

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสภาวะการแช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวดำและผลิตภัณฑ์

**EFFECT OF SOAKING CONDITIONS ON QUALITIES OF
BLACK GLUTINOUS RICE AND ITS PRODUCT**



T110442



อลิสรา บรรดาศักดิ์

ALISARA BANDASAK

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 110442
วัน,เดือน,ปี - 2 11 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-AI-M-053-078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECT OF SOAKING CONDITIONS ON QUALITIES OF
BLACK GLUTINOUS RICE AND ITS PRODUCT**



**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**

2010

KMITL-2010-AI-M-053-078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสภาวะการแช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวดำและผลิตภัณฑ์
 Effect of Soaking Conditions on Qualities of Black Glutinous Rice and its Product


ชื่อนักศึกษา นางสาวอลิสรา บรรดาศักดิ์
รหัสประจำตัว 49068511
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ	
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม	
รศ.เขวาลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	
ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร	
รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 18 พฤษภาคม 2553 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป
 สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
 วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
 วันที่...๒...เดือน...พฤษภาคม...ปี...๒๕๕๓
 ลงชื่อ.....*วิกรม*.....


 (รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร) (ตั้งเจริญชัย)
 คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
 วันที่...๒๒...เดือน...พฤษภาคม...ปี...๒๕๕๓

ใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยและเพื่อประโยชน์ของชาติ
 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสภาวะการแช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวดำ และผลิตภัณฑ์
นักศึกษา	อลิศรา บรรณาศักดิ์
รหัสประจำตัว	49068511
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. รุจิรา คาปราบ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการแช่ต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวเหนียวดำและผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้าวเหนียวดำ 2 ยี่ห้อ คือ ตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส), 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 1.41 ± 0.01 และ 1.37 ± 0.01 ตามลำดับ เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) โดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius) ที่แสดงในรูป $k_{\text{absorption}} = k_0 \exp(-E_a/RT)$ ได้ค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy; E_a) ของการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง เท่ากับ 19.79 กิโลจูล/โมล และ 21.72 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ และจากการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงระดับการกระเจิงของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร พบว่าการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด เท่ากับ 1.66 ± 0.03 และ 1.76 ± 0.05 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ และระยะเวลาสูงขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำมีแนวโน้มของร้อยละของขนาดความกว้างและความยาวเพิ่มขึ้น คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกทั้ง 2 ชนิด ที่แช่น้ำจนกระทั่งอืดตัวที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมจากข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โมจิจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ได้จากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้อง (MRT) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และโมจิที่ได้จากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ

60 องศาเซลเซียส (M60) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบ โมจิ MRT ไม่แตกต่างกันกับ โมจิ M60 ($p>0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Effect of soaking conditions on qualities of black glutinous rice and its product
Student	Miss Alisara Bandasak
Student ID.	49068511
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ruchira Taprap
Thesis Co-Avisor	Assoc. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the effect of soaking conditions on the qualities of black glutinous rice (Rai tip brand and Khao thong brand) and its product. Its soaking in distilled water was examined at room temperature (30 °C), 40 °C, 50 °C and 60 °C, and soaking hour for 0.5, 1, 1.5, 2, 4 and 6 hour. The results showed that the soaking at 60 °C for 6 hour of Rai tip brand and Khao thong brand had the highest ratio of water absorption at 1.41 ± 0.01 and 1.37 ± 0.01 , respectively. The effect of temperature on the rate of water absorption ($k_{\text{absorption}}$) was interpreted by using the Arrhenius relationship ($k_{\text{absorption}} = k_0 \exp(-E_a/RT)$). From the equation, the activation energy of Rai tip brand and Khao thong brand were 19.79 kJ/mol and 21.72 kJ/mol, respectively. The leaching of black glutinous rice during soaking were measured by the absorbance at 488 nm. The results showed that in both brands which were soaked at 60 °C for 6 hour had the highest value of absorbance as 1.66 ± 0.03 and 1.76 ± 0.05 , respectively. In addition, the percentage of the length and the width changes were found to be increased with soaking temperature and time. The result showed that at different soaking temperatures until saturated condition of both brands, the hardness and stickiness of cooked rice were non-significant ($p > 0.05$). The hardness and stickiness of their pastes were significant ($p \leq 0.05$) when they were soaked at different temperatures and time. The value of hardness and stickiness of mochi from black glutinous rice soaked at room temperature for 24 hour (MRT) and soaked at 60 °C for 2 hour (M60) were non-significant ($p > 0.05$). From the sensory evaluation, the score of likes of the mochi MRT and mochi M60 were found generally non-significant ($p > 0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการดูแลเอาใจใส่ คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษา จาก รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ. เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ผศ.ดร.บุพร พิษกมูทร และ รศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ในการเรียน รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ในคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือจนสามารถทำงานวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์

สำหรับคุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

อดิสร่า บรรดาศักดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้าว.....	3
2.2 ข้าวเหนียวดำ.....	4
2.3 รงควัตถุของข้าวเหนียวดำ.....	8
2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับน้ำของข้าว.....	8
2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็วปฏิกิริยา.....	11
2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว.....	12
2.7 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร.....	13
2.8 ผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียว.....	15
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	17
3.1 วัตถุประสงค์.....	17
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	17
3.3 สารเคมี.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	18
3.4.1 การศึกษาผลของสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	18
3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก.....	19
3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียว.....	20
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	21
4.1 ผลการศึกษาสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	21
4.1.1 การศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	21
4.1.2 การวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	22
4.1.3 การวิเคราะห์ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังการแช่น้ำ.....	28
4.1.4 การศึกษาการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่.....	31
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก.....	35
4.2.1 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก.....	35
4.2.2 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแบ่งจากข้าวเหนียวดำ.....	37
4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ.....	38
4.3.1 การทำโมจิจากข้าวเหนียวดำ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิ.....	38
4.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.1 การศึกษาผลของสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	41
5.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก.....	41
5.3 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ.....	42
บรรณานุกรม.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	55
ภาคผนวก ค.....	58
ภาคผนวก ง.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	73



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเหนียวดำ.....6
2.2	แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับน้ำของข้าว9
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....22
4.2	อัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; E_a) ของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....27
4.3	ค่าคงที่ของอัตราการชะสี (k_{leaching}) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; E_a) ของการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....34
4.4	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว.....35
4.5	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งข้าวเหนียวดำเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว.....37
ค1	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง.....58
ค2	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....59
ค3	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....60
ค4	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....61
ค5	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....62
ค6	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....63
ค7	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....64
ค8	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ในระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....65
ค9	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองในระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค10	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวค้ำหนึ่งตุก ตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว.....67
ค11	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวค้ำ ตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว.....68
ค12	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวค้ำ ตราไร้ทิพย์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน.....68
ค13	ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวค้ำ ตราไร้ทิพย์.....69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ข้าวเหนียวดำ.....4
2.2	การหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์และความสัมพันธ์ของอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ...12
2.3	กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis (TPA).....14
2.4	กราฟ Texture Profile Analysis ของการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โมจิ.....16
4.1	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำต่อสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....24
4.2	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกันต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแสดงด้วยค่าความชื้น; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....25
4.3	ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง.....26
4.4	ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กันต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....29
4.5	ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กันต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....30
4.6	ค่าการดูดกลืนแสงของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังจากผ่านการแช่น้ำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....32
4.7	ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการระเหย ($k_{\text{evaporation}}$) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง.....33
4.8	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ โมจิที่เตรียมจากเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (M60).....39
4.9	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โมจิ.....40
ก1	การระเหยของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก2	การชะลึงของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....49
ก3	ข้าวเหนียวดำนึ่งสุกตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....50
ก4	ข้าวเหนียวดำนึ่งสุกตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....51
ก5	ก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....52
ก6	ก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....53
ก7	โมจิจากข้าวเหนียวดำนึ่งสุกตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน; (a) โมจิที่เตรียมจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (MRT) และ (b) โมจิที่เตรียมจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (M60).....56
ค1	แบบทดสอบผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ.....71
ง1	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำในช่วงระยะเวลา 0-2 ชั่วโมง ต่ออัตรา การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแดงด้วยค่าความชื้น; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ข้าว (Rice) เป็นอาหารหลักของคนไทยมาเป็นเวลาช้านาน จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับหนึ่ง ชนิดของข้าวที่ประชาชนบริโภคกันทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยแป้งที่มีอะมิโลส (amylose) ร้อยละ 10-30 มีอะมิโลเพคติน (amylopectin) ร้อยละ 60-90 ตัวอย่างของพันธุ์ข้าวที่นิยมบริโภคในประเทศได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข15 ปิ่นแก้ว 56 ขาวตาแห้ง ขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น ชนิดที่ 2 ข้าวเหนียว (glutinous rice) เป็นข้าวที่มีอะมิโลสเล็กน้อย ร้อยละ 5-8 เช่น ข้าวพันธุ์ กข8 ต้นป่าตอง เขียวงู และพระตะบอง เป็นต้น (วุฒิชัย นาครักษา, 2535)

ข้าวเหนียวดำ หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางภาคเหนือว่า ข้าวกำ เป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำหรือแดงดำ นิยมปลูกมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเชื่อว่าข้าวเหนียวดำเป็นสมุนไพร การปลูกข้าวเหนียวดำจึงเป็นการปลูกเพียงเพื่อใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น ซึ่งโรคที่ใช้ข้าวเหนียวดำรักษา คือ การตกเลือดของหญิงคลอดลูก (คำเนิน กาลละติ และคณะ, 2545) การบริโภคข้าวเหนียวโดยทั่วไปจะนำเมล็ดข้าวสารมาแช่น้ำให้อิ่มตัวอย่างน้อย 5-6 ชั่วโมง หรือแช่ค้างคืน แล้วจึงนำไปนึ่งให้สุก การแช่ข้าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการผลิตข้าวสุก ซึ่งในขั้นตอนนี้เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำ ทำให้เมล็ดข้าวมีความอ่อนนุ่ม ในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกเมล็ด เช่น เมล็ดขยายตัวขึ้น (swelling of seed) มีออกซิเจนเข้าไปในเมล็ดมากขึ้น เป็นต้น (จวงจันทร ควงพัศตรา, 2529) สารสีหรือรงควัตถุ (pigment) ที่พบในข้าวเหนียวดำจัดอยู่ในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีความไวต่อปฏิกิริยา และสามารถละลายได้ดีในน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี โดยการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากสภาวะต่างๆ ในกระบวนการแปรรูปและในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ (Henry, 1996) ซึ่งในขั้นตอนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน เยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดข้าวจะถูกทำลายและชะสารแอนโทไซยานินออกมาทำให้เกิดการสูญเสียสารแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวเหนียวดำ นอกจากนี้ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าว เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส เมื่อนำข้าวเหนียวมานึ่งสุกหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกทั้งการนำข้าวเหนียวดำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยังมีน้อยกว่าการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวเจ้า

คั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ การระเหยของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังจากผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน และคุณภาพของ โมจิที่เตรียมจากข้าวเหนียวดำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน

1.2.2 เพื่อศึกษาการระเหยของเมล็ดข้าวเหนียวดำในขณะที่ทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกหลังจากผ่านการแช่น้ำเมื่ออิมตัวที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณลักษณะการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตัวอย่าง 2 ชนิดที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิทำการแช่น้ำข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ที่อุณหภูมิห้องให้ทำการแช่น้ำข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงด้วย ศึกษาการระเหยของเมล็ดข้าวเหนียวดำในขณะที่ทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาข้างต้น ศึกษาคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกหลังจากที่ผ่านการแช่น้ำเมื่ออิมตัวที่อุณหภูมิต่างๆ กัน และตรวจสอบคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

บทที่ 2

ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าว (Rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* Linn. เป็นพืชในวงศ์ Gramineae ข้าวชนิด *Oryza sativa* ยังแยกออกได้เป็น ข้าวกลุ่ม *indica* มีปลูกมากในเขตร้อน ข้าวกลุ่ม *japonica* มีปลูกมากในเขตอบอุ่น โดยข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นข้าวในกลุ่ม *Indica* แบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ข้าวจัดเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 80 มีโปรตีนประกอบอยู่ร้อยละ 7 แต่เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนไม่ครบทุกตัวที่ขาดไปคือ ไลซีน (Lysine) มีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 2 มีวิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ หลายชนิด อีกทั้งยังมีเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ด้วย

2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว ประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ส่วนหลักคือ

1. ส่วนที่เป็นเปลือกนอก (husk หรือ hull) ประกอบด้วยเปลือกแข็ง และเปลือกหุ้มเมล็ด (endocarp) ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) แร่ธาตุ และ โปรตีน
2. ส่วนเนื้อเมล็ด (seed) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมี น้ำ โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินอยู่ด้วย
3. เอ็มบริโอ หรือคัพพะ (embryo หรือ germ) เป็นส่วนที่อยู่ตอนล่าง ส่วนนี้จะเจริญไปเป็นต้นอ่อน เอ็มบริโอประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ได้แก่ ธาตุเหล็ก ไขมัน น้ำตาล วิตามินที่สำคัญ ในส่วนนี้มีสารอาหารอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ครบถ้วนมากกว่าส่วนอื่นของข้าว

2.1.2 ประเภทของข้าวตามคุณสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าวสาร หรือตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

1. ข้าวเจ้า (Non-Glutinous Rice) เป็นข้าวที่เมล็ดข้าวสารประกอบด้วยแป้งชนิดธรรมดา (starch endosperm) 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของดี-กลูโคส (D-Glucose) ที่ต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขา (Branch Chain) ประมาณร้อยละ 70-90 และอะไมโลส (amylose) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของดี-กลูโคสที่ต่อกันแบบเส้นตรง (linear chain) ประมาณร้อยละ 10-30 เมล็ดข้าวสารมีสีขาวใส หลังจากหุง หรือหนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่มีสีขาวขุ่น และร่วน

2. ข้าวเหนียว (Glutinous Rice หรือ Waxy Rice) เป็นข้าวที่เมล็ดข้าวสารประกอบด้วยพวก soluble endosperm และมีเดกซ์ตริน (dextrin) ในเมล็ดแป้ง แป้งของข้าวเหนียวประกอบด้วย อะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่คือร้อยละ 95 และมีอะไมโลสเล็กน้อยหรือบางทีไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลย เมล็ดข้าวสารของเมล็ดข้าวเหนียวมีสีขาวขุ่น หนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่เหนียวจับติดกันแน่น และมีลักษณะใส อัตราส่วนขององค์ประกอบอะไมโลส และอะไมโลเพคตินจะแตกต่างกันตามชนิด และพันธุ์ของข้าว (Cagampang *et al.*, 1973)

2.2 ข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* Linn.) มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Black glutinous rice หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางภาคเหนือว่า ข้าวดำ ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำหรือแดงดำ แสดงดังรูปที่ 2.1 นิยมปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีปลูกทั่วไปในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐสาธารณรัฐเวียดนาม อินเดีย ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาชนจีน ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากข้าวทั่วไปที่เห็นอย่างชัดเจน คือ การปรากฏของสีม่วงบนส่วนต่างๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น ปริมาณของสีจะเข้มแตกต่างกันไปเป็นลักษณะเฉพาะประจำพันธุ์ ข้าวเหนียวดำไรจะมีลักษณะสีม่วงเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเท่านั้น ในขณะที่ข้าวเหนียวดำนา จะมีลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้อาจแบ่งลักษณะประจำพันธุ์ตามสีเยื่อหุ้มเมล็ด โดยเฉพาะข้าวเหนียวดำนาเรียกตามท้องถิ่น คือ ข้าวดำล้วน (เมล็ดข้าวมีสีม่วงทั้งเมล็ด) กับ ข้าวดำผ่า (เมล็ดมีสีม่วงเพียงบางส่วน)



รูปที่ 2.1 ข้าวเหนียวดำ

ที่มา: ศุภวุฒิ ใจงาม (2550)

2.2.1 ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวเหนียวดำ

Tang (1995) ได้สรุปความหลากหลายของพันธุ์ข้าวเหนียวดำของประเทศต่างๆ ที่ส่งมาเก็บไว้ในธนาคารสายพันธุ์ข้าว สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute) พบว่า มีสายพันธุ์ข้าวเหนียวดำประมาณ 583 ตัวอย่างสายพันธุ์ ซึ่งประเทศจีนเป็นประเทศที่มีแหล่งพันธุกรรมของข้าวชนิดนี้มากที่สุด สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกข้าวเหนียวดำกันอย่างแพร่หลายในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยมีข้าวเหนียวดำประมาณ 66 ตัวอย่างสายพันธุ์ ภาคเหนือมีการปลูกข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าคอยสะเก็ด ซึ่งเป็นข้าวในท้องถิ่นที่ได้รับความนิยม และเป็นข้าวที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น (หทัยรัตน์ อุไรรงค์ และคณะ, 2548) วรวิทย์ พาณิชพัฒน์ (2546) รายงานว่า พันธุ์ข้าวเหนียวดำที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะเมล็ดค่อนข้างเล็กป้อมและสั้นกว่าพันธุ์ข้าวเหนียวดำของภาคกลาง และเป็นพันธุ์ข้าวเบา ซึ่งมีอยู่หลากหลายพันธุ์ คารา เจตนะจิด (2547) ซึ่งให้เห็นถึงสถานการณ์การปลูกข้าวเหนียวดำในประเทศไทยว่า ภาคเหนือมีการปลูกข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าคอยสะเก็ด ซึ่งเป็นข้าวในท้องถิ่นที่ได้รับความนิยม และเป็นข้าวที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น นอกจากนี้แล้วในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวเหนียวดำเพื่อการส่งออก หรือขายยังต่างประเทศ ดำเนินการผลิตในรูปของข้าวเหนียวดำปลอดสารพิษ

1. ข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าคอยสะเก็ด (Kum Doisaket) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นพืชอยู่ในวงศ์หญ้า ดอกสมบูรณ์ต่อช่วง ไวแฉง ระบบรากฝอย ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น มีการแตกกอเฉลี่ย 9 กอต่อต้น มีความสูงเฉลี่ย 141 เซนติเมตร สีของลำต้นเป็นสีม่วง มีปล้องสีม่วง ส่วนเขี้ยวใบก็เป็นสีม่วงเช่นกัน รูปร่างของใบเป็นแบบใบแคบ มีสีม่วงทั้งกาบใบและตัวใบ มีเส้นกลางใบเป็นสีม่วง ลักษณะช่อดอกเป็นแบบรวง (Panicle) ดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศ กลีบดอกกรวง (Sepal) มีสีม่วง กลีบดอก (Petal) ก็มีสีม่วง มีเกสรตัวผู้สีเหลือง เกสรตัวเมียสีม่วง ลักษณะของเมล็ดมีเปลือกสีม่วง เยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp) สีม่วง เมล็ดเรียวยาว ขนาดเมล็ดกว้าง 0.33 เซนติเมตร ยาว 0.97 เซนติเมตร ส่วนจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ย 120 เมล็ด มีโครโมโซม $2n = 24$ เป็นแบบ Symmetrical karyotype ลักษณะการบานดอกมีการตอบสนองต่อช่วงแสงสั้น อายุการออกดอก 86 วัน ระยะเวลาการบานดอกจากดอกแรกถึงการบานร้อยละ 90 นาน 15 วัน อายุการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 111 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 360 กรัมต่อตารางเมตร มีแป้งเฉลี่ยร้อยละ 4.96 มีปริมาณโปรตีนสูง มีการพองตัวและการละลายน้ำของแป้งข้าวสูง (สำนักงานคุ้มครองพันธุ์พืช, 2548)

2. ข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าอมก๋อย (Kum Omkoi) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นพืชอยู่ในวงศ์หญ้า ดอกสมบูรณ์หรือไวต่อช่วงแสง ระบบรากเป็นแบบรากฝอย ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น มีแตกกอเฉลี่ย 15 กอ ต่อต้น มีความสูงเฉลี่ย 148 เซนติเมตร สีของลำต้นเป็น สีม่วงปนเขียว มีปล้องสีม่วง ส่วนเขี้ยวใบก็เป็นสีม่วงดำ รูปร่างของใบเป็นแบบใบแคบ มีสีม่วงบริเวณขอบใบ มีเส้นกลางใบเป็นสีเขียว ลักษณะช่อดอกเป็นแบบรวง (Panicle) ดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศ กลีบดอกกรวง (Sepal) มีสีม่วง กลีบดอก (Petal) ก็มีสีม่วง มีเกสรตัวผู้สีเหลือง เกสรตัวเมียสีม่วง ลักษณะของเมล็ดมีเปลือกสีม่วง เยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp) สีม่วง เมล็ดเรียวยาว ขนาดเมล็ดกว้าง 0.30 เซนติเมตร ยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.89 เซนติเมตร ส่วนจำนวนเมทีดต่อรวงเฉลี่ย 128 เมทีด มีโครโมโซม $2n = 24$ เป็นแบบ Symmetrical karyotype ลักษณะการบานดอกมีการตอบสนองต่อช่วงแสงสั้น (Short Day Plant) อายุการออกดอก 77 วัน มีระยะเวลาการบานดอกจากดอกแรกถึงการบาน 90% นาน 14 วัน อายุการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 105 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 480 กรัมต่อตารางเมตร (สำนักงานคุ้มครองพันธุ์พืช, 2548)

2.2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำ

คำเนิน กาละดี และคณะ (2545) ได้รายงานความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง (Brown rice) ข้าวสาร (White rice) และข้าวเหนียวดำ (Black glutinous rice) พบว่าข้าวเหนียวดำมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวอื่นๆ โดยเฉพาะปริมาณไขมัน และเบต้าแคโรทีน (β -carotene) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเหนียวดำ

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวเหนียวดำ
โปรตีน (%)	7.5	6.7	7.0-8.0
ไขมัน (%)	1.9	0.4	1.5-2.5
คาร์โบไฮเดรต (%)	77.4	80.4	75.0-80.0
เส้นใย (%)	0.9	0.3	0.9-1.0
ความชื้น (%)	12.0	12.0	12.0
เถ้า (%)	1.2	0.5	1.0-1.5
พลังงาน (แคลอรี/กรัม)	360	363	360-363
เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	3.58	0.12	4.0-5.1

ที่มา: ดัดแปลงจากคำเนิน กาละดี และคณะ (2545)

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

1. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในการข้าว คือมีประมาณร้อยละ 60-90 โดยมีส่วนประกอบของแป้ง (Starch) เป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลซูโครส (Sucrose) ลิกนิน (Lignin) เพนโตซาน (Pentosan) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และสารเพคติน (Pectin) ที่มีลักษณะเป็นวุ้น

• แป้ง

1) องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง แป้งประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 โดยอยู่ในรูป D-glucose เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นจะมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส และเถ้า แป้งโดยทั่วไปเป็นของแข็งสีขาว ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายในสารละลายอินทรีย์ มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.50-1.53 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแป้ง การศึกษาขนาด และรูปร่างของเมล็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (Polarized Light) พบว่าเมล็ดแป้งมีขนาดตั้งแต่ 2-100 ไมครอน โดยรูปร่างของเมล็ดแป้งมีหลายแบบ เช่น รูปทรงกลม รูปไข่ หรือรูปหลายเหลี่ยม

2) โครงสร้างของแป้ง แป้งเป็น โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ของ α -D-glucose แป้งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- อะไมโลส (Amylose) เป็นโพลิเมอร์ (Polymer) ของหน่วยกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง (Straight Chain) ด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic ความยาวของสายโซ่ยาวประมาณ 200-2,000 Anhydrous Glucose Unit (AGU) และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 20,000-200,000

- อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นโพลิเมอร์ที่แตกสาขามากมาย ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic เป็นส่วนใหญ่ และมีส่วนแตกสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 glycosidic แต่ละสาขาประกอบด้วยกลูโคส ประมาณ 15-25 Anhydrous Glucose Unit (AGU) และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10-20 ล้าน

2. โปรตีน (Protein) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมีปริมาณมากรองจากสตาร์ช โปรตีนหลักในข้าว ได้แก่ กลูทีลิน (Glutelin) โปรตีนในข้าวอยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่า Protein Bodies แทรกอยู่ระหว่างองค์ประกอบของแป้ง มีขนาด 1-4 ไมครอน โปรตีนอาจแบ่งตามคุณสมบัติการละลายได้ 4 ชนิดคือ อัลบูมิน (Albumin) ละลายได้ในน้ำ, โกลบูลิน (Globulin) ละลายในสารละลายเกลือ, โปรลามีน (Prolamine) ละลายในแอลกอฮอล์ และกลูทีลิน (Gluteinlin) ละลายในสารละลายกรด ต่างเจือจาง ข้าวมีสารกลูทีลินอยู่ประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมด มีโกลบูลินอยู่ประมาณร้อยละ 10 มีอัลบูมินอยู่ประมาณร้อยละ 5 และมีโปรลามีนไม่เกินร้อยละ 5

3. ไขมัน (Fat) ไขมันในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่อยู่บริเวณเยื่ออัลดูโรน และคัพพะ ซึ่งจะถูกขัดออกเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว โดยไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเม็ดไขมัน (Lipid Droplet) ไขมันในเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) จะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน (Protein Bodies) และในเมล็ดแป้งก็มีไขมันยึดเกาะอยู่ด้วย เมล็ดข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย คือประมาณร้อยละ 1.5-2.5 ในข้าวกล้อง และร้อยละ 0.3-0.7 ในข้าวสาร กรดไขมันส่วนใหญ่เป็น โอเลอิก (Oleic), ลิโนเลอิก (Linoleic) และปาล์มมิติก (Palmitic) อัตราส่วนของโอเลอิก และลิโนเลอิก เป็น 1:1 และไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกันไม่ว่าจะสกัดมาจากข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้า นอกจากนี้ไขมันของข้าวยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือ โอริซานอล (Oryzanol) และโทโคฟีรอล (Tocopherol) ซึ่งสารนี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้ไขมันอยู่ได้นานโดยไม่เหม็นหืน

4. เถ้าแร่ธาตุ และวิตามิน โดยทั่วไปข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.26-1.95 โดยน้ำหนักซึ่งข้าวเมล็ดยาว เมล็ดยาวปานกลาง และเมล็ดสั้น มีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.69, 0.64 และ 0.61 ตามลำดับ ชนิดของแร่ธาตุที่พบในเถ้า ได้แก่ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับแร่ธาตุในดินที่ปลูก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีการกระจายตัวของปริมาณเหล่านี้ ในรำร้อยละ 51 ในคัพภะร้อยละ 10 ในเปลือกร้อยละ 11 และในข้าวสารร้อยละ 28 (Juliano, 1972)

2.3 รงควัตถุของข้าวเหนียวดำ

รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในพืช แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงแดง และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) โดยมีรงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน มีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีม่วง หรือสีน้ำเงิน พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างๆ ของต้นข้าวเหนียวดำเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานิน และรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ข้าวเหนียวดำมีสารประกอบที่ให้สี คือ แอนโทไซยานิน โดยมีไซยานิดิน (cyanidin) เป็นองค์ประกอบ รงควัตถุกลุ่มนี้จะให้สีบนต้นข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ และมีการกระจายรงควัตถุไปตามส่วนต่างๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุและให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้นและใบ และเกือบทุกส่วนของช่อดอก ยกเว้นในส่วนของเอ็มบริโอ และเอนโดสเปิร์มที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุแอนโทไซยานิน จะอยู่ในแควิวโอลที่อยู่ในชั้นของเอพิเดอร์มอลเซลล์ของใบ ดอก และผลของพืช และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแควิวโอลเปลี่ยนไป ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 จะให้สีส้มแดง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 6 จะไม่มีสี ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6 จะให้สีน้ำเงินถึงม่วง แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้ในน้ำ (วิไลลักษณ์ พละกลาง, 2541) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาของการเจริญเติบโต อุณหภูมิ หรือแสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การสังเคราะห์ และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มของสีที่ปรากฏเปลี่ยนไป

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับน้ำของข้าว

สัดส่วนของปริมาณความชื้น (moisture ratio; MR) เป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายความแตกต่างของแบบจำลองการดูดซับน้ำ ตัวแปรที่ใช้ ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content; M_0 ; d.b.%) ปริมาณความชื้นที่สมดุล (moisture content at saturation; M_s ; d.b.%) และปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ (moisture content at time; M หรือ M_t ; d.b.%) โดยแบบจำลองที่ใช้ในการ

อธิบายการดูดซับน้ำของข้าวมีดังนี้ Henderson and Pabis model, Exponential model, Page model, Two-term exponential model และ modified Page model แสดงสมการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับน้ำของข้าว

No.	Model name	Equation
1	Henderson and Pabis	$MR = B \exp(-At)$
2	Exponential	$MR = \exp(-kt)$
3	Page	$MR = \exp(-kt^N)$
4	Two-term exponential	$MR = A_0 \exp(-k_1t) + A_1 \exp(-k_2t)$
5	Modified Page	$MR = \exp(-kt)^N$

หมายเหตุ $MR = M - M_0/M_0 - M_c$ A, A_0, A_1 และ B คือ ค่าคงที่การแช่

k, k_0 และ k_1 คือ ค่าคงที่การแช่ ($\text{min}^{-1}, \text{h}^{-1}$) t คือ เวลา (min, h)

N คือ ค่าพารามิเตอร์การแช่

ที่มา: Kashaninejad *et al.* (2007)

แบบจำลองที่ดีที่สุดที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับน้ำของข้าวควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มาก และค่า mean square error (MSE) ควรมีค่าน้อย (Kashaninejad *et al.*, 2007)

กระบวนการแพร่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้กฎข้อที่สองของฟิค (Fick's second law) ดังสมการที่ (2.1)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ ϕ คือ ความเข้มข้น (โมล/ลูกบาศก์เมตร) D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตร/วินาที) x^2 คือ ระยะห่าง (เมตร) และ t คือ เวลา (วินาที) Crank (1975) ได้สร้างสมการ (2.1) ขึ้นมาใหม่สำหรับรูปทรงวัตถุที่หลากหลาย เช่น ทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก และทรงกลม มีการนำกฎข้อที่สองของฟิค และสมการอาร์เรเนียสมาใช้ในการพยากรณ์การแพร่ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง เช่น ข้าว (Ece and Cihan, 1993) ฮาเซลนัท (Demirtas, Ayhan and Kaygusuz, 1998) และ เรพซิค (Crisp and Woods, 1994) สำหรับเมล็ดข้าวจัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุรูปทรงกลม ได้สมการของ Fick's second law ดังนี้

$$MR = \frac{M - M_c}{M_0 - M_c} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 D_{eff} \pi^2 t}{R^2}\right) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ (d.b.%) M_0 คือ ปริมาณความชื้นที่สมดุล (d.b.%) M_0 คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (d.b.%) D_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตร/วินาที) R คือ รัศมีของเมล็ดข้าว (มิลลิเมตร) t คือ เวลา (วินาที) และ n คือ จำนวนของค่าสังเกต (number of observation) ในเทอมแรกของสมการที่ (2.2) รูปแบบเหมือนกับแบบจำลอง Henderson and Pabis โดยค่าความชัน (ค่า k) มีความสัมพันธ์กับค่า D_{eff} ของแบบจำลองนี้คือ

$$k = \frac{D_{eff} \pi^2}{R^2} \quad (2.3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_{eff}) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.3) โดยใช้ความชันที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของสัดส่วนปริมาณความชื้น ($\ln MR$) กับเวลา

Kashaninejad *et al.* (2007) ที่พบว่า Page model มีความเหมาะสมที่สุดในการอธิบายพฤติกรรมการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวพันธุ์ Tarom Mahali ดังสมการ $MR = \exp(-kt^n)$ ซึ่งอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวมีผลต่อกลไกการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก โดยปริมาณการดูดซับน้ำและความหนาแน่นรวม (bulk density), ความแน่นเนื้อ (kernel density) และความเป็นรูพรุน (porosity) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำในการแช่เมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่เมล็ดข้าวในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง เป็นผลให้ใช้ระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวที่ลดลงอีกด้วย และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างค่าการแพร่ประสิทธิผลกับอุณหภูมิการแช่ข้าว พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 34.17 กิโลจูล/โมล และมีความสัมพันธ์ดังสมการ $D_{eff} = -9.60 \exp(-4109.6/T)$ ในทำนองเดียวกับ Khazaei and Mohammadi (2009) ที่พบว่า Page model มีความเหมาะสมที่สุดในพยากรณ์และอธิบายพฤติกรรมการดูดซับน้ำของเมล็ดงา ดังสมการ $M_t - M_0 = t/(k_1 + k_2 t)$ โดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) มากที่สุด และมีค่า RMSE (%) น้อยที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประมาณ 10^{-11} ตารางเมตร/วินาที

วงศ์ศิริ เข็มสวัสดิ์ (2550) ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อการดูดน้ำของเมล็ดข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวหอมดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมดอกมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวเจ้าหอมนิล จากการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page model ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองดีที่สุด และได้นำกฎข้อที่สองของฟิคมาใช้เพื่ออธิบายค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำเข้าสู่ข้าว โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำเข้าสู่ข้าวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่สูงขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสมีค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่กระจายความชื้นอยู่ในช่วง 22.33 - 27.74 กิโลจูล/โมล

2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็วปฏิกิริยา

อัตราเร็วปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารองค์ประกอบและแปรผันตามค่าคงที่ของปฏิกิริยาซึ่งมีตัวแปรต่างๆ เข้ามามีอิทธิพล และอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุด โดยทั่วไปอัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีส่วนมากขึ้นกับอุณหภูมิ สำหรับปฏิกิริยาอุณหภูมิฐานค่าคงที่ปฏิกิริยาเขียนในรูปของฟังก์ชันอุณหภูมิ ตามสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ดังนี้

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (2.4)$$

เมื่อ k คือ อัตราของปฏิกิริยา E_a คือ พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาหรือพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy; kJ/mol) R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant = $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) T คือ อุณหภูมิ และ A แทนความถี่ในการชน เรียกว่า แฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor) ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่สำหรับปฏิกิริยาใดๆ ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก สมการ (2.4) แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่อัตราแปรผันโดยตรงกับ A นอกจากนี้แล้ว เครื่องหมายลบ (-) ของเทอมเอ็กซ์โพเนนต์ E_a/RT บอกให้เราทราบว่า ค่าคงที่อัตราลดลง เมื่อพลังงานกระตุ้นเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมการนี้สามารถแสดงในรูปแบบที่มีประโยชน์มากขึ้น โดยการใส่ลอการิธึมทั้งสองด้าน

$$\ln k = \ln (A e^{-E_a/RT})$$

หรือ

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2.5)$$

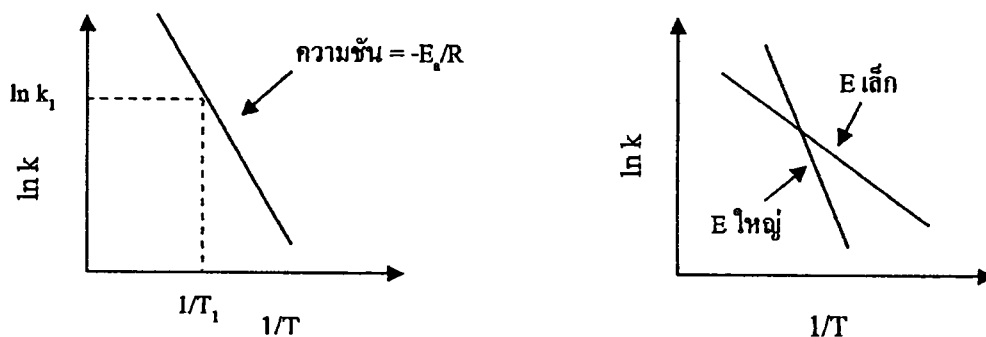
สมการ (2.5) สามารถจัดรูปแบบใหม่ให้เป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\ln k = (- E_a/R)(1/T) + \ln A \quad (2.6)$$

$$\begin{array}{cccc} \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow \\ y & = & m & x + b \end{array}$$

ดังนั้น กราฟระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ จะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ E_a/R มีจุดตัดแกน y เท่ากับ $\ln A$ (เรย์มอนด์ แชน, 2551) และจากความชันนี้ก็นำไปหาค่าพลังงานกระตุ้นได้ ส่วนค่า A คำนวณได้จากสมการ (2.5) จากสมการ (2.5) พบว่า ถ้าพลังงานกระตุ้นสูงขึ้น อัตราเร็วปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิมากขึ้น หรือค่าอัตราปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (วิโรจน์ บุญอำนาจ วิทยา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ และความชันของอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ
ที่มา: วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา (2544)

Thakur and Gupta (2006) ศึกษาคุณลักษณะการดูดซับน้ำของข้าวเปลือก (paddy) ข้าวกล้อง (brown rice) และแกลบ (husk) พบว่าข้าวกล้องมีค่าพลังงานกระตุ้นสูงกว่าข้าวเปลือกและแกลบ 1.2 และ 1.9 เท่า ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Resio *et al.* (2003) ที่ศึกษาการดูดซับน้ำของเมล็ดอะมาเรนซ์ (amaranth) พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้นเป็น 32.1 กิโลจูล/โมล

2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว

อัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.6.1 คุณสมบัติในการซึมผ่าน (permeability) ของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ด เมล็ดพันธุ์ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดบางหรือเปลือกหุ้มเมล็ดยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่าย มีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มหนาหรือเปลือกหุ้มเมล็ด ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่าย

2.6.2 อุณหภูมิ ระดับของอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างชัดเจนต่อการดูดซับน้ำของเมล็ด อุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ด โดยปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดจะสูงขึ้นอีกหนึ่งเท่า

2.6.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน อัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดย่อมต่างกัน เมล็ดพันธุ์ที่มีอาหารพวกโปรตีนสูง มีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีอาหารในส่วนเมล็ดส่วนใหญ่เป็นแป้งและไขมัน

2.6.4 อายุของเมล็ดพันธุ์หรือความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ (seed age) เมล็ดพันธุ์เก่าหรือเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้นาน ย่อมดูดซับน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เก่า เมมเบรนต่างๆ ภายในเมล็ดมีความสามารถในการกักเก็บสาร (integrity control) ต่ำ น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ๆ

2.6.5 การสุกแก่ (maturity) ของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่มีการสุกแก่ต่างกัน มีอัตราการดูดซึมน้ำต่างกัน เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวที่ระยะน้ำนม (milk stage) ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดยังไม่สุกแก่ทางสรีรวิทยา เมื่อนำไปเพาะทันที มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (จวงจันท์ ควงพัตรา, 2529)

พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์ และคณะ (2551) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิแช่น้ำทำให้การดูดซึมน้ำของข้าวในขั้นตอนการแช่น้ำเพิ่มขึ้น และมีผลต่อคุณภาพข้าวเหนียวหุงสุก โดยอัตราการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ระหว่างการหุงสุกและความแข็งของข้าวหลังคืนรูปเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาคุณภาพของข้าวหุงสุกเร็ว พบว่าอุณหภูมิแช่น้ำที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวหุงสุกเร็ว คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในทำนองเดียวกับ Juliano and Perez (1983) และ Sowbhagya *et al.* (1994) ที่รายงานว่าต้องนำข้าวเหนียวไปผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลาที่นานกว่าข้าวเจ้า เนื่องจากว่าข้าวเหนียวมีปริมาณการดูดซึมน้ำได้เพียงเล็กน้อย เกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี และพื้นที่ผิวหุ้มเปลือกเมล็ดข้าว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวเมื่อนำไปหุงสุก

2.7 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

2.7.1 คำนิยามลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการวัดด้วยเครื่องมือ

เนื้อสัมผัสหรือความรู้สึกเกี่ยวกับอาหาร เกิดขึ้นโดยที่คนสัมผัสกับอาหาร โดยใช้มือ (finger fell) ซึ่งสามารถบอกความรู้สึกออกมาเป็นความแข็งกรอบ (firmness) ความนุ่ม (softness) ความฉ่ำ (juiciness) เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากการเคี้ยว (mouth fell) เวลาทานอาหารเข้าปากจะใช้ฟันบดและกัด สามารถบอกความรู้สึกถึงความเนียน (mealiness) ความเหนียว (stickiness) ความมีน้ำมัน (oiliness) ความมีลักษณะเป็นกรวดทราย (grittiness) หรือมีเส้นใย (fibrousness)

จากอดีตถึงปัจจุบัน ได้มีการพยายามอย่างมากในการประดิษฐ์และออกแบบเครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแทนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เครื่องมือที่สร้างขึ้นได้เลียนแบบลักษณะการเคี้ยวของมนุษย์ ซึ่งผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปแบบของกราฟ แรง-เวลา (รูปที่ 2.3) ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์และอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสได้ 7 ลักษณะคือ Fracturability, Hardness, Cohesiveness, Adhesiveness, Springiness, Gumminess และ Chewiness และผลที่ได้ให้ความแม่นยำมากกว่า เนื่องจากไม่ขึ้นอยู่กับตัวบุคคล และสามารถทำซ้ำได้ โดยลักษณะเนื้อสัมผัสทั้ง 7 มีคำนิยามดังนี้ (Civille and Szczesniak, 1973)

1. Fracturability คือ แรงจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในชิ้นอาหารเสียหาย แต่ไม่แตกออกจากกัน แต่เดิมเรียกว่าจุด Brittleness

2. Hardness คือ แรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกัดครั้งแรก (First bite)

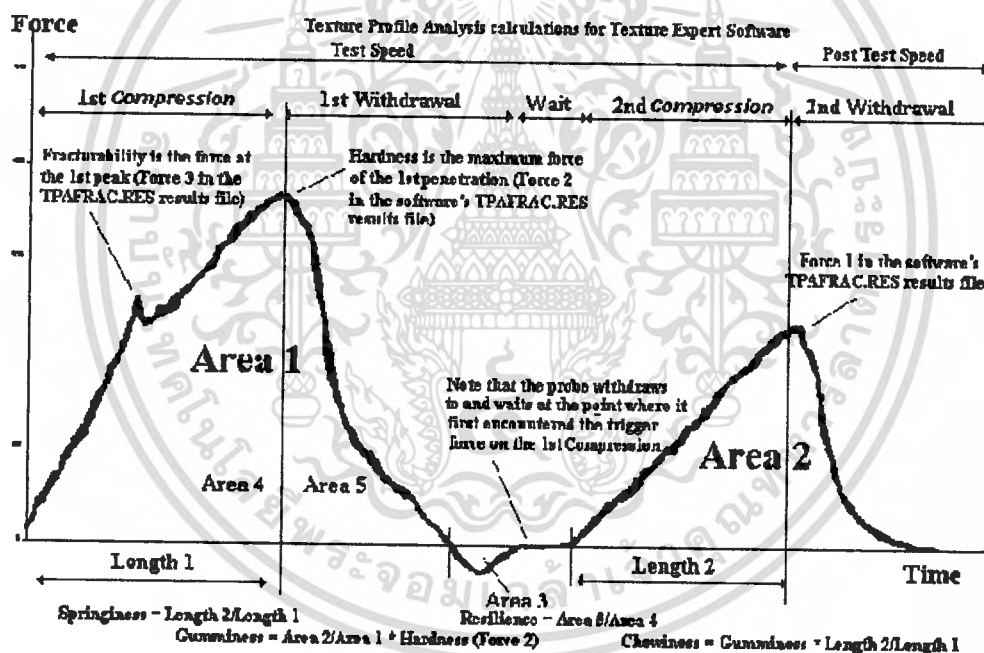
3. Cohesiveness คือ อัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่เป็นบวกในการกดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง ($A2/A1$) หรือความสามารถในยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร

4. Adhesiveness คือ พื้นที่ของแรงที่เป็นลบในการกดครั้งแรก ซึ่งแสดงถึงงานที่ต้องใช้ในการดึง หรือความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหาร

5. Springiness คือ อัตราส่วนของระยะทางในการกดครั้งที่สองในช่วงที่มีค่าแรงมากที่สุดต่อระยะทางในการกดครั้งที่หนึ่งในช่วงที่มีค่าแรงมากที่สุด ($L2/L1$) หรือความสามารถของชิ้นอาหารที่กลับสู่สภาวะเดิม

6. Gumminess คือ ผลคูณของ hardness กับ cohesiveness ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งแข็งแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้

7. Chewiness คือ ผลคูณของ gumminess กับ springiness (เท่ากับ $\text{hardness} \times \text{cohesiveness} \times \text{springiness}$) ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน



รูปที่ 2.3 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis (TPA)

ที่มา: Texture Technologies Corp and Stable Micro Systems (2009)

2.7.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ประกอบด้วยสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ ความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness) โดยที่ ความแข็ง หมายถึง สมบัติในการต้านทานแรงที่มากระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเหนียว หมายถึง สมบัติในการเกาะตัวกันระหว่างเม็ดข้าว (Jowitt, 1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิทยาศาสตร์จำนวนมากใช้เครื่อง Instron ในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าว แต่มีวิธีการแตกต่างกันไป นักวิทยาศาสตร์แห่งศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติเปรียบเทียบการวัดความแข็งแรงของข้าวด้วยเครื่อง Instron โดยวิธีต่างๆ คือ วิธี Double-bite วิธี Back extrusion วิธี Modified OTMS และวิธี Instron Anvil พบว่าวิธี Modified OTMS ได้ผลดีที่สุด รองลงมาคือวิธี Back extrusion ซึ่งวิธีการหลังนี้ใช้ปริมาณข้าวสุกในการทดสอบมาก จึงไม่เป็นที่นิยม ปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่มีชื่อเรียกว่า Texture Analyzer มาใช้ ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้กับสถานะจริงที่คนใช้ฟันกัดข้าวลงแล้วคั้งขึ้น ทำให้ได้ค่าแปรทางเนื้อสัมผัสของข้าวสุก 2 ลักษณะ คือ ความแข็ง (แรงในการใช้ฟันกดเมล็ดข้าวสุกลงเมื่อเคี้ยวครั้งแรก) และความเหนียว (แรงที่ใช้ในการคั้งฟันที่กดลงในการเคี้ยวครั้งแรกขึ้น)

นฤพร วิมลเกษม (2550) รายงานว่า บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด ได้ตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 60 พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่า แต่มีความเหนียวมากกว่าข้าวปทุมธานี 60 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวอะไมโลสต่ำด้วยกัน ได้แก่ หอมคลองหลวง ปทุมธานี 1 และขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสามารถแยกข้าวแต่ละพันธุ์ออกจากกันได้ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความนุ่มและเหนียวกว่าข้าวหอมคลองหลวง และปทุมธานี 1 ซึ่งถึงแม้ข้าวอีกสองชนิดจะมีความเหนียวใกล้เคียงกันแต่ปทุมธานี 1 มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่า จึงสามารถระบุว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อสุกจะมีความนุ่มและเหนียวมากที่สุด ส่วนข้าวหอมคลองหลวงจะมีความนุ่มน้อยที่สุด จากการทดลองดังกล่าวทำให้สามารถแยกความแตกต่างของคุณภาพข้าวแต่ละประเภทได้ โดยอาศัยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และเชื่อถือได้ รวมทั้งสามารถเทียบเคียงกับสถานะจริงที่ผู้ใช้ผู้ชิม ได้อีกด้วย ทำให้สามารถกำหนดและคัดเลือกข้าวได้ตรงกับมาตรฐานตามที่ผู้บริโภคต้องการได้

นราพร ดาลัย และศุภันธา ทองทา (2551) ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียว และข้าวเจ้าระหว่างการเก็บรักษา โดยวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวด้านความแข็งแรงและความเหนียว ด้วยวิธี back extrusion ค่าความแข็งแรงได้จากความสูงของค่าแรงที่มีค่ามากที่สุดทางตำแหน่งบวก และความสูงของค่าแรงที่มีค่ามากที่สุดทางตำแหน่งลบ คือ ค่าความเหนียว

2.8 ผลกระทบที่มาจากข้าวเหนียว

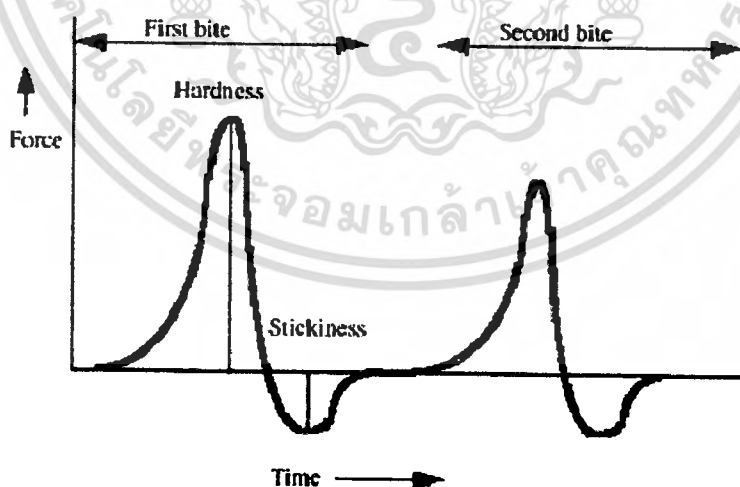
โมจิ (mochi) เป็นอาหารชนิดหนึ่งของญี่ปุ่นที่ทำจากข้าวเหนียวตัดเป็นก้อน สามารถนำไปประยุกต์ทำขนมได้หลายชนิด ซึ่งก่อนจะนำมาทำโมจิได้นั้นต้องนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำค้างไว้หนึ่งคืน แล้วจึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ และนำมาตำให้เหนียวเข้ากันดีก็จะได้โมจิสด หลังจากได้แป้งโมจิที่มีเนื้อเนียนแล้วก็จะนำมานวดต่อแล้วปั้นเป็นก้อนๆ นำไปประกอบอาหารและขนมชนิดต่างๆ ต่อไปตัวอย่างขนมแบบต่างๆ ที่มีแป้งโมจิเป็นส่วนประกอบ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงหนึ่งเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไคฟูกุ (Daifuku) เป็นแป้งโมจิที่นำมาปั้นและใส่ไส้ข้างใน เช่น ถั่วแดงกวน
- คัง โคะ (Danko) เป็นแป้งโมจิที่ถูกนำมาปั้นเป็นก้อนกลมๆ นำไปย่างบนเตาแล้วราดด้วยซอสโชยุ
- ซากุระ โมจิ (Sakura mochi) เป็นแป้งโมจิใส่ถั่วแดงห่อด้วยใบซากุระที่หมักเกลือไว้ สีของขนมจะออกสีชมพู
- คาชิวะ โมจิ (Kashiwa mochi) เป็นโมจิใส่ถั่วแดงแล้วห่อด้วยใบโอ๊ค

Chuang and Yeh (2006) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิจากร้านค้าต่างๆ 15 แห่ง พบว่าสามารถแบ่งโมจิตามความหวานได้เป็น 3 กลุ่ม คือ โมจิที่มีรสหวาน (มีปริมาณน้ำร้อยละ 18-39), โมจิที่มีรสหวานเล็กน้อย (มีปริมาณน้ำร้อยละ 40-42) และ โมจิที่ไม่มีรสหวาน (มีปริมาณน้ำร้อยละ 43-55) และพบว่าโมจิในกลุ่มที่มีรสหวานมีความยืดหยุ่นมากกว่าโมจิในกลุ่มอื่นๆ เพราะน้ำตาลและน้ำจะทำให้โมจิมีลักษณะเป็นพลาสติก และมีความอ่อนนุ่ม โดยโมจิที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าโมจิในกลุ่มอื่นๆ มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 222-261 กรัมแรง ซึ่งนอกจากปริมาณน้ำตาล และปริมาณน้ำของ โมจิแล้ว กระบวนการผลิตก็เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

Sung *et al.* (2008) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว โดยพิจารณาค่าความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness) ซึ่งค่าความเหนียวเป็นค่าแรงที่มีค่ามากที่สุดที่หัววัดจะกลับสู่ตำแหน่งความสูงเดิม (ดังรูปที่ 2.4) พบว่าโมจิมีค่าความแข็ง และความเหนียวเท่ากับ 210.8 และ 41.1 กรัมแรง ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 กราฟ Texture Profile Analysis ของการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โมจิ

ที่มา: Sung *et al.* (2008)

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเหนียวดำ (Black glutinous rice) ตราไรท์พิช (บริษัท ไร่ชัยชัย จำกัด) และตราข้าวทอง (บริษัทอุตสาหกรรมอาหารไทย (1964) จำกัด)

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

- 3.2.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Mettler รุ่น WNB Basic, เยอรมันนี)
- 3.2.2 ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น UM 400, เยอรมันนี)
- 3.2.3 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น)
- 3.2.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (OHAUS, AR2140, สวิสเซอร์แลนด์)
- 3.2.5 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.2.6 UV-VIS สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SHIMADZU UV-1601, ญี่ปุ่น)
- 3.2.7 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XT2i)
- 3.2.8 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย (Fibertec รุ่น 1020 M6, สวีเดน)
- 3.2.9 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Gerhardt รุ่น S306AK, เยอรมันนี)
- 3.2.10 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt รุ่น VAP30, เยอรมันนี)
- 3.2.11 เตาเผา (Carbolite รุ่น CWF 11/13, อังกฤษ)
- 3.2.12 ลังถึง และอุปกรณ์เครื่องครัว

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 ซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 3.3.2 ไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.3.3 เอทานอล 95% (C_2H_5OH)
- 3.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.3.5 บีโตรีเลียมอีเทอร์
- 3.3.6 โบรโมครีโซลกรีน (Bromocresol green)
- 3.3.7 เมทิลเรด (Methyl red)
- 3.3.8 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)

- 3.3.9 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- 3.3.10 บอริก (H_3BO_3)
- 3.3.11 อะซีโตน (CH_3COCH_3)
- 3.3.12 สารต้านการเกิดฟอง (n-Octanol)
- 3.3.13 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การศึกษาผลของสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

3.4.1.1 การศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

คัดเลือกเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง โดยคัดเลือกเมล็ดที่ลีบ หัก และมีสีซีดออก จากนั้นนำข้าวเหนียวดำที่มีเมล็ดสมบูรณ์ และขนาดเมล็ดใกล้เคียงกันมาสุ่ม ตัวอย่าง โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำจำนวน 10 เมล็ด จากข้าวเหนียวดำ 10 กรัม นำมาวัด ความกว้าง (Width; มิลลิเมตร) และความยาว (Length; มิลลิเมตร) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำ โดยใช้ เวอร์เนียคาลิเปอร์ บันทึกข้อมูล และคำนวณหาค่าเฉลี่ย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้าวเหนียวดำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

3.4.1.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง 10 กรัม ที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ทำการแช่ข้าวเหนียวดำ (soaking) ที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส (± 0.5 องศาเซลเซียส) โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ แต่ละอุณหภูมิทำการแช่ข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิห้องให้ทำการแช่ข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพิ่มเติม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (คัดแปลงวิธี จาก Kashaninejad *et al.*, 2007)

3.4.1.3 การวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

ชั่งน้ำหนักของข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง หลังจากผ่านการแช่ น้ำจากข้อ 3.4.1.2 โดยนำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำมาวางลงบนกระดาษซับน้ำ แล้วบันทึก น้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รายงานผลของปริมาณการดูดซับน้ำเป็นสัดส่วนของ น้ำหนักเมล็ดข้าวหลังแช่น้ำต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวก่อนแช่น้ำ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.1.4 การวิเคราะห์ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังการแช่น้ำ

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง จำนวน 10 เมล็ด วัด ความกว้าง (มิลลิเมตร) และความยาว (มิลลิเมตร) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังแช่น้ำ โดยใช้เวอร์เนีย

คาลิปเปอร์ในการวัดขนาด บันทึกข้อมูล และคำนวณหาค่าเฉลี่ย รายงานผลเป็นร้อยละของขนาดเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้น ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.1.5 การศึกษาการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่

นำน้ำที่ได้จากการแช่ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และข้าวทอง จากข้อ 3.4.1.2 มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำ วัดค่าการดูดกลืนแสง 3 ครั้ง

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) โดยใช้ ANOVA (F-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก

ใช้เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากเวลาที่ทำการแช่ข้าวที่ทำให้ที่เมล็ดข้าวเกิดการอิมตัวหรือเข้าสู่ภาวะสมดุลมาทำการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steam) โดยใช้ถังถึง นึ่งประมาณ 20 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำทำการนึ่งข้าว 3 ครั้ง และนำมาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส

3.4.2.1 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก

วัดค่าความแข็ง (Hardness; กรั่มแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรั่มแรง) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำนึ่งสุกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XT2i) โดยใช้เมล็ดข้าว 6 เมล็ดวางเรียงต่อกันอย่างสม่ำเสมอ ใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร กำหนดค่าความเร็วของหัวกวัดก่อนสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Pre-test speed) เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วของหัวกวัดขณะสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Test speed) เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที และค่าความเร็วของหัวกวัดในช่วงหลังสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยให้กดเป็นระยะทาง 90% strain ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ทศรัฐ อินแปลง, 2542)

3.4.2.2 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาใส่ครก ตำจนข้าวเหนียวดำละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้เป็นก้อนแป้ง นำก้อนแป้งที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ด้านค่าความแข็ง (Hardness; กรั่มแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรั่มแรง) โดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife เตรียมตัวอย่างให้ตัวอย่างแต่ละก้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร กำหนดค่าความเร็วของหัวกวัดก่อนสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Pre-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วของหัวกวัดขณะสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที และค่า

ความเร็วของหัวควดในช่วงหลังสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยให้กดเป็นระยะทาง 50% strain (ดัดแปลงวิธีจาก Jeong *et al.*, 2007) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Arrangement in Completely Randomized Design) 2 x 2 ปัจจัย โดยใช้ ANOVA (F-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

3.4.3.1 การทำโมจิจากข้าวเหนียวดำ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของ โมจิ

การศึกษาคูณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจะทำการศึกษาดังต่อไปนี้
 โมจิจากข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ โดยใช้สภาวะในการแช่ข้าวเหนียวดำก่อนนำมาทำโมจิที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการอิมตัวหรือเข้าสู่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาใส่ครก ตำจนข้าวเหนียวดำนึ่งสุกละเอียด ผสมน้ำลงไปร้อยละ 5 แล้วตำจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้เป็นโมจิ นำโมจิที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ด้านค่าความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) โดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife เตรียมโมจิโดยให้โมจิแต่ละก้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร กำหนดค่าความเร็วของหัวควดก่อนสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Pre-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วของหัวควดขณะสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที และค่าความเร็วของหัวควดในช่วงหลังสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยให้กดเป็นระยะทาง 50% strain (ดัดแปลงวิธีจาก Jeong *et al.*, 2007) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำ

ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำ โดยผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น ความเหนียวนุ่ม ความแข็ง และความชอบโดยรวม โดยใช้ 5-points hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 = ชอบมากที่สุด) ให้ผู้ทดสอบระบุระดับความชอบตามลักษณะต่างๆ แล้วให้คะแนนตามความรู้สึกที่เกิดขึ้น

วางแผนการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) และวางแผนการทดลองด้านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized completely block design; RCBD) โดยใช้ ANOVA (F-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

4.1.1 การศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

เมื่อสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมาชนิดละ 10 เมล็ด จากข้าวเหนียวดำ 10 กรัม แล้วนำมาศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1 จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ มีความกว้างและความยาวของเมล็ดเท่ากับ 2.97 ± 0.02 และ 7.73 ± 0.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.07 ± 0.07 ไขมันร้อยละ 2.45 ± 0.17 โปรตีนร้อยละ 5.48 ± 0.83 เยื่อใยหยาบร้อยละ 1.27 ± 0.22 เถ้าร้อยละ 1.33 ± 0.02 และคาร์โบไฮเดรต (จากการคำนวณ) ร้อยละ 77.40 ± 0.59 ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง มีความกว้างและความยาวของเมล็ดเท่ากับ 2.92 ± 0.04 และ 7.69 ± 0.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.93 ± 0.04 ไขมันร้อยละ 2.64 ± 0.21 โปรตีนร้อยละ 9.78 ± 0.74 เยื่อใยหยาบร้อยละ 1.30 ± 0.15 เถ้าร้อยละ 1.50 ± 0.02 และคาร์โบไฮเดรต (จากการคำนวณ) ร้อยละ 72.85 ± 0.39 จากผลการทดลองค่าที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ ดวงกมล สิมจันทร์ (2550) ที่รายงานว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีความกว้าง และความยาวของเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 3.00 และ 6.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการทดลองของ ดำเนิน กาละดี และคณะ (2545) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์มีปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรตมากกว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีปริมาณ โปรตีน และเถ้ามากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ ไขมันและเยื่อใยหยาบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

คุณสมบัติ	ไร่ทิพย์	ข้าวทอง
ทางกายภาพ		
กว้าง (มิลลิเมตร)	2.97 ± 0.02^b	2.92 ± 0.04^a
ยาว (มิลลิเมตร) ^{ms}	7.73 ± 0.12	7.69 ± 0.12
ทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	12.07 ± 0.07^b	11.93 ± 0.04^a
ไขมัน (ร้อยละ) ^{ms}	2.45 ± 0.17	2.64 ± 0.21
โปรตีน (ร้อยละ)	5.48 ± 0.83^a	9.78 ± 0.74^b
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	77.40 ± 0.59^b	72.85 ± 0.39^a
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ) ^{ms}	1.27 ± 0.22	1.30 ± 0.15
เถ้า (ร้อยละ)	1.33 ± 0.02^a	1.50 ± 0.02^b

หมายเหตุ

^{a,b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ms หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ทศรัฐ อินแปลง (2542) ศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเหนียวพันธุ์เขียววง (กข6) พบว่า มีความกว้าง และความยาวของเมล็ดเท่ากับ 2.20-2.45 มิลลิเมตร และ 7.10-8.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.31 ไขมันร้อยละ 0.75 โปรตีนร้อยละ 6.47 เยื่อใยหยาบร้อยละ 0.43 เถ้าร้อยละ 0.53 และคาร์โบไฮเดรต (จากการคำนวณ) ร้อยละ 81.51 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้ และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทองกับข้าวเหนียวพันธุ์เขียววง (กข6) พบว่า ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทองมีแนวโน้มของขนาด และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณมากกว่าข้าวเหนียวพันธุ์เขียววง (กข6) แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าข้าวเหนียวพันธุ์เขียววง (กข6) เล็กน้อย

4.1.2 การวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5-6 ชั่วโมง มีการดูดซับน้ำในเมล็ดข้าวแตกต่างกันไป แสดงผลดังรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าเมื่อข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำสูงที่สุด รองลงมาคือการแช่ที่อุณหภูมิ 50, 40

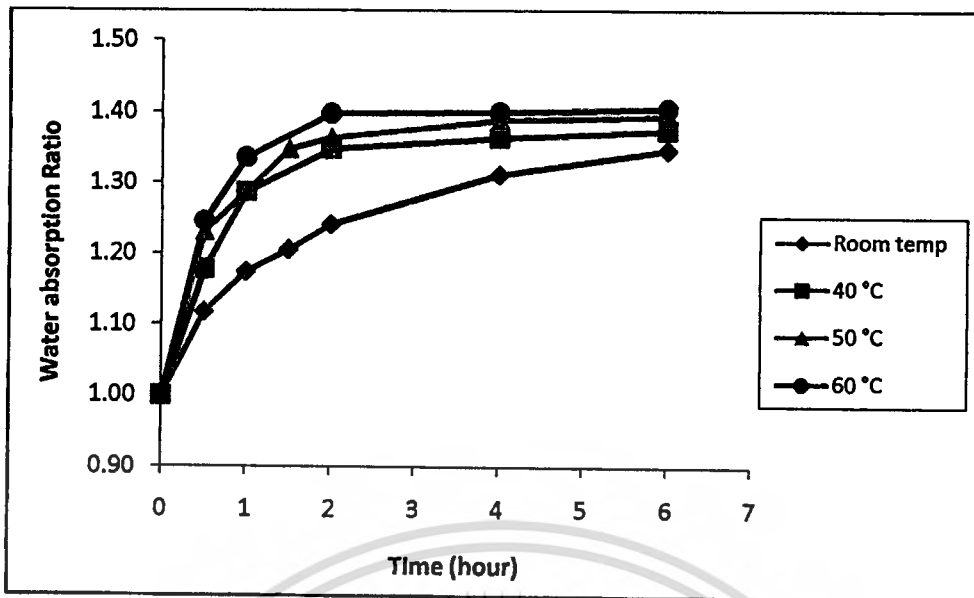
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 1.25-1.41, 1.23-1.40, 1.18-1.38 และ 1.12-1.35 ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง เมื่อแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำสูงที่สุด รองลงมาคือการแช่ที่อุณหภูมิ 50, 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 1.19-1.37, 1.24-1.35, 1.15-1.32 และ 1.11-1.32 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นเป็น 1.38 ± 0.01 และ 1.33 ± 0.01 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของพรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์ และคณะ (2551) ที่รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิแช่น้ำทำให้การดูดซับน้ำของข้าวในขั้นตอนการแช่น้ำเพิ่มขึ้น จากค่าที่ได้ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อสัดส่วนการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

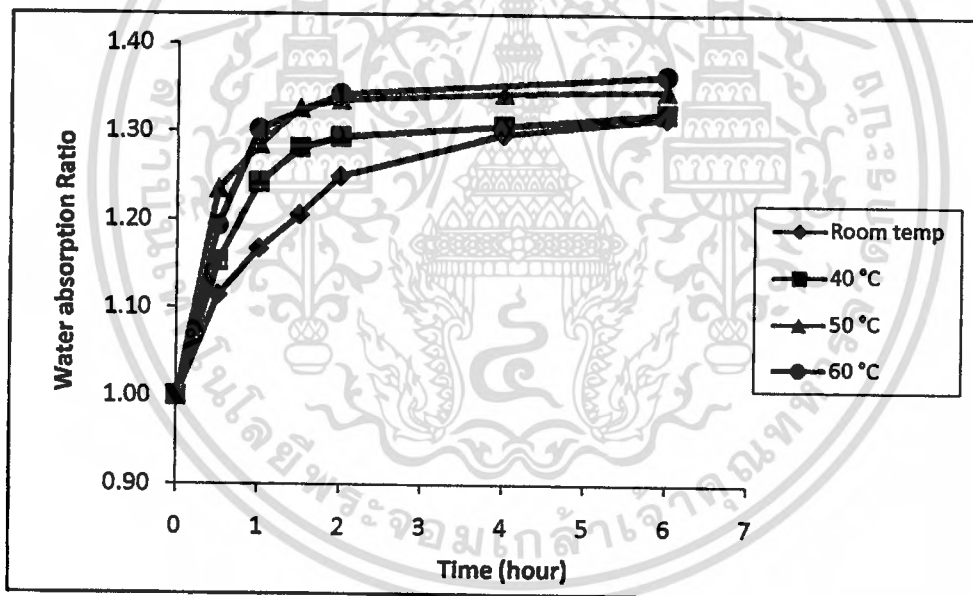
จากรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) พบว่าการแช่ข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดในช่วง 1 ชั่วโมงแรก มีผลทำให้ข้าวมีมีสัดส่วนการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทุกช่วงอุณหภูมิของการแช่ โดยข้าวที่แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง มีสัดส่วนการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นน้อยกว่าช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส แต่จะมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างช้า เมื่อใช้เวลารับแช่นานขึ้นจนกระทั่งแช่นาน 6 ชั่วโมง ข้าวมีสัดส่วนการดูดซับน้ำสูงขึ้น แต่ยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ขณะที่เมื่อใช้น้ำที่อุณหภูมิสูง 40-60 องศาเซลเซียส แช่ข้าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้ข้าวสามารถดูดซับน้ำได้เต็มที่ สัดส่วนการดูดซับน้ำจะลดช้าลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล สอดคล้องกับรายงานของ Kashaninejad *et al.*, (2007) ที่ทำการแช่ข้าวพันธุ์ Tarom Mahali ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 25, 30, 40 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการแช่ข้าว จากนั้นเมื่อเมล็ดข้าวเกิดการอิมตัวหรือเข้าสู่สภาวะสมดุลจะมีอัตราการดูดซับน้ำที่ช้าลง และนอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการแช่ข้าว จะมีอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการแช่ ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างชัดเจนต่อการดูดซับน้ำของเมล็ด โดยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ด

และจากรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) เมื่อนำมาพล็อตกราฟระหว่าง $\ln (W_t - W_\infty)/(W_0 - W_\infty)$ กับเวลา โดยที่ W_0 คือ สัดส่วนการดูดซับน้ำเริ่มต้น W_t คือ สัดส่วนการดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ และ W_∞ คือ สัดส่วนการดูดซับน้ำที่สภาวะสมดุล ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.2 ความชัน (slope) ที่ได้ คือ อัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) ของแต่ละอุณหภูมิในช่วงเวลา 0-6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำ โดยใช้ความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius) ที่แสดงในรูป $k_{\text{absorption}} = k_0 \exp(-E_a/RT)$ เมื่อ E_a คือ พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (activation energy; กิโลจูล/โมล) R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant = $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ และปริมาณ k_0 คือ แฟกเตอร์ความถี่ นำค่า $k_{\text{absorption}}$ ที่ได้มาสร้างกราฟระหว่าง $\ln k_{\text{absorption}}$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิ ($1/T$) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง มีค่าความชันเท่ากับ $-E_a/R$ กราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



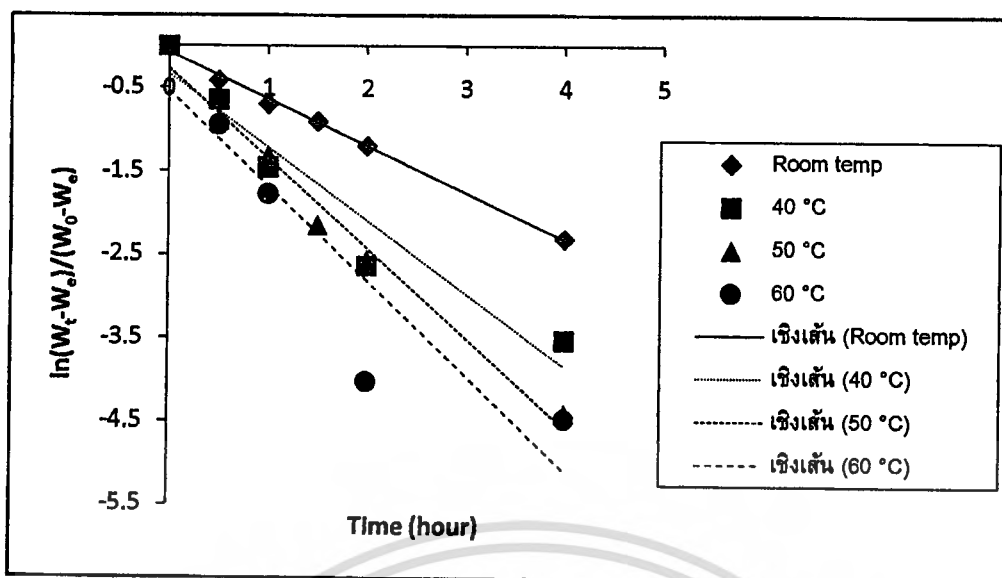
(a)



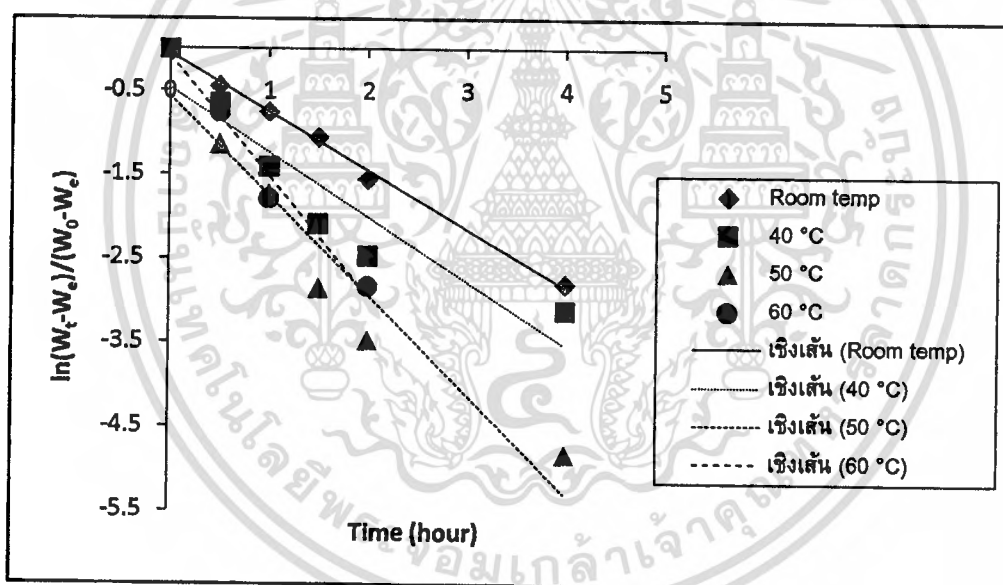
(b)

รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำต่อสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว; (a) ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



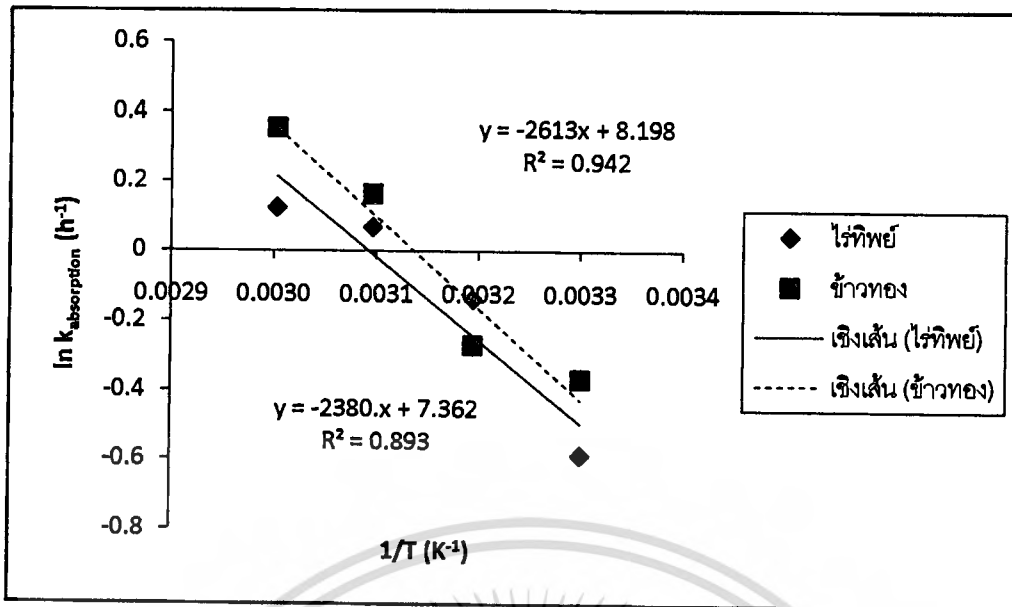
(a)



(b)

รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกันต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแสดงด้วยค่าความชัน; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทอง

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทองตามความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียส ดังรูปที่ 4.3 พบว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 9.78 ± 0.74 มากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5.48 ± 0.83 ซึ่งเมล็ดที่มีองค์ประกอบของโปรตีนสูง จะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าเมล็ดที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งและไขมัน หรืออาจเกิดจากความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์เก่าหรือเมล็ดที่เก็บไว้นาน ย่อมดูดซับน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เก่า เมมเบรนต่างๆ ภายในเมล็ดมีความสามารถในการกักเก็บสาร (integrity control) ต่ำ น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ๆ (จวงจันทรดวงพัตรา, 2529) ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ จากตารางที่ 4.2 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองและตราไร่ทิพย์มีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 1.43 และ 1.13 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำเท่ากับ 1.18 และ 1.07 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำเท่ากับ 0.77 และ 0.87 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.69 และ 0.56 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Thakur and Gupta (2006) ที่ทำการแช่ตัวอย่างข้าวเปลือก (paddy) ข้าวกล้อง (brown rice) และแกลบ (husk) ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองของ Khazaei and Mohammadi (2009) ที่รายงานผลของการแช่ตัวอย่างเมล็ดงาคำในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 27, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดงาคำ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดงาคำมากที่สุด และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีค่าเท่ากับ 0.89 และ 0.94 ตามลำดับ บ่งชี้ว่ามีสหสัมพันธ์กันเชิงบวกมาก แสดงว่าอุณหภูมิและค่าอัตราการดูดซับน้ำมีความสัมพันธ์กันมาก หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวจะดูดซับน้ำได้มากขึ้น และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำตามสมการอาร์เรเนียส ได้ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ของการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์และตราข้าวทอง เท่ากับ 19.79 กิโลจูล/โมล และ 21.72 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ และมีค่า k_0 เท่ากับ 0.91 และ 1.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานกระตุ้นของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองกับข้าวเปลือก (paddy) ข้าวกล้อง (brown rice) อะมาแรนซ์ (amaranth) และชิกพี (chickpea) (Thakur and Gupta, 2006; Resio *et al.*, 2003 and 2005 and Turhan *et al.*, 2002) ที่แช่ในน้ำกลั่นในช่วงอุณหภูมิ 27-60 องศาเซลเซียส พบว่าเมล็ดพืชเหล่านี้มีค่าพลังงานกระตุ้นต่ำกว่า แสดงว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองเกิดการดูดซับน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพืชอื่นๆ ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด หรืออาจเกิดจากความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ (จวงจันท์ ควงพัตรา, 2529)

ตารางที่ 4.2 อัตราการดูดซับน้ำ ($k_{\text{absorption}}$) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; E_a) ของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการดูดซับน้ำ (ชั่วโมง ⁻¹)	พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)	สมการความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (r^2)
ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์				
อุณหภูมิห้อง	0.56	19.79	$k_{\text{absorption}} = 0.91\exp(-19.79/RT)$	0.89
40	0.87			
50	1.07			
60	1.13			
ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง				
อุณหภูมิห้อง	0.69	21.72	$k_{\text{absorption}} = 1.02\exp(-21.72/RT)$	0.94
40	0.77			
50	1.18			
60	1.43			

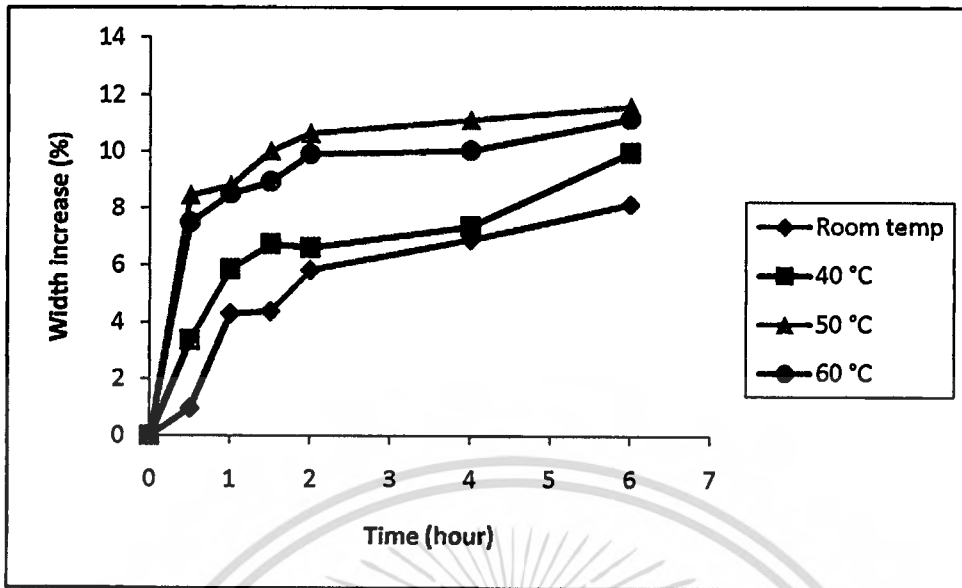
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การวิเคราะห์ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังการแช่น้ำ

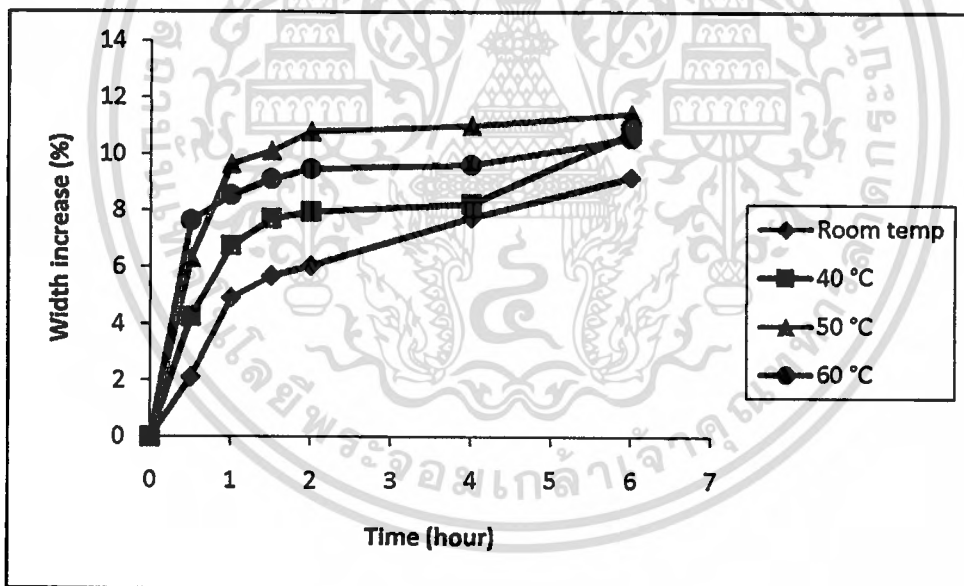
จากการสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำจำนวน 10 เมล็ด วัดความกว้าง และความยาว ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองหลังแช่น้ำ พบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาเพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มของขนาดความกว้าง และความยาวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อความแตกต่างของขนาดความกว้าง และความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดความกว้าง สอดคล้องกับการทดลองของ Ahromrit *et al.*, (2006) ที่รายงานว่าความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวมีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาของการแช่ข้าวที่มากขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้าง ในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรกของการแช่ข้าวเมล็ดข้าวเหนียวดำจะมีการขยายขนาดมากกว่า ในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังของการแช่ โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 6 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์มีขนาดความกว้างและความยาวของเมล็ดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 11.60 ± 0.13 และ ร้อยละ 13.19 ± 0.41 ตามลำดับ และข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีขนาดความกว้างของเมล็ดมากที่สุดร้อยละ 11.45 ± 0.28 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการแช่ข้าว 6 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 6 ชั่วโมง มีความยาวของเมล็ดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 12.80 ± 0.20 ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับการทดลองของ Ahromrit *et al.*, (2006) ที่รายงานว่าความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่แช่ในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ที่อุณหภูมิ 20-70 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.1-600 เมกะปาสคาล (MPa) มีสัดส่วนการเพิ่มขนาดของความกว้างและความยาวน้อยกว่าร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ ตรงกันข้ามกับข้าวเหนียว (parboiled rice) ที่มีการขยายขนาดความกว้างมากกว่าความยาว (Bhattacharya, 1985)

การเพิ่มขนาดของเมล็ดจากการแช่เกิดจากกลไก 2 อย่าง กลไกหลักเกิดจากการขยายตัวของเมล็ดแป้งภายในเอ็นโดสเปิร์ม และกลไกรองเกิดจากการแพร่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดตามรอยแยกของเมล็ด (Ahromrit *et al.*, 2006) ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการขยายขนาด การเพิ่มขนาดความยาวอาจเกิดจากการขยายจำนวนเซลล์ตามแนวยาวของเมล็ด Juliano and Bechtel (1985) ศึกษาโครงสร้างเซลล์ของเมล็ดข้าวและรายงานว่าจำนวนเซลล์ทั้งหมดของเอ็นโดสเปิร์มในแนวยาวมีมากกว่าในแนวรัศมี 10-15 เท่า การพองตัวของเมล็ดแป้งจะเห็นได้อย่างชัดเจน Horigane *et al.* (1999) and Ogawa *et al.* (2003) กล่าวว่ารอยแตกที่มากขึ้นของเนื้อเยื่อเมล็ดในระหว่างการแช่ทำให้เกิดช่องว่างภายในซึ่งจะเกิดตามแนวขวาง น้ำที่ผ่านเข้าไปและรอยแตกตามแนวขวางที่กว้างมากขึ้น ทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งจะถูกดันเข้าด้านในตามแนวยาว เป็นเหตุให้ด้านยาวขยายมากกว่าด้านกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



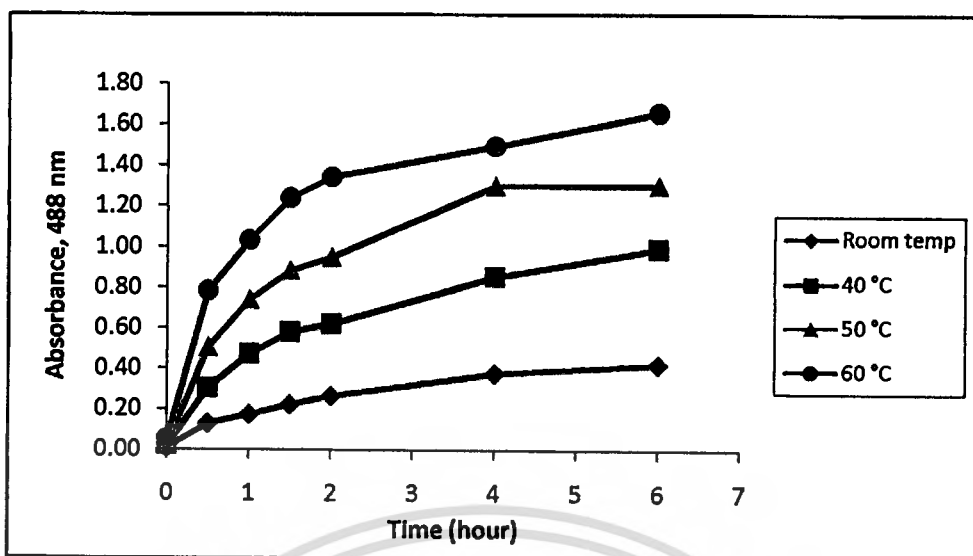
(b)

รูปที่ 4.4 ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ก้นต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

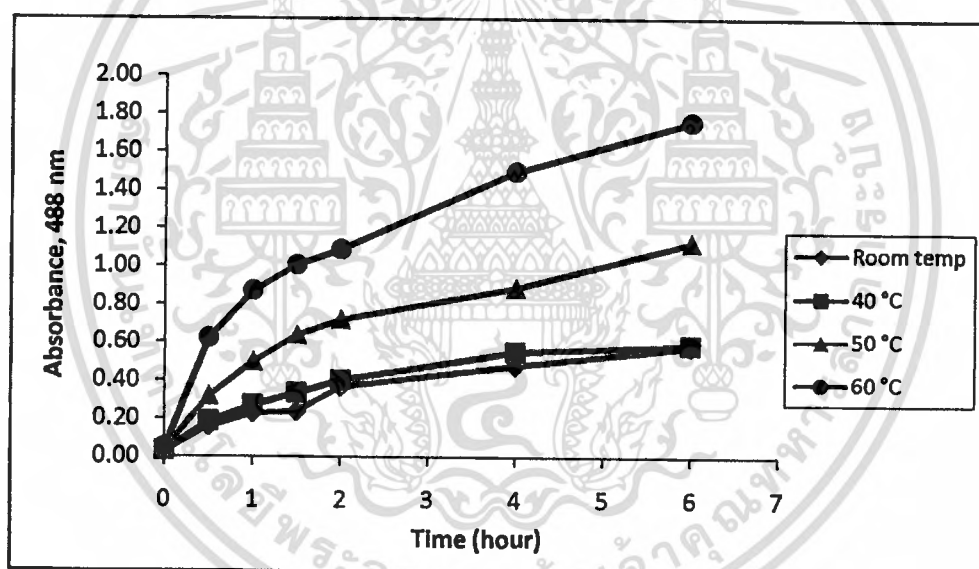
ในขั้นตอนการแช่ข้าวเมล็ดข้าวจะเกิดการดูดซับน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกเมล็ด เช่น ทำให้เมล็ดขยายตัวโตขึ้น (swelling of seed) มีออกซิเจนเข้าไปในเมล็ดมากขึ้น (increase in oxygen intake) เป็นต้น (จงจันทร ควงพัตรา, 2529) เมื่อเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง พบว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง มีแนวโน้มของขนาดความกว้าง และความยาวที่เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ สอดคล้องกับผลของสัดส่วนการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำข้างต้น (ผลการทดลองที่ 4.1.2) คือ ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ ส่งผลให้เมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีการขยายขนาดมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์

4.1.4 การศึกษาการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่

การศึกษากการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ ใช้เพื่อติดตามระดับความเข้มของสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่ที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไป โดยนำน้ำที่ได้จากการแช่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และข้าวทอง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร แสดงผลดังรูปที่ 4.6 จากการทดลองพบว่าเมื่อแช่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาแช่นานขึ้น การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในน้ำที่แช่ข้าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.05-1.66, 0.03-1.30, 0.02-1.00 และ 0.01-0.42 ตามลำดับ เช่นเดียวกับเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.05-1.76, 0.04-1.13, 0.03-0.59 และ 0.03-0.58 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงพบว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.95 ± 0.03 และ 0.53 ± 0.03 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลาการแช่ข้าว นาน 24 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการแช่ข้าว นาน 4-6 ชั่วโมง ($p > 0.05$) ในขณะที่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจากเวลาการแช่ 6 ชั่วโมง การที่ข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน อาจเกิดจากความแตกต่างของชนิดของพันธุ์ข้าว



(a)



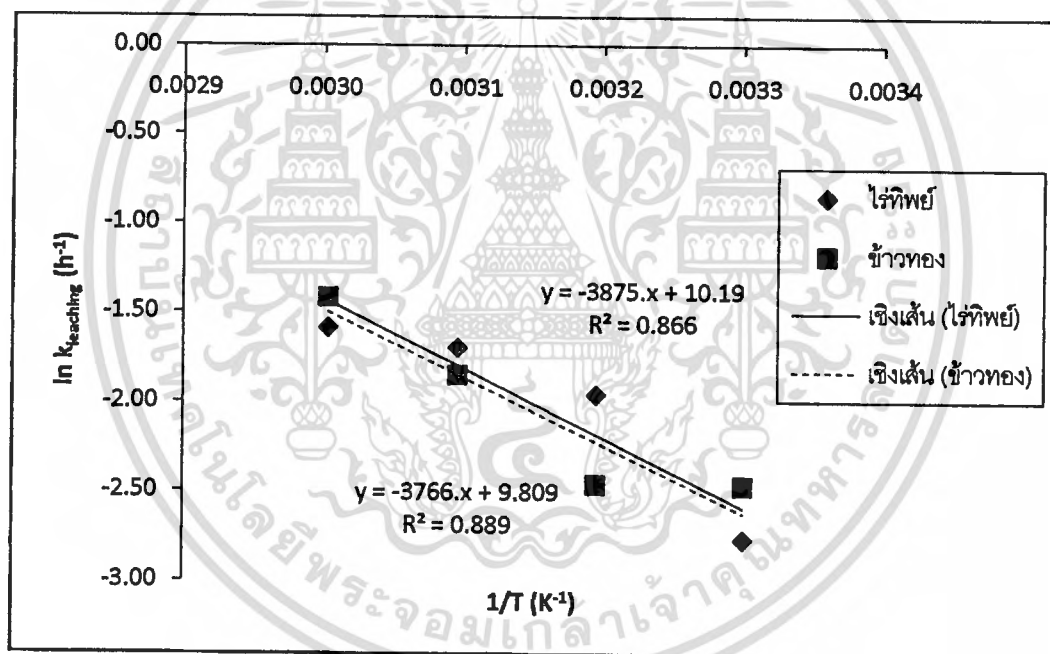
(b)

รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังจากผ่านการแช่น้ำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการแช่ขั้วน้ำจะแพร่กระจายเข้าสู่เมล็ดข้าว และระงับประกอบทางเคมีบางอย่างภายในเมล็ดออกมา ซึ่งสารสีหรือรงควัตถุ (pigment) ที่พบในขั้วเหนียวคามีสีม่วงดำหรือแดงกำจัดอยู่ในกลุ่มแอนโทไซยานิน แอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความไวต่อปฏิกิริยามาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี ซึ่งในขั้นตอนการแช่ขั้วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน เยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดข้าวจะถูกทำลายเกิดการชะสารแอนโทไซยานินออกมาละลายอยู่ในน้ำที่แช่ขั้ว ค่าจากการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ขั้วมีผลต่อการชะสีของขั้วเหนียวค้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.6 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ขั้วกับค่าอัตราการชะสี (k_{leaching}) ได้จากความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียสที่แสดงในรูป $k_{\text{leaching}} = k_0 \exp(-E_a/RT)$ โดยหาค่าความชัน (slope) ของแต่ละอุณหภูมิของการชะสีในช่วงเวลา 0-6 ชั่วโมง แล้วนำค่าความชันที่ได้ของแต่ละอุณหภูมิมาสรางกราฟระหว่าง $\ln k_{\text{leaching}}$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิ ($1/T$) ได้กราฟดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ขั้วกับอัตราการชะสี (k_{leaching}) ของเมล็ดข้าวเหนียวค้ำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าข้าวเหนียวค้ำตราไรทิพย์มีอัตราการชะสีมากกว่าข้าวเหนียวค้ำตราข้าวทองเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวค้ำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองมีอัตราการชะสีมากที่สุดเท่ากับ 0.20 และ 0.24 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการชะสีเท่ากับ 0.18 และ 0.16 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการชะสีเท่ากับ 0.14 และ 0.09 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการชะสีน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.06 และ 0.08 (ชั่วโมง⁻¹) ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Türker and Erdogdu (2006) ที่พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการสกัดแอนโทไซยานินจาก black carrot จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแอนโทไซยานินมากขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดเชื้อหุ้มเซลล์ของ black carrot จะถูกทำลายทำให้แอนโทไซยานินถูกชะออกมา จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าอัตราการชะสีเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่แช่สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อแช่ข้าวในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดการชะสีของเมล็ดข้าวมากขึ้น และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการชะสีของข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์และข้าวทองมีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.89 ตามลำดับ บ่งชี้ว่ามีสหสัมพันธ์กัน ในเชิงบวก แสดงว่าค่าอัตราการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำกับอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำจะเกิดการชะสีมากขึ้น และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตามสมการอาร์เรเนียสได้ค่าพลังงานกระตุ้นของข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทอง ที่ช่วงเวลาการแช่ข้าว 0-6 ชั่วโมง เท่ากับ 32.22 กิโลจูล/โมล และ 31.31 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ และมีค่า k_0 เท่ากับ 0.15 และ 0.14 ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของอัตราการชะสี ($k_{leaching}$) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; E_a) ของการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการชะสี (ชั่วโมง ⁻¹)	พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)	สมการความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2)
ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์				
อุณหภูมิห้อง	0.06	32.22	$k_{leaching} = 0.15 \exp(-32.22/RT)$	0.87
40	0.14			
50	0.18			
60	0.20			
ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง				
อุณหภูมิห้อง	0.08	31.31	$k_{leaching} = 0.14 \exp(-31.31/RT)$	0.89
40	0.09			
50	0.16			
60	0.24			

4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก

4.2.1 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก

จากการคัดเลือกผลของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิพย์ และตราข้าวทอง ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากเวลาที่ทำการแช่ข้าวที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการอืดตัวหรือเข้าสู่สภาวะสมดุล ได้ผลดังนี้ ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ มานึ่งและตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ TPA (Texture Profile Analysis) วัดค่าความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) ของเมล็ดข้าว โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร แสดงผลดังตารางที่ 4.4 จากการทดลองพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของข้าวเหนียวดำและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าว ไม่มีผลต่อความแข็งและความเหนียวของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่อุณหภูมิมีผลต่อความแตกต่างของค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาของ การแช่ (ชั่วโมง)	ความแข็ง (กรัมแรง) ^{ns}	ความเหนียว (กรัมแรง) ^{ns}
ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิพย์			
อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	24	16381.71 ± 617.42	74.99 ± 21.60
40	4	17651.11 ± 668.09	73.93 ± 29.09
50	2	18115.73 ± 486.96	80.15 ± 26.24
60	2	17065.23 ± 750.44	52.42 ± 17.53
ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง			
อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	24	17352.88 ± 688.42	83.94 ± 26.39
40	4	18165.24 ± 578.27	78.60 ± 7.94
50	2	18786.53 ± 1587.12	78.33 ± 5.36
60	2	18598.83 ± 1066.03	63.60 ± 17.22

หมายเหตุ

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ที่อุณหภูมิใดๆ ข้าวเหนียวค้ำทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันในค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวเหนียวค้ำนึ่งสุก โดยข้าวเหนียวค้ำนึ่งสุกตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งมากที่สุด คือ 18786.53 ± 1587.12 กรัมแรง ในขณะที่ข้าวเหนียวค้ำตราไรท์พีที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความแข็งน้อยที่สุด คือ 16381.71 ± 617.42 กรัมแรง ข้าวเหนียวค้ำนึ่งสุกตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความเหนียวมากที่สุด คือ 83.94 ± 26.39 กรัมแรง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวค้ำตราไรท์พีมีค่าความเหนียวน้อยที่สุด คือ 52.42 ± 17.53 กรัมแรง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลของสัดส่วนการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวค้ำ (ผลการทดลอง 4.1.2) คือ ข้าวเหนียวค้ำที่เลือกนำมาหนึ่งสุกเป็นข้าวเหนียวค้ำที่เกิดการอิมตัว และมีสัดส่วนการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าความแข็งและความเหนียวที่ได้ออกมาไม่แตกต่างกัน ด้วยผลดังกล่าวอาจทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโดยใช้วิธีการวัดแบบ Back extrusion ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่า เพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าลักษณะเนื้อสัมผัส นราพร คาลัย และสุนันทา ทองทา (2551) รายงานว่าข้าวที่มีสัดส่วนการดูดซับน้ำ และสัดส่วนปริมาตรที่เพิ่มขึ้นสูง จะมีค่าความแข็งต่ำ ความเหนียวสูง เช่นเดียวกับ Kar *et al.*, 1999 ที่ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวต่อความแข็งของข้าว พบว่าข้าวหนึ่งที่แช่ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจะแข็งกว่าข้าวหนึ่งที่แช่ด้วยน้ำอุ่นหรือน้ำร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่เย็นทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ได้น้อยกว่าอุณหภูมิน้ำที่สูง ทำให้อะไมโลส ละลายน้ำและดูดน้ำได้น้อย มีการพองตัวของแป้งต่ำ ส่งผลให้มีความแข็งมากกว่า นอกจากนี้ข้าวที่มีสัดส่วนการดูดซับน้ำสูงจะมีปริมาณความชื้นภายในเมล็ดข้าวมากกว่าข้าวที่มีการดูดซับน้ำต่ำ ส่งผลให้เมล็ดแป้งเกิดการพองตัวของแป้งสูงมากเมื่อนำข้าวมาหนึ่งสุก ข้าวที่ได้จึงมีความแข็งน้อยกว่าข้าวที่มีสัดส่วนการดูดซับน้ำต่ำ

นราพร คาลัย และสุนันทา ทองทา (2551) ศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียว (กข6) และข้าวเจ้า (ขาวดอกมะลิ 105) โดยนำข้าว 20 กรัม เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร นำไปคัมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธีการวัดแบบ Back extrusion พบว่าข้าวเหนียวมีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 8,919 กรัมแรง และ 1,869 กรัมแรง ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเจ้ามีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 1,404 กรัมแรง และ 109 กรัมแรง ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของข้าวเหนียวค้ำมีค่าแตกต่างจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้ามาก เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวค้ำมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนา อีกทั้งข้าวหนึ่งสุกที่ได้มีลักษณะร่วน แข็ง เมล็ดไม่เกาะติดกันหรือเรียกว่าข้าวไม่มียางนั่นเอง ทำให้ข้าวมีค่าความแข็งสูง และค่าความเหนียวต่ำ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ ความเป็นกรดด่างของน้ำที่ใช้แช่ และการแช่ที่ระยะเวลาานานเกินไป ซึ่งจะทำให้สารที่มีในเมล็ดข้าวละลายออกสู่น้ำที่ใช้แช่ นอกจากนี้เมล็ดข้าวอาจจะงอกได้ ถ้ามีอากาศในน้ำเพียงพอ และอาจเกิดการหมักสารอินทรีย์ที่มีอยู่จากเอนไซม์ ซึ่งจะทำให้ข้าวมีสี กลิ่น และรสชาติที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการได้ นอกจากนี้ควรคำนึงถึง ปริมาณน้ำที่เมล็ดข้าวดูดซับน้ำ ระยะเวลาในการนึ่ง และ อุณหภูมิหรือความดันของไอน้ำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ทำให้ได้ข้าวหนึ่งที่มีระดับของการเกิดเจลาติไนซ์แตกต่างกัน (จารุภัทร ถือธา, 2545)

4.2.2 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ

เมื่อนำข้าวเหนียวดำหนึ่งสุกมาตำจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันจะได้ก้อนแป้ง นำก้อนแป้งที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ TPA (Texture Profile Analysis) วัดค่าความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) ของก้อนแป้ง ใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife ให้ตัวอย่างแต่ละก้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร แสดงผลดังตารางที่ 4.5 จากการทดลองพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของข้าวเหนียวดำ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าว มีผลต่อความแข็งและความเหนียวของก้อนแป้งข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ชนิดของข้าวเหนียวดำไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าความแข็งและค่าความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.5 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งข้าวเหนียวดำเมื่อแช่น้ำจมนึ่งข้าวอัมตัว

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาของ การแช่ (ชั่วโมง)	ความแข็ง (กรัมแรง)	ความเหนียว (กรัมแรง)
ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์			
อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	24	176.01 ± 10.79 ^a	58.00 ± 11.02 ^{bcd}
40	4	242.61 ± 8.14 ^c	34.03 ± 12.56 ^a
50	2	284.57 ± 5.57 ^d	40.04 ± 4.84 ^{ab}
60	2	189.59 ± 7.41 ^a	75.98 ± 4.79 ^d
ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง			
อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)	24	193.28 ± 1.73 ^a	65.80 ± 7.94 ^{cd}
40	4	217.65 ± 2.99 ^b	52.34 ± 3.12 ^{abc}
50	2	232.22 ± 2.31 ^{bc}	47.69 ± 4.28 ^{abc}
60	2	227.13 ± 13.63 ^{bc}	35.50 ± 8.94 ^{ab}

หมายเหตุ

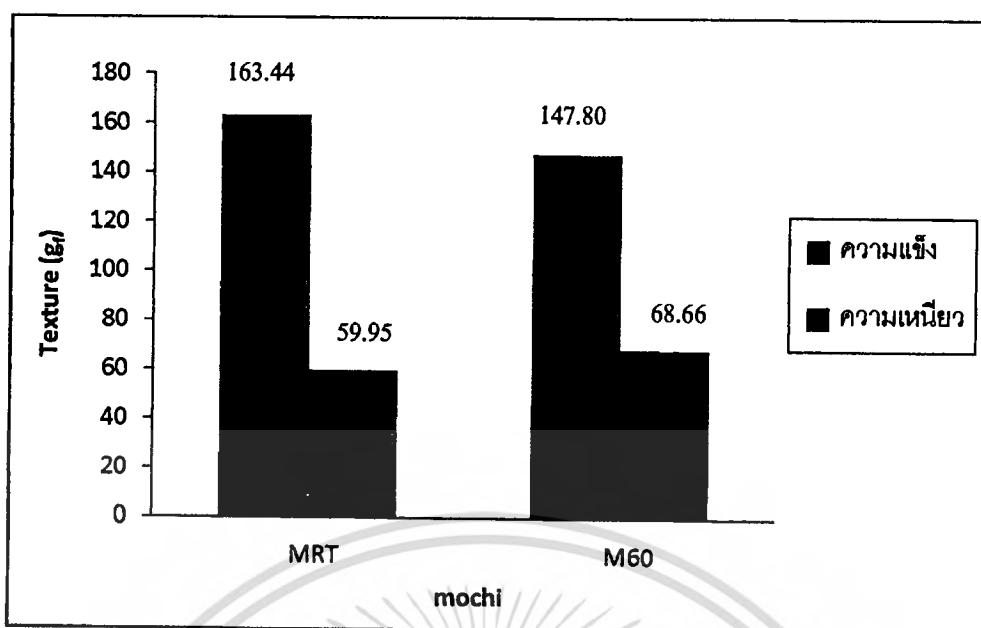
^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.5 พบว่าก่อนแปรงจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวมากที่สุด เท่ากับ 284.57 ± 5.57 กรัมแรง และ 75.98 ± 4.79 กรัมแรง ตามลำดับ ในขณะที่ก่อนแปรงจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวน้อยที่สุด เท่ากับ 176.01 ± 10.79 กรัมแรง และ 34.03 ± 12.56 กรัมแรง ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวดำตราข้าวทองพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความแข็งมากค่าความเหนียวมากที่สุด เท่ากับ 232.22 ± 2.31 กรัมแรง และ 65.80 ± 7.94 กรัมแรง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวน้อยที่สุด เท่ากับ 193.28 ± 1.73 กรัมแรง และ 35.50 ± 8.94 กรัมแรง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลค่าความแข็ง และความเหนียวของก่อนแปรงข้าวเหนียวดำที่ทดสอบโดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife กับข้าวเหนียวดำนึ่งสุกที่ทดสอบโดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความแข็งของก่อนแปรงมีค่าลดลงไปมาก เช่นเดียวกับค่าความเหนียวของก่อนแปรงที่มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งของก่อนแปรงข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าความแข็งของข้าวนึ่งคือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวดำนึ่งสุก และก่อนแปรงข้าวเหนียวดำมีค่าความแข็งมากที่สุด และมีค่าความแข็งน้อยที่สุดที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าที่อุณหภูมิห้อง ข้าวเหนียวดำนึ่งสุก และก่อนแปรงข้าวเหนียวดำมีค่าความเหนียวมากที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความเหนียวน้อยที่สุด จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความแข็ง และความเหนียวมีแนวโน้มที่ไม่เป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน อาจเกิดจากข้าวเหนียวดำมีเปลือกหนา เมื่อนำมาตำจะทำให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ยาก และเมื่อนำไปวัดคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสอาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

4.3.1 การทำโมจิจากข้าวเหนียวดำ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิ

การศึกษาคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจะทำการศึกษาตัวอย่างโมจิจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ (เนื่องจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์สามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง) จากเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (M60) นำข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาใส่ครก ตำจนข้าวเหนียวดำนึ่งสุกละเอียด ผสมนํ้าร้อยละ 5 แล้วตำจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้เป็น โมจิ นำโมจิที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) ของ โมจิ แสดงผลดังรูปที่ 4.8

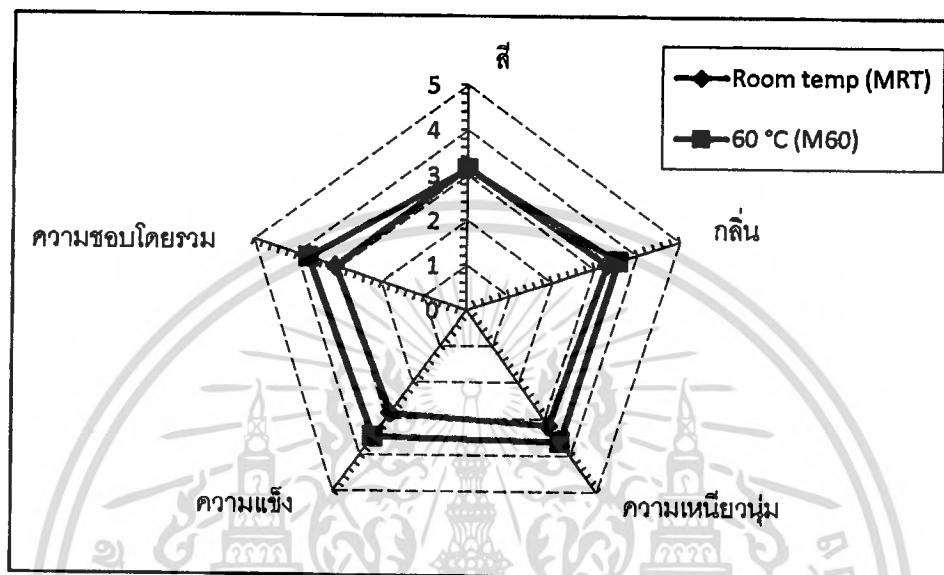


รูปที่ 4.8 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ โมจิที่เตรียมจากเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้พิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (M60)

จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของ โมจิข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (MRT) และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (M60) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยโมจิ MRT มีค่าความแข็งและค่าความเหนียว เท่ากับ 163.44 ± 23.55 กรัมแรง และ 59.95 ± 5.33 กรัมแรง ตามลำดับ โมจิ M60 มีค่าความแข็งและค่าความเหนียว เท่ากับ 147.80 ± 23.47 กรัมแรง และ 68.66 ± 2.20 กรัมแรง ตามลำดับ ในทำนองเดียวกับการทดลองของ Chuang and Yeh (2006) ที่ทำการวัดเนื้อสัมผัสของโมจิจากร้านค้าต่างๆ 15 แห่ง โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ตัวอย่างแต่ละก้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และกดเป็นระยะทาง 50% strain พบว่ามีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 261-63 กรัมแรง ทั้งนี้โมจิตัวอย่างมีส่วนผสมของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ และจากการทดลองที่ได้สุ่มตัวอย่างโมจิจากร้านค้าในกรุงเทพฯ 1 ตัวอย่าง เพื่อวัดค่าความแข็ง และค่าความเหนียว พบว่าโมจิตัวอย่างมีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 255.15 ± 27.24 กรัมแรง และ 42.43 ± 6.31 กรัมแรง ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Chuang and Yeh (2006)

4.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวดำ

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ โมจิจากข้าวเหนียวดำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น ความเหนียวนุ่ม ความแข็ง และความชอบโดยรวม โดยใช้ 5-points hedonic scale แสดงผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โมจิ

จากการทดลองพบว่า คะแนนความชอบของ โมจิข้าวเหนียวดำจากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้อง (MRT) และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (M60) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบ M60 มากกว่า MRT แต่ชอบสีของ MRT มากกว่า M60 เล็กน้อย กลิ่นของ โมจิ พบว่าผู้ทดสอบชอบ M60 มากกว่า MRT เนื่องจากในขั้นตอนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้องจะแช่ข้าวนาน 24 ชั่วโมง ซึ่งการแช่ที่ระยะเวลาอันยาวนานไป อาจเกิดการหมักสารอินทรีย์ที่มีอยู่จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้ข้าวมีสี กลิ่น และรสชาติที่ไม่ต้องการ ได้ ความเหนียวนุ่มและความแข็ง พบว่าผู้ทดสอบชอบ M60 มากกว่า MRT สอดคล้องกับค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของโมจิ คือ M60 มีค่าความแข็งน้อย และค่าความเหนียวมากกว่า MRT ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเหนียวมากกว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้ผู้ทดสอบมีความชอบ M60 มากกว่า MRT

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาผลของสภาวะการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 12.07 ± 0.07 และ 11.93 ± 0.04 ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรกของการแช่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอัตราการดูดซับน้ำจะลดช้าลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการแช่นานขึ้น จะมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ และระยะเวลานั้นในการแช่ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาสูงขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวดำมีแนวโน้มของร้อยละของขนาดความยาวและความกว้างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดความกว้าง สอดคล้องกับผลของสัดส่วนการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ และจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระดับการชะสีของน้ำที่ได้จากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำ พบว่าเมื่อแช่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลานานขึ้น การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในน้ำที่แช่ข้าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

5.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาของการแช่น้ำต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิใดๆ ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองไม่มีความแตกต่างกันในค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก กล่าวคือ ข้าวเหนียวดำที่เลือกนำมานึ่งสุกเป็นข้าวเหนียวดำที่เกิดการอิมด้ว และมีสัดส่วนการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าความแข็งและความเหนียวที่ได้ออกมาไม่แตกต่างกัน ในขณะที่พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของข้าวเหนียวดำ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าว มีผลต่อค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของก้อนแป้งข้าวเหนียวดำ โดยพบว่าข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียวมากที่สุด เท่ากับ 284.57 ± 5.57 กรัมแรง และ $75.98 \pm$

4.79 กรัมแรง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียวน้อยที่สุด เท่ากับ 176.01 ± 10.79 กรัมแรง และ 34.03 ± 12.56 กรัมแรง ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบผลของค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วที่ทดสอบ โดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife กับข้าวเหนียวคั่วหนึ่งตุกที่ทดสอบ โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร พบว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของก้อนแป้งมีค่าน้อยกว่าข้าวเหนียวคั่วหนึ่งตุก เช่นที่อุณหภูมิห้อง ก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วตราข้าวทอง มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 193.28 ± 1.73 กรัมแรง และ 65.80 ± 7.94 กรัมแรง ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเหนียวคั่วหนึ่งตุกตราข้าวทอง มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 17352.88 ± 688.42 กรัมแรง และ 83.94 ± 26.39 กรัมแรง ตามลำดับ

5.3 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวคั่ว

การศึกษาดูอย่าง โมจิจากข้าวเหนียวคั่วตราไร้ทิพย์ พบว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของโมจิจากข้าวเหนียวคั่วที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (MRT) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (M60) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกัน โดยโมจิ MRT มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 163.44 ± 23.55 กรัมแรง และ 59.95 ± 5.33 กรัมแรง ตามลำดับ และ โมจิ M60 มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ 147.80 ± 23.47 กรัมแรง และ 68.66 ± 2.20 กรัมแรง ตามลำดับ เนื่องจาก โมจิ M60 มีค่าความแข็งน้อย และค่าความเหนียวมากกว่าโมจิ MRT เล็กน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์โมจิ M60 มีความเหนียวนุ่มมากกว่า โมจิ MRT และเมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวคั่ว พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์โมจิ MRT และ โมจิ M60 แต่ผู้ทดสอบมีแนวโน้มของความชอบผลิตภัณฑ์โมจิ M60 มากกว่าโมจิ MRT

บรรณานุกรม

- จารุภัทร ลือชา. 2545. ผลของความเข้มข้นของไอโอดีนและพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องหนึ่ง และข้าวเปลือกหนึ่งเสริมไอโอดีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คารา เจตนะจิต. 2547. การวิเคราะห์สถานการณ์พืช-ข้าว. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการปรับปรุงพันธุ์พืชและขยายพันธุ์พืช ครั้งที่ 17. 40-48 หน้า.
- คำเนิน กาละดี พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์ และคันสนีย์ จำจด. 2545. ข้าวเก่า \ (ข้าวเหนียวดำ) พันธุ์กรรมข้าวไทยโบราณ : ภูมิปัญญาไทยอันควรอนุรักษ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://e-service.agri.cmu.ac.th/project/view_project_show.asp?id=115 (เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2551).
- ดวงกมล ลีมันจันทร์. 2550. การพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤพร วิมลเกษม. 2550. ข้าวกับการวัดเนื้อสัมผัส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.charpa.co.th/e_mag/ta_on_rice/ta_on_rice1.htm (เข้าถึงเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2551).
- นราพร คาลัย และสุนันทา ทองทา. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิชาการในงานการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท.) ครั้งที่ 34.
- พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์ กัญญารัตน์ รุจิรารุ่งเรือง และเกื้อพันธ์ ชยะสุนทร. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วด้วยวิธีการแช่น้ำ. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยเขต ร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 2. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.crdc.kmutt.ac.th/Data/abs66.doc> (เข้าถึงเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2551).
- เรย์มอนด์ แสง. 2551. CHEMISTRY 9/e. เล่มที่ 1. แปลโดย ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ยุทธนา คันติรุ่งโรจน์ชัย ทินกร เตียนสิงห์ และพรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล. 683 หน้า.
- รววิทย์ พาณิชพัฒน์. 2546. การปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์ข้าว. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 613 หน้า.

- วงศ์ศิริ เข้มสวัสดิ์. 2550. การศึกษาผลของสภาวะการแช่ข้าวต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิไลลักษณ์ พละกลาง. 2541. ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทย. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 472 หน้า.
- วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. จลนพลศาสตร์ และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. 480 หน้า.
- วุฒิชัย นาครักษา. 2535. เทคโนโลยีธัญพืช. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 198 หน้า.
- ศุภวุฒิ ใจงาม. 2550. ข้าวเก่า-เหนียวดำ-ข้าวนิล สูดยอดข้าวคุณค่าโภชนาการ. [ออนไลน์]. Available : <http://www.oknation.net/blog/ed/2008/07/14/entry-1>. (เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2551)
- สำนักงานคุ้มครองพันธุ์พืช. 2548. พันธุ์พืชขึ้นทะเบียน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.doa.go.th/pup/tabian.html> (เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2551).
- หทัยรัตน์ อุไรรงค์ ฉัฐหทัย เอพานิช และเสริมพร กิ่งพุทธพงษ์. 2548. การจัดสายพิมพ์ดีเอ็นเอของพันธุ์ข้าวไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.doa.go.th/birido/result47/hatairat.htm> (เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2551).
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 366 หน้า.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Ahromrit, A., Ledward, D.A. and Niranjana, K. 2006. High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice. **Journal of Food Engineering**. 79: 834-841.
- Bhattacharya, K. R. 1985. Parboiling of rice. In B. O. Juliano (Ed.), **Rice: Chemistry and technology**. Minnesota: The American Association of Cereal Chemists, Inc. pp. 289-348.
- Cagampang, G.B., C.M. Perez, and B.O. Juliano, B. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 24: 1588-1594.
- Chuang, G.C.C. and Yeh, A. I. 2006. Rheological characteristics and texture attributes of glutinous rice cakes (mochi). **Journal of Food Engineering**. 74: 314-323.
- Civille, G.V. and Szczesniak, S. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**. 4: 204-223.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Crank, J. 1975. **The mathematics of diffusion**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press.
- Crisp, J. and Woods, J. L. 1994. The drying properties of rapeseed. **Journal of Agriculture Engineering Research**. 57: 89–97.
- Cunningham, S.E., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. and Richardson, P.S. 2007. Modelling water absorption of pasta during soaking. **Journal of Food Engineering**. 82: 600–607.
- Demirtas, C., Ayhan, T. and Kaygusuz, K. 1998. Drying behavior of hazelnuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 76: 559–564.
- Ece, M. C. and Cihan, A. 1993. A liquid diffusion model for drying rough rice. **Transactions of ASAE**. 15: 156–159.
- Henry, B.S. 1996. "Natural Food Colours." In G.A.F. Hendry and J.D. Houghton, eds. **Natural Food Colorants**. Blackie Academic & Professional, Glasgow. pp. 40 – 79.
- Horigane, A. K., Toyoshima, H., Hemmi, H., Engelaar, W. M. H. G., Okubo, A., and Nagata, T. 1999. Internal hollows in cooked rice grains (*Oryza sativa* cv. Koshihikari) observed by NMR micro imaging. **Journal of Food Science**. 64: 1–5.
- Jowitt, R. 1974. The Terminology of Food Texture. **Journal of Texture Studies**. 5: 351-358.
- Juliano, B.O. 1972. "The Rice Caryopsis and Its Composition." In D.F.Houston (ed). **Rice: Chemistry and Technology**. Amer. Ass. Cereal Chem., Inc., st. Paul, Minnesota.
- Juliano, B. O. and Bechtel, D. B. 1985. The rice grain and its gross composition. In B. O. Juliano (Ed.), **Rice: Chemistry and Technology**. Minnesota: The American Association of cereal Chemists, Inc. pp. 17–57.
- Juliano, B. and Perez, C.M. 1983. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. **Journal of Texture Studies**. 14: 235-243.
- Kar, N., Jain, R.K. and Srivastav, P. P. 1999. Parboiling of dehusked rice. **Journal of Food Engineering**. 39: 17-22.
- Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Rafiee, S. and Khomeiri, M. 2007. Study of hydration kinetics and density changes of rice (Tarom Mahali) during hydrothermal processing. **Journal of Food Engineering**. 79: 1383–1390.
- Khazaei, J. and Mohammadi, N. 2009. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). **Journal of Food Engineering**. 91: 542–552.
- Ogawa, Y., Glenn, G. M., Orts, W. J. and Wood, D. F. 2003. Histological structures of cooked rice grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 7019–7023.

- Resio, A.N. C., Aguerre, R.J. and Suarez, C. 2003. Study of some factor affecting water absorption by amaranth grain during soaking. **Journal of Food Engineering**. 60: 391–396.
- Resio, A.N. C., Aguerre, R.J. and Suarez, C. 2005. Analysis of simultaneous water absorption and water–starch reaction during soaking of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**. 68: 265–270.
- Sowbhagya, C. M., Ramesh, B. S. and Ali, S. Z. 1994. Hydration, swelling and solubility behavior of rice in relation to other physicochemical properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 64: 1-7.
- Sung, W. C., Hong, M. C. and Chang T. S. 2008. Effects of storage and gamma irradiation on (japonica) waxy rice. **Radiation Physics and Chemistry**. 77: 92–97.
- Tang, S.X. 1995. **Special rice in China**. Shanghai Sci & Tech. Press, China.
- Texture Technologies Corp and Stable Micro Systems. 2009. **Texture Profile Analysis (TPA)**. [online]. Available : http://www.texturetechnologies.com/texture_profile_analysis.html.
- Thakur, A. Kr. and Gupta A. K. 2006. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking. **Journal of Food Engineering**. 75: 252–257.
- Turhan, M., Sayar, S. and Gunasekaran, S. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**. 53: 153–159.
- Türker, N. and Erdogdu, F. 2006. Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* var. L.). **Journal of Food Engineering**. 76: 579–583.

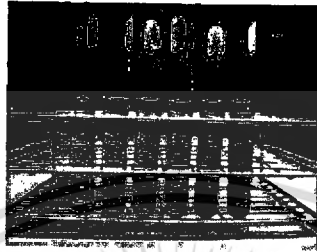


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

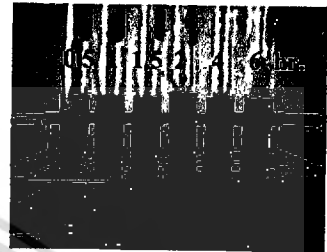
ภาคผนวก ก
การชะล้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำ



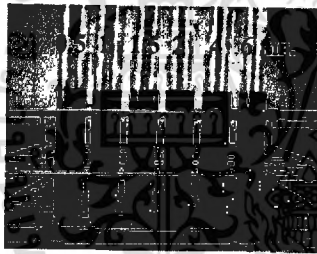
(a) เริ่มต้น



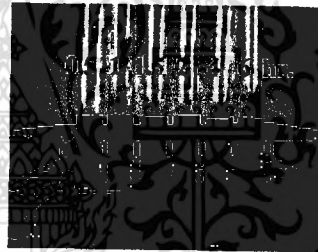
(b) อุณหภูมิห้อง



(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



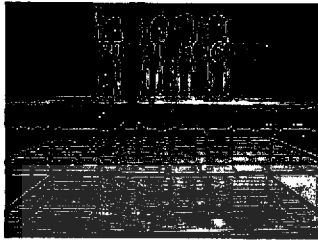
(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก1 การชะล้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่วิฑิตย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

(a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

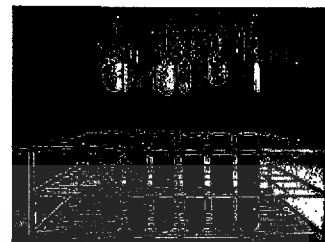
ภาคผนวก ก (ต่อ)



(a) เริ่มต้น



(b) อุณหภูมิห้อง



(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



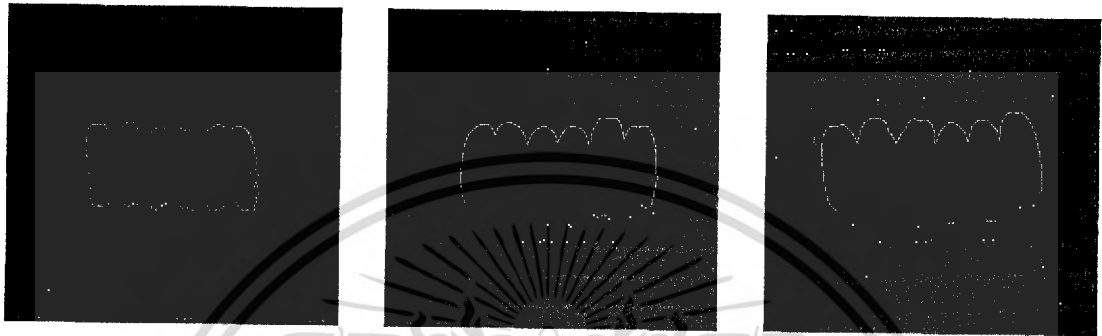
(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก2 การชะลึงของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

(a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก (ต่อ)
ข้าวเหนียวดำนิ่งสุก



(a) เริ่มต้น

(b) อุณหภูมิห้อง

(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก3 ข้าวเหนียวดำนิ่งสุกตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;
(a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศา
เซลเซียส และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวดำ

1. วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างข้าวเหนียวดำที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงใน aluminium can ที่ผ่านการอบ และทราบน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกรถน้ำหนัก แล้วนำไปอบซ้ำจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างเริ่มคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม) นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างข้าวเหนียวดำประมาณ 1 กรัม เติมอะดัลต์ (CuSO₄/K₂SO₄ อัตราส่วน 1:8) 7-10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15-25 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วกันกระแทก 2 ลูกในหลอดย่อยโปรตีน นำไปย่อยโปรตีนจนกระทั่งได้สารละลายสีฟ้าใส ปล่อยให้เครื่องดูดควันจนหมด และทิ้งไว้ให้เย็น นำหลอดตัวอย่างที่ได้มากลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% จำนวน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ตวงกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวจับแอมโมเนียหาค mixed indicator (0.1% Bromocresol green 10 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1% Methyl red 1 มิลลิลิตร) 2-3 หยด จะได้สารสีส้มแดง รอจนกระทั่งกลั่นเสร็จ นำตัวอย่างที่กลั่นเสร็จมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N \text{ HCl} \times 14 \times 100}{\text{Wt. Sample} \times 1000}$$

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

เมื่อ A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 3-4 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล ดวงปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 60-80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 140-180 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ไขมันต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัดไขมัน} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัดไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

4. ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

เผาด้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก และบันทึก นำตัวอย่างที่บดแล้ว 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องนำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาว หรือสีเทา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

5. ปริมาณเยื่อใยหยาบ (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครุชชีเบิล (crucible) นำ crucible ใส่เข้าไปในเครื่อง Hot Extraction Unit ถอด crucible เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.25% ที่อุณหภูมิ 150 มิลลิลิตร เติม n-Octanal (anti-foaming) 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด ลดความร้อนลงแล้วต้มเป็นเวลา 30 นาที กรองและล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง เติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ที่อุณหภูมิ 150 มิลลิลิตร เติม n-Octanal 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด ลดความร้อนลงแล้วต้มเป็นเวลา 30 นาที กรองและล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง ชักน้ำด้วยอะซิโตน ประมาณ 25 มิลลิลิตร แช่นาน 10 นาที แล้วกรองจนแห้ง จากนั้นนำ crucible ออกจากเครื่อง นำมาอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำ crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

แล้วปิดเตาเผาให้ค่อยๆ เย็นลง เมื่อเตาเผามีอุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส นำ crucible มาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเชื้อไฮโดรเจน

$$\text{เปอร์เซ็นต์เชื้อไฮโดรเจน} = \frac{\text{น้ำหนักครุชิวีลหลังเผา} - \text{น้ำหนักครุชิวีลหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ Total by different ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} + \text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} + \text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} + \text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} + \text{เปอร์เซ็นต์เชื้อไฮโดรเจน})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตาราง ค1 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียว
คำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง

	SS	df	MS	F	Sig.
ความกว้าง					
Between Groups	.043	1	.043	4.075	.048
Within Groups	.607	58	.010		
Total	.650	59			
ความยาว					
Between Groups	.019	1	.019	.510	.478
Within Groups	2.210	58	.038		
Total	2.229	59			
ความชื้น					
Between Groups	.030	1	.030	8.905	.041
Within Groups	.013	4	.003		
Total	.043	5			
ไขมัน					
Between Groups	.052	1	.052	1.453	.294
Within Groups	.144	4	.036		
Total	.197	5			
โปรตีน					
Between Groups	27.625	1	27.625	44.490	.003
Within Groups	2.484	4	.621		
Total	30.109	5			
คาร์โบไฮเดรต					
Between Groups	30.917	1	30.917	123.876	.000
Within Groups	.998	4	.250		
Total	31.916	5			
เมื่อไฮทอยาน					
Between Groups	.002	1	.002	.051	.833
Within Groups	.148	4	.037		
Total	.150	5			
เถ้า					
Between Groups	.042	1	.042	84.281	.001
Within Groups	.002	4	.001		
Total	.044	5			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค2 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์
ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	.111	5	.022	313.550	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	.112	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.081	5	.016	259.314	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	.082	17	.016		
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.061	5	.012	82.240	.000
Within Groups	.002	12	.000		
Total	.063	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.057	5	.011	258.413	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	.057	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค3 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง
ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	.091	5	.018	365.448	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	.092	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.058	5	.012	15.710	.000
Within Groups	.009	12	.001		
Total	.067	17			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.029	5	.006	68.599	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	.030	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.054	5	.011	14.102	.000
Within Groups	.009	12	.001		
Total	.063	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 44 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์
ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	90.521	5	18.104	281.752	.000
Within Groups	.771	12	.064		
Total	91.292	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	68.636	5	13.727	52.082	.000
Within Groups	3.163	12	.264		
Total	71.799	17			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	23.594	5	4.719	60.185	.000
Within Groups	.941	12	.078		
Total	24.535	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	25.026	5	5.005	230.304	.000
Within Groups	.261	12	.022		
Total	25.287	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค5 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช
ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	128.726	5	25.745	584.821	.000
Within Groups	.528	12	.044		
Total	129.254	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	77.060	5	15.412	132.016	.000
Within Groups	1.401	12	.117		
Total	78.461	17			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	33.626	5	6.725	122.697	.000
Within Groups	.658	12	.055		
Total	34.283	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	18.192	5	3.638	95.817	.000
Within Groups	.456	12	.038		
Total	18.648	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 6 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	88.434	5	17.687	913.524	.000
Within Groups	.232	12	.019		
Total	88.667	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	67.300	5	13.460	654.636	.000
Within Groups	.247	12	.021		
Total	67.547	17			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	51.973	5	10.395	94.799	.000
Within Groups	1.316	12	.110		
Total	53.289	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	14.999	5	3.000	114.113	.000
Within Groups	.315	12	.026		
Total	15.315	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ๗ ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง
ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	96.809	5	19.362	910.670	.000
Within Groups	.255	12	.021		
Total	97.064	17			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	75.012	5	15.002	1639.609	.000
Within Groups	.110	12	.009		
Total	75.122	17			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	45.429	5	9.086	128.070	.000
Within Groups	.851	12	.071		
Total	46.280	17			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	31.874	5	6.375	188.415	.000
Within Groups	.406	12	.034		
Total	32.280	17			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค8 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การชะลี่ยของเมล็ดข้าวเหนียวคำตราไร้ทิพย์ในระหว่าง
การแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	.368	6	.061	314.140	.000
Within Groups	.003	14	.000		
Total	.371	20			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	1.923	6	.321	1397.205	.000
Within Groups	.003	14	.000		
Total	1.927	20			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	3.667	6	.611	3874.377	.000
Within Groups	.002	14	.000		
Total	3.670	20			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	5.247	6	.874	2144.963	.000
Within Groups	.006	14	.000		
Total	5.252	20			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ๑๑ ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์การชะงักของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ในระหว่าง การแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

	SS	df	MS	F	Sig.
อุณหภูมิห้อง					
Between Groups	.649	6	.108	126.358	.000
Within Groups	.012	14	.001		
Total	.661	20			
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส					
Between Groups	.704	6	.117	1588.913	.000
Within Groups	.001	14	.000		
Total	.705	20			
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส					
Between Groups	2.339	6	.390	903.588	.000
Within Groups	.006	14	.000		
Total	2.345	20			
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส					
Between Groups	5.668	6	.945	370.220	.000
Within Groups	.036	14	.003		
Total	5.704	20			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 10 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุก
ตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว

Source	SS	df	MS	F	Sig.
HARDNESS					
Corrected Model	13561858.756 ^a	7	1937408.394	2.326	.077
Intercept	7738337766.035	1	7738337766.035	9288.611	.000
TEMP	11075673.594	3	3691891.198	4.432	.019
BGR	1743269.916	1	1743269.916	2.093	.167
TEMP * BGR	742915.246	3	247638.415	.297	.827
Error	13329593.711	16	833099.607		
Total	7765229218.502	24			
^a R Squared = .504 (Adjusted R Squared = .287)					
STICKNESS					
Corrected Model	1172.391 ^a	7	167.484	.396	.891
Intercept	133717.560	1	133717.560	316.251	.000
TEMP	1014.383	3	338.128	.800	.512
BGR	52.268	1	52.268	.124	.730
TEMP * BGR	105.739	3	35.246	.083	.968
Error	6765.132	16	422.821		
Total	141655.083	24			
^a R Squared = .148 (Adjusted R Squared = -.225)					

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค11 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ถดถอยเมื่อสัมพัทธ์ของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ
ตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอัมตัว

Source	SS	df	MS	F	Sig.
HARDNESS					
Corrected Model	16918.808 ^a	7	2416.973	40.999	.000
Intercept	777100.871	1	777100.871	13181.823	.000
TEMP	126.636	1	126.636	2.148	.181
BGR	11847.185	3	3949.062	66.987	.000
TEMP * BGR	4944.987	3	1648.329	27.960	.000
Error	471.620	8	58.952		
Total	794491.298	16			

^a R Squared = .973 (Adjusted R Squared = .949)

Source	SS	df	MS	F	Sig.
STICKNESS					
Corrected Model	2933.557 ^a	7	419.080	6.753	.008
Intercept	42515.450	1	42515.450	685.079	.000
TEMP	3.442	1	3.442	.055	.820
BGR	1074.213	3	358.071	5.770	.021
TEMP * BGR	1855.903	3	618.634	9.968	.004
Error	496.474	8	62.059		
Total	45945.481	16			

^a R Squared = .855 (Adjusted R Squared = .729)

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค12 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์ถดถอยเมื่อสัมพัทธ์ของโมจิจากข้าวเหนียวดำ
ตราไร้ทิพย์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

Source	SS	df	MS	F	Sig.
HARDNESS					
Treatment	244.453	1	244.453	.442	.574
Error	1105.499	2	552.750		
Total	98219.045	4			
STICKNESS					
Treatment	75.864	1	75.864	4.568	.166
Error	33.217	2	16.608		
Total	16649.098	4			

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค13 ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวดำ
ตราไร้ทิพย์

	SS	df	MS	F	Sig.
COLOR					
Corrected Model	13.379 ^a	20	.669	1.671	.134
Intercept	398.919	1	398.919	996.190	.000
PEOPLE	13.373	19	.704	1.758	.114
MOCHI	.007	1	.007	.017	.898
Error	7.608	19	.400		
Total	419.906	40			
Corrected Total	20.988	39			
^a R Squared = .637 (Adjusted R Squared = .256)					
SMELL					
Corrected Model	7.900 ^a	20	.395	.632	.842
Intercept	469.225	1	469.225	750.760	.000
PEOPLE	7.275	19	.383	.613	.853
MOCHI	.625	1	.625	1.000	.330
Error	11.875	19	.625		
Total	489.000	40			
Corrected Total	19.775	39			
^a R Squared = .399 (Adjusted R Squared = -.233)					
STICKINESS					
Corrected Model	20.348 ^a	20	1.017	1.257	.311
Intercept	461.924	1	461.924	570.508	.000
PEOPLE	18.318	19	.964	1.191	.354
MOCHI	2.030	1	2.030	2.507	.130
Error	15.384	19	.810		
Total	497.656	40			
Corrected Total	35.731	39			
^a R Squared = .569 (Adjusted R Squared = .116)					

หมายเหตุ Sig ≤ 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก13 (ต่อ) ค่าความแปรปรวนของการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจาก
ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิพย์

	SS	df	MS	F	Sig.
HARDNESS					
Corrected Model	16.362 ^a	20	.818	1.422	.224
Intercept	402.400	1	402.400	699.408	.000
PEOPLE	12.222	19	.643	1.118	.405
MOCHI	4.141	1	4.141	7.197	.015
Error	10.932	19	.575		
Total	429.694	40			
Corrected Total	27.294	39			
^a R Squared = .599 (Adjusted R Squared = .178)					
OVERALL					
Corrected Model	21.508 ^a	20	1.075	2.487	.026
Intercept	461.584	1	461.584	1067.671	.000
PEOPLE	17.463	19	.919	2.126	.054
MOCHI	4.045	1	4.045	9.356	.006
Error	8.214	19	.432		
Total	491.306	40			
Corrected Total	29.722	39			
^a R Squared = .724 (Adjusted R Squared = .433)					

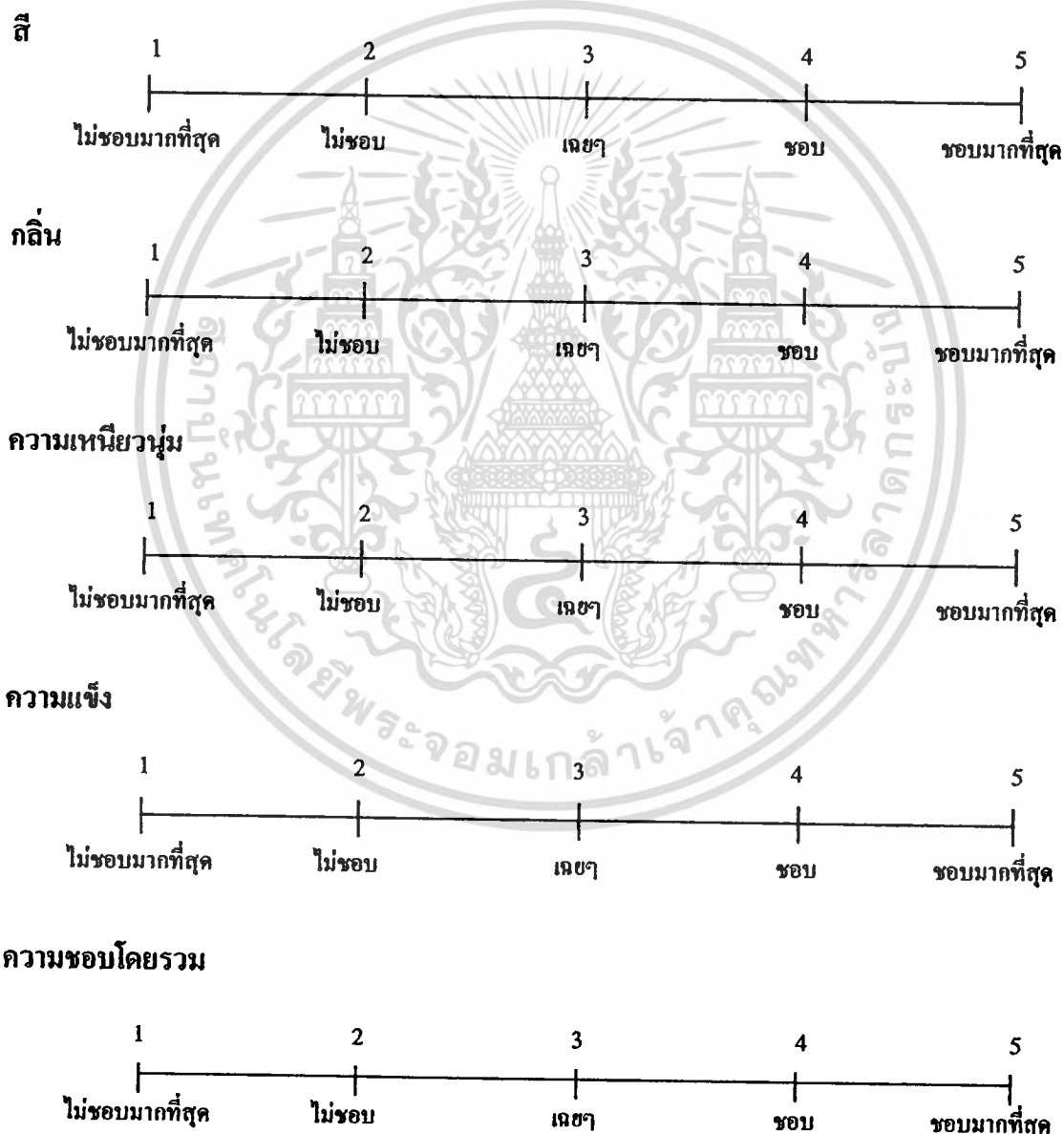
หมายเหตุ Sig ≤0.05 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

แบบทดสอบผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

ชื่อ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วขีดเส้นให้คะแนนความชอบในแต่ละ
คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลงบนสเกล โดยกำหนดให้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก
3 = เฉยๆ 4 = ชอบมาก 5 = ชอบมากที่สุด และกรณาวินิจฉัยระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง

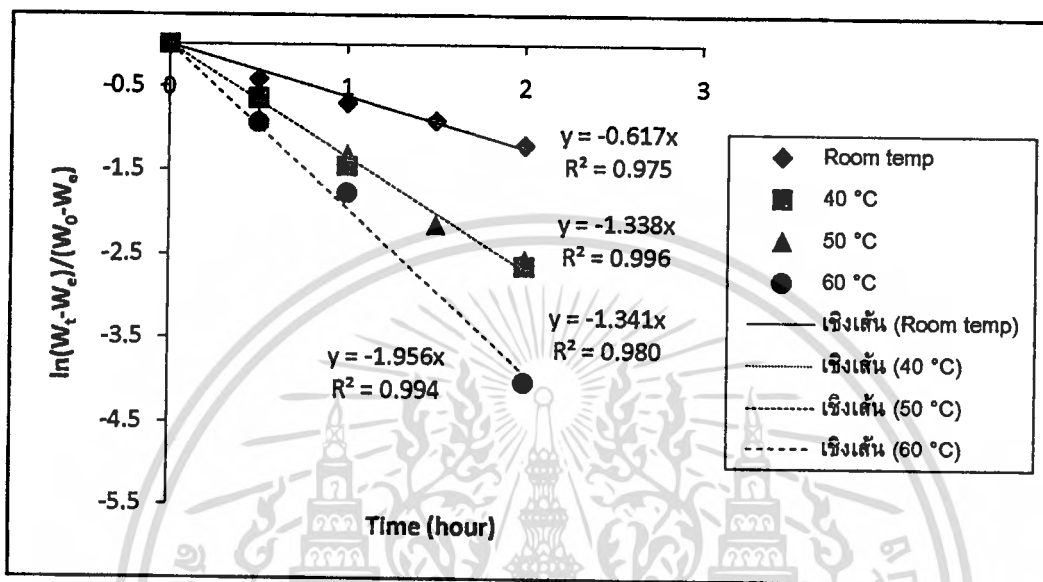


รูป ค1 แบบทดสอบผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

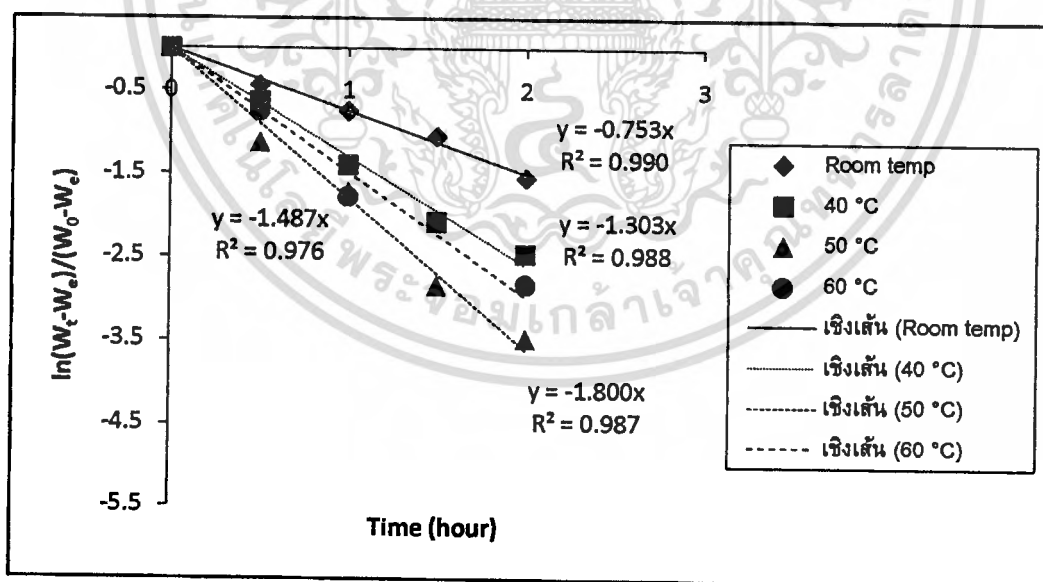
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์การดูดซับน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ของข้าวเหนียวดำ ในช่วงระยะเวลา 0-2 ชั่วโมง



(a)



(b)

รูป ง1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำในช่วงระยะเวลา 0-2 ชั่วโมงต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแสดงด้วยค่าความชัน; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และ

(b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาว อติสรา บรรคาศักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2526
ที่อยู่ 117 หมู่ 5 ต. เขาทอง อ. พยุหะคีรี จ. นครสวรรค์ 60130
ประวัติการศึกษา 2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
2549 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้