

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การศึกษากลไกการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำเพื่อผลิตภัณฑ์โมจิ

Study on Water Absorption Kinetic of Black Glutinous Rice for Moji Product



นางสาว รุจิรา ตาปราบ

RCH  
SB  
191  
.R5  
ร 661 ก

ลงทะเบียน.....  
เลขทะเบียน..... 115253  
วัน,เดือน,ปี..... 22 ก.พ. 2553

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆ

129166528  
i.....

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ สำเร็จได้จากการช่วยเหลือหลายฝ่าย ขอขอบคุณ นางสาว อติสรา  
บรรดาศักดิ์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ไร่ฉิม ที่นี้

รุจิรา ตาปราบ

กรกฎาคม 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อโครงการ: การศึกษากลไกการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำเพื่อผลิตภัณฑ์โมจิ

Study on Water Absorption Kinetic of Black Glutinous Rice for Moji Product

เงินทุนวิจัย: ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2552 จำนวนเงิน 20,000 บาท

ระยะเวลาทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง กันยายน 2552

ชื่อหน่วยงาน: คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล

ผู้ดำเนินการวิจัย: นางสาว รุจิรา ตาปราบ

### 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 และตราข้าวทอง มีสัดส่วนของการดูดซับน้ำสูงที่สุด เท่ากับ  $1.41 \pm 0.01$  และ  $1.37 \pm 0.01$  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 และจากการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงระดับการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร พบว่าการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด เท่ากับ  $1.66 \pm 0.03$  และ  $1.76 \pm 0.05$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ และระยะเวลาสูงขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำมีแนวโน้มของร้อยละของขนาดความกว้างและความยาวเพิ่มขึ้น ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมจากข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โมจิจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ได้จากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้อง (MRT) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และโมจิที่ได้จากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (M60) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวดำ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโมจิ MRT ไม่แตกต่างกันกับโมจิ M60 ( $p > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 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  $1.41 \pm 0.01$  and  $1.37 \pm 0.01$ , 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  $1.66 \pm 0.03$  and  $1.76 \pm 0.05$ , 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 ( $p > 0.05$ ).

## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
สารบัญรูป	iv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้าวเหนียวดำ	3
2.2 รงควัตถุของข้าวเหนียวดำ	5
2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับน้ำของข้าว	6
2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็วปฏิกิริยา	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	10
3.1 วัสดุคิบ	10
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	10
3.3 สารเคมี	10
3.4 วิธีการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	13
4.1 ผลการศึกษากลไกการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ	13
4.2 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ	22
4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	26
5.1 การศึกษากลไกการดูดซับน้ำต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ	26
5.2 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ	26
บรรณานุกรม	27

## สารบัญตาราง

หน้า

2.1	คุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเหนียวดำ.....	4
2.2	แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับน้ำของข้าว.....	6
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	13
4.2	อัตราการดูดซับน้ำ ( $k_{\text{absorption}}$ ) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; $E_a$ ) ของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	17
4.3	ค่าคงที่ของอัตราการชะสี ( $k_{\text{leaching}}$ ) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy; $E_a$ ) ของการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ.....	22
4.4	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งข้าวเหนียวดำเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว..	23



## สารบัญรูป

หน้า

2.1	ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าวเหนียวดำ	3
2.2	การหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์และความสัมพันธ์ของอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 9	
4.1	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำต่อสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง	14
4.2	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกันต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวแสดงด้วยค่าความชัน; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....	15
4.3	ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการดูดซับน้ำ ( $k_{\text{absorption}}$ ) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง.....	15
4.4	ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กันต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....	18
4.5	ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กันต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....	19
4.6	ค่าการดูดกลืนแสงของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังจากผ่านการแช่น้ำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง.....	20
4.7	ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการชะสี ( $k_{\text{leaching}}$ ) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง.....	21
4.8	คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของ โมจิที่เตรียมจากเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (M60).....	24 &
4.9	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ โมจิ.....	25



# 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 ตัวอย่างของพันธุ์ข้าวที่นิยมบริโภคในประเทศไทยได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข15 ปิ่นแก้ว 56 ขาวตาแห้ง ขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น ชนิดที่ 2 ข้าวเหนียว (glutinous rice) เป็นข้าวที่มีอะมิโลสเล็กน้อย ร้อยละ 5-8 เช่น ข้าวพันธุ์ กข8 สันป่าตอง เขียวรุ่ง และพระตะบอง เป็นต้น

ข้าวเหนียวดำ หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางภาคเหนือว่า ข้าวดำ เป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำหรือแดงดำ นิยมปลูกมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเชื่อว่าข้าวเหนียวดำเป็นสมุนไพร การปลูกข้าวเหนียวดำจึงเป็นการปลูกเพียงเพื่อใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น ซึ่งโรคที่ใช้ข้าวเหนียวดำรักษา คือ การตกเลือดของหญิงคลอดลูก (คำเนิน กาละดี และคณะ, 2545) การบริโภคข้าวเหนียวดำโดยทั่วไปจะนำเมล็ดข้าวสารมาแช่น้ำให้อิ่มตัวอย่างน้อย 5-6 ชั่วโมง หรือแช่ค้างคืน แล้วจึงนำไปนึ่งให้สุก การแช่ข้าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการผลิตข้าวสุก ซึ่งในขั้นตอนนี้เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำ ทำให้เมล็ดข้าวมีความอ่อนนุ่ม ในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกเมล็ด เช่น เมล็ดขยายตัวขึ้น (swelling of seed) มีออกซิเจนเข้าไปในเมล็ดมากขึ้น เป็นต้น (จวงจันท์ ควงพัตรา, 2529) สารสีหรือรงควัตถุ (pigment) ที่พบในข้าวเหนียวดำจัดอยู่ในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanindin-3-glucoside) มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีความไวต่อปฏิกิริยา และสามารถละลายได้ดีในน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี โดยการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากสภาวะต่างๆ ในกระบวนการแปรรูปและในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ (Henry, 1996) ซึ่งในขั้นตอนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน เยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดข้าวจะถูกทำลายและชะสารแอนโทไซยานินออกมาทำให้เกิดการสูญเสียสารแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวเหนียวดำ นอกจากนี้อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าว เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส เมื่อนำข้าวเหนียวมานึ่งสุกหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกทั้งการนำข้าวเหนียวดำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยังมีน้อยกว่าการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวเจ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังจากผ่านเอกซเรย์แช่ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน และคุณภาพของโมจิที่เตรียมจากข้าวเหนียวดำ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคูณลักษณะการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน

1.2.2 เพื่อศึกษาการระสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในขณะที่ทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน

1.2.3 เพื่อศึกษาคูณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคูณลักษณะการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตัวอย่าง 2 ชนิดที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิทำการแช่น้ำข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ที่อุณหภูมิห้องให้ทำการแช่น้ำข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงด้วย ศึกษาการระสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในขณะที่ทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาข้างต้น ศึกษาคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำนึ่งสุกหลังจากที่ผ่านการแช่น้ำเมื่ออิมตัวที่อุณหภูมิต่างๆ กัน และตรวจสอบคูณลักษณะเนื้อสัมผัสและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏ  
นครศรีธรรมราช  
วิทยาเขตสิเกา  
นครศรีธรรมราช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้าวเหนียวดำ

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



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

### 2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำ

คำเนิน กาละดี และคณะ (2545) ได้รายงานความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง (Brown rice) ข้าวสาร (White rice) และข้าวเหนียวดำ (Black glutinous rice) พบว่าข้าวเหนียวดำมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวอื่นๆ โดยเฉพาะปริมาณไขมัน และเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -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: คัดแปลงจากคำเนิน กาละดี และคณะ (2545)

### 2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

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

2. โปรตีน (Protein) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมีปริมาณมากกว่าคาร์โบไฮเดรต โปรตีนหลักในข้าวได้แก่ 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 ซึ่งจะถูกขับออกเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว โดยไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเม็ดไขมัน (Lipid Droplet) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชั้นเรียน และ  
ได้ดำเนินการสอน  
ด้วยวิธีบรรยาย  
และใช้สื่อประกอบ  
ในการเรียน การสอน  
โดยมีเอกสาร  
ประกอบการเรียน  
ดังนี้

- ๑. เอกสารประกอบการ  
เรียน
- ๒. สื่อประกอบ
- ๓. เอกสารประกอบ
- ๔. เอกสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  
สงวนไว้สำหรับการใช้งาน  
เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่  
อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์  
ด้านการค้า ไม่ว่าจะ  
ในรูปแบบใดก็ตาม หาก  
มีการนำเอกสารไปใช้  
โดยไม่ได้รับอนุญาต  
จะถือว่าผิดกฎหมาย  
และต้องรับผิดชอบต่อ  
เจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
ที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันในเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) จะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน (Protein Bodies) และในเมล็ดแข็งก็มีไขมันยึดเกาะอยู่ด้วย เมล็ดข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย คือประมาณร้อยละ 1.5-2.5 ในข้าวกล้อง และร้อยละ 0.3-0.7 ในข้าวสาร กรดไขมันส่วนใหญ่เป็นโอเลอิก (Oleic), ลิโนเลอิก (Linoleic) และปาล์มมิติก (Palmitic) อัตราส่วนของโอเลอิก และลิโนเลอิก เป็น 1:1 และไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะสกัดมาจากข้าวเหนียว 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 ชนิดของแร่ธาตุที่พบในเถ้าได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซิลิกอน แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับแร่ธาตุในดินที่ปลูก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามี การกระจายตัวของปริมาณเถ้าดังนี้ ในรำร้อยละ 51 ในคัพภะร้อยละ 10 ในเปลือกร้อยละ 11 และในข้าวสารร้อยละ 28 (Juliano, 1972)

## 2.2 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 ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุและให้สีในทุกระดับของต้นข้าวที่เป็นลำต้นและใบ และเกือบทุกส่วนของช่อดอก ยกเว้นในส่วนของเอ็มบริโอ และเอนโดสเปิร์มที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุแอนโทไซยานิน จะอยู่ในแวคิวโอลที่อยู่ในชั้นของเอพิเอดร์มอลเซลล์ของใบ ดอก และผลของพืช และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแวคิวโอลเปลี่ยนไป ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 จะให้สีส้มแดง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 6 จะไม่มีสี ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6 จะให้สีน้ำเงินถึงม่วง แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้ในน้ำ (วิไลลักษณ์ พละกลาง, 2541) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาของการเจริญเติบโต อุณหภูมิ หรือแสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการ

สังเคราะห์ และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มของสีที่ปรากฏเปลี่ยนไป

### 2.3 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.%) โดยแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับน้ำของข้าวมีดังนี้ 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	$MR = A_0 \exp(-k_1 t) + A_1 \exp(-k_2 t)$
5	Modified Page	$MR = \exp(-kt)^N$

หมายเหตุ  $MR = M - M_e / M_s - M_e$   $A, A_0, A_1$  และ  $B$  คือ ค่าคงที่การแช่

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

$N$  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)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อ  $\phi$  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 เรพซิด (Crisp and Woods, 1994) สำหรับเมล็ดข้าวจัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุรูปทรงกลม ได้สมการของ Fick's second law ดังนี้

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

เมื่อ  $M$  คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ (d.b.%)  $M_c$  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 โดยค่าความชื้น (ค่า  $k$ ) มีความสัมพันธ์กับค่า  $D_{eff}$  ของแบบจำลองนี้คือ

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

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $D_{eff}$ ) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.3) โดยใช้ความชื้นที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของสัดส่วนปริมาณความชื้น ( $\ln MR$ ) 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  $D_{eff} = -9.60 \exp(-4109.6/T_u)$  ในทำนองเดียวกับ Khazaei and Mohammadi (2009) ที่พบว่า Page model มีความเหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์และอธิบายพฤติกรรมการดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเมล็ดคาง ดังสมการ  $M_t - M_0 = t/(k_1 + k_2t)$  โดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r^2$ ) มากที่สุด และมีค่า RMSE (%) น้อยที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประมาณ  $10^{-11}$  ตารางเมตร/วินาที

วงศ์ศิริ เข็มสวัสดิ์ (2550) ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและเวลาต่อการดูดน้ำของเมล็ดข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวหอมดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมดอกมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวเจ้าหอมนิล จากการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page model ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองดีที่สุด และได้นำกฎข้อที่สองของฟิคมาใช้อธิบายค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำเข้าสู่ข้าว โดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำเข้าสู่ข้าวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่สูงขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสมิค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่กระจายความชื้นอยู่ในช่วง 22.33 - 27.74 กิโลจูล/โมล

## 2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็วปฏิกิริยา

อัตราเร็วปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารองค์ประกอบและแปรผันตามค่าคงที่ของปฏิกิริยาซึ่งมีตัวแปรต่างๆ เข้ามามีอิทธิพล และอุณหภูมิตเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุด โดยทั่วไปอัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีส่วนมากขึ้นกับอุณหภูมิ สำหรับปฏิกิริยาอุณหภูมิค่าคงที่ปฏิกิริยาเขียนในรูปของฟังก์ชันอุณหภูมิ 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 (-) ของเทอมเอ็กซ์โพเนนท์  $E_a/RT$  บอกให้เราทราบว่า ค่าคงที่อัตราลดลง เมื่อพลังงานกระตุ้นเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมการนี้สามารถแสดงในรูปแบบที่มีประโยชน์มากขึ้น โดยการใส่ลอการิทึมทั้งสองด้าน

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

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

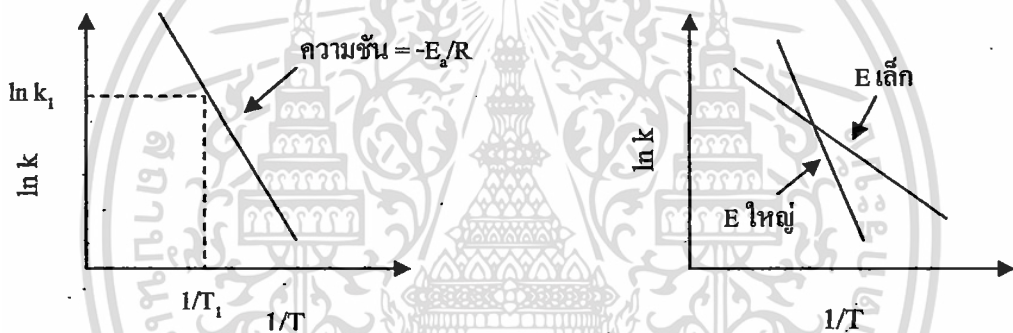
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.5) สามารถจัดรูปแบบใหม่ให้เป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

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

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

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



รูปที่ 2.2 การหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ และความสัมพันธ์ของอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

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

## บทที่ 3

# อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเหนียวดำ (Black glutinous rice) ตราไร่ทิพย์ (บริษัทไร่ชัยฤๅญะ จำกัด) และตราข้าวทอง (บริษัทอุตสาหกรรมอาหารไทย (1964) จำกัด)

### 3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Mettler รุ่น WNB Basic, เยอรมันนี)

ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น UM 400, เยอรมันนี)

เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น)

เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (OHAUS, AR2140, สวิตเซอร์แลนด์)

โถดูดความชื้น (Desiccator)

UV-VIS สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SHIMADZU UV-1601, ญี่ปุ่น)

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XT2i)

เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย (Fibertec รุ่น 1020 M6, สวีเดน)

เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Gerhardt รุ่น S306AK, เยอรมันนี)

เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt รุ่น VAP30, เยอรมันนี)

เตาเผา (Carbolite รุ่น CWF 11/13, อังกฤษ)

ถังล้าง และอุปกรณ์เครื่องครัว

### 3.3 สารเคมี

กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ), กรดไฮโดรคลอริก (HCl), เอทานอล 95% ( $C_2H_5OH$ ), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บีโตรีเลียมอีเทอร์, โบรโมครีโซลกรีน (Bromocresol green), เมทิลเรด (Methyl red) คอปเปอร์ซัลเฟต ( $CuSO_4$ ), โพแทสเซียมซัลเฟต ( $K_2SO_4$ ), บอริก ( $H_3BO_3$ ), อะซีโตน ( $CH_3COCH_3$ ) สารต้านการเกิดฟอง (n-Octanol), น้ำกลั่น (Distilled water)

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 ศึกษากลไกการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

##### 3.4.1.1 ศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

คัดเลือกเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง โดยคัดเลือกเมล็ดที่ลีบ หัก และมีสีซีดออก จากนั้นนำข้าวเหนียวดำที่มีเมล็ดสมบูรณ์ และขนาดเมล็ดใกล้เคียงกันมาสุ่มตัวอย่าง โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำจำนวน 10 เมล็ด จากข้าวเหนียวดำ 10 กรัม นำมาวัด ความกว้าง (Width; มิลลิเมตร) และความยาว (Length; มิลลิเมตร) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำ โดยใช้ เวอร์เนียคาลิเปอร์ บันทึกข้อมูล และคำนวณค่าเฉลี่ย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้าวเหนียวดำ มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

##### 3.4.1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการแช่ต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง 10 กรัม ที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ทำการแช่ข้าวเหนียวดำ (soaking) ที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ( $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส) โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ แต่ละอุณหภูมิทำการแช่ข้าวเหนียวดำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิห้อง ให้ทำการแช่ข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพิ่มเติม ซึ่งน้ำหนักของข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ และตราข้าวทอง ก่อนและหลังการแช่น้ำ และวัดขนาด กว้างและยาวของเมล็ดข้าวทั้งก่อนและ หลังการแช่น้ำทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีจาก Kashaninejad *et al.*, 2007)

##### 3.4.1.3 ศึกษาการชะตัวของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่

นำน้ำที่ได้จากการแช่ข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ 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 ศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

##### 3.4.2.1 การทำโมจิจากข้าวเหนียวดำ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิ

การศึกษาคูณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจะทำการศึกษาตัวอย่าง โมจิจากข้าวเหนียวดำตราไร้ทิพย์ โดยใช้สภาวะในการแช่ข้าวเหนียวดำก่อนนำมาทำโมจิที่ทำให้ เมล็ดข้าวเกิดการอืดตัวหรือเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำ ข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาใส่ครก ตำจนข้าวเหนียวดำนึ่งสุกละเอียด ผสมน้ำลงไปร้อยละ 5 แล้วตำจน ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้เป็นโมจิ นำโมจิที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ด้านค่า

ความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) โดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife เตรียม โมจิ โดยให้ โมจิแต่ละก้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร กำหนดค่าความเร็วของหัวกวัดก่อนสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Pre-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วของหัวกวัดขณะสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที และค่าความเร็วของหัวกวัดในช่วงหลังสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยให้กดเป็นระยะทาง 50% strain (คัดแปลงวิธีจาก Jeong *et al.*, 2007) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

#### 3.4.2.2 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 ผลการศึกษากลไกการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

##### 4.1.1 การศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

เมื่อสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองมาชนิดละ 10 เมล็ด จากข้าวเหนียวดำ 10 กรัม แล้วนำมาศึกษาขนาด และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

คุณสมบัติ	ไรทิพย์	ข้าวทอง
<b>ทางกายภาพ</b>		
กว้าง (มิลลิเมตร)	$2.97 \pm 0.02^b$	$2.92 \pm 0.04^a$
ยาว (มิลลิเมตร) <sup>ns</sup>	$7.73 \pm 0.12$	$7.69 \pm 0.12$
<b>ทางเคมี</b>		
ความชื้น (ร้อยละ)	$12.07 \pm 0.07^b$	$11.93 \pm 0.04^a$
ไขมัน (ร้อยละ) <sup>ns</sup>	$2.45 \pm 0.17$	$2.64 \pm 0.21$
โปรตีน (ร้อยละ)	$5.48 \pm 0.83^a$	$9.78 \pm 0.74^b$
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	$77.40 \pm 0.59^b$	$72.85 \pm 0.39^a$
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ) <sup>ns</sup>	$1.27 \pm 0.22$	$1.30 \pm 0.15$
เถ้า (ร้อยละ)	$1.33 \pm 0.02^a$	$1.50 \pm 0.02^b$

หมายเหตุ

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>ns</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

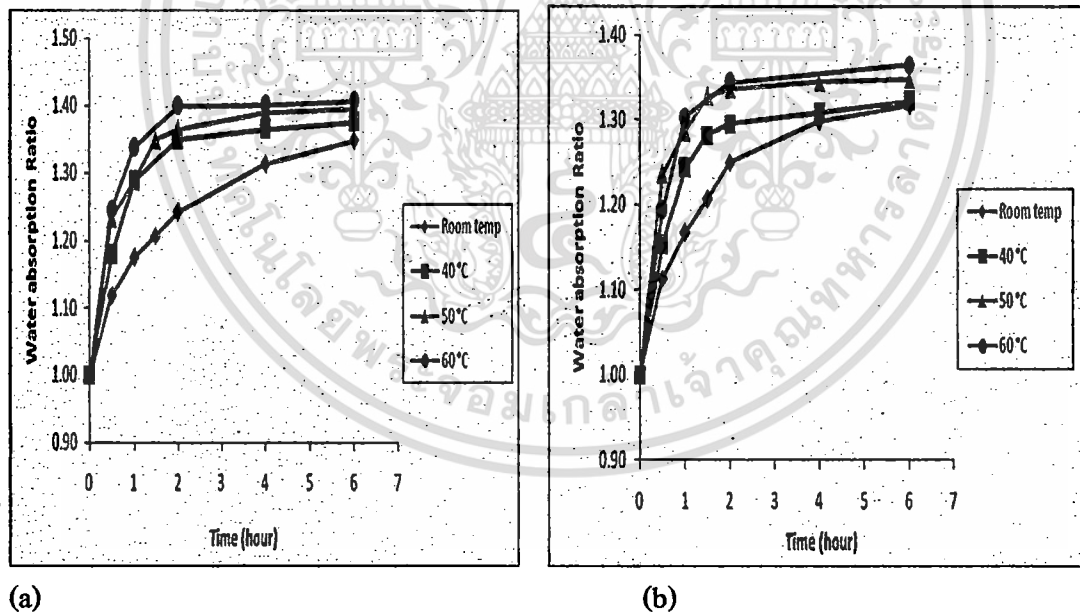
##### 4.1.2 การวิเคราะห์กลไกการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5-6 ชั่วโมง มีการดูดซับน้ำในเมล็ดข้าวแตกต่างกันไป แสดงผลดังรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าเมื่อข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มี

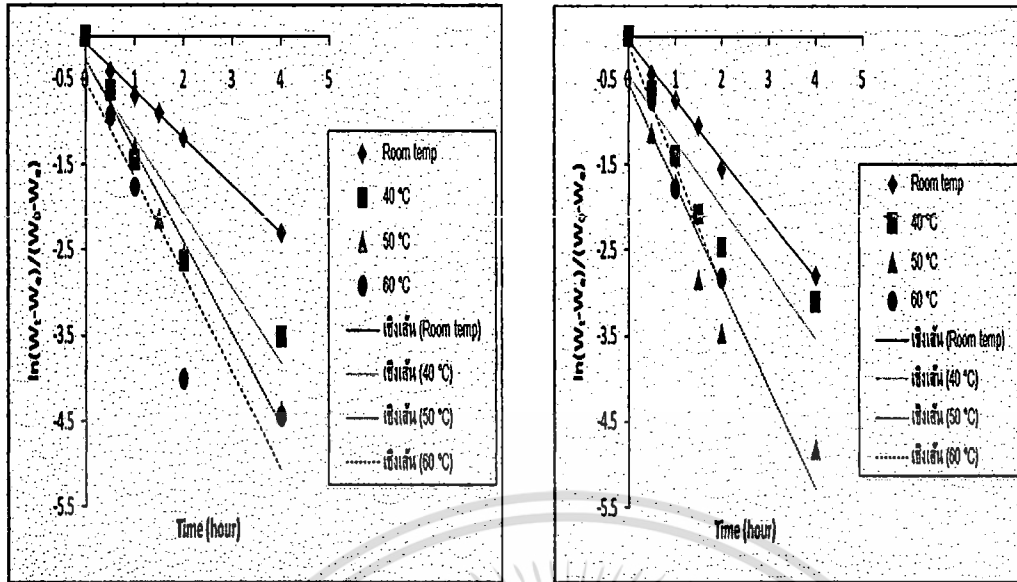
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่โดยเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการแช่ที่อุณหภูมิ 50, 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 1.25-1.41, 1.23-1.40, 1.18-1.38 และ 1.12-1.35 ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้าวเหนียวค่าตราข้าวทอง เมื่อแช่ข้าวเหนียวค่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการแช่ที่อุณหภูมิ 50, 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) เมื่อนำมาพล็อตกราฟระหว่าง  $\ln(W_t - W_0)/(W_0 - W_0)$  กับเวลา โดยที่  $W_0$  คือ สัดส่วนการดูดซับน้ำเริ่มต้น  $W_t$  คือ สัดส่วนการดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ และ  $W_c$  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 แฟลक्टरความถี่ นำค่า  $k_{\text{absorption}}$  ที่ได้มาสร้างกราฟระหว่าง  $\ln k_{\text{absorption}}$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิ ( $1/T$ ) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง มีค่าความชันเท่ากับ  $-E_a/R$  กราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



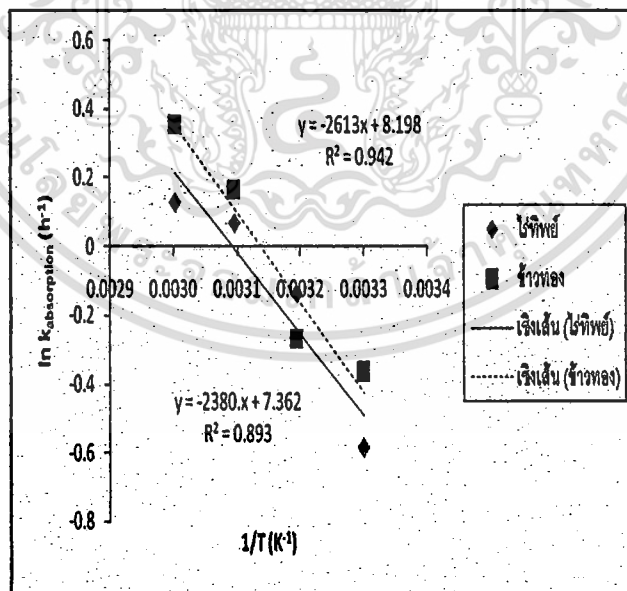
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวค่าต่อสัดส่วนของการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว; (a) ข้าวเหนียวค่าตราไรท์พิช และ (b) ข้าวเหนียวค่าตราข้าวทอง



(a)

(b)

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



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองตามความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียส ดังรูปที่ 4.3 พบว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ  $9.78 \pm 0.74$  มากกว่าข้าวเหนียวดำตราไรท์พิชที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ  $5.48 \pm 0.83$  ซึ่งเมล็ดที่มีองค์ประกอบของโปรตีนสูง จะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าเมล็ดที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งและไขมัน หรืออาจเกิดจากความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์เก่าหรือเมล็ดที่เก็บไว้นาน ย่อมดูดซับน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เก่า เมมเบรนต่างๆ ภายในเมล็ดมีความสามารถในการกักเก็บสาร (integrity control) ต่ำ น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ๆ (จางจันทรดวงพัตรา, 2529) ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช จากตารางที่ 4.2 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองและตราไรท์พิชมีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 1.43 และ 1.13 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำเท่ากับ 1.18 และ 1.07 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำเท่ากับ 0.77 และ 0.87 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้องมีอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.69 และ 0.56 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Thakur and Gupta (2006) ที่ทำการแช่ตัวอย่างข้าวเปลือก (paddy) ข้าวกล้อง (brown rice) และแกลบ (husk) ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองของ Khazaai and Mohammadi (2009) ที่รายงานผลของการแช่ตัวอย่างเมล็ดงาคำในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 27, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดงาคำ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดงาคำมากที่สุด และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r^2$ ) ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองมีค่าเท่ากับ 0.89 และ 0.94 ตามลำดับ บ่งชี้ว่ามีสหสัมพันธ์กันในเชิงบวกมาก แสดงว่าอุณหภูมิและค่าอัตราการดูดซับน้ำมีความสัมพันธ์กันมาก หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวจะดูดซับน้ำได้มากขึ้น และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการดูดซับน้ำตามสมการอาร์เรเนียส ได้ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ของการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวดำตราไรท์พิชและตราข้าวทอง เท่ากับ 19.79 กิโลจูล/โมล และ 21.72 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ และมีค่า  $k_0$  เท่ากับ 0.91 และ 1.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานกระตุ้นของข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช 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 แสดงว่าเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองเกิดการดูดซับน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพืชอื่นๆ ดังกล่าว

ข้างต้น ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด หรืออาจเกิดจากความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ (จงจันทร์ ควงพัตรา, 2529)

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

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการดูดซับน้ำ (ชั่วโมง <sup>-1</sup> )	พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)	สมการความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r^2$ )
<b>ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์</b>				
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			
<b>ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง</b>				
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			

#### 4.1.3 การวิเคราะห์ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียวดำหลังการแช่น้ำ

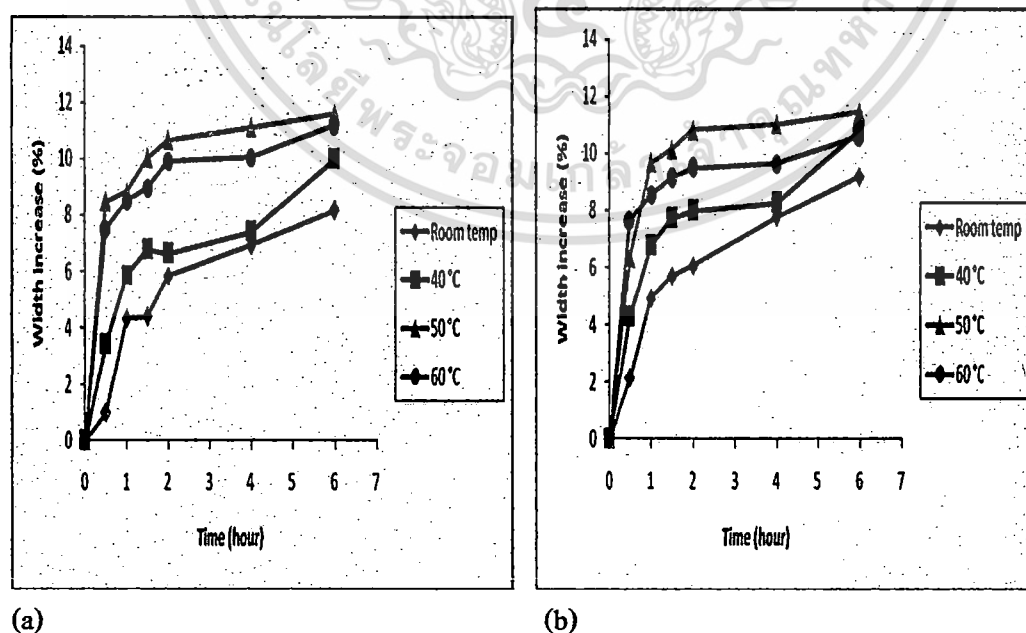
จากการสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวดำจำนวน 10 เมล็ด วัดความกว้าง และความยาว ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองหลังแช่น้ำ พบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาเพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มของขนาดความกว้าง และความยาวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อความแตกต่างของขนาดความกว้าง และความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดความกว้าง สอดคล้องกับการทดลองของ Abromrit *et al.*, (2006) ที่รายงานว่าความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวมีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาของการแช่ข้าวที่มากขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้าง ในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรกของการแช่ข้าวเมล็ดข้าวเหนียวดำจะมีการขยายขนาดมากกว่า ในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังของการแช่ โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 6 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์มีขนาดความกว้างและความยาวของเมล็ดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 เมกะปาสกาล (MPa) มีสัดส่วนการเพิ่มขนาดของความกว้างและความยาวน้อยกว่าร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ ตรงกันข้ามกับข้าวนี้ (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) กล่าวว่าร้อยละที่มากขึ้นของเนื้อเยื่อเมล็ดในระหว่างการแช่ทำให้เกิดช่องว่างภายในซึ่งจะเกิดตามแนวขวาง น้ำที่ผ่านเข้าไปและรอยแตกตามแนวขวางที่กว้างมากขึ้น ทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งจะถูกดันเข้าด้านในตามแนวยาว เป็นเหตุให้ด้านยาวขยายมากกว่าด้านกว้าง

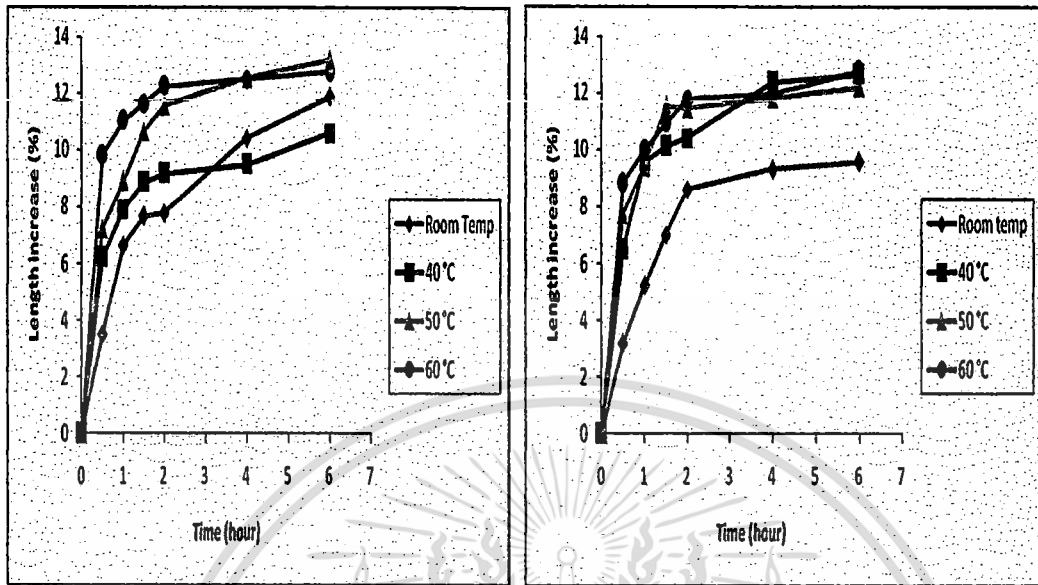


รูปที่ 4.4 ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ก็นต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเมล็ด

ข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไรท์พี และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





(a)

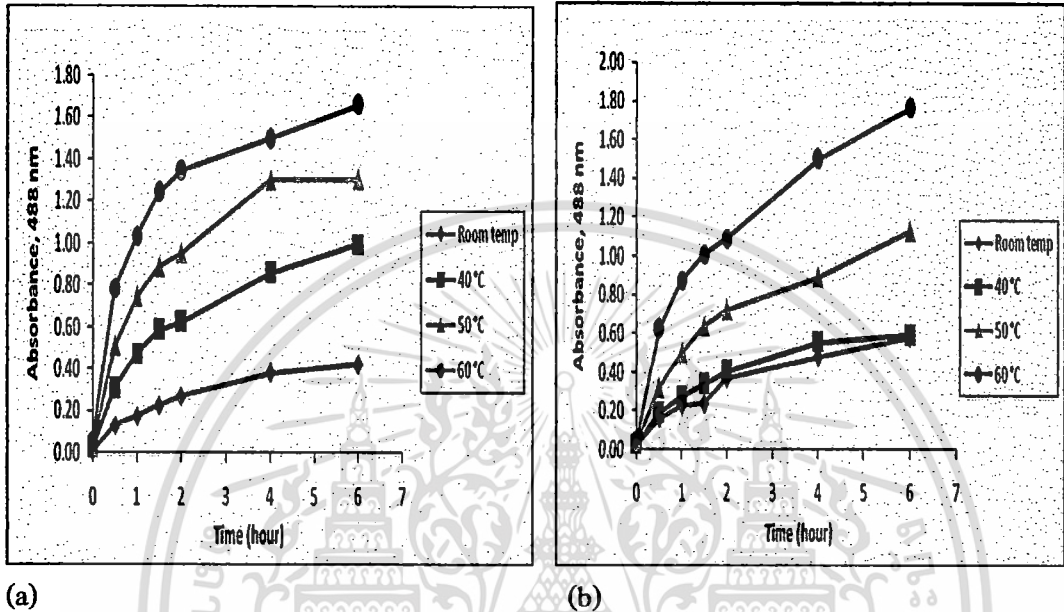
(b)

รูปที่ 4.5 ผลของการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ก้นต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำ; (a) ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และ (b) ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง

4.1.4 การศึกษาการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่

การศึกษากการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ ใช้เพื่อติดตามระดับความเข้มของสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่ที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไป โดยนำน้ำที่ได้จากการแช่ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และข้าวทอง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร แสดงผลดังรูปที่ 4.6 จากการทดลองพบว่าเมื่อแช่ข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาเพิ่มขึ้น การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในน้ำที่แช่ข้าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่อุณหภูมิ 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 ชั่วโมงพบว่าข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ และตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ  $0.95 \pm 0.03$  และ  $0.53 \pm 0.03$  ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลาการแช่ข้าว นาน 24 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำตราข้าวทองมีค่าการดูดกลืนแสง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการแช่ข้าว นาน 4-6

ชั่วโมง ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิพ์มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจากเวลาการแช่ 6 ชั่วโมง การที่ข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาการแช่ข้าว 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน อาจเกิดจากความแตกต่างของชนิดของพันธุ์ข้าว



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

ในขั้นตอนการแช่ข้าวน้ำจะแพร่กระจายเข้าสู่เมล็ดข้าว และชะของค์ประกอบทางเคมีบางอย่างภายในเมล็ดออกมา ซึ่งสารสีหรือรงควัตถุ (pigment) ที่พบในข้าวเหนียวดำมีสีม่วงดำหรือแดงก่ำจัดอยู่ในกลุ่มแอนโทไซยานิน แอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความไวต่อปฏิกิริยามาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี ซึ่งในขั้นตอนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน เยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดข้าวจะถูกทำลายเกิดการชะสารแอนโทไซยานินออกมาละลายอยู่ในน้ำที่แช่ข้าว ค่าจากการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อการชะสีของข้าวเหนียวดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

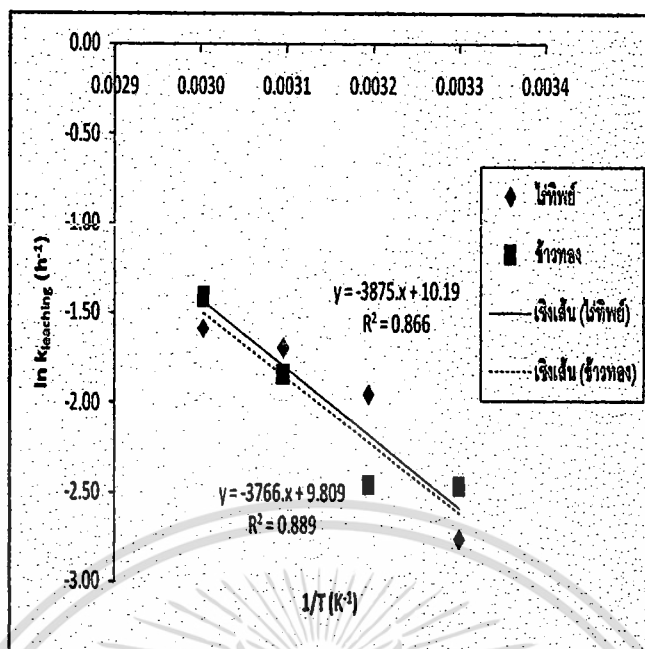
จากรูปที่ 4.6 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวกับค่าอัตราการชะสี ( $k_{\text{leaching}}$ ) ได้จากความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียนส์ที่แสดงในรูป  $k_{\text{leaching}} = k_0 \exp(-E_a/RT)$  โดยหาค่าความชัน (slope) ของแต่ละอุณหภูมิของการชะสีที่ช่วงเวลา 0-6 ชั่วโมง แล้วนำค่าความชันที่ได้ของแต่ละอุณหภูมิมาสถาสร้างกราฟระหว่าง  $\ln k_{\text{leaching}}$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิ ( $1/T$ ) ได้กราฟดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



๑. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๒. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๓. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๔. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๕. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๖. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๗. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๘. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๙. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ๑๐. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวกับอัตราการชะสี ( $k_{\text{leaching}}$ ) ของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทอง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์มีอัตราการชะสีมากกว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทองเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ และตราข้าวทองมีอัตราการชะสีมากที่สุดเท่ากับ 0.20 และ 0.24 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการชะสีเท่ากับ 0.18 และ 0.16 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการชะสีเท่ากับ 0.14 และ 0.09 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ และที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการชะสีน้อยที่สุดเท่ากับ 0.06 และ 0.08 (ชั่วโมง<sup>-1</sup>) ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Türker and Erdogan (2006) ที่พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการสกัดแอนโทไซยานินจาก black carrot จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของแอนโทไซยานินมากขึ้น เนื่องจากครใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดเชื้อหุ้มเซลล์ของ black carrot จะถูกทำลายทำให้แอนโทไซยานินถูกชะออกมา จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าอัตราการชะสีเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่แช่สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อแช่ข้าวในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดการชะสีของเมล็ดข้าวมากขึ้น และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r^2$ ) ระหว่างอุณหภูมิกับค่าอัตราการชะสีของข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์และข้าวทองมีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.89 ตามลำดับ บ่งชี้ว่ามีสหสัมพันธ์กันในเชิงบวก แสดงว่าค่าอัตราการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำกับอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมล็ดข้าวเหนียวดำจะเกิดการชะสีมากขึ้น และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตามสมการอาร์เรเนียสได้ค่าพลังงานพลังงานกระตุ้นของข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตราไรทีพีย 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 ( $k_{\text{leaching}}$ ) และพลังงานกระตุ้น (Activation energy;  $E_a$ ) ของการชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการชะสี (ชั่วโมง <sup>-1</sup> )	พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)	สมการความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ ( $r^2$ )
<b>ข้าวเหนียวดำตราไรทีพีย</b>				
อุณหภูมิห้อง	0.06	32.22	$k_{\text{leaching}} = 0.15\exp(-32.22/RT)$	0.87
40	0.14			
50	0.18			
60	0.20			
<b>ข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง</b>				
อุณหภูมิห้อง	0.08	31.31	$k_{\text{leaching}} = 0.14\exp(-31.31/RT)$	0.89
40	0.09			
50	0.16			
60	0.24			

#### 4.2 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ

เมื่อนำข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาตำจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันจะได้ก้อนแป้ง 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 ( $p \leq 0.05$ ) แต่ชนิดของข้าวเหนียวดำ ไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าความแข็งและค่าความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วเมื่อแช่น้ำจนเมล็ดข้าวอืดตัว

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

**หมายเหตุ**

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าก้อนแป้งจากข้าวเหนียวคั่วตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวมากที่สุด เท่ากับ 284.57 ± 5.57 กรัมแรง และ 75.98 ± 4.79 กรัมแรง ตามลำดับ ในขณะที่ก้อนแป้งจากข้าวเหนียวคั่วตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าความเหนียวน้อยที่สุด เท่ากับ 176.01 ± 10.79 กรัมแรง และ 34.03 ± 12.56 กรัมแรง ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวคั่วตราข้าวทอง พบว่าที่อุณหภูมิ 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 และความเหนียวของก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วที่ทดสอบโดยใช้หัววัด HDP/BSK blade set with knife กับข้าวเหนียวคั่วหนึ่งลูกที่ทดสอบโดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความแข็งของก้อนแป้งมีค่าลดลงไปมาก เช่นเดียวกับค่าความเหนียวของก้อนแป้งที่มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งของก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วทั้ง 2 ชนิดเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าความแข็งของข้าวหนึ่งคือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ข้าวเหนียวคั่วหนึ่งลูก และก้อนแป้งข้าวเหนียวคั่วมีค่าความแข็งมากที่สุด และมีค่าความแข็งน้อยที่สุดที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าที่อุณหภูมิห้อง ข้าวเหนียวคั่วหนึ่งลูก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงข้อมูลเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑. วิทยาลัยอาชีวศึกษา  
๒. วิทยาลัยการอาชีพ  
๓. วิทยาลัยการอาชีพ  
๔. วิทยาลัยการอาชีพ

๕๖

๑. วิทยาลัยอาชีวศึกษา  
๒. วิทยาลัยการอาชีพ  
๓. วิทยาลัยการอาชีพ  
๔. วิทยาลัยการอาชีพ  
๕. วิทยาลัยการอาชีพ  
๖. วิทยาลัยการอาชีพ



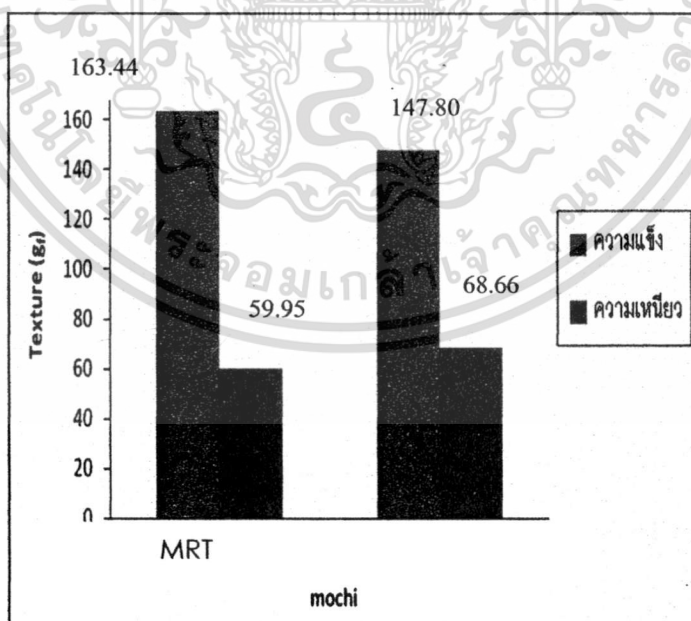
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้อนแป้งข้าวเหนียวคามีค่าความเหนียวมากที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความเหนียวน้อยที่สุด จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความแข็ง และความเหนียวมีแนวโน้มที่ไม่เป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน อาจเกิดจากข้าวเหนียวคามีเปลือกหนา เมื่อนำมาตำจะทำให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ยาก และเมื่อนำไปวัดคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสอาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

#### 4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

##### 4.3.1 การทำโมจิจากข้าวเหนียวดำ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโมจิ

การศึกษาคูณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โมจิจะทำการศึกษาดังต่อไปนี้ โมจิจากข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ (เนื่องจากข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์สามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าข้าวเหนียวดำตราข้าวทอง) จากเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (M60) นำข้าวเหนียวดำนึ่งสุกมาใส่ครก ตำจนข้าวเหนียวดำนึ่งสุกละเอียด ผสมน้ำร้อยละ 5 แล้วตำจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้เป็นโมจิ นำโมจิที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness; กรัมแรง) และค่าความเหนียว (Stickiness; กรัมแรง) ของโมจิ แสดงผลดังรูปที่ 4.8

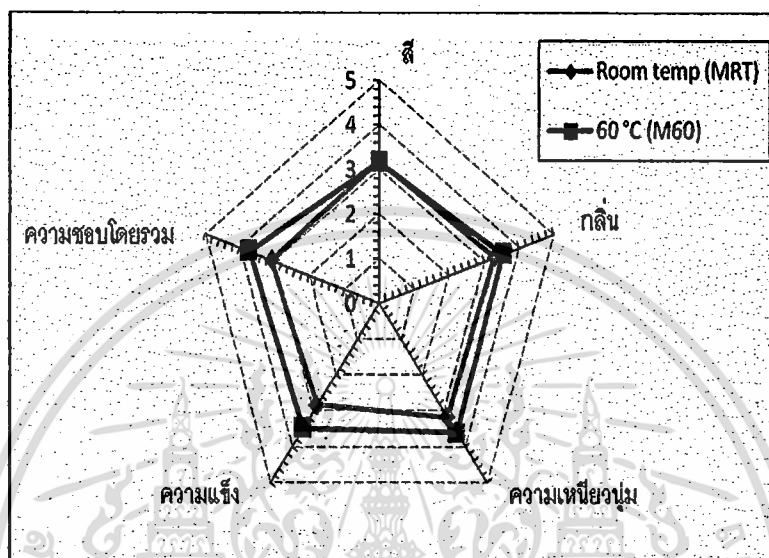


รูปที่ 4.8 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของโมจิที่เตรียมจากเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (MRT) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 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 ซึ่งการแช่ที่ระยะเวลาอันยาวนานเกินไป อาจเกิดการหมักสารอินทรีย์ที่มีอยู่จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้ข้าวมีสี กลิ่น และรสชาติที่ไม่ต้องการได้ ความเหนียวนุ่มและความแข็ง พบว่าผู้ทดสอบชอบ M60 มากกว่า MRT สอดคล้องกับค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของโมจิ คือ M60 มีค่าความแข็งน้อย และค่าความเหนียวมากกว่า MRT ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเหนียวมากกว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้ผู้ทดสอบมีความชอบ M60 มากกว่า MRT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 การศึกษากลไกการดูดซับน้ำต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวดำ

เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ  $12.07 \pm 0.07$  และ  $11.93 \pm 0.04$  ตามลำดับ จากการศึกษากิจกรรมการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรกของการแช่ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองมีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอัตราการดูดซับน้ำจะลดช้าลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวดำนานขึ้น จะมีสัดส่วนของการดูดซับน้ำมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ และระยะเวลาดำเนินการแช่ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ และระยะเวลาสูงขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวดำมีแนวโน้มของร้อยละของขนาดความยาวและความกว้างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดความยาวได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดความกว้าง สอดคล้องกับผลของสัดส่วนการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียวดำ และจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระดับการชะสีของน้ำที่ได้จากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำ พบว่าเมื่อแช่ข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลานานขึ้น การชะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำในน้ำที่แช่ข้าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจากการแช่เมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช และตราข้าวทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

#### 5.2 การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โมจิจากข้าวเหนียวดำ

การศึกษาตัวอย่างโมจิจากข้าวเหนียวดำตราไรท์พิช พบว่าค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของโมจิจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (MRT) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (M60) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกัน โดยโมจิ MRT มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ  $163.44 \pm 23.55$  กรัมแรง และ  $59.95 \pm 5.33$  กรัมแรง ตามลำดับ และ โมจิ M60 มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียว เท่ากับ  $147.80 \pm 23.47$  กรัมแรง และ  $68.66 \pm 2.20$  กรัมแรง ตามลำดับ เนื่องจาก โมจิ M60 มีค่าความแข็งน้อย และค่าความเหนียวมากกว่า โมจิ MRT เล็กน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์โมจิ M60 มีความเหนียวนุ่มมากกว่า โมจิ MRT และเมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโมจิจากข้าวเหนียวดำ พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์โมจิ MRT และ โมจิ M60 แต่ผู้ทดสอบมีแนวโน้มของความชอบผลิตภัณฑ์โมจิ M60 มากกว่า โมจิ MRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

นราพร ดาลัย และสุนันทา ทองทา. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าระหว่างการผลิตเก็บรักษา. วารสารวิชาการในงานการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท.) ครั้งที่ 34.

พรทิพย์ ศิริสุนทรลัดอักษร กัญญารัตน์ รุจิรารุ่งเรือง และเกื้อพันธ์ ชยะสุนทร. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วด้วยวิธีการแช่น้ำ. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 2. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.crdc.kmutt.ac.th/Data/abs66.doc> (เข้าถึงเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2551).

เรย์มอนด์ แชน. 2551. CHEMISTRY 9/e. เล่มที่ 1. แปลโดย ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ยุทธนา ดันติรุ่งโรจน์ชัย ทินกร เตียนสิงห์ และพรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: แมคกรอฮิล. 683 หน้า.

วรวิทย์ พาณิชพัฒน์. 2546. การปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์ข้าว. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 613 หน้า.

วงศ์ศิริ เข้มสวัสดิ์. 2550. การศึกษาผลของสภาวะการแช่ข้าวต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. จลนพลศาสตร์ และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. 480 หน้า.

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

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17<sup>th</sup> 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตคลองหลวง  
ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพของเกษตรกร  
โครงการส่งเสริมอาชีพเกษตรกร  
การแปรรูปผลไม้  
การแปรรูปผลไม้  
การแปรรูปผลไม้

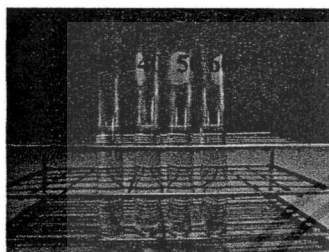


กองส่งเสริมและพัฒนาอาชีพของเกษตรกร  
ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพของเกษตรกร  
โครงการส่งเสริมอาชีพเกษตรกร  
การแปรรูปผลไม้  
การแปรรูปผลไม้  
การแปรรูปผลไม้

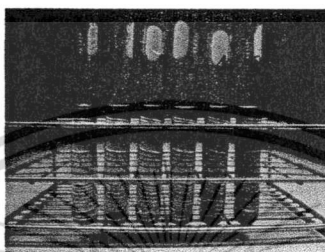
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

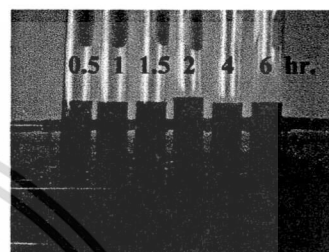
ภาคผนวก ก  
การชะล้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำ



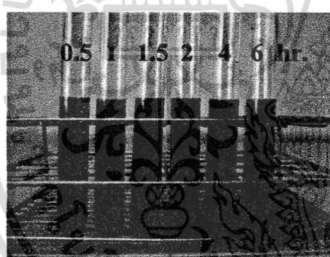
(a) เริ่มต้น



(b) อุณหภูมิห้อง



(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



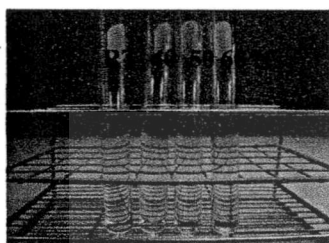
(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก1 การชะล้างของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

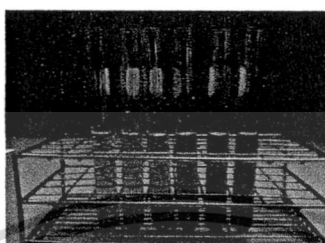
(a) เริ่มต้น (b) อุณหภูมิห้อง (c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

## ภาคผนวก ก (ต่อ)



(a) เริ่มต้น



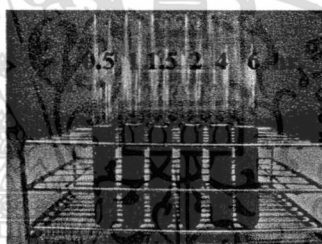
(b) อุณหภูมิห้อง



(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

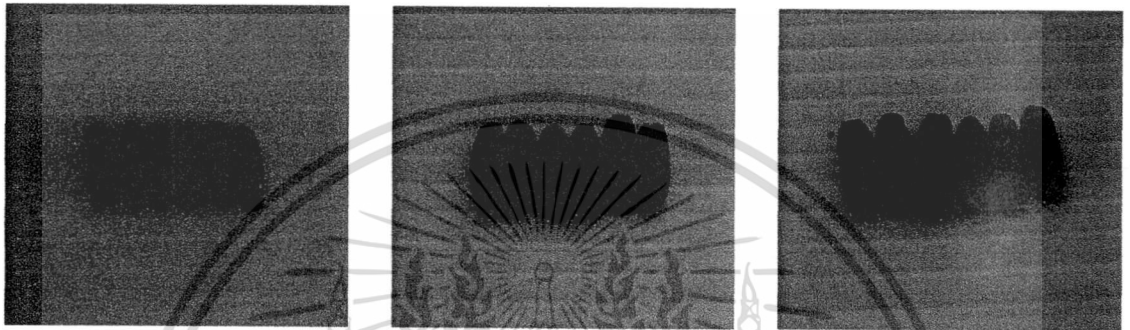
รูป ก2 การกะสีของเมล็ดข้าวเหนียวดำตราข้าวทองที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

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

และ (e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก (ต่อ)  
ข้าวเหนียวดำนึ่งสุก



(a) เริ่มต้น

(b) อุณหภูมิห้อง

(c) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(d) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

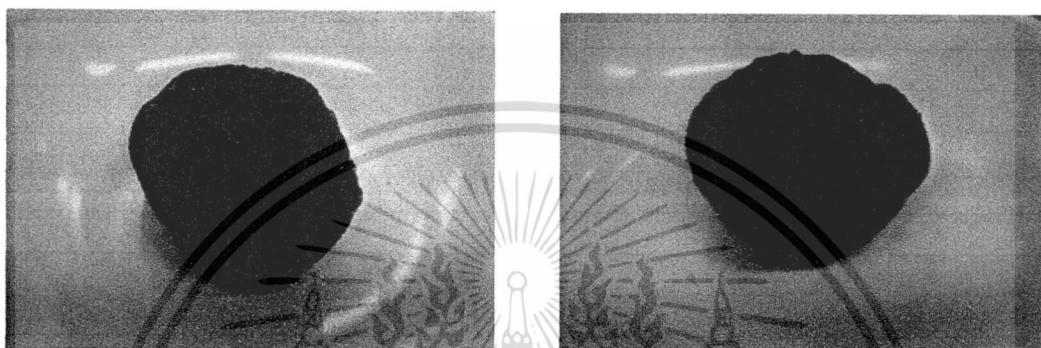
(e) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก3 ข้าวเหนียวดำนึ่งสุกตราไร้ทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก (ต่อ)  
 ก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำ



(a) อุณหภูมิห้อง

(b) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



(c) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

(d) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รูป ก5 ก้อนแป้งจากข้าวเหนียวดำตราไรทิพย์ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน;

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้