะซิติก ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. สารละลายไอโอดีน : ชั่งไอโอดีน 0.2000 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0000 กรัมละลายในน้ำกลั่นประมาณ 80 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรสี่ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ที่งไวข้ามคืน หรือจนไอโอดีนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4. วิธีวิเคราะห์

4.1. บดเมล็ดข้าวขาวด้วยเครื่องบดให้เป็นแป้ง ชั่งแป้งมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท

4.2. เติมเมทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรเขย่าเบา ๆ

4.3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

4.4. ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก นาน 10 นาทีให้เป็นน้ำแป้งแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4.5. เตรียมขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร สารละลายกรดเกลือเชิลอะซิติกปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4.6. คุคน้ำแป้งตามข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ตามข้อ 5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

4.7. วัดความเข้มของสีของสารละลายตามด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยอ่านค่าเป็น absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร (nm) หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์)

4.8. ทำ blank โดยเติมสารละลายกรดเกลือเชิลอะซิติก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4.9. นำ absorbance ไปหาปริมาณ (ร้อยละ) อะไมโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

$$\text{ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$

5. การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน

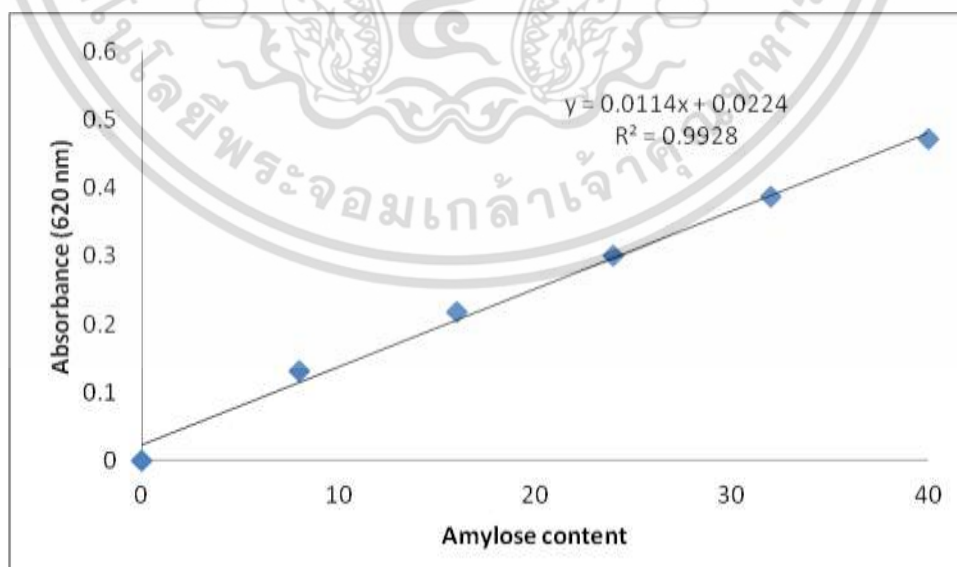
5.1 ชั่งอะไมโลส 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตรตามที่แห้งสนิทแล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างตาม 4.2-4.4 เป็นสารละลายมาตรฐาน

5.2 เตรียมขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลือซีลอะซิดิก ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตรในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ในขวดที่ 4 และปริมาตร 2.0 มิลลิลิตรในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงในแต่ละขวด

5.3 ดูดสารละลายมาตรฐานตาม 5.1 ปริมาตร 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอะไมโลสร้อยละ 8,16,24,32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ใน 5.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่า absorbance ที่ 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์)

5.4 นำ absorbance กับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐานตาม 5.3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

5.5 นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จาก 5.4 มาใช้แปลงค่า absorbance ให้เป็นปริมาณ (ร้อยละ) อะไมโลส



ภาพ ก1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะไมโลสกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620

นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

1. อุปกรณ์

- 1.1 อะลูมิเนียมแกน (Aluminum can)
- 1.2 ที่คีบ (Tong)
- 1.3 ซ้อนตักสาร
- 1.4 โถดูดความชื้น (Desiccator) ที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล
- 1.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.6 ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า (Hot air oven)

2. วิธีการ

- 2.1. อบอะลูมิเนียมแกนที่ตู้อบไอร้อนไฟฟ้าอุณหภูมิ $130\pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ถึงวันเย็นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่
- 2.2. ชั่งตัวอย่าง (W2) ที่ต้องการหาความชื้น 2-3 กรัม ใส่ในอะลูมิเนียมแกนที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.3. นำอะลูมิเนียมแกนที่ใส่ตัวอย่างแล้วไปอบที่ตู้อบไอร้อนไฟฟ้า อุณหภูมิ $130\pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2.4. นำอะลูมิเนียมแกนออกจากตู้อบไอร้อนไฟฟ้า โดยปิดฝาทันที ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.5. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่

$$\text{คำนวณร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ก3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method

1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 1.2 หลอดย่อยโปรตีน
- 1.3 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl apparatus)
- 1.4 บิวเรต 50 มิลลิลิตร
- 1.5 ขวดชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร
- 1.6 Boiling chip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารเคมี

2.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้น

2.2 กรดบอริก 2% เตรียมโดยละลายกรดบอริก 2 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 1 N เตรียมโดยปิเปต 37% กรดไฮโดรคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

2.5 ตัวเร่ง (Catalyst) เตรียมโดยผสม $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4$ อัตราส่วน 1 : 10

2.6 สารละลายอินดิเคเตอร์

เตรียม 0.1% เมทิลกรีนใน alcohol 95%

เตรียม 0.2% เมทิลเรดใน alcohol 95%

3. วิธีการทดลอง

3.1 การย่อย

3.1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 3 ลูก

3.1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแลค (rack) นำไปประกบกับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อนและสวมที่คูควัน ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด ก่อนเปิดสวิตช์

3.1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ 380-400 องศาเซลเซียส ย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส

3.1.4 ปิดสวิตช์ พร้อมยกแลคที่มีหลอดตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายสีฟ้าเย็นตัวลง ในชั่งนี้ยังเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนหมดไอกรด ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

3.2 การกลั่น

3.2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่น โปรตีน ตรวจสอบเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมคลอไรด์ 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังน้ำกลั่นหรือโซเดียมคลอไรด์

3.2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพู่ลงในชุดกลั่น เสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

3.2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเป็นสีดำ

3.2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นจะขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

3.3 การไตเตรท

3.3.1 นำขวดชมพูที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใสหรือชมพูอ่อน บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

3.4 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(A \times B) \times N \times 14 \times 100}{W \times 1000}$$

A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (N)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

3.5 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

ก4. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2005)

1. อุปกรณ์

- 1.1 Enzyme digester
- 1.2 บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ทรงต่ำ
- 1.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- 1.4 magnetic bar ขนาด 6x35 มิลลิเมตร
- 1.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.6 pH meter
- 1.7 เตาเผา
- 1.8 เครื่องกรอง
- 1.9 ครูซิเบลชนิดกรอง (ขนาดรู 40-60 นาโนเมตร)
- 1.10 โกลดความชื้น
- 1.11 อะลูมิเนียมฟอยล์

2. สารเคมี

- 2.1 เอทานอล 78%
- 2.2 เอทานอล 95%
- 2.3 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.08 โมลาร์ (pH 6)
- 2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์
- 2.5 กรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์
- 2.6 ซีไลท์ (เตรียมใส่ครูซิเบลชนิดกรอง 0.5 กรัม นำไปอบ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน โกลดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก)

3. วิธีการ

3.1 ขั้นตอนที่ 1 การสกัดแยกเอาสตาร์ชและโปรตีนออก

- 3.1.1 เตรียมตัวอย่างปริมาณ 1.000 ± 0.005 กรัม ที่อบแห้งและบด (ใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส) (ทำซ้ำ สำหรับตัวอย่าง และ 2 ซ้ำ สำหรับ blank)
- 3.1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6 จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 เติมเอนไซม์ α -amylase จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนในน้ำเดือด จนสารละลายมีอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าตลอดเวลา

3.1.4 ทำให้สารละลายเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย เป็น 7.5 ± 0.2 ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์ ประมาณ 10 มิลลิลิตร

3.1.5 เติมเอนไซม์ protease จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารละลายเป็น 45-55 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็น

3.1.6 ปรับค่า pH ของสารละลายเป็น 4.5 ± 0.2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ ใช้ dropper หยดประมาณ 30 หยด

3.1.7 เติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารละลายเป็น 60-65 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า กวนตลอดเวลา เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็น

3.2 ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณ Insoluble Fiber

3.2.1 กรองกากจากขั้นตอนที่ 1

3.2.2 ล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

3.2.3 รวมเอา Filtrate และน้ำล้างกากเข้าด้วยกัน สำหรับหาปริมาณ soluble fiber ในขั้นที่ 3

3.2.4 นำกากที่ล้างน้ำแล้วล้างด้วยเอทานอล 95% 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ผ่านครุชชีเบลชนิดกรองที่เตรียมไว้แล้วรูดน้ำหนักรีดแล้ว

3.2.5 ล้างกากด้วยอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง

3.2.6 นำครุชชีเบลชนิดกรองไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.2.7 ชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักที่ชั่งได้หักกับน้ำหนักของครุชชีเบลชนิดกรอง และน้ำหนักซีลท์ เพื่อหาน้ำหนักกาก

3.2.8 นำกากที่กรองได้มา 1 ตัวอย่าง วิเคราะห์โปรตีนตามวิธี Kjeldahl ($\times 6.25$) และนำกากที่ได้จากอีก 1 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์เถ้า โดยการให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 5 ชั่วโมง ทำให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักโปรตีน และน้ำหนักเถ้าที่ได้แล้วนำไปหักออกจากน้ำหนักกาก จะได้เป็นค่า Insoluble Fiber

3.3 ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาณ Soluble Fiber

3.3.1 นำ filtrate และน้ำล้างกากจากขั้นตอนที่ 2 มาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% จำนวน 4 เท่าของปริมาตรสารละลายที่ได้ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2 กรองเอาตะกอนออกโดยผ่านครุชชีเบลชนิดกรองที่เตรียมไว้และรู้น้ำหนักแล้วลงในขวดรูปชมพู่ที่ใช้กรอง (suction flask) โดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ

3.3.3 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 78% 20 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.3.4 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 95% 10 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.3.5 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยอะซิโตน 10 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.3.6 จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 3.2 ตั้งแต่ข้อ 3.2.6-3.2.8

4. การคำนวณ

$$\text{Total dietary} = \text{Insoluble fiber} + \text{Soluble fiber}$$

ก5. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

1. อุปกรณ์

- 1.1 บีกเกอร์ไขมัน
- 1.2 ทิมเบิล (thimble)
- 1.3 ตัวรองทิมเบิล
- 1.4 กระดาษกรอง
- 1.5 boiling chip
- 1.6 โถดูดความชื้น
- 1.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.8 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Gerhardt apparatus)

2. วิธีการทดลอง

2.1 อบบีกเกอร์ไขมันพร้อม boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W1)

2.2 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและอบไล่ความชื้นแล้ว 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 160 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ไขมัน ใส่ทิมเบิลลงในบีกเกอร์ไขมัน และต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดตามโปรแกรมของเครื่อง

2.4 เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไขมัน ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อรอให้เย็น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W2)

2.5 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละของปริมาณไขมัน} = \frac{W2 - W1}{W} \times 100$$

W

โดย W = น้ำหนักตัวอย่าง

W1 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด

W2 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด

ก6. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

1. อุปกรณ์

1.1 Crucible (Crucible)

1.2 Muffle furnace (เตาเผา)

1.3 Hot plate

1.4 โถดูดความชื้น

1.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 เตา Crucible ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา เก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำไปเผาซ้ำอีกครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บันทึกผล (W1)

2.2 ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 3 กรัม (S) ลงใน Crucible นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน

2.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อน หรือสีขาว นำออกจากเตาเผาเก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล (W2)

2.4 กำหนดหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ร้อยละของปริมาณเถ้า} = \frac{(W2-W1)}{S} \times 100$$

S

ก7. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณ (AOAC, 2005)

$$\text{ร้อยละคาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\text{ร้อยละโปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใย} + \text{ความชื้น})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข1. การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (ดัดแปลงจาก Juliano และ Perez, 1984)

1. อุปกรณ์

เวอเนียร์คาลิปเปอร์

2. วิธีการ

หุงข้าวตัวอย่างละ 10 กรัม แต่ละกรัมข้าวสารและข้าวสุกข้าวละ 10 เมล็ด วัดความยาวคิดค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณหาอัตราการยืดตัวของเมล็ด (มิลลิเมตร)

$$\text{อัตราการยืดตัวข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร 10 เมล็ด}}$$

ข2. การดูดซึมน้ำของข้าวสุก (งามชื่น, 2547)

1. อุปกรณ์

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2. วิธีการ

ก่อนทำการหุงข้าว บันทึกน้ำหนักของข้าวสารก่อนหุงและน้ำหนักหม้อเปล่าที่ใช้หุงข้าว หุงข้าวด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เมื่อปุ่มหุงหยุดทำงาน เปิดฝามือทิ้งไว้ 5 นาที นำหม้อไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า นำค่าที่ได้ลบกับน้ำหนักหม้อเปล่าที่ชั่งไว้ จะได้น้ำหนักข้าวหุงสุก เพื่อนำไปคำนวณการดูดซึมน้ำ จากสมการ

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสุก}}{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}$$

ข3. การวัดสีด้วยระบบ CIE LAB

1. อุปกรณ์

เครื่องวัดสี (Minolta ,CR-400, Japan)

อะลูมิเนียมแค่น

2. วิธีการ

ชั่งตัวอย่างข้าวสุก 40 กรัม ใส่ลูมิเนียมแค่น เคลือบผิวหน้าให้เรียบ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 จุด บันทึกค่า ความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) โดยค่า

L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a^* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีแดง

เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีเหลือง

เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีน้ำเงิน

ข4. การวัดค่าการต้านแรงกด วิธี Back extrusion test (Leelayuthsoontom และคณะ, 2005)

1. อุปกรณ์

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Measuring System รุ่น TA-XT plus

2. วิธีการ

หุงข้าวตัวอย่างในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1.8 เมื่อสุกทิ้งไว้ 5 นาที ตักตัวอย่างข้าวสุก 15 กรัม ใส่ท่อทรงกระบอก (cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร โดยใช้หัวกด Spherical plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร (A/BE 40) ก่อนวัดค่าความแข็งของข้าวสุก เตรียมตัวอย่างโดยใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ผิวหน้าตัวอย่างเรียบเสมอกัน จากนั้นทำการวัดค่าความแข็งของข้าวสุกโดยตั้งค่า

Option = Return to start

Pre-test speed = 1.0 mm/s

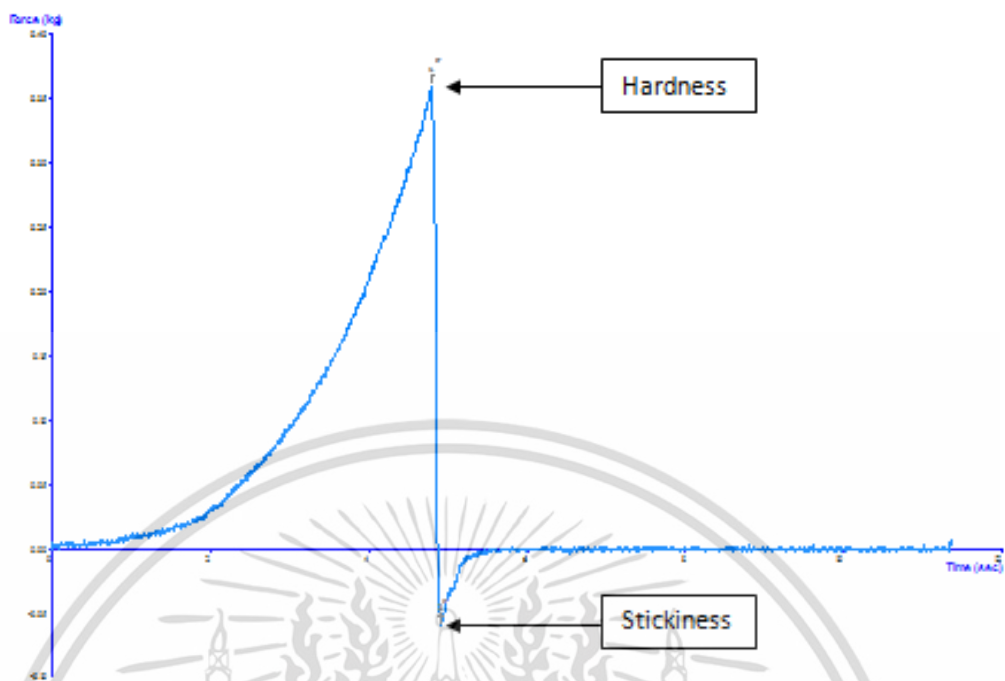
Test speed = 1.0 mm/s

Post speed = 10 mm/s

Distance = 50%

Trigger type = Auto 5 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ข4 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

ข5. การวัดค่าความขุ่นของน้ำข้าวต้ม

1. อุปกรณ์

เครื่องวัดความขุ่น (Lovibond รุ่น TurbiCheck)

กระชอนความถี่ 16 mesh

2. วิธีการ

- 2.1 นำข้าวต้มมากรองแยกน้ำโดยใช้กระชอน
- 2.2 ทำการเจือจาง โดยใช้ปีเป็ดดูดน้ำของต้มปริมาณ 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาณ 9 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ผสมให้เข้ากัน
- 2.3 ปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้ชุดน้ำยามาตรฐานในการ Calibrate
- 2.4 เติมน้ำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมข้าวสุกบางส่วน และน้ำข้าวต้มที่เจือจางแล้ว ใส่ในหลอดทดสอบ 10 มิลลิลิตร โดยให้น้ำตัวอย่างสูงเลยจากขีดบอกระดับเล็กน้อย ปิดฝาหลอดทดสอบให้แน่น
- 2.5 นำหลอดทดสอบใส่ในช่องวัด แล้วปิดด้วยฝาพลาสติกให้สนิท
- 2.6 กดปุ่ม Read เพื่อวัดค่าในหน่วย NTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5. สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม

1. อุปกรณ์

กระชอนความถี่ 16 mesh สำหรับกรองอาหาร

เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง

2. วิธีการ

บันทึกปริมาณข้าวและน้ำที่บรรจุก่อนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เมื่อได้เป็นตัวอย่างข้าวต้ม ทำการกรองแยกน้ำผ่านกระชอน จับเวลา 2 นาที บันทึกน้ำหนักน้ำ และน้ำหนักเนื้อที่กรองได้

$$\text{สัดส่วนการดูดซึมน้ำของข้าวต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวต้มที่กรองได้}}{\text{น้ำหนักข้าวก่อนให้ความร้อน}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์คุณภาพด้านการหุงต้ม

ค1. เวลาที่เหมาะสมในการหุง (Optimum cooking time) (ตามวิธีการของ Mohapatra และ Bal, 2006)

1. อุปกรณ์

นาฬิกาจับเวลา

เครื่องแก้ว

2. วิธีการ

วิเคราะห์โดยชั่งข้าวกล้อง 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้ม เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำเดือด หลังจากนั้น 10 นาที นำเมล็ดข้าวในน้ำเดือดออกมา 10 เมล็ด กดลงบนจานแก้วใสที่สะอาด หลังจากนั้นทำแบบเดียวกันทุกๆ 1 นาที โดย cooking time หรือ เวลาต้มสุก จะถูกบันทึกเมื่อตัวอย่างข้าวอย่างน้อยร้อยละ 90 ไม่มีใจกลางสีขาว (ไตข้าว) อีกต่อไป เมื่อพบว่าข้าวสุกแล้ว (ไม่มีไตข้าว) ให้ต้มต่อไปอีก 2 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนซ์เซชัน ดังนั้น Optimum cooking time คือ เวลาที่บวกเพิ่มไปอีก 2 นาที หลังจากบันทึกค่า cooking time แล้ว

ค2. วิเคราะห์อัตราการขยายตัว (Volume expansion ratio) (ดัดแปลงจาก สุรศักดิ์, 2550)

1. อุปกรณ์

หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร

2. วิธีการ

วิเคราะห์โดยชั่งข้าวกล้อง 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นวัดความสูงของข้าวที่ใส่ลงไป เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร ปิดหลอดทดลองด้วยลูกแก้ว นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาเท่า optimum cooking time ตามข้อ ค1. เมื่อครบเวลาเทน้ำออกจากหลอดทดลอง วัดความสูง ของข้าวในหลอดทดลอง นำไปคำนวณอัตราการขยายตัวตามสมการ

$$\text{อัตราการขยายตัว (Volume expansion ratio)} = \frac{\text{ความสูงของเมล็ดข้าวหลังต้ม}}{\text{ความสูงของเมล็ดข้าวก่อนต้ม}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค3. อัตราการดูดซึมน้ำ (Water uptake ratio) (ดัดแปลงจาก Mohapatra และ Bal, 2006)

1. อุปกรณ์

กระชอนความถี่ 16 mesh

บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

2. วิธีการ

วิเคราะห์โดยนำเมล็ดข้าวกล้องจำนวน 10 เมล็ด มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าเป็นน้ำหนักข้าวกล้องก่อนหุง จากนั้นนำข้าวกล้องทั้ง 10 เมล็ดมาต้มในน้ำเดือด 100 มิลลิลิตร ด้วยเวลา optimum cooking time ตามข้อ ค1. เมื่อครบเวลานำมาสะเด็ดน้ำด้วยกระชอนความถี่ 16 mesh ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องหลังหุง นำไปคำนวณอัตราการขยายตัวตามสมการ

$$\text{อัตราการดูดซึมน้ำของข้าว (Water uptake ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้องหลังหุง}}{\text{น้ำหนักข้าวกล้องก่อนหุง}}$$

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์

ง1. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี Total viable count เทคนิคการ pour plate (AOAC, 2005)

1. อุปกรณ์

1.1 Plate count agar (PCA)

1.2 จานเพาะเชื้อ

1.3 ปิเปตขนาดความจุ 1 ml

2. วิธีการ

2.1 ปิเปตตัวอย่างอาหาร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่ปลอดเชื้อ

2.2 เททับด้วยอาหาร PCA ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร แกว่งจานเพาะเชื้อเบาๆ ทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว

2.3 บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเพาะเชื้อเป็นระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง

2.4 ตรวจสอบจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี และรายงานผลเป็นจำนวน Colony Forming Unit (CFU) ต่อกรัมตัวอย่าง

ง2. การตรวจวิเคราะห์ *Bacillus steurothermophilus* (ดัดแปลงจาก Shitandi และคณะ, 2006)

1. อุปกรณ์

1.1 Bromcresol purple dextrose broth เตรียมได้จาก

Dextrose 10 กรัม

Beef extract 3 กรัม

Peptone 5 กรัม

Bromcresol purple (1.6% ใน ethanol) 2 มิลลิลิตร

น้ำกลั่น 1 ลิตร

1.2 หลอดทดลอง

1.3 ปิเปต 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการ

2.1 ปิเปิดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bromcresol purple dextrose broth

2.2 นำหลอดทดลองไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ถ้ามีเชื้อ *Bacillus stearothermophilus* จะมีกรดเกิดขึ้นและเปลี่ยนสีอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

3. การตรวจวิเคราะห์ *Clostridium botulinum* ใช้วิธีของ FDA Method (Bacteriological analytical manual, 2001)

1. อุปกรณ์

Cook meat medium

Agar

2. วิธีการ

2.1 ปิเปิดสารละลาย 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อคูกมีทมีเดียม (Cook meat medium)

ทำทั้งหมด 3 หลอด

2.2 เติมน้ำ 2 เปอร์เซ็นต์ เททับบนผิวอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.3 นำหลอดทดลองไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96-120 ชั่วโมงถ้ามี *Clostridium botulinum* จะมีก๊าซเกิดขึ้นและดันวุ้น

ภาคผนวก จ.

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข้าวต้มบรรจุกระป๋องจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทำการทดสอบ.....

คำชี้แจง: กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

และกรุณาบันทึกลงระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

| คุณลักษณะ | ตัวอย่าง | | |
|---------------|----------|-----|-----|
| | 612 | 514 | 416 |
| ลักษณะปรากฏ | | | |
| กลิ่นรส | | | |
| เนื้อสัมผัส | | | |
| ความชอบโดยรวม | | | |

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

Heat Penetration Test And**Process Schedule Recommendation Report**

| | |
|-------------------|--|
| Product | : Red brown jasmine rice gruel packed in 307×113 (2 pieces) can in the vertical orientation. |
| Sterilizer | : KM horizontal steam water spray static retort |
| Serial No | : 54/01 year 2005 |
| Model | : KM-P95SS |
| Mode | : Water spray |
| Test site | : Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |

Introduction

Heat penetrations were tests on red brown jasmine rice gruel packed in 307×113 (2 pieces) can in the vertical orientation. The product was carried out at the KM-P95SS horizontal steam water spray static retort. The test was conducted at the Faculty of Agroindustry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok on 12/10/2014 and 15/10/2014.

Retort room and description

At the time of testing, the plant has 1 KM horizontal steam water spray static retort and 1 horizontal steam still retort. KM horizontal steam water spray static retort is 39 inches diameter and 43½ inches length. The KM retort can operate in two modes, water spray mode and direct steam mode. The KM retort was equipped with 8 water spray pipes, 2 on top, 3 at each side along the retort. Each water spray pipe contains 6 nozzles. The retorts were installed with single door. The retort temperature is controlled by a programmable logic control Horizontal steam still retort is 23½ inches diameter, 4.16 feet length contain 1-crate capacities and retort temperature is manually controlled system by 1 inch steam inlet valve. The KM retort was selected as the test retort for heat penetration studies in water spray mode. Other features of the retort facility are shown in the table 1.

Perforated tray

One trolley consisted of 9 stackable trays placing on a four-wheeled carriage. The perforated stainless steel trays were used. Its dimension is 35½ inches length, 23½ inches width and 7/8 inch height. Its perforation consists of 1,814 holes of ½ inch in diameter at the tray bottom, which occupy 42.67 % tray area.

Measuring equipment

The measuring equipment consisted of Ellab data loggers (Ellab, model TM9616, Hilleroed, Denmark) and thermocouples (TCs). The data loggers were annually calibrated by outsource. The TCs were conducted the calibration with reference MTI thermometer before testing, provide good accuracy and reliability. Type T copper-constantan thermocouples (Ecklund-Harrison, Florida, USA) were placed through the side of cans and were connected directly to 1 set of the data logger (1 set of module contain 16 channels). The thermocouple wires were connected through the retort wall using a packing gland to seal the opening into the retort. The signals were sent to a computer for data analysis and data acquisition by ValSuite software packages (Ellab, version 1.0.10, Denmark).

Table 1 The retort facility

| Equipment | KM retort Ø 39 inches, Length 43½ inches |
|--|---|
| Main Steam Line | 1 - inch |
| Main Steam Pressure | 6.0 bar |
| Steam Inlet | ¾ - inch |
| Steam Control Valve | ¾ - inch |
| Steam Spreader | ¾ - inch |
| No. of Hole / Hole size | 49 holes / 1/8 - inch |
| Pressure Relief Vent Line | ½ - inch |
| Air Line | ½ - inch |
| Air Pressure | 9 kg/cm2 |
| Water Inlet Line | 1 - inch |
| Water Pressure | - |
| Water Level Indicator | Automatic device |
| Water Circulation System | |
| Size of Water Suction | 2 - inch |
| Water discharge | 2½ - inch |
| Water spray spreader | Ø 1½ - inch, 2 pipes on the top, 3 pipes on each side along retort |
| No. of water spray nozzle / size | 6 nozzles/water spray line, Ø 5 mm |
| Pump | 2,855 rpm, 50 Hz, 3 Hp |
| Drain Line | 1 - inch |
| Temperature Control Instrument | Control within range +/- 0.5oC |
| Master Temperature Indicator (MTI) | |
| Mercury in glass (MIG) thermometer | 7- inch scale, 0.5oC division |
| Resistance temperature device (RTD) | Control within range +/- 0.5oC |
| Pressure Gauge | Ø 4 - inch, 0.05 bar scale |
| Recorder Chart | Out of use |
| Perforated tray (% void area) | 42.67% |
| Safety Valve | 1 - inch |

*See KM horizontal steam water spray static retort's manual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Retort operation procedure

With reference to NFI's report No. TD 1411A71

The retort operation procedures for the 1-trolley holding capacity KM horizontal steam water spray static retort loaded with 307×113 (2 pieces) can in the vertical orientation as following;

1. Before starting the process, main steam pressure not lower than 6.0 bars (87.0 psi).
2. Press the start button, the PLC will run to control steps as following;

Table 2 PLC steps

| Step* | Controller setting* temperature (°C) | Set Time* (Minutes) | Pressure* (bars) | Action |
|-------|---|------------------------|------------------|---------|
| 1 | 70 | 4 | 0.75 | CUT |
| 2 | 90 | 3 | 1.00 | |
| 3 | 121 | 5 | 2.00 | |
| 4 | 121 | 3 | 2.00 | |
| 5 | 121 | Process time | 2.00 | Cooking |
| 6 | 90 | 4 | 1.50 | Cooling |
| 7 | 60 | 4 | 1.00 | |
| 8 | 50 | 4 | 0.50 | |
| 9 | 30 | 10 | 0.10 | |

*These control steps are based upon temperature, time and pressure.

Test Procedure

Heat penetration studies involve the measuring the product temperature inside the tested cans by placing a thermocouple at the can axis in each container. A series of tests were conducted in order to locate the slowest heating point within the test cans and then to confirm heating rate by placing the thermocouples at the cold spot.

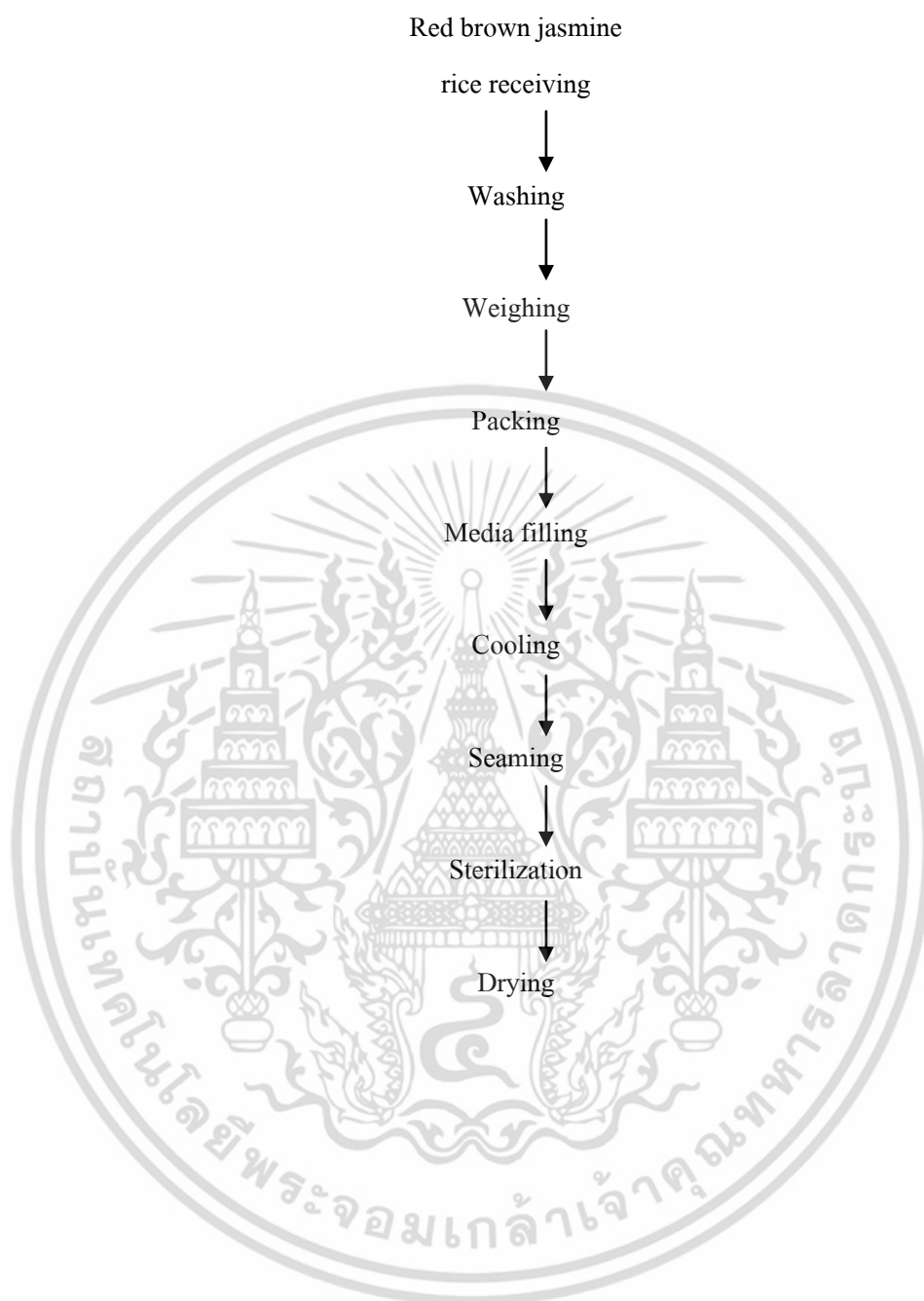
The test was conducted in the slowest heating zone of the retort. The test results indicated that the slowest heating point of red brown jasmine rice gruel packed in 307×113 (2 pieces) can in the vertical orientation was at ¾ inch from can bottom.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat Penetration Test Condition

- Place one thermocouple at the slowest heating point of 12 test cans of product.
- The test product was process through to the normal production line procedure (see process diagram on page 6 of 8).
- To ensure the initial temperature of product before study checking by thermocouple.
- Used the coldest zone from temperature distribution established, for the heat penetration test (1st tray layer from bottom of trolley).
- The dummy can 307×113 (3 pieces can) were manually full loaded on the retort trays in the vertical orientation.
- Selecting and run the PLC program as specified for each product to process the product at the target process temperature.
- When F_0 value was obtained, stopped the processing step and run to cool down step.
- To run a confirmation heat penetration test on the identified cold spot of the product by using 12 test cans of product.
- To calculate and reassess F_0 value by general method and Ball formula method.
- The lethality gained during the cooling time is assessed as a safety factor, which is not used for the F_0 value calculation.

Process diagram: Red brown jasmine rice gruel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Heat Penetration Test Result

| Product | Red brown jasmine rice gruel |
|---|------------------------------|
| Can size | 307×113 (3 pieces) can |
| Number of containers used in studies | 24 cans |
| Maximum fill weight* | 20 gm |
| Net weight | 170 gm |
| Moisture content of rice | 11 % |
| pH | 6.3 |
| Headspace | 0.8 cm |
| Vacuum | 5 inch Hg |
| Minimum initial product temperature* | 40 oC (104 oF) |
| Minimum overpressure during sterilization* | 2.0 bar |
| Minimum Come Up Time* | 15 minutes |
| Container orientation* | Vertical orientation |
| Process temperature* | 120 oC (248 oF) |
| Process time* | 20 minutes |
| <i>j</i> value | 0.51 |
| <i>fh</i> value | 9.77 |
| <i>F</i> ₀ (Ball formula method) | 11.2 |

Remark

1. Items with asterisk are critical controlled factors.
2. The test product was processed through the normal production line procedures
3. The media portion consist of 0.2% salt and 99.8% water.
4. Come up time (40%) was used for credit lethality of the sterilized process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4 Alternative Process

The parameters are used to calculate as following;

$$j = 0.51 \quad fh = 9.77 \quad F_0 = 11.2$$

| Temperature (oC) | | Process Time (minute) | |
|------------------|---------|-----------------------|-----------|
| Initial | Process | Calculated | Suggested |
| 30 | 118 | 28.64 | 29 |
| 30 | 119 | 23.96 | 24 |
| 30 | 120 | 20.42 | 21 |
| 35 | 118 | 28.39 | 29 |
| 35 | 119 | 23.72 | 24 |
| 35 | 120 | 20.17 | 21 |
| 40 | 118 | 28.13 | 28 |
| 40 | 119 | 23.46 | 24 |
| 40 | 120 | 19.92 | 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ร้อยละปริมาณการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดง

ตาราง ข1. ร้อยละปริมาณการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่แช่ในน้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/w) ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

| Duncan | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | | |
|--------|---|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| trt | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 5 | 71.0026 | | | | | | |
| 2 | 5 | | 76.4491 | | | | | |
| 3 | 5 | | | 82.1543 | | | | |
| 4 | 5 | | | | 88.3006 | | | |
| 5 | 5 | | | | 90.6892 | 90.6892 | | |
| 6 | 5 | | | | | 93.8841 | 93.8841 | |
| 8 | 5 | | | | | | 95.2381 | 95.2381 |
| 7 | 5 | | | | | | 96.0749 | 96.0749 |
| 10 | 5 | | | | | | | 98.5851 |
| 12 | 5 | | | | | | | 98.6308 |
| 9 | 5 | | | | | | | 98.7068 |
| 15 | 5 | | | | | | | 98.8285 |
| 14 | 5 | | | | | | | 98.9503 |
| 11 | 5 | | | | | | | 99.0263 |
| 13 | 5 | | | | | | | 1.0000E2 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | .249 | .124 | .320 | .052 |

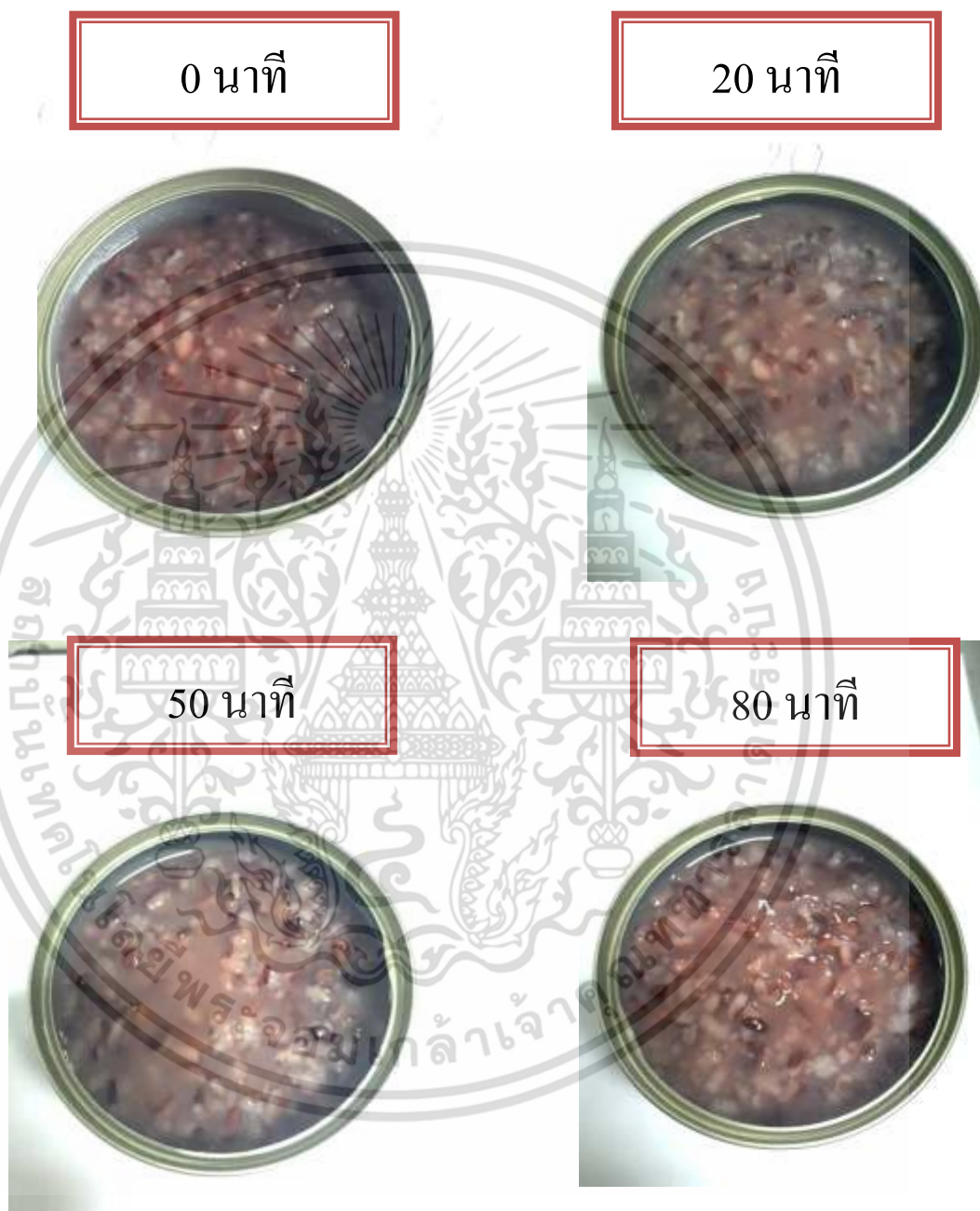
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- ปริมาณข้าวเริ่มต้น : 20 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ.

รูปภาพข้าวต้มบรรจุกระป๋อง



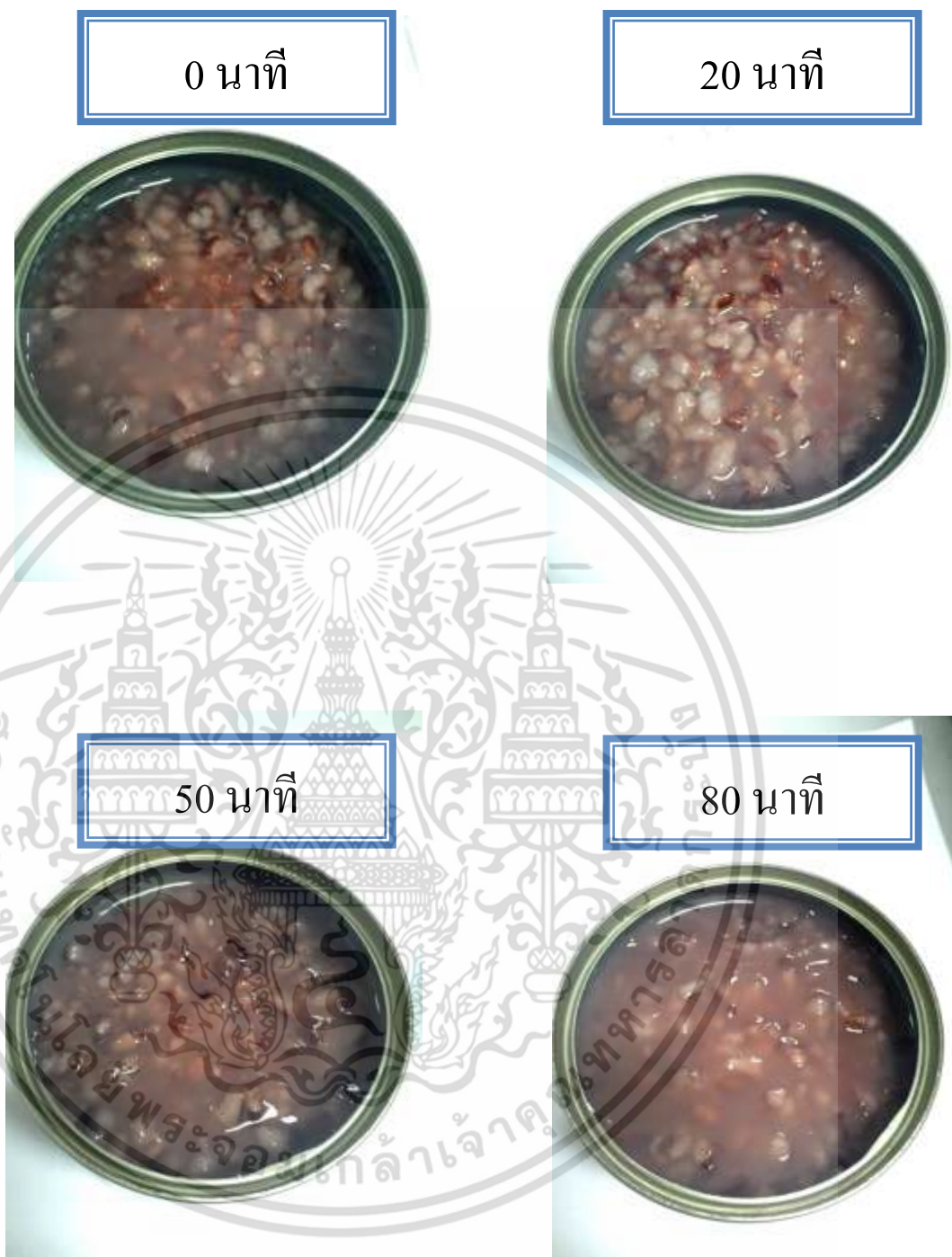
ภาพที่ ซ1 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 1 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



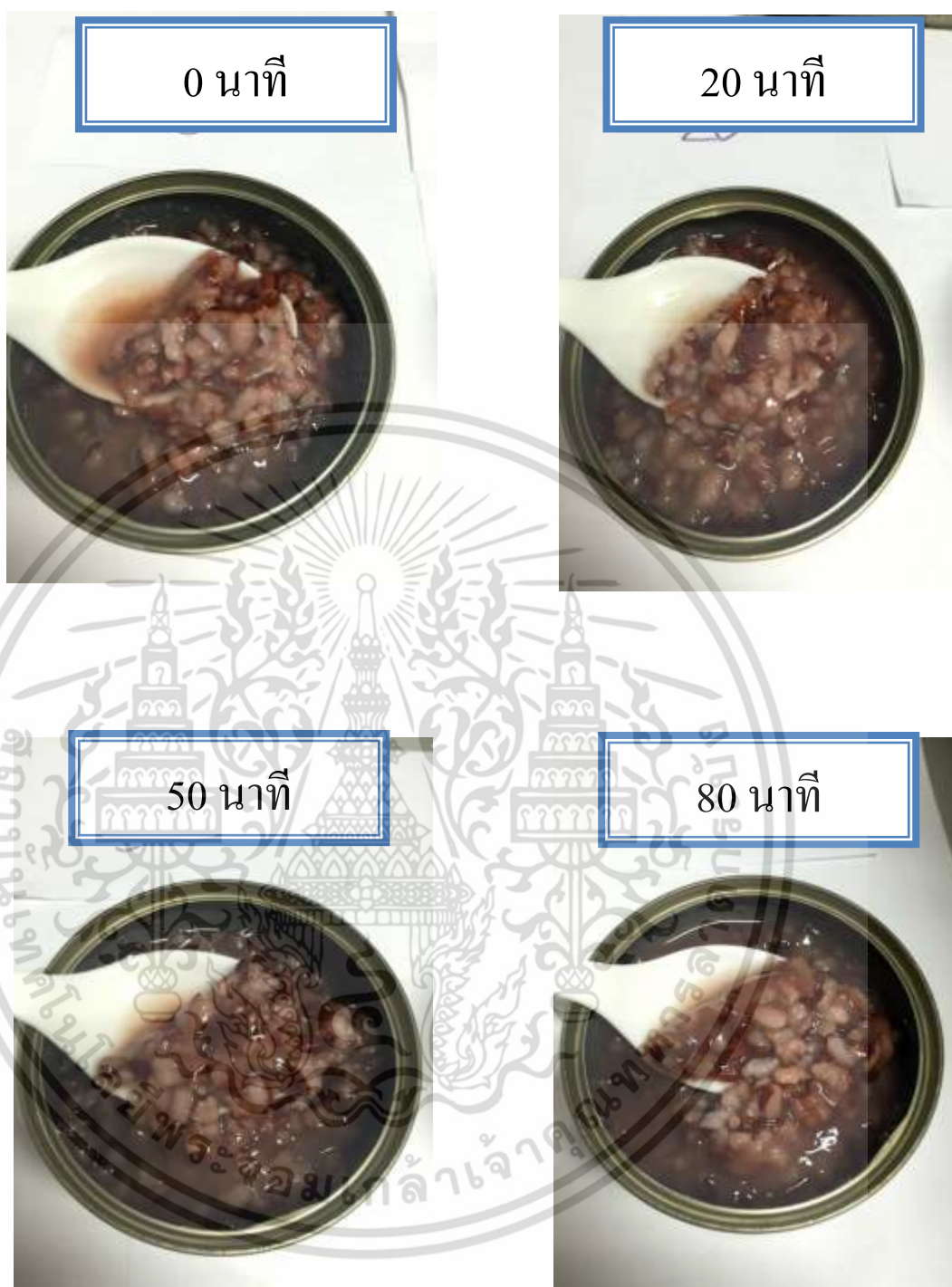
ภาพที่ ๗2 ข้าวคั้บบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือ๓ที่ 1 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓3 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 2 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗4 ข้าวด้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 2 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗5 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 3 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗6 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 3 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



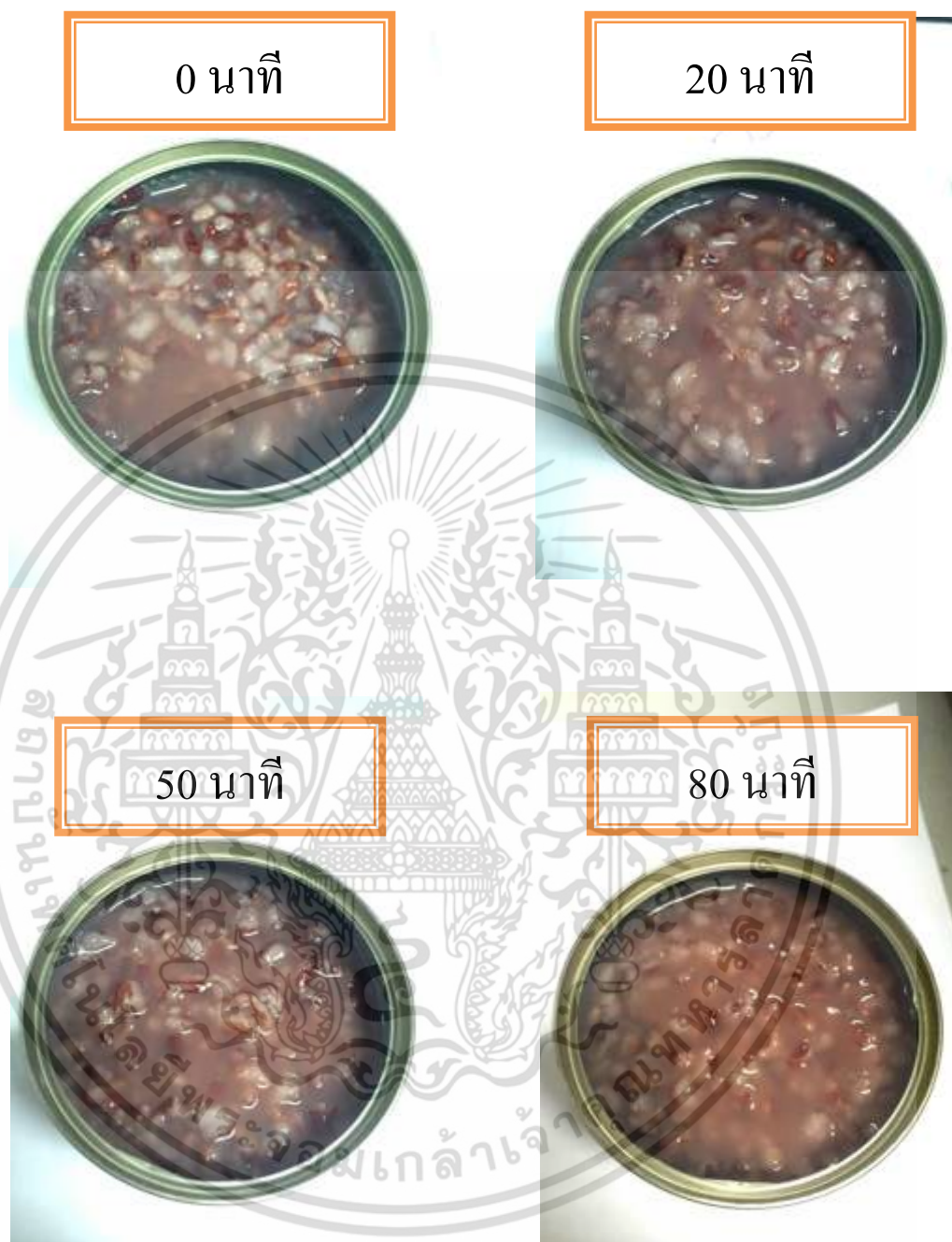
ภาพที่ ๗7 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 4 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข8 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 4 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๗๑ ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 5 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข10 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 5 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข11 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 6 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

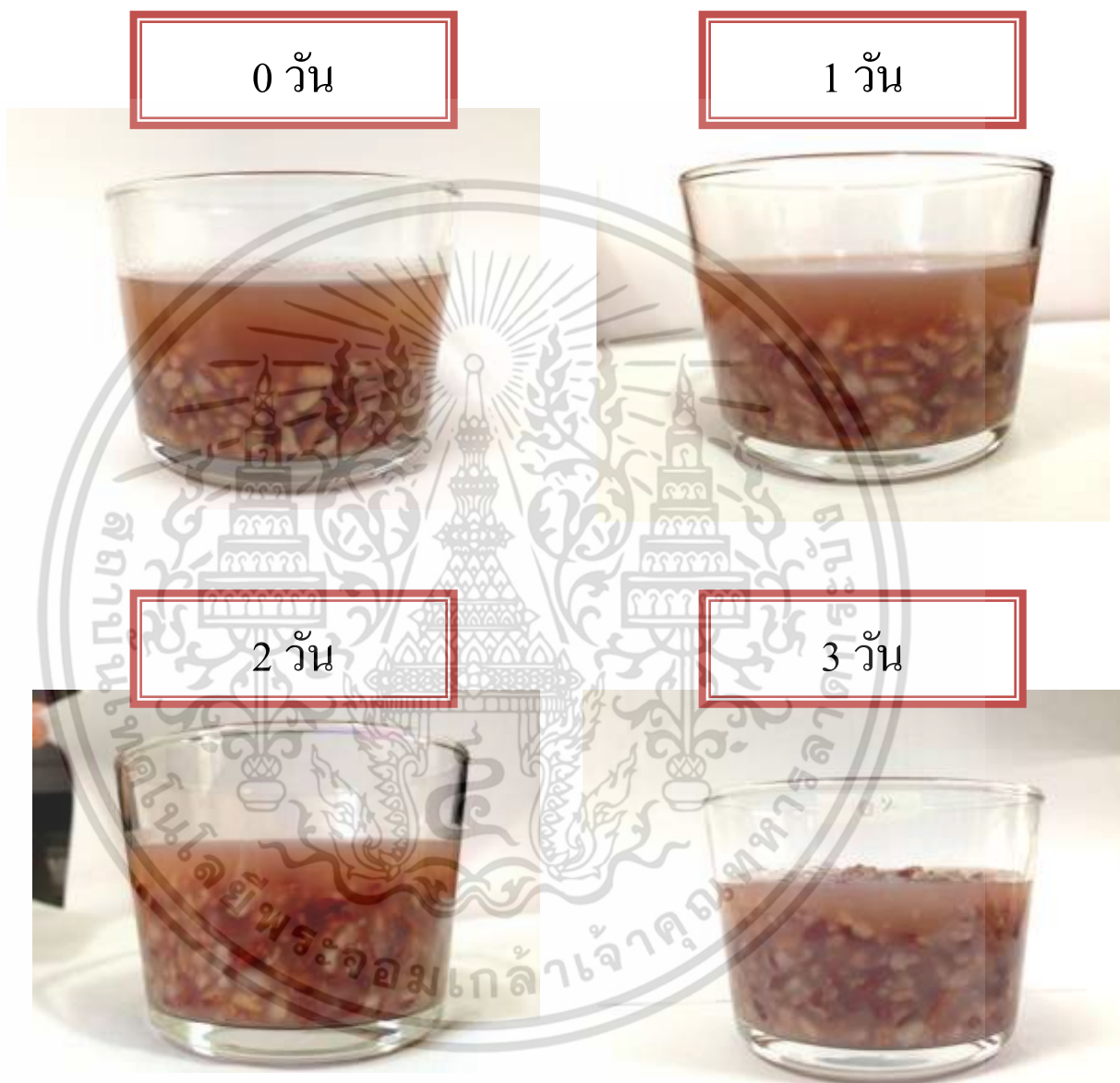


ภาพที่ ข12 ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวเดือนที่ 6 ที่ระดับการแช่ 0, 20, 50 และ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

รูปภาพการดูดซึมน้ำของข้าวต้มบรรจุกระป๋องหลังจากผลิตเสร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ.

วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการผลิต



ภาพที่ ญ1 ขี้วกส้องหอมมะลิแดง
พันธุ์โกเมนแดงสุรินทร์



ภาพที่ ญ2 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า
(ยี่ห้อ Oxygen รุ่น RC115 กำลัง 450 W)



ภาพที่ ญ3 เกลือบริโทค เสริม
ไอโอดีน ตราปรุงทิพย์



ภาพที่ ญ4 ครอบงเคลือบแลคเกอร์ ชนิดครอบง 2
ชั้น ขนาดบรรจุ 307×113 (83×46 mm)
ขนาดบรรจุ 7 ออนซ์ (215 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๕ อุปกรณ์สำหรับเสียบ Thermocouple
เพื่อหาค่า F0



ภาพที่ ๖ เครื่องปิดผนึกฝากระป๋อง (seamer)



ภาพที่ ๗ Waterspray overpressure retort ชนิด 1 ตะกร้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. การเร่งอายุการเก็บผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 1. หาอัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงของอาหารจาก

$$AAR = Q10((AAT-AT)/10)$$

$$AAR = 2((55-25)/10)$$

$$AAR = 8$$

ขั้นตอนที่ 2. หาอายุการเก็บของอาหารเมื่อผ่านสภาวะเร่ง

$$AATD = DRTA / AAR$$

$$AATD = 730/8$$

$$AATD = 91.25 \sim 3 \text{ เดือน}$$

โดย

Accelerated Aging Rate, AAR = อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงของอาหาร หมายถึง อัตราเร่งของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีคุณภาพของอาหาร เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นต่างออกไปจากสภาวะการเก็บรักษาปกติ

Accelerated Aging Time Duration, AATD = อายุเก็บของอาหารเมื่อผ่านสภาวะเร่ง หมายถึง อายุการเก็บรักษาของอาหารเมื่อผ่านสภาวะเร่ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่างออกไปจากสภาวะการเก็บรักษาปกติ

Desired Real Time Aging, DRTA = อายุการเก็บรักษาจริงของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ หมายถึง อายุการเก็บรักษาจริงของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ ในสภาวะปกติ

Accelerated Aging Temperature, AAT = อุณหภูมิที่ใช้เร่งในการเก็บรักษา

Ambient Temperature, AT = อุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยปกติของอาหารชนิดนั้นๆ

มาตรฐานค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรม $Q10 = 2$

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล** : นางสาวพลอยไพลิน ชำนิวิทย์
- วัน/เดือน/ปี เกิด** : 6 มกราคม 2534
- ที่อยู่** : บ้านเลขที่ 1614/872 หมู่ 6 ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรปราการ 10280
- E-mail** : misssunns@gmail.com
- ประวัติการศึกษา** : - สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์
จากโรงเรียนสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ ปีการศึกษา 2551
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต (วท.บ.)
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555
- ศึกษาต่อปริญญาตรีมหาบัณฑิต (วท.บ.)
สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555 และสำเร็จการศึกษาในปี 2558
- การนำเสนอผลงาน** : Production of canned red brown rice gruel : Effect of soaking time,
Proceedings of 18th ISERD International Conference, Tokyo, Japan,
15th November 2015, ISBN: 978-93-85832-40-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้