



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวฮางหงส์สุก

Process Optimization for the production of Cooked Parboiled Rice



นางสาวโสรยา เกิดพิบูลย์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

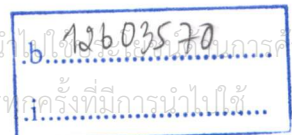
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH  
TP  
A35  
R3  
ส ๙๙๑ ก

เลขหมู่.....131123

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 22/11/2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เผยแพร่ในกรณีค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์สงวนไว้โดยหอสมุดฯ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้...

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทุนวิจัยเงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

โสธยา เกิดพิบูลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)...การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวฮางทุ่งสุก.....

แหล่งเงิน ทุนวิจัยเงินรายได้.....

ประจำปีงบประมาณ 2555.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 73,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1.....ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555 /

หัวหน้าโครงการ นางสาวโสธยา เกิดพิบูลย์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางกายภาพของข้าวฮางระหว่างการหุง โดยการเตรียมข้าวฮางต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 2:1 น้ำหนักต่อปริมาตร และการหุงโดยใช้ไอน้ำ เวลาการหุง 0-50 นาที การทดลองพบว่าสภาวะการหุงข้าวฮางและระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางทุ่งสุก โดยอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำในการหุงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีการดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้มาก ส่งผลให้ข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยามาก อัตราการยืดและอัตราการขยายที่สูง และมีความแข็งลดลงต่ำลง และผลการทดลองยังพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา มีอัตราการยืด และอัตราการขยายเพิ่มขึ้น รวมทั้งข้าวมีความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ข้าวฮางทุ่งสุกโดยเลือกจากระยะเวลาที่เมล็ดข้าวฮางแตก โดยอ้างอิงจากการขยายตัวของข้าวฮาง ความแตกต่างของสี และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถเลือก ข้าวฮางต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:1 เวลาในการหุง 30 นาที อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 เวลาในการหุง 20 นาที และอัตราส่วน 1:3 ที่เวลาในการหุง 15 นาที ตามลำดับ สำหรับกรรมวิธีการหุงที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 2:1 พบว่าข้าวไม่เหมาะสำหรับการนำมาบริโภค เนื่องจากข้าวมีแนวโน้มที่แข็ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณน้ำน้อย เม็ดแบ่งไม่บวมพองเต็มที่ สำหรับในกรรมวิธีการนี้พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการนี้ ได้แก่ 25 นาที ข้าวฮางที่หุงสุกในสภาวะที่ทำการทดลองมีความชื้นร้อยละ 40.4-78.8 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 47.3-55.1 ไขมันร้อยละ 2.0-2.4 และโปรตีนร้อยละ 0.2-0.4 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การหุง ข้าวฮาง ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะทางกายภาพ อัตราส่วนน้ำ

Research Title: Process optimization for the production of cooked parboiled rice

Researcher: Soraya Kerdpiboon

Faculty: Agro-Industry Department: Agro-Industry

## ABSTRACT

This research had the objective of to study morphological and physical properties changes of (parboiled) Hang rice during cooking. Cooked Hang rice was prepared by cooking, Hang rice to water ratios of 1:1, 1:2, 1:3 and 2:1, and steaming, and cooking time of 0-50 min. It was found that cooking conditions and cooking times affected morphological and physical properties changes of cooked Hang rice. Increased water ratios resulted cooked Hang rice with increased water absorption in structure. These induced Hang rice had high morphological changes, elongation and expansion, while Hang rice had low hardness. Results were in the same trend as increased cooking time resulted cooked Hang rice with significantly increased morphological changes, elongation and expansion, while hardness was decreased ( $P \leq 0.05$ ). In addition, optimized conditions used to cooking of Hang rice in terms of Hang rice expansion, difference in color and hardness, were found that cooking of Hang rice using Hang rice to water ratios of 1:1, 1:2 and 1:3 were 30, 20 and 15 min, and cooking using steaming method of 25 min, respectively. However, cooking of Hang rice using Hang rice to water ratio of 2:1 was found that cooked Hang rice tended to be hard since less water, less swollen of starch granules. Cooking Hang rice had moisture content of 40.4-78.8%, carbohydrate of 47.3-55.1%, lipid of 2.0-2.4% and protein of 0.2-0.4%, respectively.

Keywords : Cooking Hang rice Morphology Parboiled rice Physical property Water ratio

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ข้าวฮาง.....	3
2.2 วิธีการในการหุงข้าว.....	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก.....	6
2.4 สัณฐานวิทยา.....	8
2.5 สมบัติเชิงกายภาพของข้าวสุก.....	8
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>11</b>
3.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และสารเคมี.....	11
3.2 สถานที่ดำเนินงาน.....	12
3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	12
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	12
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย.....</b>	<b>18</b>
4.1 อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาต่อสัณฐานวิทยาและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮาง.....	18
4.2 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวฮางหุงสุก.....	27
4.3 คุณภาพของข้าวฮางหุงสุก.....	28
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>29</b>
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	30
ประวัตินักวิจัย.....	33
ภาคผนวก.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวฮางใน 100 กรัม.....	5
2.2 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพข้าวสุก.....	7
4.1 ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที.....	20
4.2 ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน.....	21
4.3 อัตราการขยายตัวของข้าวฮางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที.....	23
4.4 ค่าเฉลี่ยอัตราการขยายตัวของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน.....	24
4.5 ค่าเฉลี่ยลักษณะสัมผัสของข้าวฮางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที.....	25
4.6 ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน.....	26
4.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮางหุงสุก โดยหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง).....	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ข้าวฮาง	3
3.1 กระบวนการผลิตและตรวจสอบคุณภาพข้าวฮาง	13
3.2 Image analysis set-up	14
4.1 การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของข้าวฮาง จากระยะเวลาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ	19
4.2 การเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นสีเหลือง (a) และความแตกต่างของสี (b) ของข้าวฮาง ที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างกัน	22
4.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายตัวของข้าวฮางที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างกัน	24
4.4 การเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็ง (a) และค่าความเหนียว (b) ของข้าวฮางที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและ ระยะเวลาการหุงต่างกัน	27



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความใส่ใจในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาด้านโภชนาการที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่อง (Osman et al., 2004; Ohtsubo et al., 2005; Mirdehghan and Rahemi, 2007; Caruso et al., 2011) ข้าวกล้องเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่อุดมไปด้วยแหล่งของคุณค่าทางโภชนาการสูงอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่ผู้ผลิตให้ความสนใจในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในรูปของอาหารหลัก และอาหารเสริม

ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก (มกอช. 400-2546) และยังคงมีสารอาหารที่มีประโยชน์แก่ร่างกายอยู่ในเมล็ดข้าว ได้แก่วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูกและฟัน เป็นต้น (Shoichi, 2004) นอกจากนี้ยังมีการสะสมของสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกมมาเอมิโนบิวทริก gamma aminobutyric acid (GABA) ที่เกิดจากการย่อยสลายกรดกลูตามิกโดยเอนไซม์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง ช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท และช่วยควบคุมความดันโลหิต เป็นต้น (Oh, 2003; Komatsuzaki et al., 2007) ทั้งนี้ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองก็ยังเป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพสูงในการนำมาบริโภคเป็นอาหารหลักของคนไทย

ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองเป็นข้าวที่ผลิตจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่ยังไม่แก่จัด หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วข้าวถูกบ่มไว้ 2 คืน เพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว ก่อนนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด (หรือนำไปแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมงก่อนการนำไปนึ่ง) ทำให้เย็นลมแห้งให้แห้ง หรือใช้เครื่องอบแห้ง ก่อนการนำไปขัดสีเป็นข้าวสาร การบริโภคข้าวฮางในปัจจุบันมีการนำมาผสมกับข้าวขาวแล้วหุง หรือใช้ข้าวฮางแทนข้าวขาวในการบริโภคเป็นอาหารมื้อหลัก ซึ่งนอกจากให้พลังงานเนื่องจากสารคาร์โบไฮเดรตแล้วยังมีวิตามินบี1 และสารอาหารที่สำคัญอีกหลายชนิดที่ได้จากการบริโภคข้าวฮาง

กระบวนการเตรียมข้าวฮาง มีการนำข้าวฮางมาผ่านกระบวนการนึ่ง และผึ่งลมหรืออบลมร้อนก่อนการขัดสี ในระหว่างการนึ่งข้าวฮาง ให้โมเลกุลของแป้งในเมล็ดข้าวได้รับความร้อน ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น โมเลกุลของแป้งเกิดเจลลาติไนเซชัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) จากนั้นมีการทำให้แป้งที่สุกหรือเกิดเจลลาติไนเซชันมาอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งหรือการตากแห้ง ส่งผลให้แป้งในข้าวมีลักษณะของแป้งพรีเจลลาติไนซ์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ข้าวฮางจึงมีสมบัติเชิงกายภาพ และเคมีแตกต่างจากกรรมของข้าวขาวปกติ และอาจส่งผลให้สภาวะที่ใช้ในการหุงต้มข้าวฮางเพื่อการบริโภคมีความแตกต่างจากการหุงข้าวขาวเช่นกัน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวฮางทุ่งสุก
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฮางทุ่งสุก

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวฮางทุ่งสุก
- 1.3.2 ทราบสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของข้าวฮางทุ่งสุก เพื่อสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวฮาง ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบต่างๆ



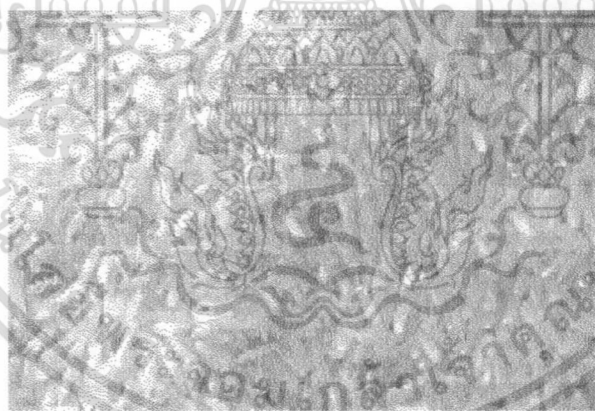
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. ข้าวฮาง

#### 2.1.1 ที่มาของข้าวฮาง

ข้าวฮาง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวกูไท อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร เดิมวัตถุประสงค์ในการผลิตเพื่อการบริโภค เนื่องจากสมัยโบราณการผลิตข้าวไม่เพียงพอต่อการบริโภคทั้งปี ในช่วงก่อนที่จะมีข้าวใหม่งอกเกษตรกรอยู่ในสภาวะที่ขาดแคลนข้าวเพื่อการบริโภค ต้องอาศัยธัญพืชอื่นในการดำรงชีวิตไปก่อน เมื่อข้าวในท้องนาออกรวงพัฒนาเมล็ด ได้ประมาณร้อยละ 80-85 เกษตรกรจะผลิตเป็นข้าวฮางเพื่อใช้ในการบริโภคก่อนที่ข้าวจะสุกแก่เต็มที่ โดยข้าวที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นข้าวฮาง ได้แก่ ข้าวหอมดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นต้น ข้าวฮางเป็นข้าวที่มีลักษณะเด่นคือ เป็นข้าวที่มีกลิ่นหอม และมีสีเหลืองทองทั้งเมล็ด ข้าวฮางจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ข้าวหอมทอง (ภาพที่ 2.1) ซึ่งหมายถึงข้าวที่มีกลิ่นหอมและมีสีเหลืองทอง ปัจจุบันข้าวฮางหรือข้าวหอมทองเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีผู้นิยมบริโภคและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการสนับสนุนให้มีการผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นสินค้าที่สำคัญของเกษตรกร จังหวัดสกลนคร และจังหวัดใกล้เคียง



ภาพที่ 2.1 ข้าวฮาง

#### 2.1.2 การผลิตและการบริโภคข้าวฮาง

กระบวนการผลิตข้าวฮาง เริ่มจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่มีระยะการสุกของรวงข้าว ร้อยละ 80-85 โดยข้าวที่นิยมนำมาผลิตเป็นข้าวฮาง ได้แก่ ข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dowk Mali 105 หรือ *Oryza sativa* cv. KDML 105) และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (*Oryza sativa* var. glutinosa) เป็นต้น จากนั้นนำข้าวที่เกี่ยวข้องแล้วมาพักประมาณ 2 คืน เพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว ก่อนนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด (หรือนำไปแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมงก่อนการนำไปนึ่ง ในกรณีที่ต้องการผลิตข้าวฮาง งอก) ทำให้เย็นลมผึ่งลมให้แห้ง หรือใช้เครื่องอบแห้ง ก่อนการนำไปขัดสีเป็นข้าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบริโภคข้าวฮางในปัจจุบันมีการนำมาผสมกับข้าวขาวแล้วหุง หรือใช้ข้าวฮางแทนข้าวขาวในการบริโภคเป็นอาหารมื้อหลัก ซึ่งนอกจากให้พลังงานเนื่องจากสารคาร์โบไฮเดรตแล้วยังมีวิตามินบี1 และสารอาหารที่สำคัญอีกหลายชนิด กระบวนการเตรียมข้าวฮาง มีการนำข้าวฮางมาผ่านกระบวนการนึ่ง และผึ่งลมหรืออบลมร้อนก่อนการขัดสีดังกล่าว ทั้งนี้ในระหว่างการนึ่งข้าวฮาง โมเลกุลของแป้งในเมล็ดข้าวได้รับความร้อนส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีความหนืดและใสขึ้น โมเลกุลของแป้งเกิดเจลลาติไนเซชัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) จากนั้นมีการทำให้แป้งที่สุกหรือเกิดเจลลาติไนเซชันแล้วมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง หรือการตากแห้ง ส่งผลให้แป้งในข้าวมีลักษณะของแป้งพรีเจลลาติไนซ์ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) และผลจากอัตราการใช้ที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด stress ขึ้นภายในเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวเกิดรอยแตกร้าวค่อนข้างมาก ซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งและรูปทรงของเมล็ดข้าวภายหลังการหุงต้มการแตกร้าวของเมล็ดข้าวตามลำดับ (Srisang และคณะ, 2008) จึงทำให้ข้าวฮางมีสมบัติเชิงกายภาพ และเคมีแตกต่างจากแป้งจากข้าวขาวปกติ และอาจส่งผลให้สภาวะที่ใช้ในการหุงต้มข้าวฮางมีความแตกต่างจากกรณีการหุงข้าวขาวเช่นกัน

### 2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮาง

ข้าวฮางจัดเป็นข้าวกล้องชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีเพียงให้เปลือกเมล็ดข้าวหลุดออก คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮาง นอกจากประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามินบี วิตามินอี และเกลือแร่หลายชนิดที่อยู่ในส่วนของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว ในลักษณะเช่นเดียวกับกับกรณีของข้าวกล้อง นอกจากนี้ข้าวในกลุ่มที่ผ่านการขัดสีน้อย ยังประกอบด้วยสารกาบา (gamma-aminobutyric acid, GABA) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยป้องกันโรคเกี่ยวกับระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ โรคลมชัก และช่วยรักษาโรคนอนไม่หลับ ลดความดันโลหิต

การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการข้าวฮางและข้าวชนิดอื่นต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัม (ตารางที่ 2.1) พบว่าข้าวฮางมีสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 1 บี 2 และไนอะซิน ช่วยรักษาระบบผิวหนังและระบบประสาท โดยพบว่าข้าวฮางมีวิตามินบี 1 สูงกว่าข้าวขาว 2 เท่า มีวิตามินบี 2 และไนอะซิน สูงกว่าข้าวขาว 4 เท่า มีธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวขาว 2 เท่า ป้องกันโรคโลหิตจาง มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 20-30 มีเกลือแร่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และวิตามิน มากกว่า 20 ชนิด เนื่องจากข้าวฮางเป็นข้าวกล้องประเภทหนึ่งจึงทำให้มีปริมาณของ วิตามินอี และสารกาบา ซึ่งเป็นสารที่พบบริเวณส่วนที่งอกออกมาของเมล็ดข้าว จึงทำให้ข้าวฮางมีปริมาณของ วิตามินอี และสารกาบาในปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องและข้าวขาว

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวฮางใน 100 กรัม

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	ข้าวฮาง
โปรตีน (กรัม)	7.6	6.4	7.6
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.34	0.07	0.34
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.05	0.03	0.05
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.62	0.11	0.62
กรดแพนโทธีนิก (มิลลิกรัม)	1.50	0.225	1.50
กรดโฟลิก (มิลลิกรัม)	20.0	3.00	20.00
วิตามินอี (ไมโครกรัม)	2.00	1.00	159.48
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.60	0.80	1.60
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	32.00	24.00	32.00
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	52.00	14.00	52.00
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	1.50	0.90	1.50
สังกะสี (มิลลิกรัม)	1.90	1.50	1.90
โคบอลต์ (ไมโครกรัม)	4.20	0.90	4.20
ไอโอดีน (ไมโครกรัม)	2.20	2.00	2.00
ซีลีเนียม (ไมโครกรัม)	38.30	31.80	38.30
ทองแดง (ไมโครกรัม)	360.00	230.00	360.00
กาบา (มิลลิกรัม)	0.13-0.53		0.62-2.08

ที่มา : รวบรวมจาก และ ขจรวิทย์ พันธุ์ยางน้อย (2553)

## 2.2 วิธีการในการหุงข้าว

การหุงข้าวสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การหุงข้าวโดยการใช้น้ำร้อน การหุงข้าวโดยการใช้น้ำร้อน การหุงข้าวโดยการใช้น้ำร้อน การหุงข้าวโดยการใช้น้ำร้อน เป็นต้น ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนส่งผลต่อลักษณะของเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการหุงให้มีลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว Julianio (1985) แบ่งสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงดังนี้

2.2.1 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย (small amount of water) ได้แก่ การต้มข้าวในถ้วยแก้วทนไฟที่มีฝาปิดจำนวน 200 มิลลิลิตร จนเดือด จากนั้นเติมน้ำ 100 กรัม ต้มเดือดนาน 2 นาที แล้วลดไฟแบบอ่อนอีก 18 นาที โดยมีแผ่นกันความร้อนรองและปิดฝา บางประเทศอาจใช้น้ำเย็นแทนน้ำต้มเดือด และบางประเทศมีการแช่ข้าวดิบก่อนการต้ม เช่นในกรณีของข้าวเหนียว หากเป็นข้าวนี้ (parboiled rice) ต้องใช้เวลาในการหุง 23 นาที และอาจต้องมีการเติมน้ำมากขึ้น วิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ที่ตั้งไฟได้อัตโนมัติ เรียกการหุงในลักษณะนี้ว่าการหุงไม่เช็ดน้ำ

2.2.2 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง (medium amount of water) ใช้กระทะหรือหม้ออะลูมิเนียมที่มีฝาปิด ใส่ข้าว 400 มิลลิลิตร ต้มน้ำเดือด และเติมน้ำข้าวสาร 100 กรัม ต้มเดือดนาน 2 นาที ลดไฟแบบอ่อน 13-18 นาที โดยมีฝาปิด จากนั้นเทน้ำออก บางประเทศใช้น้ำเย็นหุงข้าวจนสุก เทน้ำที่เหลือออก แล้วตวง

แบบเปิดฝาด้วยความ เป็นเวลา 5 นาที ให้ไอน้ำระเหยจนข้าวแห้ง ถ้าเป็นข้าวหนึ่งต้องใช้เวลาอุ่น 23 นาที วิธีนี้เรียกว่าการหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ

2.2.3 การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำมาก (large amount of water) ใช้กระทะหรือหม้ออะลูมิเนียมมีฝาปิด เติมน้ำ 800 ml ต้มให้เดือด จากนั้นเติมน้ำข้าว 100 กรัม ต้มเดือด 12-20 นาที โดยเปิดฝา เหนือที่เหล็ออกก่อนนำไปบริโภค บางประเทศหุงแบบปิดฝา บางประเทศใช้น้ำเย็นแทนน้ำเดือด เมื่อเหนียวแล้วอุ่นให้ไอน้ำระเหยทำให้ข้าวแห้งนาน 5 นาที ถ้าเป็นข้าวหนึ่งใช้เวลาต้มนาน 25 นาที เรียกว่าวิธีนี้ว่า การหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ

สำหรับการหุงข้าวโดยการนี้ เป็นกระบวนการที่มีตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเป็นไอน้ำร้อนส่งไปยังเม็ดข้าว โดยการนำข้าววางไว้ในอุปกรณ์ที่มีฝาปิดมิดชิด เช่น รังถึง หรือหวด เพื่อแยกจากการสัมผัสกับน้ำร้อนโดยตรง การที่ข้าวไม่ได้สัมผัสกับน้ำโดยตรงนั้นทำให้ข้าวที่หุงสุกช้ากว่ากรณีการสัมผัสน้ำร้อนโดยตรง แต่สามารถลดการสูญเสียสารอาหาร โดยเฉพาะวิตามิน เกลือแร่ที่สามารถละลายได้ในน้ำ รวมทั้งรงควัตถุต่างๆ โดย Juliano (1985) ได้อธิบายการหุงข้าวโดยการนี้ (streaming) ได้แก่การใช้ข้าว 100 กรัมในหม้อ 2 ชั้น โดยหม้อที่ใส่ข้าวที่ชั้นบนมีรูด้านล่างซึ่งจมลงในหม้อน้ำเดือด 100 มิลลิลิตร นาน 10 นาที และยกหม้อขึ้นเหนือหม้อที่ใส่น้ำเดือด นิ่งต่อมานาน 30-45 นาที บางประเทศจะต้มข้าวกับน้ำ ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5 นานประมาณ 5 นาที จนข้าวอุ้มน้ำ แล้วจึงนึ่งด้วยไอน้ำอีก 30 นาที ตามลำดับ

### 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสุกมี ดังนี้

2.3.1 ปริมาณอะไมโลส (amylose content) ข้าวในแต่ละสายพันธุ์มีส่วนของอะไมโลสและ อะไมโลแพคตินที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2) โดยส่วนดังกล่าวส่งผลให้ข้าวสุกมีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกันไป ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลแพคตินมีอยู่มากและมีอะไมโลสอยู่ร้อยละ 0-2 เมื่อหุงสุกแล้วข้าวเหนียวมีลักษณะที่เหนียวและนุ่ม ในขณะที่ข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสที่สูงกว่าข้าวเหนียว คือ มีอะไมโลสร้อยละ 10-34 (งามชื่น คงเสรี, 2539) เมื่อนำไปหุงแล้วจึงมีลักษณะที่ร่วนมากกว่าข้าวเหนียว เป็นต้น

2.3.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้หุงต้ม (cooking time and temperature) มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับน้ำ และการเกิดเจลลาติไนเซชันของเม็ดข้าว โดยปกติการหุงข้าวหนึ่งใช้เวลา 14-24 นาทีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) โดยข้าวที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันสูงต้องใช้เวลาต้มมากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันต่ำกว่า (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550 และ งามชื่น คงเสรี, 2539)

2.3.3 วิธีการหุงต้ม (cooking method) ส่งผลให้ข้าวสุกมีคุณภาพที่แตกต่างกัน การหุงต้มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงหากใส่น้ำน้อยจะส่งผลให้ข้าวมีลักษณะแข็งและกระด้าง แต่เมื่อใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นและทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้นด้วย การหุงข้าวโดยรินน้ำทิ้ง (เช็ดน้ำ) เป็นการทำให้เม็ดข้าวมีโอกาสดูดน้ำได้มาก และทำให้ข้าวแข็งกระด้างน้อยลง เพราะระหว่างดงข้าวหรือทิ้งข้าวให้ระอุบนเตาไฟเต็มที่เพื่อไล่ความชื้นที่มีมากเกินไป ข้าวยังคงได้รับความร้อนสูง ซึ่งมีผลทำให้เม็ดสุกได้ หากการรินน้ำกระทำเมื่อข้าวค่อนข้างสุกก็อาจทำให้ข้าวแฉะได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จะมีโอกาสแฉะได้ง่าย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550 และ งามชื่น คงเสรี, 2539)

2.3.4 การขยายตัวของเม็ดข้าวในระหว่างการหุง (elongation during cooking) ในระหว่างหุงต้มเม็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว ซึ่งจะช่วยให้เม็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเม็ด

ข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น (งามชื่น คงเสรี, 2539)

ตารางที่ 2.2 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพข้าวสุก

พันธุ์ข้าว	เมล็ดยาว (มิลลิเมตร)	ร้อยละอะไมโลส	อุณหภูมิแป้งสุก	ความคงตัวของ แป้งสุก
ข้าวสุกนุ่มและเหนียว				
ขาวดอกมะลิ 105	7.2-7.6	13-18	ต่ำ	อ่อน
กข 15	7.5	14-17	ต่ำ	อ่อน
กข 21	7.3	17-19	ต่ำ	อ่อน
ปทุมธานี 1	7.3-7.8	14-18	ต่ำ	อ่อน
ข้าวสุกอ่อน (ข้าวตาแห้ง)				
ขาวปากหม้อ	7.7	24-26	ปานกลาง	อ่อน
ขาวตาแห้ง 17	7.5	24-28	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
กข 7	7.2	24-28	ปานกลาง	อ่อน
กข 23	7.3	22-26	ปานกลาง	อ่อน
สุพรรณบุรี 60	7.5	20-26	ต่ำ	ปานกลาง
ข้าวสุกร่วนแข็ง (เส้าไหหรือข้าวเคียว)				
เหล็กองใหญ่ 148	7.3	30-31	ต่ำ	อ่อน-ปานกลาง
น้ำสะกวย 19	7.6	30-31	ต่ำ	อ่อน-ปานกลาง
เหล็กองประทีพ 123	7.4	29-32	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน-แข็ง
เล็บมือนาง 111	7.6	29-32	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง-อ่อน
ปิ่นแก้ว 56	7.5	29-31	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
กข 11	7.6	29-32	ต่ำ	แข็ง
กข 13	6.9	30-33	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
ปทุมธานี 60	7.5	27-32	ต่ำ	แข็ง
ชัยนาท 1	7.4	27-30	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
สุพรรณบุรี 90	7.4	27-30	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
สุพรรณบุรี 1	7.3	29	ปานกลาง	อ่อน

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (มปป)

2.3.5 ปริมาณโปรตีน (protein content) โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เม็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550 และ งามชื่น คงเสรี, 2539)

## 2.4 สัณฐานวิทยา

สัณฐานวิทยา (morphology) หมายถึง รูปร่าง และลักษณะภายนอกที่ปรากฏให้เห็น โดยอาจต้องใช้กล้องขยายช่วยเพื่อให้เห็นชัดเจนขึ้น (ตฤทัย พงษ์เก่า คะซิมา, 2550) โดยข้าวชนิดเดียวกันอาจจะมีสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผล ได้แก่ อุณหภูมิ กระบวนการเตรียมที่แตกต่างกัน และอัตราน้ำที่แตกต่างกัน ในการศึกษาเปลี่ยนแปลงของสัณฐานวิทยาจะต้องมีการเก็บข้อมูลซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ส่องกล้องจุลทรรศน์ การใช้แว่นขยาย หรือการถ่ายรูป เป็นต้น

การศึกษาสัณฐานวิทยาของข้าวสารสามารถสังเกตจาก ขนาดรูปร่างของเม็ด สีของเม็ด ความเลื่อมมันของเม็ด ลักษณะของข้าวท้องไข่น้ำหนักเม็ด ความชุ่มชื้นของเม็ดและลักษณะเนื้อสัมผัสและในข้าวที่ผ่านการหุงสุกแล้วจะมีการศึกษาสัณฐานวิทยาเกี่ยวกับ การขยายตัวของเม็ด สีของเม็ด เนื้อสัมผัส จากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดข้าวหลังจากผ่านความร้อนแล้วซึ่งในการหุงข้าว เม็ดข้าวอาจเปลี่ยนแปลงได้จากปริมาณน้ำ อุณหภูมิ และระยะเวลาได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550 และ งามชื่น คงเสรี, 2539)

## 2.5 สมบัติเชิงกายภาพของข้าวสุก

คุณภาพข้าวสุก หมายถึง ลักษณะปรากฏของเม็ดข้าวหลังจากผ่านการหุง เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคูณภาพข้าวสุกตามนิสสัยการรับประทานข้าวของผู้บริโภคแต่ละท้องถิ่น คุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพข้าวสุก ได้แก่

### 2.5.1 การขยายตัวของเม็ดข้าวสุก

การขยายตัวของข้าวหลังการหุงสุก มีหลายวิธีในการวัดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีที่สะดวกที่สามารถทำได้ เช่น นำข้าวที่หุงแล้วนั้น วัดความยาวหรือการขยายตัวของเม็ดข้าว ในการวัดจะวัดทั้งด้านยาวและด้านกว้าง และการวัดความสูงของเม็ดข้าวจากการหุงข้าวในภาชนะที่วัดปริมาตร ด้วยน้ำหนักที่ปริมาณคงที่ เวลาที่ใช้หุงคงที่เปรียบเทียบกับข้าวก่อนการหุง

### 2.5.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกเป็นสมบัติที่สำคัญของข้าว ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของข้าวสุก คือ ปริมาณอะไมโลส ปริมาณโปรตีน และอุณหภูมิแป้งสุก (Juiano *et al.*, 1985) สามารถวัดได้โดยการใช้เครื่องวัดคือ เครื่อง Texture Analyzer ได้ลักษณะสำคัญของเนื้อสัมผัสข้าว 2 ประการ คือ ความแข็ง (hardness) หมายถึงปริมาณที่ต้องการใช้กดข้าวสุกลงไปและเกิดแรงต้านที่มากกว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเหนียวติดกัน (stickiness) ซึ่งหมายถึง สมบัติในการเกาะกันระหว่างเม็ดข้าว คือ ค่าแรงติดลบที่เกิดแรงดึงขึ้นของหัวกดขึ้นจากตัวอย่าง

### 2.5.3 การเกิดเจลลาตินในเซชัน

เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานข้าวในลักษณะข้าวสุกทั้งเม็ด และในเม็ดข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 85 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) โดยโมเลกุลของสตาร์ชที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแบ่ง ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวทำให้เกิดเจลลาตินในซ์ ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินในเซชัน (gelatinization

temperature) นั้นมีความแตกต่างกันไปในสสารแต่ละชนิด โดยที่สสารข้าวเจ้าจะมีอุณหภูมิเริ่มการเจลลาคติไนซ์ที่ 68-78 องศาเซลเซียส การเกิดเจลลาคติไนซ์ของสสารจะเกิดในระหว่างการหุงข้าว ถ้าสสารยังไม่เกิดการเจลลาคติไนซ์จะทำให้เนื้อสัมผัสข้าวแข็งไม่เหมาะต่อการบริโภค และอุณหภูมิที่ทำให้สสารเกิดเจลลาคติไนซ์มีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงเพื่อไม่ให้ข้าวสุกแข็งเกินไป

#### 2.5.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปของสสาร เมื่อสสารได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคติไนซ์แล้วลดอุณหภูมิให้เย็นลง เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มี การดูดน้ำเข้ามาอีก เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นมากขึ้นเรียกว่า การคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) คุณภาพข้าวหุงสุกมีผลจากคุณสมบัติของสสารในข้าว ซึ่งสังเกตได้จากการที่ข้าวหุงสุกให้เย็นตัวลง ข้าวจะแข็งขึ้นซึ่งเป็นผลจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสสารในข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

#### 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mestres และคณะ (2011) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกโดยใช้ผู้ทดสอบจากข้าว 32 สายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในปี 2004 และข้าวอีก 12 สายพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในปี 2005 ที่เพาะปลูกในประเทศฝรั่งเศส ที่หุงต้มโดยใช้ข้าว 62.5 กรัม ต่อ น้ำ 3ลิตรแต่ละสายพันธุ์จะใช้เวลาประมาณ 15 นาที 45 วินาที ถึง 20 นาที ที่อุณหภูมิน้ำเดือดโดยพบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนั้นสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวสารโดยเฉพาะองค์ประกอบของผิวนอก และขนาดของเมล็ดข้าว โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวในแต่ละสายพันธุ์จากปริมาณอะไมโลสและปริมาณโปรตีน ซึ่งปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับลักษณะความแน่น ปริมาณโปรตีนมีสัมพันธ์กับลักษณะความเหนียวและการยึดติดกันของเมล็ดข้าวซึ่งทำให้ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน

Patindol และคณะ (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของข้าวหนึ่งเตรียมจากข้าวเปลือก และข้าวกล้อง 4 สายพันธุ์พบว่าการใช้อุณหภูมิและความดันสูงนั้น ข้าวหนึ่งจากข้าวกล้อง มีการหักของเมล็ดข้าวลดลง และมีการสูญเสียของอะไมโลส ในระหว่างการขัดสีข้าวที่ต่ำ สีของเมล็ดข้าวจะมีสีซีดจางลง ไขมันเพิ่มขึ้นและปริมาณโปรตีนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการเกิดเจลลาคติไนซ์ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเปลือก โดยข้าวหนึ่งที่เตรียมจากข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์มีร้อยละการดูดน้ำ เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม การพองตัว และเนื้อสัมผัสของข้าว แตกต่างกัน

Mohapatra และ Bal (2006) ศึกษาคุณภาพการหุงต้มและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวที่ผ่านการขัดสีโดยใช้ข้าว 3 สายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสและความหนาของเมล็ดข้าวแตกต่างกัน โดยพบว่าความหนาของเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการหุงสุกที่เพิ่มขึ้น และมีการยึดติดกันของเมล็ดข้าวลดลง นอกจากนี้ปริมาณอะไมโลสและความหนาของเมล็ดข้าวยังส่งผลให้อัตราการดูดน้ำ การพองตัว ความแข็ง และแรงเกาะติดเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะใช้เวลาในการหุงสุกเพิ่มขึ้น ผลัดภัณท์ที่ได้มีแรงยึดติดลดลง อัตราการดูดน้ำของเมล็ดข้าว การพองตัว ความแข็ง และแรงเกาะติดสูงขึ้น

Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปข้าวหอมมะลิโดยใช้หม้อความดันที่อุณหภูมิ 80 100 120 และ 140 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ความดันที่ 0 0.1 0.3 และ 0.5 MPa ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสัญญาณวิทยาของข้าวหอมมะลิ พบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้

เมื่อดำเนินการและ เหนียว ผลการตรวจสอบสัมมนาวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสแกนนิ่งพบว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการนึ่งข้าวส่งผลทำให้ข้าวมีขนาดของรูพรุนใหญ่ขึ้นและคล้ายฟองน้ำเรียงกัน โดยความดันที่ใช้ในช่วงของการทดลองไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากนัก

Soponronnarit และคณะ (2005) ศึกษาผลของการนึ่งข้าวซ้อมมือโดยการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ รวมทั้งอุณหภูมิไอน้ำร้อนของข้าว ที่มีต่อโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของข้าวซ้อมมือ โดยพบว่าอุณหภูมิไอน้ำร้อนยิ่งยวดมีผลต่ออัตราการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งโดยการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดนั้นมีการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้ง ทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวมีการยึดตัว และเกาะกันแข็งแรง เมื่อนำมาขัดสีทำให้ได้ร้อยละของต้นข้าวที่สูง ในขณะที่ข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยการใช้ไอน้ำร้อน มีลักษณะเป็นรูพรุนที่มากกว่าการอบแห้งโดยการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด เมื่อนำข้าวมาหุงต้มส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำดีกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด และมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่า

Ong และ Blan (1995) ศึกษาผลของโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวจำนวน 11 สายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไนจีเรีย โดยใช้ข้าวที่มีสัดส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าข้าวที่มีส่วนประกอบของอะไมโลเพคตินที่มีสายยาวเมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งจะมีลักษณะที่นุ่มและเหนียว นอกจากนี้พบว่าข้าวที่มีอะไมโลเพคตินที่มีสายยาวจะมีองค์ประกอบอื่นๆของข้าว เช่น โปรตีนและไขมัน มายึดเกาะทำให้ข้าวมีลักษณะที่แน่นสูง และมีความนุ่มต่ำลง เมื่อเทียบกับข้าวที่มีโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่มีสายสั้นกว่า

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

ข้าวฮางที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L., Khao Dowk Mali 105) ที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2554- กันยายน 2555 จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ควบคุมให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ มีค่าประมาณ 8-10% (wet basis) บรรจุในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีน (LLDPE) ถุงละ 300 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะนำไปใช้

##### 3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Denver, Germany

3.1.2.2 กล้องดิจิทัล CANON EOS 350D, Japan

3.1.2.3 แพลงกำเนิดแสง (หลอดตะเกียบฟลูออเรสเซนต์ขนาด 3x14 เซนติเมตร<sup>2</sup>) มีกำลัง 9

วัตต์, China

3.1.2.4 กล้องสัปดาห์ 6 ด้าน

3.1.2.5 เครื่องวัดสี Minolta CR300, Japan

3.1.2.6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร TA-XT2i, England

3.1.2.7 เวย์นเนอร์คาลิปเปอร์

3.1.2.8 ตู้อบลมร้อน(Hot air oven)

3.1.2.9 ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminum can)

3.1.2.10 ที่คีบ (Tong)

3.1.2.11 โถดูดความชื้น (Dessicator)

3.1.2.12 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

3.1.2.13 เตาไฟฟ้า (Hot plate)

3.1.2.14 หลอดย่อยโปรตีน

3.1.2.15 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl apparatus)

3.1.2.16 ชุดสกัดซอกซ์เล็ท (soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (thimble) และบีกเกอร์

ไขมัน

3.1.2.17 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC-50), Japan

3.1.2.18 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

3.1.2.19 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) Beckman Coulter, USA

3.1.2.20 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Shimadzu, UV-1601, Japan

3.1.2.21 กระดาษกรอง เบอร์ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.22 เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph

3.1.2.23 เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid,  $H_2SO_4$ )

3.1.3.2 กรดบอริก (boric Acid,  $H_3BO_4$ )

3.1.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH)

3.1.3.4 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl)

3.1.3.5 คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )

3.1.3.6 โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate,  $K_2SO_4$ )

3.1.3.7 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน

เดือนตุลาคม 2554 – กุมภาพันธ์ 2556

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 วิธีการหุงข้าวฮาง

หุงข้าวฮางโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Helland และคณะ (2002) ดังนี้

เตรียมข้าวฮางและน้ำโดยมีอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 และ 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในถ้วยอะลูมิเนียม ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง  $6 \times 4$  เซนติเมตร<sup>2</sup>

↓  
 ต้มน้ำในรังถึงให้เดือด (100 องศาเซลเซียส) จากนั้นใส่ถ้วยตัวอย่างในน้ำเดือด จับเวลาการต้มข้าวฮาง 0 5 10 15 20 30 40 และ 50 นาที

↓  
 เก็บตัวอย่างข้าวฮางที่เวลาการต้มต่างๆจากนั้นนำมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องทันที เพื่อป้องกันการสุกเพิ่มขึ้นของข้าวฮาง

↓  
 นำข้าวฮางที่หุงแล้วไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางในข้อ 3.4.2

↓  
 ทหาความสัมพันธ์ ของการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา และลักษณะเนื้อสัมผัสของของข้าวฮางในข้อ 3.4.3

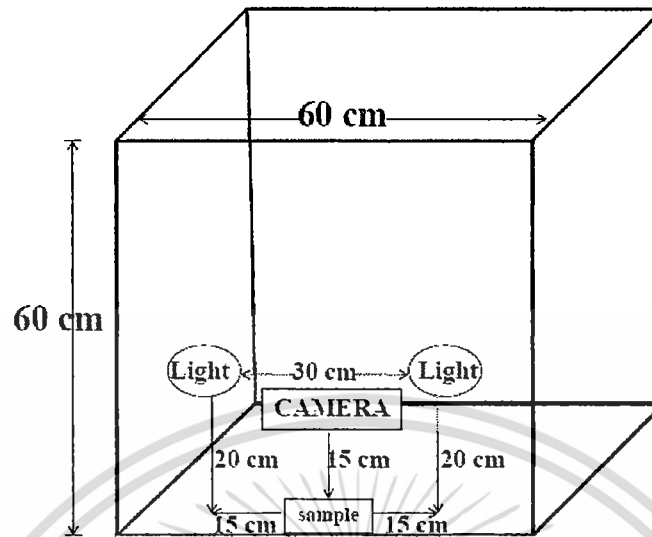
↓  
 นำข้าวฮางหุงสุกที่คัดเลือกจากข้อ 3.4.3 มาวิเคราะห์ สมบัติเชิงกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตและตรวจสอบคุณภาพข้าวฮาง

3.4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาต่อสัณฐานวิทยาและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮาง

#### 3.4.2.1 สัณฐานวิทยา

ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยการถ่ายภาพข้าวฮางที่ผ่านการหุงที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและเวลาหุงต่างๆโดยการกำหนดสภาวะในการถ่ายภาพตัวอย่าง ดัดแปลงจากวิธีการของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006) อุปกรณ์ประกอบด้วยตัวกล้องดิจิทัล CANON (EOS 350D, Japan) และแหล่งกำเนิดแสง (หลอดตะเกียบฟลูออเรสเซนต์ขนาด  $3 \times 14$  เซนติเมตร<sup>2</sup>) มีกำลัง 9 วัตต์ (GX-9811, China) จำนวน 2 หลอด โดยถ่ายภาพตัวอย่างที่วางในกล่องสีดำทั้ง 6 ด้าน ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับกล้องและแหล่งกำเนิดแสง แสดงดังภาพที่ 2 นำข้าวฮางที่เตรียมได้ มาถ่ายภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวภาพที่ถ่ายเป็นภาพ 24-bit RGB-color format เก็บภาพในนามสกุล BMP format ขนาดภาพ  $250 \times 500$  pixel เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของข้าวฮาง โดยถ่ายภาพตัวอย่างที่ช่วงเวลาการหุงทุก 5 นาที นาน 50 นาที ในแต่ละช่วงเวลาถ่ายภาพทั้งหมด 5 ภาพ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ



ภาพที่ 3.2 Image analysis set-up

#### 3.4.2.2 ลิ

การวัดสีของข้าวฮางที่ผ่านกระบวนการหุงโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta CR300, Japan) โดยวัดสีตัวอย่างข้าวฮางในช่วงเวลาการหุง 0 5 10 15 20 30 40 50 ในแต่ละช่วงเวลาวัดสีได้ค่า  $L a b$  และ  $\Delta E$  ทั้งหมด 3 ซ้ำ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

#### 3.4.2.3 การขยายตัวของเม็ดข้าวสุก

โดยดัดแปลงวิธีการของ เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข (2534) โดยนำข้าวฮางมา 10 เม็ด แล้วนำไปวัดความยาวของเม็ดข้าวฮางด้วยเวอร์เนียจำนวน 10 เม็ดแล้วนำข้าวฮางที่หุงช่วงเวลาต่างๆ ได้แก่ 5 10 15 20 30 40 50 นาที มาวัดด้วยเวอร์เนียจำนวน 10 เม็ด แล้วหาอัตราการขยายตัวที่เวลาต่างๆโดย คำนวณจาก

$$\text{อัตราการขยายตัวของเม็ดข้าวสุก} = \frac{\text{ความกว้างรวมของเม็ดข้าวสุก 10 เม็ด}}{\text{ความยาวรวมของเม็ดข้าวฮาง 10 เม็ด}}$$

นำอัตราการยืตัวของเม็ดข้าวสุกในแต่ละช่วงเวลามาเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นของอัตราการขยายตัวของเม็ดข้าว

#### 3.4.2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดความแข็ง (Hardness) และความเหนียวติดกัน (Stickiness) ของข้าวฮางโดยวิธี Back extrusion ตามวิธีการของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006)

การวิเคราะห์หีส อัตราการยืตัวของเม็ดข้าวสุก และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮาง มีการวางแผนการทดลองแบบ Factorial experiments in completely randomized design (Factorial 3×8 in CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3.4.3 การตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางหงส์

นำข้าวฮางหงส์ที่ได้คัดเลือก ได้จากข้อ 3.4.2 มาตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ โดยหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

#### 3.4.3.1 ปริมาณความชื้น โดยใช้ Hot air oven method (AOAC, 2000)

- 1) ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา ในตู้อบอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ )
- 2) ชั่งเมล็ดข้าวฮางหงส์แต่ละอัตราน้ำหนักประมาณ 5.0000 กรัม ( $W_2$ ) แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่
- 3) นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_3$ )

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_3 - W_1)} \times 100$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา

$W_2$  = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาและข้าวฮางก่อนอบ

$W_3$  = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาและข้าวฮางหลังอบ

#### 3.4.2.2 โปรตีนโดยวิธีเจลดาล์ (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1) การย่อย (Digestion) พับกระดาษกรองเป็นรูปของจดหมายซึ่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองให้ได้ น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 - 1.0000 กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask เดิม  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.8 กรัม และ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  7 กรัม เดิม  $\text{Conc. H}_2\text{SO}_4$  25 มิลลิลิตร นำ Kjeldahl flask ไปตั้งบนเตาย่อย เริ่มจากไฟอ่อนๆ ก่อน รอจนควันจางจึงใช้ไฟแรง จนได้สารละลายใส

2) การกลั่น (Distillation) นำตัวอย่างที่ย่อยเสร็จทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำ 200 มิลลิลิตรต่อ Kjeldahl flask เข้าเครื่องกลั่นให้ปลายด้านหนึ่งของ Condenser จุ่มใน 4% Boric acid 50 มิลลิลิตร เดิม 40% NaOH ลงใน Kjeldahl flask 70-100 มิลลิลิตร กลั่นจนได้แอมโมเนียออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตร เก็บใน Boric acid

3) การไทเทรต (Titration) เมื่อกลั่นแล้วนำไปไทเทรตกับ HCl 0.1 normal จนได้สีชมพูจนปริมาตรกรดที่ใช้นำไปคำนวณการคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{Nitrogen\%} = \frac{(T - B) \times 14.007 \times 100 \times N}{\text{Weight of sample (mg)}}$$

T = sample titration

B = blank titration

N = normality of titrant

การ Standardize สารละลายกรดมาตรฐาน HCl 0.1 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง anhyd.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ประมาณ 5 กรัม ใส่ในโกร่ง แล้วบดให้ละเอียดนำไปอบที่อุณหภูมิ 265 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่ เดซิเคเตอร์ เทใส่ขวดชั่งสาร ชั่ง  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่อบไว้มา 0.13 กรัม หย่าละเอียดใส่ใน flask เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วหยด อินดิเคเตอร์ประมาณ 2-3 หยด แล้วนำไปไตเตรทกับ HCl 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเปลี่ยนเป็น สีชมพู จดปริมาตรเป็น A1 จากนั้นนำสารละลายไปต้มประมาณ 2-3 นาที จนเดือดสารละลาย เปลี่ยนเป็นสีเขียว ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปไตเตรทกับ HCl 0.1 นอร์มัล ให้เป็นสีชมพู อีกครั้ง จดปริมาตรเป็น A2 แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของ HCl ตามสมการ

$$\text{Concentration of HCl (mol/L)} = \frac{2000 \times \text{accurately weight of Na}_2\text{CO}_3}{\text{MW of Na}_2\text{CO}_3 \times (A1+A2)}$$

#### 3.4.2.3 ไขมัน (AOAC, 2000)

- 1) อบบิกเกอร์ไขมันพร้อมกับ Boiling chip ที่อุณหภูมิ 130°C 1 ชั่วโมงบันทึกน้ำหนักแน่นอน ( $W_1$ )
- 2) ชั่งน้ำหนักข้าวฮางที่บดละเอียดหลังอบไล่ความชื้นแล้ว 5.0000 กรัม บันทึกน้ำหนักแน่นอน ( $W$ ) ท่อด้วยกระดาษกรองใส่ในทิมเบล
- 3) ตวงตัวทำละลายปิดเตลียมอีเทอร์ 140-180 มิลลิลิตร ใส่ในบิกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบลใส่ตัวอย่างและบิกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง
- 4) เมื่อครบเวลานำบิกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105C 30 นาที เพื่อระเหยอีเทอร์ออก
- 5) นำบิกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อรอให้เย็นก่อนนำบิกเกอร์ไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_2$ )

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

$W_1$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_2$  = น้ำหนักถ้วย

$W_3$  = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักไขมัน

#### 3.4.2.4 คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ Nitrogen Free Extract (NFE) หรือ Non Structural carbohydrate เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่สัตว์ทุกชนิดย่อยได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง ค่านี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณ โดยนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์รวมกัน แล้วหักออกจาก 100จะได้ค่าของ NFE

$$\% \text{NFE (Nitrogen Free Extract)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เยื่อใย} + \% \text{เถ้า})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 5x8 factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลของปัจจัยร่วม ปัจจัยเดี่ยวของสภาวะการหุงและระยะเวลาการหุงที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮาง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



**131123**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

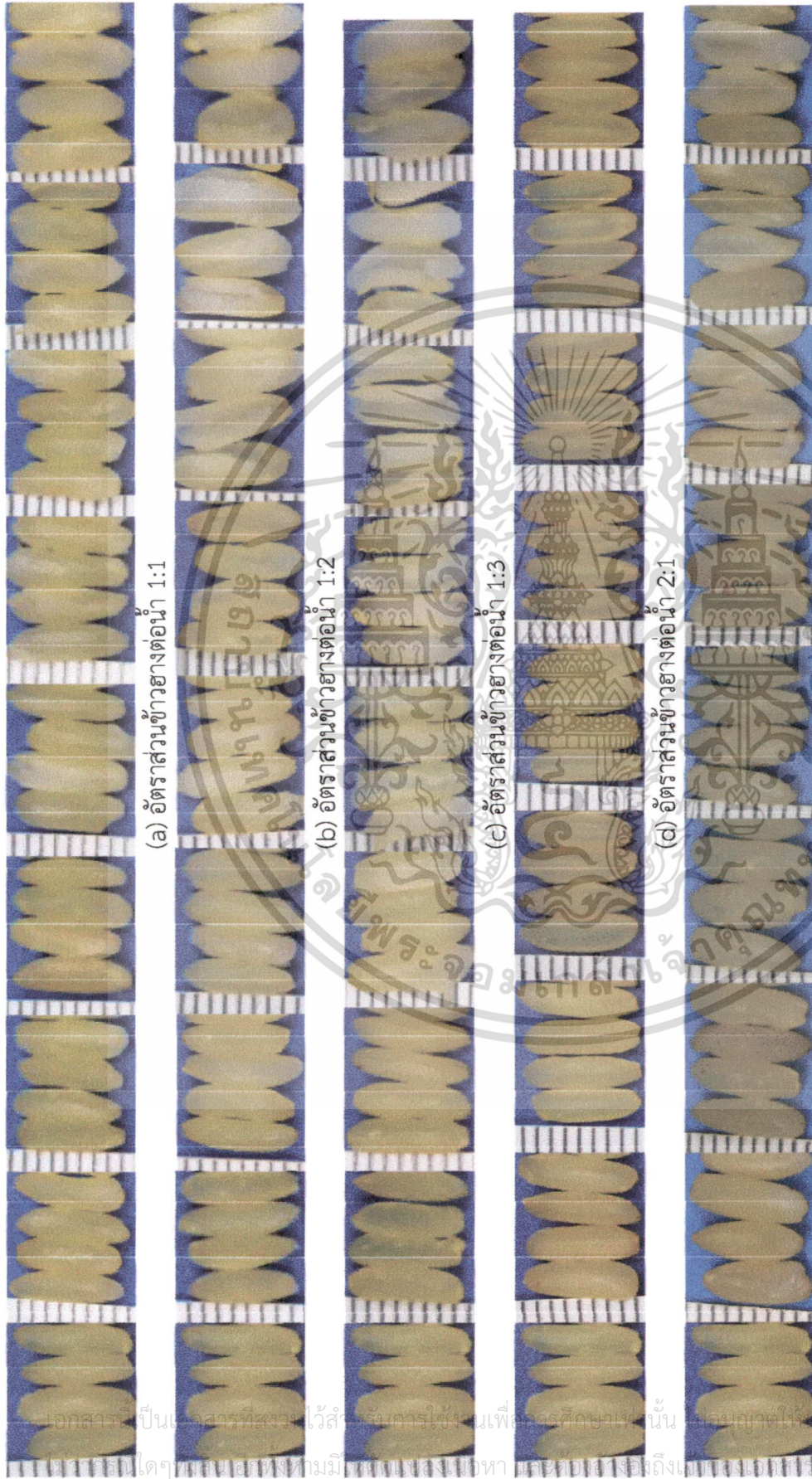
## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาต่อสัณฐานวิทยาและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮาง

#### 4.1.1 ผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสัณฐานวิทยาของข้าวฮางในระหว่างการหุง

ในกระบวนการผลิตข้าวฮาง มีการนำข้าวฮางมาผ่านกระบวนการนึ่ง และผึ่งลมหรืออบลมร้อนก่อนการขัดสี ทั้งนี้ในระหว่างการนึ่ง โมเลกุลของแป้งในเมล็ดข้าวได้รับความร้อน ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีความหนืดและใสขึ้น โมเลกุลของแป้งเกิดเจลลาคีโนเซชัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) จากนั้นมีการทำให้แป้งที่สุกหรือเกิดเจลลาคีโนเซชันแล้วมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง ส่งผลให้แป้งในข้าวมีลักษณะของแป้งพรีเจลลาคีโนเซชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) และผลจากอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด stress ขึ้นภายในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของเมล็ดค่อนข้างมาก ซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งและรูปร่างของเมล็ดข้าวภายหลังการหุงต้มเกิดการแตกร้าวของเมล็ดข้าว (Srisang และคณะ, 2008)

ผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสัณฐานวิทยาของข้าวฮางในระหว่างการหุงโดยการสังเกตจากภาพถ่าย จากภาพที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาตามระยะเวลาการหุงที่เพิ่มขึ้นโดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยช่วงแรกของการหุงลักษณะของข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yadav และ Jindal (2007) ที่พบว่าสัณฐานวิทยาของข้าวฮางจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงเวลาการให้ความร้อนช่วง 5-10 นาทีแรก ผลการทดลองในภาพที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการหุงข้าวฮางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เมล็ดข้าวฮางมีการดูดน้ำและเกิดการพองตัวมากขึ้น โดยพบว่าข้าวฮางมีการดูดน้ำเมื่อเวลาหุงต้มนานขึ้นระดับหนึ่ง จากนั้นเม็ดแป้งภายในข้าวฮางเกิดการบวมพอง และส่งผลให้เกิดการแตกหักของเม็ดข้าว (breakage) ซึ่งลักษณะที่ข้าวขยายตัวจนเกิดการแตกของเม็ดข้าวส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Ebuehi และ Oyewole, 2007) อย่างไรก็ตามอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการหุงที่แตกต่างกันส่งผลให้เมล็ดข้าวฮางดูดน้ำของเมล็ดข้าวที่ต่างกัน โดยอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เมล็ดข้าวฮางดูดน้ำมากขึ้น และเกิดการบวมของเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวฮางเกิดการแตกมากขึ้นภายใต้ระยะเวลาการหุงที่เท่ากันซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการหุงข้าวกล้อง Natcha และคณะ (2011) โดยจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวฮาง 1:1 1:2 1:3 2:1 และการหุงโดยใช้ไอน้ำ (w/w) เม็ดข้าวฮางเริ่มมีการบวมพองและเกิดการแตกของเม็ดข้าวฮางที่เวลา 35 25 20 50 และ 25 นาทีตามลำดับ



(a) อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1

(b) อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:2

(c) อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:3

(d) อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 2:1

(e) การหุงโดยใช้เอน้ำ

50

40

30

25

15

10

5

0

ระยะเวลาในการหุง (นาที)

ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงทางสีของกระดาษข้าวฮาง จากระยะเวลาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 0 5 10 15 20 25 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ (อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 (a), 1:2 (b) และ 1:3 (c)) (ความยาวเม็ดข้าวฮาง 1 มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยอนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ส่วนตัวได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

#### 4.1.2 ผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางในระหว่างการหุง

##### 4.1.2.1 สีของข้าวฮาง

ผลิตภัณฑ์ สีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Maskan, 2001; Moreira et al., 2008) สีของข้าวเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด แบบไม่ใช่เอนไซม์เมื่อนำข้าวมาผ่านกระบวนการแช่แล้วนำมาหุงส่งผลให้สีของเปลือกกระจายตัวลงสู่เม็ดข้าวซึ่งประกอบไปด้วยสารอาหารบางประเภท ได้แก่ วิตามินและแร่ธาตุ และจากรำข้าว ได้แก่ ไขมัน (Kanokkan Panchan และ Onanong Naivikul, 2009) ผลของการศึกษาอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสีของข้าวฮางในระหว่างการหุงแสดงใน 4.1 พบว่า การใช้อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาในการหุงมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าความเป็นสีเหลืองและความแตกต่างของสีของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีค่าความเป็นสีเหลืองที่ลดลง และความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Islam และคณะ (2004) ที่พบว่าค่าความสว่างของข้าวลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการหุง และค่าความเป็นสีเหลืองลดลง ทั้งนี้ Islam และคณะ (2004) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเกิดขึ้นจากเม็ดสีในส่วนรำข้าวได้รับความร้อนในระหว่างการหุงและถูกชะออกมา ข้าวจึงมีความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองที่ลดลง และเมื่อความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีมีการเปลี่ยนแปลงไป ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที

อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและวิธีการหุง	ความเป็นสีเหลือง	ความแตกต่างของสี
1:1	13.024±1.403 <sup>b</sup>	4.855±1.804 <sup>b</sup>
1:2	11.375±2.279 <sup>a</sup>	6.530±1.991 <sup>c</sup>
1:3	11.362±2.452 <sup>a</sup>	7.840±2.658 <sup>d</sup>
2:1	14.556±1.043 <sup>c</sup>	2.349±1.600 <sup>a</sup>
การใช้ไอน้ำ	13.290±1.085 <sup>b</sup>	4.914±0.711 <sup>b</sup>

หมายเหตุ - <sup>a,b,c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

- ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางในแต่ละอัตราส่วนเป็นค่าเฉลี่ยได้จากระยะเวลา 0-50 นาที

ระยะเวลาการหุงและอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลืองและค่าความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) การเพิ่มระยะเวลาการหุงและการเพิ่มปริมาณน้ำในการหุงส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลงและค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.2) อย่างไรก็ตามแม้ว่าสีเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการให้การยอมรับของผลิตภัณฑ์ลดลง (Parnsakhom และ Noomhorm, 2008) สำหรับกรรมของข้าวฮางซึ่งเป็นข้าวสุขภาพและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะเดียวกันกับกรรมของข้าวกล้องและข้าวอื่นๆ ผู้วิจัยคิดว่าปัจจัยคุณภาพด้านสีของข้าวฮาง

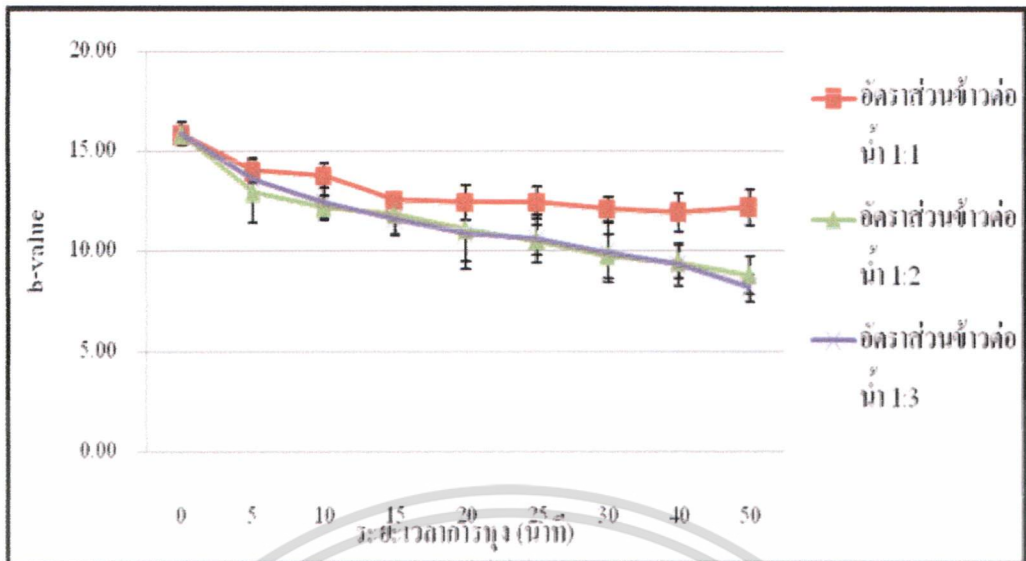
ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการหุงและอัตราส่วนน้ำอาจไม่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคมากนัก โดยค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวฮางอยู่ระหว่าง 9.70-15.85 และความแตกต่างของสีของข้าวฮาง อยู่ระหว่าง 0-8.13 (ตาราง 4.2)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน

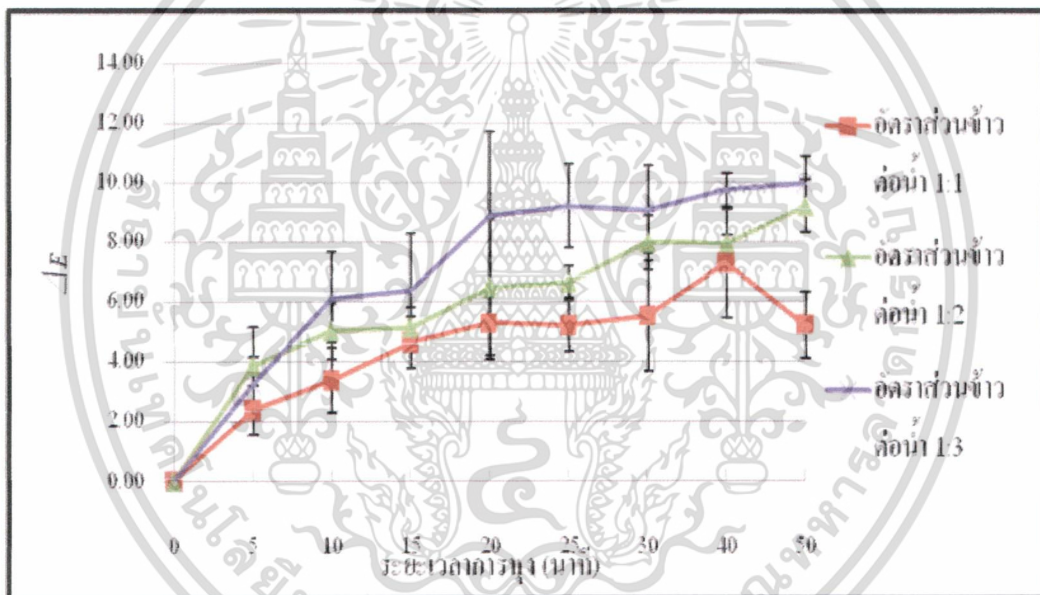
ระยะเวลาการหุง(นาทื)	ความแตกต่างของสี	ค่าสีเหลือง
0	0.000±0.000	15.847±0.537 <sup>f</sup>
5	3.250±1.233 <sup>a</sup>	13.677±1.035 <sup>e</sup>
10	4.462±1.522 <sup>b</sup>	13.062±1.031 <sup>d</sup>
15	4.629±1.854 <sup>b</sup>	12.714±1.372 <sup>cd</sup>
20	5.639±2.727 <sup>c</sup>	12.324±1.719 <sup>bc</sup>
25	5.615±2.510 <sup>b</sup>	12.165±1.701 <sup>b</sup>
30	6.179±2.436 <sup>b</sup>	11.627±1.828 <sup>a</sup>
40	6.432±2.874 <sup>c</sup>	11.648±2.273 <sup>a</sup>
50	6.175±3.177 <sup>bc</sup>	11.428±2.755 <sup>a</sup>

หมายเหตุ - <sup>a,b,c,d</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

- ค่าเฉลี่ยค่าสีของข้าวฮางในแต่ละช่วงเวลาเป็นค่าเฉลี่ยได้จากอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 2:1 และการหุงโดยใช้ไอน้ำ



(a) ความเป็นสีเหลือง



(b) ความแตกต่างของสี

ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นสีเหลือง (a) และความแตกต่างของสี (b) ของข้าวฮางที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.2 การขยายตัวของเม็ดข้าว

ในระหว่างการหุงข้าว แป้งในเม็ดข้าวได้รับความร้อนส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวเม็ดแป้งมีการดูดน้ำและพองตัว (Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006) การเพิ่มระยะเวลาการหุงและการเพิ่มปริมาณน้ำในการหุงข้าวสาง จึงส่งผลให้เม็ดข้าวมีอัตราการขยายตัวและการเพิ่มขึ้นผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 อัตราการขยายตัวของข้าวสางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที

อัตราส่วนข้าวสางต่อน้ำและวิธีการหุง	อัตราการขยายตัวของข้าวสาก (mm/mm)
1:1	1.221±0.194 <sup>b</sup>
1:2	1.315±0.277 <sup>c</sup>
1:3	1.415±0.349 <sup>d</sup>
2:1	1.124±0.098 <sup>a</sup>
การใช้ไอน้ำ	1.146±0.137 <sup>a</sup>

หมายเหตุ - <sup>a,b,c,d</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

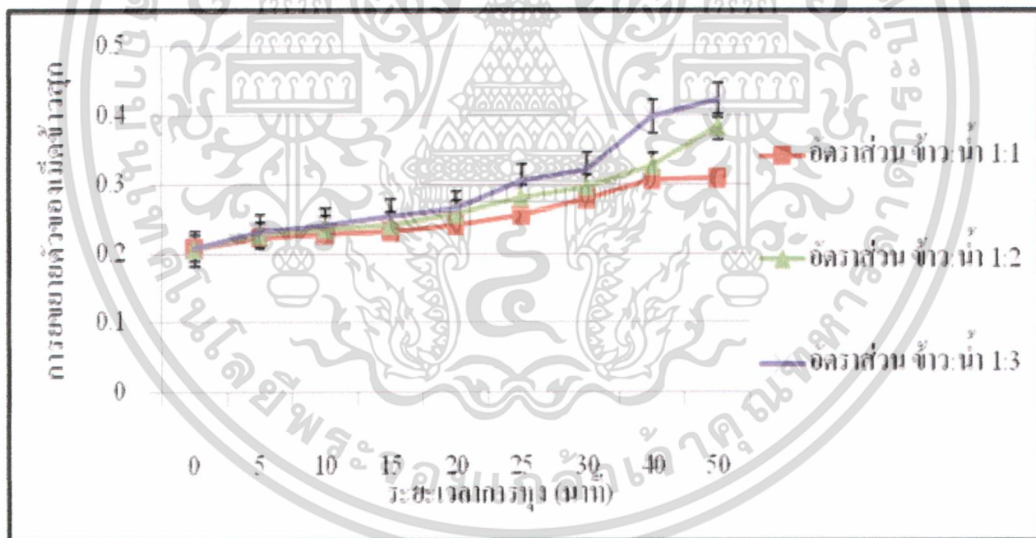
- ค่าเฉลี่ยอัตราการขยายตัวของข้าวสางในแต่ละอัตราส่วนเป็นค่าเฉลี่ยได้จากระยะเวลา 0-50 นาที

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาที่หุงและอัตราส่วนของข้าวสางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายตัวของเม็ดข้าวสางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราขยายตัวของเม็ดข้าวสางเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และเมื่อระยะเวลาในการหุงเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราขยายตัวของเม็ดข้าวสางเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกันโดยมีอัตราการขยายตัวของเม็ดข้าวสางอยู่ระหว่างที่ 1-2.03 เท่าของเม็ดข้าวสางก่อนการหุง (ภาพที่ 4.3) จากการทดลองสังเกตได้ว่า ในช่วงแรกของการหุง (ที่เวลาการหุง 0-15 นาที) เม็ดข้าวมีอัตราการขยายตัวที่ค่อนข้างน้อย และอัตราการขยายตัวค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการหุงที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอัตราการขยายตัวของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน

ระยะเวลาการหุง(นาที)	อัตราการขยายตัวของข้าวสุก (mm/mm)
0	1.000±0.000 <sup>a</sup>
5	1.078±0.588 <sup>b</sup>
10	1.101±0.073 <sup>b</sup>
15	1.146±0.083 <sup>c</sup>
20	1.201±0.113 <sup>d</sup>
25	1.288±0.140 <sup>e</sup>
30	1.333±0.182 <sup>f</sup>
40	1.487±0.279 <sup>g</sup>
50	1.565±0.363 <sup>h</sup>

หมายเหตุ - <sup>a,b,c,h</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )  
 - ค่าเฉลี่ยอัตราการขยายตัวของข้าวฮางในแต่ละช่วงเวลาเป็นค่าเฉลี่ยได้จากอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 2:1 และหุงโดยใช้ไอน้ำ



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายตัวของข้าวฮางที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างกัน

#### 4.1.2.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวมีหลายปัจจัย เช่น ความร้อน ปริมาณน้ำและการเกิดเจลภายในเม็ดข้าว เป็นต้น ความร้อนส่งผลต่ออะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีการจัดเรียงโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของ (Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข้าวที่เกิดเจลลาตินไนซ์ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัน (Soponronnarit และคณะ, 2005)

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางในระหว่างการหุง พบว่าอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาการหุงมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งและความเหนียวของข้าวฮางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) กล่าวคือเมื่อเพิ่มระยะเวลาการหุงและปริมาณน้ำในการหุงส่งผลให้ข้าวมีแนวโน้มค่าความแข็งลดลง และมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) (ภาพที่ 4.4) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำและระยะเวลาการหุงส่งผลให้โมเลกุลของแป้งมีการดูดน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงกดของผลิตภัณฑ์ลดลง ผลการทดลองสอดคล้องกับในกรณีการเพิ่มเวลาการหุง ส่งผลให้ข้าวฮางมีแนวโน้มการลดลงของค่าความแข็ง และความเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.5) (ภาพที่ 4.4) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการหุง อะไมโลสจะถูกชะออกมาและส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียว (Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006) โดยค่าความเหนียวของข้าวฮางที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 และ 2:1 (w/w) และการหุงโดยใช้ไอน้ำ ในช่วงเวลาที่ข้าวฮางยังไม่เกิดการแตกของเม็ดข้าวที่เวลา 30 นาที 15-20 นาที 15 นาที ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งเท่ากับ 0.047 0.057-0.079 0.069 0.041 และ 0.090 นิวตัน ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในด้านความแข็งกับสัณฐานวิทยาของข้าวฮาง (ภาพที่ 4.1) พบว่า การหุงข้าวฮางที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 และ 2:1 (w/w) และการหุงโดยใช้ไอน้ำ ในช่วงที่ข้าวฮางไม่เกิดการแตกของเม็ดข้าว ที่เวลา 30 นาที 15-20 นาที 15 นาที 25 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งเท่ากับ 58.83 94.96-104.30 110.97 114.47 และ 38.55 นิวตัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยลักษณะสัมผัสของข้าวฮางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ระหว่างการหุงเฉลี่ย 0-50 นาที

อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำและวิธีการหุง	ความแข็ง (N)	ความเหนียว (N)
1:1	128.823±75.081 <sup>d</sup>	0.053±0.025 <sup>a</sup>
1:2	94.001±75.212 <sup>c</sup>	0.159±0.162 <sup>c</sup>
1:3	77.357±61.185 <sup>b</sup>	0.206±0.192 <sup>d</sup>
2:1	140.237±53.853 <sup>e</sup>	0.045±0.008 <sup>a</sup>
การใช้ไอน้ำ	53.458±22.926 <sup>a</sup>	0.098±0.066 <sup>b</sup>

หมายเหตุ - <sup>abc</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

- ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางในแต่ละอัตราส่วนเป็นค่าเฉลี่ยได้จากระยะเวลา 0-50 นาที

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางที่มีระยะเวลาการหุงต่างกัน

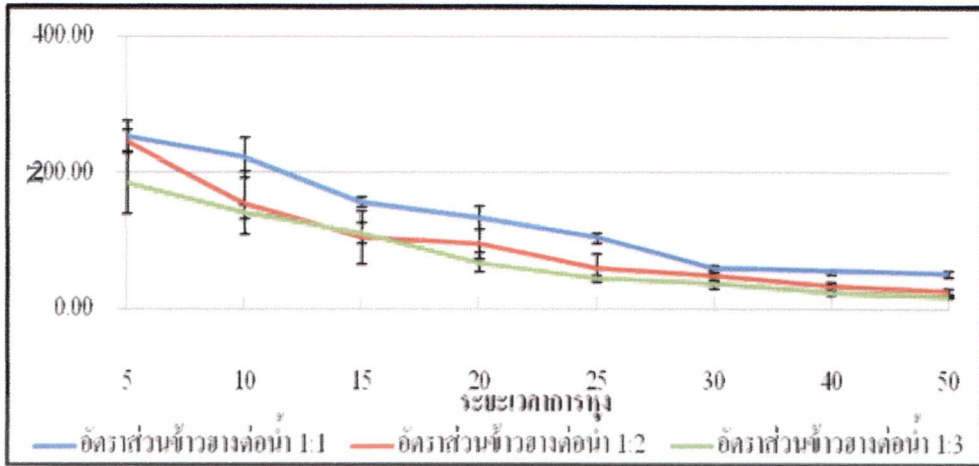
ระยะเวลา(นาที)	ความแข็ง (N)	ความเหนียว (N)
5	193.948±68.510 <sup>f</sup>	0.052±0.016 <sup>a</sup>
10	164.018±62.906 <sup>e</sup>	0.049±0.012 <sup>a</sup>
15	120.451±42.521 <sup>d</sup>	0.053±0.024 <sup>a</sup>
20	98.564±33.521 <sup>c</sup>	0.063±0.036 <sup>ab</sup>
25	72.298±34.314 <sup>b</sup>	0.085±0.050 <sup>b</sup>
30	50.401±31.590 <sup>a</sup>	0.143±0.112 <sup>c</sup>
40	48.724±27.407 <sup>a</sup>	0.199±0.198 <sup>d</sup>
50	41.801±24.392 <sup>a</sup>	0.253±0.204 <sup>e</sup>

หมาย

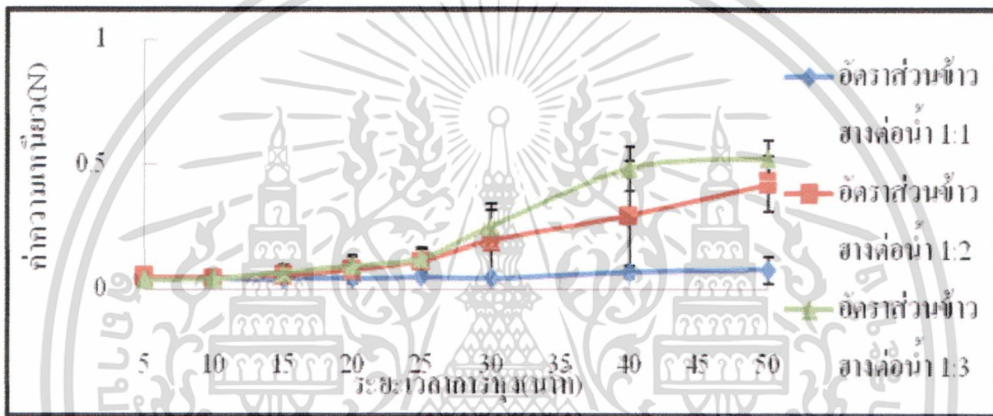
a,b,c,f หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

- ค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮางในแต่ละช่วงเวลาเป็นค่าเฉลี่ยได้จากอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 2:1 และหุงโดยใช้ไอน้ำ

เหตุ -



(a) ค่าความแข็ง



(b) ค่าความเหนียว

ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็ง (a) และค่าความเหนียว (b) ของข้าวสางที่มีอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างกัน

#### 4.2 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวสางหุงสุก

จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกายภาพของข้าวสางที่ผ่านการหุงที่สภาวะต่างๆ และระยะเวลาต่างๆ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีความแข็ง และสัณฐานวิทยาของข้าวสาง พบว่าการหุงข้าวสางที่อัตราส่วนข้าวสางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 และ 2:1 (w/w) และการหุงโดยใช้ไอน้ำ ในช่วงที่ข้าวสางไม่เกิดการแตกของเม็ดข้าว ที่เวลาที่ 30 นาที 15-20 นาที 15 นาที 25 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งเท่ากับ 58.83 94.96-104.30 110.97 114.47 และ 38.55 นิวตัน ตามลำดับ

สำหรับกรณีความเหนียวของข้าวสางที่เตรียมจากอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงต่างๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำและระยะเวลาการหุงส่งผลให้ข้าวสางมีค่าความเหนียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการ หุงอะไมโลสจะถูกชะออกมาและส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียว (Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006) โดยค่าความเหนียวของข้าวสางที่อัตราส่วนข้าวสางต่อน้ำ 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1:2 1:3 และ 2:1 (w/w) และการหุงโดยใช้ไอน้ำ ในช่วงเวลาที่ข้าวฮางยังไม่เกิดการแตกของเมล็ดข้าวที่เวลา 30 นาที 15-20 นาที 15 นาที ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์มีความแข็งเท่ากับ 0.047 0.057-0.079 0.069 0.041 และ 0.090 นิวตัน ตามลำดับ

#### 4.3 คุณภาพของข้าวฮางหุงสุก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฮางหุงสุกในแต่ละสภาวะการหุง ได้แก่ การใช้น้ำร้อน 4 ระดับ และการหุงโดยใช้ไอน้ำร้อน ระยะเวลาการหุงในแต่ละสภาวะการทดลองที่คัดเลือกได้ตั้งข้อที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮางหุงสุก โดยหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

ตัวอย่าง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต
ข้าวฮาง (ดิบ)	12.62±0.18 <sup>a</sup>	0.56±0.01 <sup>d</sup>	2.86±0.60 <sup>b</sup>	80.02±0.52 <sup>c</sup>
ใช้น้ำร้อน ข้าวต่อน้ำ 2:1	40.38±2.03 <sup>b</sup>	0.40±0.04 <sup>c</sup>	2.12±0.47 <sup>ab</sup>	55.14±1.86 <sup>b</sup>
ใช้น้ำร้อน ข้าวต่อน้ำ 1:1	42.80±1.29 <sup>b</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>	2.42±0.46 <sup>ab</sup>	52.61±1.57 <sup>b</sup>
ใช้น้ำร้อน ข้าวต่อน้ำ 1:2	48.61±1.87 <sup>c</sup>	0.20±0.07 <sup>a</sup>	2.20±0.40 <sup>ab</sup>	47.73±2.26 <sup>a</sup>
ใช้น้ำร้อน ข้าวต่อน้ำ 1:3	78.76±3.13 <sup>c</sup>	0.19±0.03 <sup>a</sup>	1.99±0.35 <sup>a</sup>	47.29±2.71 <sup>a</sup>
หุงด้วยไอน้ำ	46.72±1.86 <sup>c</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	2.08±0.09 <sup>ab</sup>	48.87±1.98 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a,b,c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้าวฮางดิบมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80 ความชื้นร้อยละ 12.6 นอกจากนี้ประกอบด้วยไขมัน และโปรตีนร้อยละ 2.9 และ 0.56 ตามลำดับ เมื่อนำข้าวฮางไปหุงที่สภาวะต่างๆ ได้แก่การใช้น้ำร้อนในอัตราส่วนต่างๆ และการใช้ไอน้ำร้อน พบว่าการให้ความร้อนโดยอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนทั้ง 2 กรณี ส่งผลให้เมล็ดแป้งภายในข้าวฮางมีการดูดกลืนน้ำ ร่วมกับการใช้ความร้อน ส่งผลให้เมล็ดแป้งในข้าวฮางมีการบวมพองและดูดน้ำมากขึ้น หลังจากข้าวสุกแล้ว เมื่อนำข้าวสุกมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจึงส่งผลให้ข้าวสุกมีปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นตามลำดับ การใช้ปริมาณน้ำในการหุงข้าวฮางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวฮางมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่สูงขึ้น จนอาจเป็นสาเหตุให้ข้าวที่ผ่านการหุงโดยการใช้น้ำในปริมาณมากนั้นมีแนวโน้มการเกิดข้าวแฉะ และอาจมีการแตกของเมล็ดข้าวตามลำดับ สำหรับในกรณีของปริมาณโปรตีนนั้นพบว่าโปรตีนที่อยู่ในบริเวณเปลือกของเมล็ดข้าวฮางที่ผ่านการขัดสีออกไม่หมดนั้นมีส่วนที่สามารถละลายได้ในน้ำ เมื่อนำข้าวไปหุงจึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนของข้าวฮางหุงสุกเหลือน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) สำหรับในกรณีของปริมาณไขมันนั้น ไขมันเป็นส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 พบว่า การใช้ปริมาณน้ำในการหุงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวฮางหุงสุกมีร้อยละของไขมันที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวฮางมีร้อยละของความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลต่อสัดส่วนของไขมันที่มีอยู่ในข้าวฮางตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. สภาวะการหุงและระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา รวมทั้งสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮาง โดยพบว่า การหุงโดยใช้น้ำในปริมาณมากขึ้น และการหุงโดยใช้เวลาการหุงนานขึ้นส่งผลให้ข้าวฮางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา ความแข็งลดลง และการเปลี่ยนแปลงสี อัตราการขยายของเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. สภาวะที่เหมาะสมในการหุงข้าวฮางได้แก่ การหุงข้าวฮางต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 (w/w) และการหุงโดยใช้น้ำในเวลาที่ 30 นาที 15-20 นาที 15 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ ในขณะที่การหุงข้าวฮางต่อน้ำ ที่อัตราส่วน 2:1 ข้าวมีแนวโน้มที่แข็ง เนื่องจากปริมาณน้ำน้อย เม็ดแข็งไม่บวมพองเต็มที่
3. ข้าวฮางที่หุงสุกในสภาวะที่ทำการทดลองมีความชื้นร้อยละ 40.4-78.8 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 47.3-55.1 ไขมันร้อยละ 2.0-2.4 และโปรตีนร้อยละ 0.2-0.4 ตามลำดับ

### บรรณานุกรม

- ขจรวิทย์ พันธุ์ยางน้อย. 2553. คู่คิดชาวนา : “ข้าวฮาง” ภูมิปัญญาชาวอีสาน. หนังสือพิมพ์กสิกร ปีที่ 83, ฉบับที่ 1: หน้า 11-14.
- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ์. การสัมมนาวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, จังหวัดปทุมธานี: หน้า 241-259.
- ดุจฤทัย พงษ์เก่า คชะสีมา. 2550. สันฐานวิทยาของวัสดุนั้นสำคัญฉะนี้. วารสารเชรามิกส์ ปีที่ 11, ฉบับที่ 25, พฤษภาคม - สิงหาคม 2550: หน้า 20-23.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร: 504 หน้า.
- มกอช. 4000-2546. 2546. ข้าวหอมมะลิไทย. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร: 366 หน้า.
- เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2542. ข้าวกล้อง. ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. สถาบันวิจัยข้าว. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร: หน้า 1-19.
- AOAC, 2000, Official methods of analysis 18<sup>th</sup> Eds, The Association of Official Analytical Chemists Arlington, Virginia.
- Helland, M.H., Wicklund, T. and Narvhus, J.A. 2002. Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. Food Research International. 35: 315-321.
- Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. Scientia Horticulturae. 129: 479-485.
- Islam, M. R., Shimizu, N., and Kimura, T. 2004. Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. Journal of Food Engineering. 63: 433-439.
- Juliano, B.O. 1985. Critical and tests for rice grain qualities.. In Rice: Chemistry and Technology 2<sup>nd</sup> Eds. Edited by B.O. Juliano The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA: p 443 - 524.
- Kanokkan Panchan and Onanong Naiviku. 2009. Effects of Pre-Germination and Parboiling on Brown Rice Properties. Food Innovation Asia Conference 2009, 11<sup>th</sup> Agro-Industrial Conference (2009). 2(04), 515-524.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment of GABA content in germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 78: 556-560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Leelayuthsoontom, P. and Thipayarat, A. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Journal of Food Chemistry*. 96: 606-613.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48: 177-182.
- Mestres, C., Ribeyre, F., Pons, B., Fallet, V. and Matencio, F. 2011. Sensory texture of cooked rice is rather linked to chemical than to physical characteristics of raw grain. *Journal of Cereal Science*. 53:81-89.
- Mirdehghan, S.H. and Rahemi, M. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*. 111: 120-127.
- Mohapatra, D. and Bal, S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *Journal of Food Engineering*. 73:253-259.
- Moreira, R., F. Chenlo, L. Chaguri and C. Fernandes. 2008. Water absorption, texture and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration. *Journal of Food Engineering*. 86: 584-594.
- Natcha Daomukda, Anuchita Moongngarm, Lalita Payakapol and Angkana Noisuwan. 2011. Effect of Cooking Methods on Physicochemical Properties of Brown Rice. 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. vol.6.V1-1-V1-4.
- Ong, M.H. and Blanshard, J.M.V. 1995. Texture determinants in cooked parboiled rice I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. *Journal of Cereal Science*. 21: 251-260.
- Oh, S.H. 2003. Stimulation of gamma-aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 36: 319-325.
- Ohtsubo, K., Suzuki, K, Yasui, Y. and Kasumi, T. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 303-316.
- Osman, H., Nasarudin, R., Lee, S.L. 2004. Extracts of cocoa (*Thebroma cacao* L.) leaved and their antioxidation potential. *Food Chemistry*. 86: 41-46.
- Parnsakhorn, S. and Noomhorm, A. 2008. Changes in Physicochemical Properties of Parboiled Brown Rice during Heat Treatment. *Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal*. Manuscript FP 08 009. Vol. X. August, 2008.

- Patindol J, Newton J, Wang YJ. 2008. Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice. *Journal of Food Science*. Vol. 73, Issue 8, p. E370-E377.
- Shoichi, I. 2004. Marketing of Value-Added Rice Production in Japan: Germinated Brown Rice and Rice Bread, In *Rice in Global Markets, UN Food in global Market, Italy*.
- Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2005. Parboiling Brown Rice using Super Heated Steam Fluidization Technique. *Journal of Food Engineering*. 75: 423-432.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varayanond, W. 2008. Fluidized Bed Drying of Germinated Brown Rice. *International Conference on Innovations in Food Processing Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand* : 1-8.
- Yadav, R.B., Khatkar, B.S. & Yadav, B.S. 2007. Morphological, physicochemical and cooking properties of some Indian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Technology*, 3, 203-210.

### ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

#### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวโสธยา เกิดพิบูลย์  
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
โทรศัพท์ 02 3298526-7 โทรสาร 02 3298526-7  
E-mail: kksoraya@kmitl.ac.th

#### ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ. ผลิตภัณฑืประมง	ผลิตภัณฑืประมง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2542
วท.ม. วิทยาศาสตร์การอาหาร	วิทยาศาสตร์การอาหาร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2545
วศ.ด. วิศวกรรมอาหาร	วิศวกรรมอาหาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2549

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Thermal processing, Drying  
Structural and physical properties of foods during thermal process  
Image processing, Simulation, Artificial neural network to food prediction,  
Optimization and correlation  
Meat and poultry processing, fishery processing

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2555	รางวัลเงินทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 18	มูลนิธิโทรเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2553-2555	ทุนวิจัย: ผลของสมบัติเชิงวิทยากระแสของโจ๊กข้าวฮางที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑือบแห้ง	สกว.
2552-	ทุนวิจัย: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต	สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2554	วิจัยผสมฟักทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2552- 2553	ทุนวิจัย: ผลของวิธีการและสภาวะการอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของเนื้อจี้จากเนื้อโคโพเนียงค้ำ	สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร
2552- 2553	ทุนวิจัย: การปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของทามาโกะแช่เยือกแข็ง	สกว. (IRPUS 2552)
2551- 2552	ทุนวิจัย: การพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์สไลด์ผักปรุงรส (สไลด์ญี่ปุ่น)	สกว. (IRPUS 2551)
2551- 2552	ทุนวิจัย: การศึกษากระบวนการผลิตเนยฟักทอง	คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มก. ฉกส.
2550- 2551	ทุนวิจัย: การปรับปรุงคุณภาพด้านสี (ความขาว) ของซูริมิที่ผลิตจากปลาแช่เยือกแข็ง	สกว. (IRPUS 2550)

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

##### Publications:

##### International Journal

1. Niamnuy, C, Kerdpi boon, S, Devahastin, S. 2012. Artificial neural network modeling of physicochemical changes of shrimp during boiling. LWT- Food Science and Technology. 45: 110-116.
2. Klaypradit, W., Kerdpi boon, S., Singh, R.K. 2011. Application of artificial neural networks to predict the oxidation of menhaden fish oil obtained from Fourier transform infrared spectroscopy method. Food and Bioprocess Technology. 4:475-480.
3. Kerdpi boon S, Devahastin S. Fractal Characterization of Some Physical Properties of a Food Product under Various Drying Conditions. Drying Technology. 2007. 25: 135-146.
4. Kerdpi boon S, Devahastin S, Kerr W L. Comparative fractal Characterization of Physical Changes of Different Food Products during Drying. Journal of Food Engineering. 2007. 83: 570-580.
5. Kerdpi boon S, Kerr W. L., Devahastin S. Neural Network Prediction of Physical Property Changes of Dried Carrot as a Function of Fractal Dimension and Moisture Content. Food Research International. 2006. 39: 1110-1118.

##### Proceedings

1. Kerdpi boon, S., Charoendee, D. 2012, "Comparative physical characterization of water ratio changes of Hang rice during cooking," *Oral Presentation In Proceedings of 2012*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Conference on Nutrition and Food Sciences (ICNFS 2012), 23-24 July, 2012, Singapore.

(Grant: Thailand Toray Science Foundation and Faculty of Agro-Industry, KMITL)

2. Kerdpi boon, S., Puttongsiri, T., Devahastin, S. 2012, "Physical property and sensory acceptance of Hange rice porridge," *International Conference on Food and Applied Bioscience: The 3<sup>rd</sup> Agro-Industry Conference, Kantary Hill Resort, Chiang Mai, Thailand.* 6-7 February, 2012.

(Grant: TRF)

3. Puttongsiri, T., Kerdpi boon, S., Vichitraka, A. 2012. "Shelf life extension of semi dried Sepat-Siam (*Trichogaster pectoralis*) using of Chitosan," *International Conference on Food and Applied Bioscience: The 3<sup>rd</sup> Agro-Industry Conference, Kantary Hill Resort, Chiang Mai, Thailand.* 6-7 February, 2012.

(Grant: Faculty of Agro-Industry, KMITL)

4. Kerdpi boon, S., Devahastin, S. 2010. "Flow Characteristics and Selected Physical Properties of Porridge Mixed with Pumpkin," *International Conference on Agriculture and Agro-Industry (ICAAI2010) Food, Health and Trade, Chiangrai, Thailand.* 19-20 November, 2010].

(Grant: Kasetsart University)

5. Klaypradit W, Kerdpi boon S, Singh R.K. 2009. "Application of Artificial Neural Networks to Predict the Oxidation of Menhaden Fish Oil Obtained from Fourier Transform Infrared Spectroscopy Method." IFT Annual Meeting & Food Expo, Anaheim, CA, USA.

(Grant: Kasetsart University)

#### วารสารตีพิมพ์ระดับชาติ

1. โสรยา เกิดพิบูลย์ ดาริกา เจริญดี เณศรา จันทะวงษ์ และพนัชกร อัครวจิต. 2555. ผลของวิธีการหุงที่มีต่อ สันฐานวิทยาและสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางในระหว่างการหุง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 43(2) (พิเศษ) 41-44.
2. สุขทิพย์ สุกใส ชลิตา เนียมนุ้ย อนุกุล วัฒนสุข กนกภรณ์ ครุฑภาพันท์ และโสรยา เกิดพิบูลย์. สมบัติเชิง กายภาพบางประการของซูปที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 43(2) (พิเศษ) 237-240.
3. โสรยา เกิดพิบูลย์. 2554. การพัฒนาการผลิตสัดผักปรุงรส. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 42(2) (พิเศษ): 281-284.
4. โสรยา เกิดพิบูลย์ ธงชัย พุดทองศิริ และ สักกมน เทพหัสติน ณ อยุธยา. 2554. ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพและลักษณะการไหลของโฉกผสมฟักทองกึ่งสำเร็จรูป. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 42(2)(พิเศษ): 445-448.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โสรยา เกิดพิบูลย์ ชาตีสยาม ผลวิไล และสิรินาฏ เนติศรี. 2553. สมบัติเชิงกายภาพบางประการและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้ของไส้กผสมฟักทอง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. ได้รับพิจารณาตีพิมพ์.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
6. โสรยา เกิดพิบูลย์ จักรพงษ์ ไสวะพันธ์ ประกาย ผิวทอง และ อรอนงค์ ฐาปนพันธ์นติกุล. 2554. ผลของอิมัลซิไฟเออร์และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติเชิงกายภาพของฟักทองสเปรด. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 16(1). 32-40.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
7. โสรยา เกิดพิบูลย์ และ วัชรวิทย์ มีหนองใหญ่. 2553. แนวทางการใช้ประโยชน์จากกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(2): 23-30.
8. โสรยา เกิดพิบูลย์ กรรณิกา ชาลิตปฎิญา และ สุภารัตน์ พรหมดวง. 2552. ผลของกระบวนการล้างเนื้อปลาบดด้วยสารละลายต่างต่อคุณภาพด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของซูริมิที่ผลิตจากปลาแช่เยือกแข็ง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 1(1): 34-41.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: สำนักงานโครงการ IRPUS ประจำปี 2550)

#### นำเสนอในงานประชุมระดับชาติ

1. โสรยา เกิดพิบูลย์ ดาริกา เจริญดี เณศรา จันดีะวงษ์ และพนัชกร อัสวจิต. 2555. ผลของวิธีการหุงที่มีต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางในระหว่างการหุง. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 6. วันที่ 26-27 กรกฎาคม 2555. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: มูลนิธิโทรแห่งประเทศไทย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล.)
2. สุขทิพย์ สุกใส ชลิตา เนียมนุ้ย อนุกุล วัฒนสุข กนกภรณ์ ครุฑภาพันท์ และโสรยา เกิดพิบูลย์. สมบัติเชิงกายภาพบางประการของซูบที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 6. วันที่ 26-27 กรกฎาคม 2555. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: สวก.)
3. ดาริกา เจริญดี และโสรยา เกิดพิบูลย์. 2554. การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮางในระหว่างกระบวนการหุง. โครงการประชุมทางวิชาการประจำปี 2554 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. ศูนย์การศึกษาและอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 1-2 ธันวาคม 2554.  
(แหล่งทุนสนับสนุน: คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล.)
4. Kerdpi boon, S., Pilachun, W., Tuksima, T. 2011. "Selected Physical Properties of Jerky Produced from Pon Yang Kham G-Beef," Thailand Research Symposium 2011, Thailand. (In English).  
(Supported by: Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โสรยา เกิดพิบูลย์. 2554. การพัฒนาการผลิตสไลด์ฝึกปฐุรสร. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 5. วันที่ 21-22 กรกฎาคม 2554. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร.

(แหล่งทุนสนับสนุน: สำนักงานโครงการ IRPUS ประจำปี 2551)

6. โสรยา เกิดพิบูลย์ ธงชัย พุฒทองศิริ และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพและลักษณะการไหลของโจักผสมพืคทองกึ่งสำเร็จรูป. นำเสนอผลงาน งานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 5. วันที่ 21-22 กรกฎาคม 2554. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร.

(แหล่งทุนสนับสนุน: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮางในระหว่างกระบวนการหุง Morphological and Color Changes of Parboiled (Hang) Rice during Cooking

ดารีกา เจริญดี<sup>1</sup> และโสรัยา เกิดพิบูลย์<sup>1\*</sup>

Darika Charoendee<sup>1</sup> and Soraya Kerdpiboon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>1</sup>Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang,  
Bangkok, 10520

Corresponding author: kksoraya@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮางในระหว่างกระบวนการหุง โดยการเตรียมข้าวฮางต่อน้ำที่อัตราส่วน 2:1 1:1 1:2 และ 1:3 น้ำหนักต่อปริมาตร เวลาการหุง 0-50 นาที พบว่า การเพิ่มสัดส่วนของน้ำในการหุงข้าวฮางส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนมีการดูดน้ำและเกิดการแตกของเมล็ดข้าวสูง โดยการหุงที่ระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้เม็ดข้าวมีการดูดซึมน้ำมากขึ้น และมีลักษณะการแตกของเมล็ดข้าวฮางสูง นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำ และระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำในการหุงข้าวฮางและการเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับสีเริ่มต้นสูงขึ้น และมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองในแนวโน้มลดลง

คำสำคัญ: ข้าวฮาง ข้าวฮางหุงสุก สัณฐานวิทยา สี

## Abstract

Morphological and color changes of parboiled (Hang) rice undergoing cooking were studied. Ratios of parboiled rice to water of 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3 w/v undergoing cooking time of 0-50 mins were prepared. It was found that increase of water ratio to the parboiled rice cooking as well as increase of cooking time represented more water absorption to rice and rice breakage. Moreover, ratios of parboiled rice to water as well as cooking time affected color changes to the product. Increase of water ratio to the parboiled rice cooking as well as increase of cooking time tended to increase  $\Delta E$  of rice, while redness and yellowness of rice tended to decrease.

**Keywords:** parboiled rice, cooked parboiled rice, morphology, color

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองเป็นข้าวที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวขาวหอมมะลิซึ่งเก็บเกี่ยวในขณะที่ยังไม่แก่จัด หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วข้าวจะถูกบ่มไว้ 1-2 คืนเพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว ก่อนการนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด ทำให้เย็นและผึ่งลมให้แห้งหรืออบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง ก่อนการสีเป็นข้าวสาร (ข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร) ด้วยกระบวนการทำให้ข้าวเปลือกสุกโดยการนึ่งก่อนการขัดสี ข้าวฮางจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอยู่ในเมล็ดข้าว จึงอาจถือได้ว่าข้าวฮางเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพมีศักยภาพมากผลิตภัณฑ์หนึ่ง อีกทั้งเป็นทางเลือกให้แก่กลุ่มคนรักสุขภาพ ปัจจุบันมีการผลิตข้าวฮางจากข้าวสายพันธุ์อื่น ได้แก่ ข้าวเหนียว และข้าวหอมนิล เป็นต้น

ข้าวฮางเป็นข้าวกล้องชนิดหนึ่งเนื่องจากเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีเพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก จึงคงมีคุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดข้าวในลักษณะเดียวกับข้าวกล้อง ทั้งนี้ในข้าวกล้องประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินบี และวิตามินบีอีกทั้งมีสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกมมาเอมิโนบิวทีริก (Gamma aminobutyric acid, GABA) ที่เกิดจากการย่อยสลายกรดกลูตามิกโดยเอนไซม์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง ช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท และช่วยควบคุมความดันโลหิต เป็นต้น (Oh, 2003; Komatsuzaki *et al.*, 2007)

การบริโภคข้าวในอาหารมื้อหลัก ได้แก่ การหุง ทั้งนี้สภาวะในการหุงส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการสมบัติเชิงกายภาพและลักษณะโครงสร้างของข้าว นักวิจัยหลายท่านศึกษาสภาวะในการให้ความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ (Pascual *et al.*, inpress) และสมบัติต่างๆ ของข้าว (Bhattacharya, 1996; Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006; Chakkaravarthi *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตาม ชนิด สายพันธุ์ของข้าวแตกต่างกัน ส่งผลให้ข้าวที่ผ่านกระบวนการหุงมีสมบัติเชิงกายภาพ สัณฐานวิทยา และโครงสร้างแตกต่างกัน นอกจากนี้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการแปรรูป ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮางในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนโดยการหุงข้าวฮางที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและเวลาการหุงต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการหุงข้าวฮางที่มีต่อสัณฐานวิทยา และสีของข้าวฮาง

## วัตถุประสงค์และวิธีการ

### 1. การเตรียมข้าวฮาง

นำข้าวฮางที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีการเก็บเกี่ยวในขณะที่ข้าวเปลือกยังไม่แก่จัด (ระยะการสุกประมาณ 85%) พักบ่มไว้ 48 ชั่วโมงเพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนลง นึ่งประมาณ 40 นาที จากนั้นแช่น้ำเย็นพักไว้ 20 นาที ก่อนการนำไปตากแห้งหรืออบแห้ง และสีเป็นข้าวสาร (จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร) ควบคุมให้มีความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ประมาณ 8-10% (wet basis) เก็บไว้ในถุงลามิเนตไลเดนซีดีโพลีเอทิลีน (LLDPE) ฤกษ์ละ 300 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

### 2. การเตรียมข้าวฮางหุงสุก

อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ได้แก่ ข้าวฮาง : น้ำ 2:1 1:1 1:2 และ 1:3 น้ำหนักต่อปริมาตร หุงข้าวฮางโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Helland *et al.* (2002) โดยนำข้าวฮางต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ มาต้มในภาชนะ

ปิดโดยการให้ความร้อนใน water bath อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลาการต้ม 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 นาทีตามลำดับ ตัวอย่างที่ต้มแล้วนำบรรจุในกล่องพลาสติก และแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องทันทีเพื่อป้องกันการสุกเพิ่มขึ้นของข้าวฮาง นำข้าวฮางที่หุงแล้วไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮางที่ผ่านการหุงที่เวลาต่างๆ

### 3. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของข้าวฮางในระหว่างการหุงสุก

#### สัณฐานวิทยา

การกำหนดสภาวะในการถ่ายภาพตัวอย่าง ประกอบด้วยกล้องดิจิทัล CANON (EOS 350D, Japan) และแหล่งกำเนิดแสง (หลอดตะเกียบฟลูออเรสเซนต์ขนาด 3x14 เซนติเมตร) มีกำลัง 9 วัตต์ (GX-9811, China) จำนวน 2 หลอด โดยถ่ายภาพตัวอย่างที่วางในกล่องสีดำทั้ง 6 ด้าน ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับกล้องและแหล่งกำเนิดแสง แสดงดัง Figure 1 ถ่ายภาพข้าวฮางที่เตรียมได้ในข้อ 2 เพื่อให้ได้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดข้าว ภาพที่ถ่ายเป็นภาพ 24-bit RGB-color format เก็บภาพในนามสกุล BMP format ขนาดภาพ 250x500 pixel เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของข้าวฮาง โดยถ่ายภาพตัวอย่างที่ช่วงเวลาการหุงทุก 5 นาที นาน 50 นาที ในแต่ละช่วงเวลาถ่ายภาพทั้งหมด 5 ภาพ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

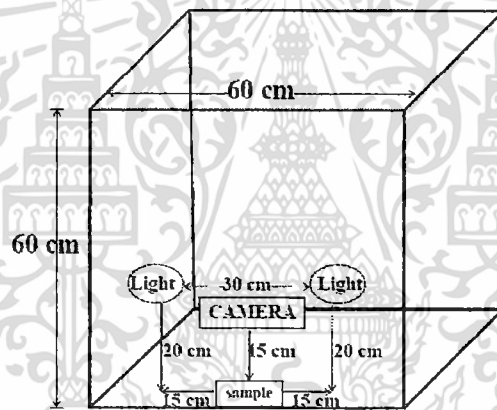


Figure 1 Image analysis set-up

#### สี

การวัดสีของข้าวฮางที่ผ่านกระบวนการหุงโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta CR300, Japan) โดยวัดสีตัวอย่างที่ช่วงเวลาการหุงทุก 5 นาที นาน 50 นาที ในแต่ละช่วงเวลาวัดสีทั้งหมด 3 ซ้ำ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีในรูป  $a$   $b$  และ  $\Delta E$  วิธีการคำนวณแสดงดังสมการที่ 1

$$\Delta L = |L_i - L_f| \tag{1}$$

$$\Delta a = |a_i - a_f| \tag{2}$$

$$\Delta b = |b_i - b_f| \tag{3}$$

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \tag{4}$$

$i$  หมายถึงค่าสีเริ่มต้นของข้าวฮาง

$f$  หมายถึงค่าสีของข้าวฮางที่ผ่านการหุงที่เวลาใดๆ

## การประเมินผลทางสถิติ

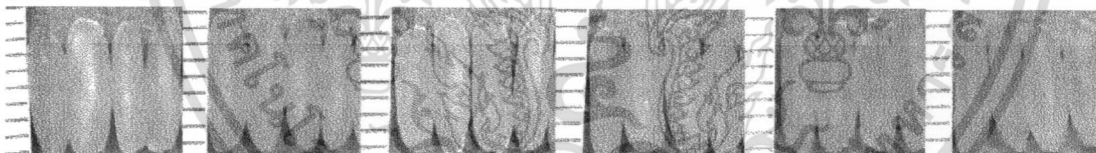
การทดสอบสมบัติด้านสี วางแผนการทดลองแบบ Factorial experiments in completely randomized design (Factorial in CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

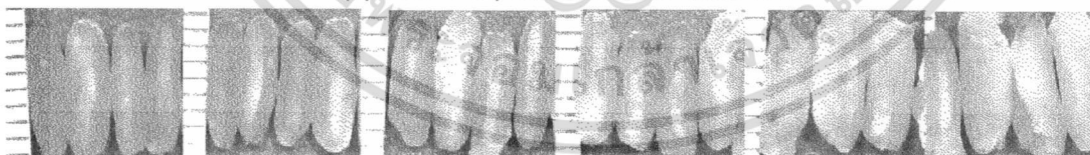
### สีฐานวิทยาของข้าวฮางหงส์

ในกระบวนการผลิตข้าวฮางมีขั้นตอนการึ่ง เม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนและไอน้ำ ส่งผลให้แป้งเกิดการบวมพอง และเกิดเจลลิตินเซชัน ( Liu *et al.*, 2006) จากนั้นนำข้าวฮางไปผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อกำจัดความชื้นออกบางส่วน การอบแห้งโดยใช้ความร้อนส่งผลให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวอาหารและระเหยสู่บรรยากาศ เมื่ออัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารเข้าสู่ผิวอาหารไม่เท่ากับการระเหยน้ำจากผิวอาหารสู่บรรยากาศ ส่งผลต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ ที่ผิวของผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็ง ( case hardening) (Krokida *et al.*, 2000; Lewicki and Jakubczyk, 2004; Kerdpiroon *et al.*, 2007) เมื่อนำข้าวฮางมาหุง ข้าวจึงมีการดูดน้ำกลับได้ในปริมาณหนึ่งเนื่องจากโครงสร้างของเม็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการนี้และการอบแห้งดังกล่าว โดยการดูดน้ำจะเกิดที่ผิวของเม็ดข้าวในส่วนที่เรียกว่า amorphous (Devi *et al.*, 2009) การเพิ่มสัดส่วนน้ำในการหุงจึงส่งผลให้มีลักษณะการแตกของเม็ดข้าว

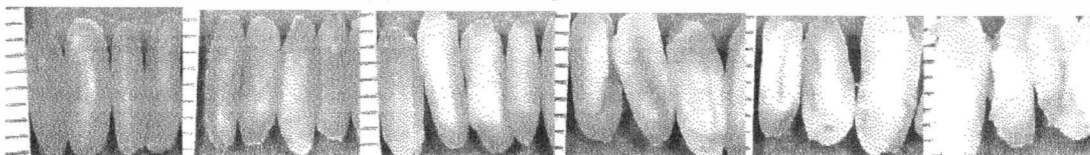
ระยะเวลาการหุงข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวฮางมีการดูดน้ำที่ผิวมากขึ้นและเกิดการแตกของเม็ดข้าวดังกล่าว (Figure 2 (b-d)) อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 2:1 การเพิ่มระยะเวลาการหุงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีฐานวิทยาของเม็ดข้าวมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำที่ใช้ในการหุงปริมาณน้อย ซึ่งเหมาะสมกับการดูดซึมน้ำของเม็ดข้าวในขณะหุง จึงไม่ส่งผลให้เกิดการแตกหักของเม็ดข้าวในทุกช่วงเวลาการหุงข้าวฮาง (Figure 2 (a))



(a) Ratios of parboiled rice to water of 2:1 w/v

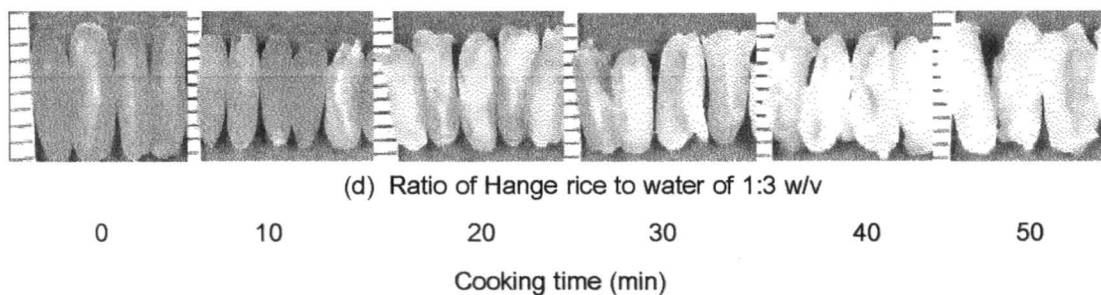


(b) Ratio of Hange rice to water of 1:1 w/v



(c) Ratio of Hange rice to water of 1:2 w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Figure 2** Morphological change of Hange rice undergoing cooking time of 0, 10, 20, 30, 40 and 50 min, respectively; (ratios of parboiled rice to water of 2:1 (a), 1:1 (b); 1:2 (c) and 1:3 (d)) (1 mm/scale)

**ผล**

การให้ความร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ สีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Maskan, 2001; Moreira *et al.*, 2008) จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำ และระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a) (Table 1) ความเป็นสีเขียว (b) (Table 2) และค่าสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) (Table 3) ของผลิตภัณฑ์ ( $P \leq 0.05$ ) โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำในการหุงข้าวฮาง และระยะเวลาการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีแนวโน้มการลดลงของค่าความเป็นสีแดง และสีเขียว แต่มีแนวโน้มให้ข้าวฮางมีค่าความแตกต่างของสีสูงขึ้น ( $P \leq 0.05$ ) ตามลำดับ

ที่อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 2:1 การเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง สีเขียว และค่าสีโดยรวมเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้อัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงน้อย การเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างสูง ส่วนค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง

**Table 1** a-value of Hange rice prepared from different ratios of Hange rice to water and cooking time

cooking time (min) <sup>1</sup>	ratios of parboiled rice to water <sup>2</sup>			
	2:1	1:1	1:2	1:3
0	3.23±0.30 <sup>eA</sup>	3.23±0.30 <sup>eA</sup>	3.23±0.30 <sup>dA</sup>	3.23±0.30 <sup>hA</sup>
5	2.36±0.21 <sup>bcdB</sup>	2.42±0.56 <sup>dB</sup>	1.84±0.27 <sup>cA</sup>	1.86±0.16 <sup>gA</sup>
10	2.15±0.27 <sup>abB</sup>	1.82±0.44 <sup>cB</sup>	1.34±0.20 <sup>bA</sup>	1.23±0.23 <sup>fA</sup>
15	2.18±0.19 <sup>abcC</sup>	1.45±0.30 <sup>abcB</sup>	1.30±0.26 <sup>bAB</sup>	1.05±0.27 <sup>efA</sup>
20	2.32±0.27 <sup>bcdC</sup>	1.37±0.30 <sup>abB</sup>	1.10±0.28 <sup>bAB</sup>	0.84±0.29 <sup>deA</sup>
25	2.52±0.26 <sup>cdC</sup>	1.29±0.27 <sup>abB</sup>	0.64±0.16 <sup>aA</sup>	0.63±0.14 <sup>cdA</sup>
30	1.99±0.36 <sup>aC</sup>	1.42±0.16 <sup>abcB</sup>	0.48±0.18 <sup>aA</sup>	0.67±0.21 <sup>cdA</sup>
35	2.52±0.29 <sup>cdC</sup>	1.02±0.29 <sup>aB</sup>	0.51±0.18 <sup>aA</sup>	0.47±0.06 <sup>bcA</sup>
40	2.53±0.32 <sup>dC</sup>	1.17±0.37 <sup>abB</sup>	0.50±0.17 <sup>aA</sup>	0.36±0.10 <sup>abA</sup>
45	2.47±0.10 <sup>bcdC</sup>	1.20±0.24 <sup>abB</sup>	0.49±0.21 <sup>aA</sup>	0.31±0.16 <sup>abA</sup>
50	2.43±0.19 <sup>bcdC</sup>	1.46±0.14 <sup>bcB</sup>	0.33±0.25 <sup>aA</sup>	0.18±0.10 <sup>aA</sup>

<sup>1</sup> a,b,c,...,h Means±SD in the same column with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> A,B,C Means±SD in the same row with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 2** b-value of Hange rice prepared from different ratios of Hange rice to water and cooking time

cooking time (min) <sup>1</sup>	ratios of parboiled rice to water <sup>2</sup>			
	2:1	1:1	1:2	1:3
0	15.85±0.58 <sup>eA</sup>	15.85±0.58 <sup>dA</sup>	15.85±0.58 <sup>fA</sup>	15.85±0.58 <sup>gA</sup>
5	14.58±0.61 <sup>abcdB</sup>	14.03±0.64 <sup>cAB</sup>	12.94±1.55 <sup>eA</sup>	13.61±0.74 <sup>fAB</sup>
10	13.69±1.32 <sup>abA</sup>	13.77±0.64 <sup>cA</sup>	12.18±0.60 <sup>deB</sup>	12.43±0.92 <sup>efB</sup>
15	14.89±0.85 <sup>cdeB</sup>	12.56±0.40 <sup>bA</sup>	11.85±1.08 <sup>deA</sup>	11.59±0.77 <sup>deA</sup>
20	14.26±0.72 <sup>abcdB</sup>	12.41±0.87 <sup>abA</sup>	11.07±1.61 <sup>cdA</sup>	10.86±1.80 <sup>cdA</sup>
25	14.35±1.09 <sup>abcdC</sup>	12.43±0.80 <sup>abB</sup>	10.53±0.73 <sup>bcA</sup>	10.58±1.18 <sup>cd</sup>
30	13.57±0.90 <sup>aC</sup>	12.08±0.61 <sup>abB</sup>	9.72±1.11 <sup>abA</sup>	9.91±1.52 <sup>bcA</sup>
35	14.65±0.77 <sup>abcdC</sup>	11.71±0.77 <sup>abB</sup>	9.25±0.61 <sup>abA</sup>	9.14±0.65 <sup>abA</sup>
40	14.68±0.82 <sup>bcdC</sup>	11.91±0.98 <sup>abB</sup>	9.45±0.84 <sup>abA</sup>	9.29±1.07 <sup>abA</sup>
45	13.99±0.10 <sup>abcC</sup>	11.53±0.56 <sup>ab</sup>	9.54±0.99 <sup>abA</sup>	9.17±0.84 <sup>abA</sup>
50	15.14±0.62 <sup>deC</sup>	12.18±0.92 <sup>abB</sup>	8.78±0.97 <sup>aA</sup>	8.14±0.69 <sup>aA</sup>

<sup>1</sup> a,b,c,...g Means±SD in the same column with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> A,B,C Means±SD in the same row with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

**Table 3** ΔE of Hange rice prepared from different ratios of Hange rice to water and cooking time

cooking time (min) <sup>1</sup>	ratios of parboiled rice to water <sup>2</sup>			
	2:1	1:1	1:2	1:3
5	2.19±0.77 <sup>abA</sup>	2.37±0.82 <sup>aA</sup>	3.87±1.30 <sup>aAB</sup>	3.26±0.90 <sup>ab</sup>
10	3.16±1.27 <sup>bA</sup>	3.39±1.08 <sup>abA</sup>	5.02±0.94 <sup>ab</sup>	6.13±1.51 <sup>bb</sup>
15	1.85±0.63 <sup>aA</sup>	4.64±0.85 <sup>bcB</sup>	5.13±0.69 <sup>abC</sup>	6.36±1.92 <sup>bc</sup>
20	2.38±0.93 <sup>abA</sup>	5.26±1.17 <sup>cb</sup>	6.48±2.28 <sup>bc</sup>	8.92±2.76 <sup>cd</sup>
25	2.27±1.32 <sup>abA</sup>	5.19±0.85 <sup>cb</sup>	6.63±0.54 <sup>bcC</sup>	9.22±1.41 <sup>cd</sup>
30	3.23±0.98 <sup>bA</sup>	5.52±1.84 <sup>cb</sup>	7.96±0.92 <sup>cdC</sup>	9.09±1.46 <sup>cc</sup>
35	1.76±0.69 <sup>aA</sup>	7.21±1.26 <sup>db</sup>	7.81±0.92 <sup>bcdB</sup>	9.65±0.67 <sup>cc</sup>
40	1.86±0.95 <sup>aA</sup>	7.27±1.81 <sup>db</sup>	7.95±0.29 <sup>cdB</sup>	9.75±0.54 <sup>cc</sup>
45	2.77±0.47 <sup>abA</sup>	6.03±0.99 <sup>cdB</sup>	8.64±1.05 <sup>dc</sup>	9.33±0.68 <sup>cc</sup>
50	1.85±0.93 <sup>aA</sup>	5.21±1.11 <sup>cb</sup>	9.19±0.89 <sup>dc</sup>	9.99±0.87 <sup>cc</sup>

<sup>1</sup> a,b,c,...f Means±SD in the same column with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> A,B,C Means±SD in the same row with different superscript are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

สัณฐานวิทยาและสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการหุงข้าวฮาง โดยลักษณะเม็ดข้าวฮางหุงสุกที่มีการแตกนั้นเนื่องจากการดูดน้ำมากเกินไป จึงอาจส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว นอกจากนี้ข้าวฮางเป็นข้าวที่มีลักษณะเด่นคือมีสีเหลืองทอง ซึ่งพบว่าระยะเวลาการหุง

รวมทั้งสัดส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวฮางซึ่งสังเกตได้จากค่า  $\Delta E$  จากปริมาณที่น้ำเพิ่มขึ้นในการหุงข้าวฮางค่า  $\Delta E$  มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการหุงข้าวฮางเมื่อพิจารณาคุณภาพด้านสัณฐานวิทยาของข้าวฮางพบว่าอยู่ที่ อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการหุง 1:1 หรือ 1:2 และระยะเวลาการหุงอยู่ระหว่าง 10-30 นาที เนื่องจากไม่มีการแตกของข้าว อย่างไรก็ตามในงานทดลองควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวฮางที่ผ่านกระบวนการเตรียมที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการหุงดังกล่าว

### สรุปผลการวิจัย

อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำและระยะเวลาการหุงข้าวฮางส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและสีของข้าวฮาง โดยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำในการหุงข้าวฮางส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนมีการดูดน้ำและเกิดการแตกของเม็ดข้าวสูง โดยการหุงที่ระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้เม็ดข้าวมีการดูดซึมน้ำมากขึ้น และมีลักษณะการแตกของเม็ดข้าวฮางสูง นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มสัดส่วนน้ำในการหุงข้าวฮางและการเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับสีเริ่มต้นสูงขึ้น และมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองในแนวโน้มลดลง

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโทรเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Bhattacharya, S. 1996. Kinetics on colour changes in rice due to parboiling. **J. Food Eng.** 29: 99-106.
- Chakkaravarthi, A., S. Lakshimi and R. Subrananian, V.M. Hedge. 2008. Kinetics of cooking unsoaked and presoaked rice. **J. Food Eng.** 84: 181-186.
- Devi, A.F., K. Fibrianto, P.J. Torley and B. Bhandari. 2009. Physical properties of cryomilled rice starch. **J. Cereal Sci.** 49 278-284.
- Helland, M.H., T. Wicklund and J.A. Narvhus. 2002. Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. **Food Res. Int.** 35: 315-321.
- Kerdpi boon, S., S. Devahastin and W.L. Kerr. 2007. Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying. **J. Food Eng.** 83: 570-580.
- Komatsuzaki, N., K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu, and T. Kimura. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment of GABA content in germinated brown rice. **J. Food Eng.** 78: 556-560.
- Krokida., M.K., V.T. Karathanos and Z.B. Maroulis. 2000. Comparison analysis of dehydrated agricultural products. **Drying Technol.** 18: 395-408.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Leelayuthsoontorn, P. and A. Thipayarat. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chem.** 96: 606-613.
- Lewicki, P.P. and E. Jakubczyk. 2004. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. **J. Food Eng.** 64: 307-314.
- Liu, H., L. Yu, F. Xie and L. Chen. 2006. Gelatinization of cornstarch with different amylase/amylopectin content. **Carbo. Polymers.** 65: 357-363.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **J. Food Eng.** 48: 177-182.
- Moreira, R., F. Chenlo, L. Chaguri and C. Fernandes. 2008. Water absorption, texture and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration. **J. Food Eng.** 86: 584-594.
- Oh, S.H., 2003, Stimulation of gamma-aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. **J Biochem Mol Biol.** 36: 319-325.
- Pascual, C.S.C.I., I.L. Massaretto, F. Kawassaki, R.M.C. Barros, J.A. Noldin and U.M.L. Marquez. Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and  $\gamma$ -oryzanol in brown rice (*Oryza saiva* L.) **Food Res. Int.** in press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Comparative Physical Characterization of Water Ratio Changes of Hang Rice during Cooking

Soraya Kerdpiboon<sup>1+</sup> and Darika Charoendee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

**Abstract.** Hang rice is promoted as high nutritious food since it has higher nutritional value than Jasmine white rice. However, cooked Hang rice prepared by the same rice to water ratio as in the case of Jasmine white rice was found to be broken and hence affected appearance and texture acceptance to consumers. The purpose of this research was to study physical characterization of Hang rice undergoing cooking. Hang rice was cooked using different Hang rice to water ratios (2:1, 1:1, 1:2 and 1:3 w/w) at cooking time of 0-50 min. It was found that increased water ratio and cooking time resulted in cooked Hang rice with increased color change and elongation of the product. However, increased water ratio and cooking time resulted in cooked Hang rice with significantly decreased hardness ( $P \leq 0.05$ ). Results could be advantage to the optimization of Hang rice cooking and Hang rice products.

**Keywords:** Cooking, Hang rice, Physical property, Water ratio.

### 1. Introduction

Hang rice is one of high nutritional values rice products, produced in the East North of Thailand. It is promoted as high nutritious food since it is rich of carbohydrate, vitamin and minerals. Hang rice is achieved from harvesting grain from varieties of rice such as Khao Dawk Mali (KDML) 105 or Jasmine rice (*Oryza sativa* L.) and glutinous rice (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) in immature but fully formed stage (dough stage). Then it is steamed, dried and partially polished. In Hang rice manufacturing, starch molecules are heated during steaming and absorb more water, swell and gelatinize. After that, the rice is dried and induced pre-gelatinized starch. It is most probable that morphological, physical and structural properties of Hang rice would be different from those of Jasmine rice and glutinous rice.

Hang rice is consumed by cooking or steaming. However, an ample amount of water to obtain desirable texture of cooked Hang rice would be different from other rice. Cooked Hang rice prepared by the same ratio of rice to water as in the case of Jasmine white rice was found to be over cooked. In addition, its morphology was found to be broken and hence affected appearance and texture acceptance to consumers. Varieties of rice affect rice quality such as cooking, eating and nutrition qualities of rice [1]. Moreover, cooking time and cooking conditions affect physical, morphological and structural changes of the cooked rice [2-4]. To study physical characterization of Hang rice prepared by using different ratios of Hang rice to water could be advantage to consumers and applied to other products development from Hang rice. The purpose of this research was to study physical characterization viz. color change, elongation and texture of Hang rice, prepared from different Hang rice to water ratios, undergoing cooking time.

### 2. Methodology

#### 2.1. Raw Materials and Sample Preparation

<sup>+</sup> Corresponding author. Tel.: + 662 3298526; fax: +662 3298527.  
E-mail address: kksoraya@kmitl.ac.th.

Hang rice (produced from Jasmine rice, *Oryza sativa* L.) was obtained from Ban Na Bor Village, Sakon Nakhon Province, Thailand. Moisture content of the rice was controlled to 4-6% (wb) prior to vacuum packed in laminate low density polyethylene bag and kept at 4°C until use (not over than 3 months).

Hang rice was equilibrated at room temperature for 30 min prior to cook. Sample was weighted and added with distilled water with Hang rice to water ratios of 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3 (w/w). Different Hang rice to water ratios were mixed in a stainless beaker prior to heat in a boiling water bath (100°C) at boiling time of 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50 min, respectively. After different boiling time achieved, cooked Hang rice was rinsed and kept in plastic box before cooling with cold water at 0-2°C for 5 min. Cooked Hang rice was then measured color changes, elongation and textural properties.

## 2.2. Properties Determination

### • Color

Color test was conducted before and during different cooking time. Five samples in each cooking time were taken to color measurement using colorimeter (Minolta CR300, Japan). Color measurements ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) were taken in triplicate. Color changes,  $\Delta E$ , was expressed below [5]:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2} \quad (1)$$

where the  $L$ ,  $a$ ,  $b$ , represent lightness, redness-greenness and yellowness-blueness of raw Hang rice before cooking and  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , represent target color of Hang rice at different cooking time. Larger  $\Delta E$  denotes greater color change from reference material.

### • Elongation

Length of Hang rice before and after cooking was measured using vernia caliper. Elongation was expressed below:

$$\text{Elongation} = \frac{\text{length of cooked rice}}{\text{length of raw rice}} \quad (2)$$

### • Texture

Textural property of cooked Hang rice sample was determined using a texture analyzer (TA-XT2i, Stable Micro System, Surrey, England). A back extrusion test of sample was set according to Leelayuthsoontorn and Thipayarat [2]. Cooked rice sample in the cylindrical test cell was compressed by a spherical plate plunger of 35 mm diameter during measurement. Pre-test speed and test speed were set at 1.0 mm/s and post-test speed were set at 10mm/s. Compression distance was 10% strain. A force-time curve was obtained from the test and hardness (the maximum compressive force during extrusion (N)) was recorded.

## 2.3. Statistical analysis

All analysis was done in triplicate. An analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the data and significant different between Hang rice to water ratios and cooking time were compared at a significance level of 95%.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Color change

Fig. 1 shows color changes of Hang rice with different Hang rice to water ratio undergoing cooking. Increased water ratio and cooking time resulted in cooked Hang rice with increased color change. Hang rice is produced from partially polishing and this leads color of Hang rice is yellow-gold. Kerdpiboon et al. [6] found that increase of water resulted in porridge with decreased lightness, redness and yellowness of Hang rice porridge. These induce greater color change from reference material.

### 3.2. Elongation

Fig. 2 represents elongation of Hang rice with different Hang rice to water ratio undergoing cooking. Elongation of cooked Hang rice is between 1-2.03 depending on ratios of Hang rice to water and cooking time. It was found that increased water ratio and cooking time resulted in cooked Hang rice with increased

elongation of the cooked rice (Fig. 2). Besides, elongation of Hang rice trends to increase with increase of cooking time. During cooking, the rice granules absorbed water and swell to great extent compared to the original size. This causes ruptures and hence amylase leaching and these affect morphology of the rice [2,7]. Charoendee and Kerdpiroon [8] found that increase of water ratio and cooking time displayed more morphological changes to the cooked Hang rice.

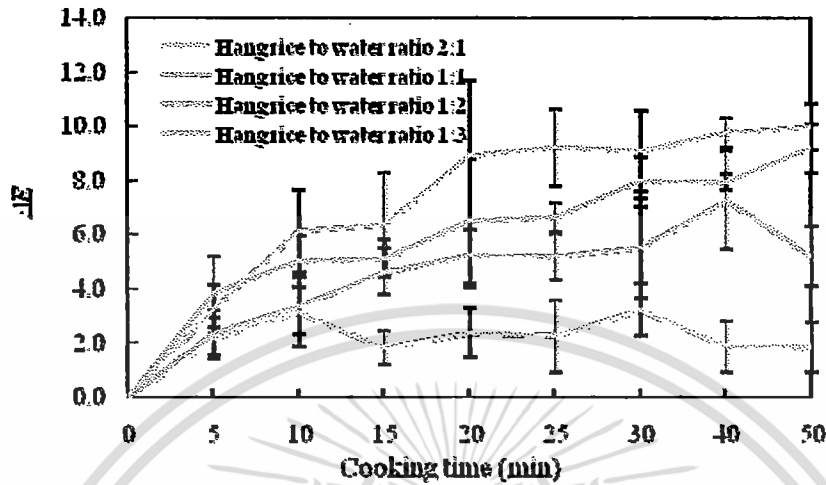


Fig. 1: Colour change of Hang rice during cooking with different Hang rice to water ratio.

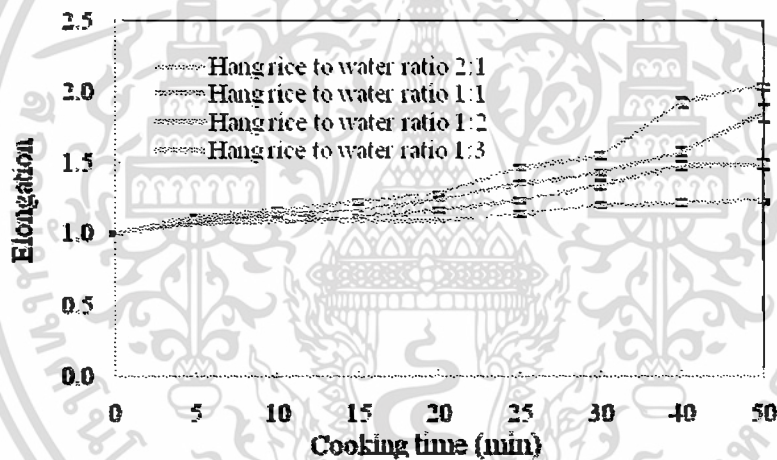


Fig. 2: Elongation of Hang rice during cooking with different Hang rice to water ratio.

### 3.3. Hardness

Table 1 represents elongation of Hang rice with different Hang rice to water ratio undergoing cooking. Hardness of the product is between 10.44-169.56 N depending on Hang rice to water ratios and cooking time. At the same ratio of Hang rice to water, hardness of Hang rice decreased significantly as the cooking time increased ( $P \leq 0.05$ ). During cooking, water is absorbed into the rice grains and hydrogen bonds between the starch molecules are replaced by bonds between the starch and water molecules [9-10]. The starch molecules expand and cause starch leaching. The amount of starch leaching is a function of temperature and the fine structures of amylose and amylopectin, related to the texture of cooked rice [11]. The leaching of starch causes the reduction of hardness of cooked Hang rice.

At the same cooking time, increase of water ratio results in decrease hardness of the product. This is because starch molecules had more water to absorb and decrease compression force of the product. Results could be supported as in the same trend as elongation of cooked Hang rice.

### 4. Conclusions

Increase of water ratio and cooking time results in cooked Hang rice with increased color change and elongation of the rice. Increased water ratio and cooking time resulted in cooked Hang rice with significantly decrease hardness ( $P \leq 0.05$ ). Results could be advantage to the optimization of Hang rice cooking and Hang rice products.

Table 1: Hardness of cooked Hang rice with different Hang rice to water ratio and cooking time

Cooking time (min)	Hang rice to water ratio			
	2:1	1:1	1:2	1:3
5	169.56±18.85 <sup>Cb</sup>	103.26±24.69 <sup>ABd</sup>	121.25±29.74 <sup>Bd</sup>	58.19±44.50 <sup>Ab</sup>
10	147.99±23.93 <sup>Bab</sup>	76.58±14.78 <sup>Ac</sup>	79.79±22.32 <sup>Ac</sup>	54.10±20.56 <sup>Ab</sup>
15	136.01±29.88 <sup>Bab</sup>	35.76±7.07 <sup>Ab</sup>	50.49±13.27 <sup>Ab</sup>	39.48±11.10 <sup>Aab</sup>
20	135.97±36.10 <sup>Bab</sup>	29.29±7.12 <sup>ABa</sup>	23.10±2.01 <sup>Aa</sup>	32.62±10.40 <sup>Aab</sup>
25	108.34±12.04 <sup>Ca</sup>	28.05±6.19 <sup>Bab</sup>	13.59±2.74 <sup>Aa</sup>	13.70±5.05 <sup>Aa</sup>
30	119.10±22.38 <sup>Ba</sup>	15.36±3.48 <sup>Aa</sup>	13.12±3.06 <sup>Aa</sup>	17.68±4.05 <sup>Aa</sup>
40	137.88±34.56 <sup>Bab</sup>	16.21±4.81 <sup>Aa</sup>	11.84±1.43 <sup>Aa</sup>	11.32±1.64 <sup>Aa</sup>
50	106.46±11.59 <sup>Ba</sup>	16.03±2.50 <sup>Aa</sup>	11.38±2.37 <sup>Aa</sup>	10.44±2.64 <sup>Aa</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Means with different letters in the same column are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>A,B,C</sup> Means with different letters in the same row are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

## 5. Acknowledgements

The authors express their sincere appreciation to Thailand Toray Science Foundation and Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand for supporting the study financially.

## 6. References

- [1] L. Qi-hua, Z. Xue-biao, Y. Lian-qun, and L. Tian. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. *Rice Sci.* 2009, **16** (2): 161-164.
- [2] P. Leelayuthsoontorn, and A. Thipayarat. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chem.* 2006, **96** (4): 606-613.
- [3] B.K. Yadav, and V.K. Jindal. Water uptake and solid loss during cooking of milled rice (*Oryza sativa* L.) in relation to its physicochemical properties. *J. Food Eng.* 2007, **80** (1): 46-54.
- [4] E. Ghasemi, M.T.H. Mosavian, and M.H.H. Khodaparast. Effect of stewing in cooking step on textural and morphological properties of cooked rice. *Rice Sci.* 2009, **16** (3): 243-246.
- [5] N. Therdtai, and W. Zhou. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *J. Food. Eng.* 2009, **91** (3): 482-489.
- [6] S. Kerdpiboon, T. Puttongsiri, and S. Devahastin. Physical property and sensory acceptance of Hang rice porridge. In: *International Conference on Food and Applied Bioscience. The 3<sup>rd</sup> Agro-Industry Conference, Kantary Hill Resort, Chiang Mai, Thailand. 6-7 February, 2012.*
- [7] A.C. Eliasson, and A. Tatham. Cereal starches and proteins. In: D.A.V. Dendy and B.J. Dobraszczyk (eds.). *Cereals and cereal products: Chemistry and technology.* Maryland: Aspen Publishers. 2001, pp. 68-89.
- [8] D. Charoendee, and S. Kerdpiboon. Morphological and color changes of parboiled (Hang) rice during cooking. In: *Proceedings and Academic Meeting 2011, Maejo University, Chiangmai, Thailand, 1-2 December 2011.*
- [9] M. Kasai, A. Lewis, F. Marica, S. Ayabe, K. Hatae, and C.A. Fyfe. NMR imaging investigation of rice cooking. *Food Res. Int.* 2005, **38** (4): 403-410.
- [10] A.F. Devi, K. Fibrianto, P.J. Torley, and B. Bhandari. Physical properties of cryomilled rice starch. *J. Cereal Sci.* 2009, **49** (2): 278-284.
- [11] P.Y. Chiang, and A.I. Yeh. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J. Cereal Sci.* 2002, **35** (1): 85-94.

## ผลของวิธีการหุงที่มีต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางในระหว่างการหุง

### Effect of Cooking Methods on Morphological and Physical Properties of Hang Rice during Cooking

โสธยา เกิดพิบูลย์<sup>1</sup> ดาริกา เจริญดี<sup>1</sup> เนศรา จันตะวงศ์<sup>1</sup> และ พันษกร อัสวจิต<sup>1</sup>  
Kerdpi boon, S.<sup>1</sup>, Charoendee, D.<sup>1</sup>, Chuntawong, N.<sup>1</sup> and Asawachit, P.<sup>1</sup>

#### Abstract

Hang rice is obtained by harvesting paddy during its immature stage prior to being subjected to aging, streaming, drying and partially polishing. Hang rice having high nutritional value, was selected due to its highly nutritious nature. The objective of this research was to study effects of cooking methods on morphology, elongation ratio in width and length and texture of Hang rice during cooking. Hang rice was cooked by streaming and boiling with Hang rice to water ratios of 1:1, 1:2 and 1:3 and cooking times of 0-50 mins. The results indicated that cooking methods and cooking times affected morphological and physical properties changes of cooked Hang rice. Hang rice cooked by streaming had morphological change and elongation ratio less than that of Hang rice cooked by boiling, while its hardness was higher than that of Hang rice cooked by boiling. Additionally, increased water ratio resulted in cooked Hang rice to absorb more water in its structure and hence increased morphological change, elongation ratio in width and length but resulted in cooked Hang rice with decreased hardness. Moreover, increased cooking time resulted in cooked Hang rice with increased morphological change, elongation ratio in width and length but resulted in cooked Hang rice with decreased hardness.

**Keywords:** cooking, elongation, hang rice, morphological property

#### บทคัดย่อ

ข้าวฮางเป็นข้าวเก็บเกี่ยวในขณะที่ยังไม่แก่จัด ปั่นไว้เพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว นึ่ง และอบแห้ง ก่อนการนำมาขัดสี เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก ข้าวฮางจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีศักยภาพในการนำมาบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวิธีการและระยะเวลาการหุงข้าวฮางที่มีต่อสัณฐานวิทยา อัตราการยืดตัวและขยายตัว และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวฮาง โดยนำข้าวฮางมาหุงโดยใช้ไอน้ำร้อน และใช้น้ำร้อนอัตราส่วนข้าวฮาง ต่อ น้ำ เป็น 1:1 1:2 และ 1:3 ระยะเวลาการหุง 0-50 นาที ผลการทดลองพบว่าวิธีการและระยะเวลาการหุงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางหุง โดยพบว่าการใช้ไอน้ำร้อนในการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา อัตราการยืด และอัตราการขยายที่ต่ำ แต่มีความแข็งสูง นอกจากนี้พบว่าการใช้ปริมาณน้ำ ในการหุงข้าวฮางที่มาก ข้าวมีการดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้มาก ส่งผลให้ข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาที่มาก อัตราการยืดและอัตราการขยายที่สูง และมีความแข็งต่ำ ผลการทดลองยังพบว่า การเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา มีอัตราการยืด และอัตราการขยายเพิ่มขึ้น รวมทั้งข้าวมีความแข็งที่ลดลงตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การหุง อัตราการยืดตัวของข้าวสุก ข้าวฮาง สัณฐานวิทยา

#### คำนำ

ข้าวจัดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80 โปรตีนร้อยละ 7 ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 2 มีวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย ด้วยกระแสความนิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ การบริโภคข้าวกล้อง ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกเมล็ดข้าวหลุดออก (มกอช. 400-2546) ข้าวกล้องจึงมีสารอาหารที่มีประโยชน์แก่ร่างกายอยู่ในเมล็ดข้าว สารอาหารที่พบในกลุ่มข้าวกล้อง ได้แก่ แกมมา ออริซานอล อินซิทอล โทโคไตรอีนอล และกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (Kayahara และ Tukahara, 2000) นอกจากนี้ยังพบวิตามินบี 1 และฟอสฟอรัส เป็นต้น (Shoichi, 2004) ทั้งนี้ข้าวฮางหรือข้าวหอมทอง เป็นข้าวที่มีศักยภาพในการนำมาบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้เช่นกัน ข้าวฮางผลิตจากการเกี่ยวข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่มีระยะการสุกของเมล็ดข้าว

<sup>1</sup> คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup> Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalokkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520

ประมาณร้อยละ 85 จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยวมาบ่มไว้ 1-2 คืนเพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัวก่อนการนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด ทำให้เย็นและนำผึ่งลมให้แห้งหรืออบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง ก่อนการสีในลักษณะเดียวกันกับข้าวกล้อง สายพันธุ์ข้าวที่นิยมนำมาผลิตข้าวสาง ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข 6 เป็นต้น

ข้าวสางมีสีเหลืองทองและมีกลิ่นหอมของฟางข้าว การบริโภคข้าวสางมีการผสมข้าวสางกับข้าวขาวโดยปรับสัดส่วนระหว่างข้าวสางกับข้าวขาวให้เหมาะสมตามความต้องการ หรือการบริโภคข้าวสางเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามข้าวสางมีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากข้าวขาวที่บริโภคโดยทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสางผ่านกระบวนการทำให้สุกโดยการนึ่ง เม็ดแป้งภายในข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน (Juliano, 1984) เมื่อนำข้าวสางมาอบแห้ง ส่งผลให้แป้งภายในเม็ดข้าวเป็นลักษณะของแป้งพรีเจล (อรอนงค์, 2547; งามชื่น, 2536) ส่งผลให้ข้าวสางหุงสุกมีลักษณะสีน้ำตาลและสมบัติเชิงกายภาพที่แตกต่างจากกรณีข้าวขาวหุงสุกโดยทั่วไป งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการหุงข้าวสาง ได้แก่ การหุงโดยใช้ไอน้ำร้อนและการหุงโดยใช้น้ำร้อนที่มีอัตราส่วนข้าวสางต่อน้ำต่างๆ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ อัตราการขยายปริมาตร และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. การเตรียมข้าวสางและข้าวสางหุงสุก

**วัตถุดิบ** ข้าวสางที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L.) (เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2554) จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภอบางขัน จังหวัดสกลนคร ควบคุมความชื้นเริ่มต้นของข้าว 8-10% (wb) บรรจุสถานะสุญญากาศในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีน (LLDPE) ฤกษ์ละ 300 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปใช้ (เก็บไว้ไม่เกิน 6 เดือน)

**การเตรียมข้าวสางหุงสุก:** สภาวะที่ใช้ในการหุงข้าวสางมีทั้งหมด 4 สภาวะ ได้แก่ การใช้ไอน้ำร้อนที่อัตราส่วนข้าว: น้ำ 1:1 1:2 1:3 (w/v) และการใช้ไอน้ำร้อน ระยะเวลาในการหุง 0-50 นาที การหุงข้าวสางโดยใช้ไอน้ำร้อนดัดแปลงจากวิธีการของ Helland และคณะ (2002) โดยนำข้าวสางต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ มาต้มในภาชนะปิดโดยการให้ความร้อนใน water bath ที่ 100°C ที่เวลาการหุงต่างๆ สำหรับการหุงโดยใช้ไอน้ำร้อนดัดแปลงจากวิธีการของ Juliano (1985) โดยนำ ข้าว:น้ำ อัตราส่วน 1:1.5 (w/v) ต้มในภาชนะปิดโดยการให้ความร้อนใน water bath ที่ 100°C นาน 10 นาที จากนั้นหุงโดยใช้ไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เก็บตัวอย่างที่เวลาการหุงต่างๆ ข้าวสางที่ผ่านการหุงแล้วนำบรรจุในกล่องพลาสติก และแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องทันทีเพื่อป้องกันการสุกเพิ่มขึ้นของข้าวสาง

#### 2. สัณฐานวิทยาของข้าวสาง

การถ่ายภาพสัณฐานวิทยาของข้าวสางที่เตรียมได้ในข้อ 1 สภาวะที่ใช้ในการถ่ายภาพตัวอย่าง ดัดแปลงจากวิธีการของ ดาริกา และไชรยา (2554) ถ่ายเป็นภาพ 24-bit RGB-color format เก็บภาพในนามสกุล BMP format ขนาดภาพ 250x500 pixel

#### 3. อัตราการยีสต์ตัว และอัตราการขยายตัวของข้าวสาง

วัดอัตราการยีสต์ตัว และอัตราการขยายตัวของข้าวสางที่ผ่านกระบวนการหุงตามข้อ 2 ดัดแปลงจากวิธีการของ งามชื่น (2536) โดยการสุ่ม เม็ดข้าว 5 เม็ด ให้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วัดขนาดความกว้างและความยาวของข้าว คำนวณอัตราการยีสต์ตัวของข้าวสาง ตามสมการที่ (1) และอัตราการขยายตัวของข้าวสาง ดังสมการที่ (2)

$$\text{อัตราการยีสต์ตัวของข้าวสาง} = \frac{\text{ความกว้างเฉลี่ยของข้าวสาง (1)}}{\text{ความกว้างเฉลี่ยข้าวสาร}}$$

$$\text{อัตราการขยายตัวของข้าวสาง} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ย (ปริมาตรเฉลี่ย) ข้าวสาง (2)}}{\text{ความยาวเฉลี่ย (ปริมาตรเฉลี่ย) ข้าวสาร}}$$

#### 4. ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสางดัดแปลงจากวิธีการของ Bryant และคณะ (2006) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (TA-XT2i, USA) ทดสอบความแข็ง (Hardness) โดยเลือกเม็ดข้าวสาง 15 เม็ด วางในระนาบเดียวกันใช้หัววัดชนิดทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ลงก่อนสัมผัสข้าวสาง (Pre-Test Speed) 0.5 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วของหัววัดขณะที่เคลื่อนที่ลงในเนื้อข้าวสาง (Test Speed) 0.5 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วของหัววัดเคลื่อนที่ขึ้นจากข้าวสาง (Post-test Speed) 0.5 มิลลิเมตร/วินาที

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 1. สัณฐานวิทยา

สัณฐานวิทยาเป็นหนึ่งในปัจจัยคุณภาพที่ส่งผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ (Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006) ในกระบวนการหุงข้าวสางนั้น เม็ดแป้งที่อยู่ในเม็ดข้าวได้รับความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการบวมพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเกิดเจลลาตินในเซชัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของข้าวที่ผ่านกระบวนการหุง (Kaddus, 2002; Mei และคณะ, 1995) จาก Figure 1 พบว่าเมื่อระยะเวลาการหุงนานขึ้นข้าวฮางมีแนวโน้มการแตกของเม็ดข้าวที่ผ่านการหุงในทุกสภาวะที่สูงขึ้น การให้ความร้อนนานขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างของเม็ดข้าวเกิดการคลายตัว ข้าวฮางมีการดูดน้ำที่ผิวมากขึ้นและเกิดการแตกของเม็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับในกรณีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำในการหุงข้าวฮาง ผลิตภัณฑ์ที่มีการดูดน้ำของเม็ดข้าวที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มการแตกของเม็ดข้าวที่สูงขึ้น

## 2. อัตราการยืด และอัตราการขยายของข้าวฮาง

จาก Figure 2 พบว่าข้าวฮางที่ผ่านการหุงมีอัตราการยืดระหว่าง 1-1.62 เท่า และมีอัตราการขยายระหว่าง 2-3.78 เท่า ขึ้นกับวิธีการหุง และระยะเวลาการหุง ผลการทดลองพบว่าข้าวฮางที่ใช้อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:3 ส่งผลให้ข้าวฮางมีอัตราการยืดของข้าวฮางที่สูงกว่ากรณีอื่น สอดคล้องกับลักษณะพื้นฐานวิทยาของข้าวฮาง สภาวะที่มีปริมาณของน้ำในการหุงที่สูงมีการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานวิทยาที่สูง ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดาริกา และไสรยา (2554) ที่กล่าวว่า การเพิ่มสัดส่วนของน้ำในการหุงข้าวฮางส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนมีการดูดน้ำและเกิดการแตกของเม็ดข้าวสูง

## 3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิธีการ และอุณหภูมิการหุงข้าวส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Daomukda และคณะ, 2011; Leelayuthsoontorn และ Thipayarat, 2006) จากผลการทดลองใน Table 1 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำในการหุง และการเพิ่มเวลาการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีแนวโน้มของความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณน้ำ และระยะเวลาการหุง ส่งผลให้โครงสร้างภายในเม็ดข้าวเกิดการคลายตัว มีความสามารถในการดูดน้ำไว้ในภายในโครงสร้าง เม็ดข้าวจึงมีความแข็งลดลง สำหรับกรณีการหุงข้าวฮางโดยใช้ไอน้ำร้อนนั้น มีการนำข้าวไปต้มในน้ำร้อนนาน 10 นาที โครงสร้างภายในเม็ดข้าวมีการคลายตัวและมีการดูดน้ำไว้ในภายใน จากนั้นนำข้าวฮางไปนึ่งโดยใช้ไอน้ำร้อน ความแข็งของข้าวฮางที่เวลาการนึ่งตลอดช่วงเวลาการหุงจึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

## สรุปผล

การใช้ไอน้ำร้อนในการหุงส่งผลให้ข้าวฮางมีการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานวิทยา อัตราการยืด และอัตราการขยายที่ต่ำ แต่มีความแข็งสูง และการใช้สัดส่วนน้ำในการหุงข้าวฮางที่น้อย ข้าวฮางมีการดูดน้ำไว้ในภายในโครงสร้างได้น้อย ข้าวฮางจึงมีการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานวิทยาที่น้อย อัตราการยืดและอัตราการขยายที่ต่ำ และมีความแข็งสูง ผลการทดลองยังพบว่า การเพิ่มระยะเวลาการหุงส่งผลให้เม็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานวิทยา มีอัตราการยืด และอัตราการขยายเพิ่มขึ้น รวมทั้งข้าวมีความแข็งที่ลดลงตามลำดับ

## คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย (Thailand Toray Science Foundation) และคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- งามชื่น คงเสรี, 2536, คุณภาพเมล็ดทางเคมี, การฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพิบูลง, ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ดาริกา เจริญดี และ ไสรยา เกิดพิบูลย์, 2554, การเปลี่ยนแปลงพื้นฐานวิทยาและสีของข้าวฮางใน ระหว่างกระบวนการหุง, การประชุมทางวิชาการประจำปี 2554 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่, ศูนย์การศึกษาและอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่, 1-2 ธันวาคม 2554.
- มกอช. 4000- 2546, 2546, ข้าวหอมมะลิไทย, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, ข้าว, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- Bryant, R.J., Jones, G. and Grimm, C.C., 2006, Texture Profile and Volatile Compound Analyses of 'Koshihikari' and 'Basmati' Rice Prepared in Different Rice Cookers. B.R. Wells Rice Research Series 2006, Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series, 550: 370-376.
- Daomukda, N., Moonggam, A., Payakapol, L. and Noisuwan, A., 2011, Effect of Cooking Methods on Physicochemical Properties of Brown Rice, 2<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE 6: (V1)1-4, IACSIT Press, Singapore.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Helland, M.H., Wicklund, T. and Narvhus, J.A., 2002, Effect of Germination Time on Alpha-amylase Production and Viscosity of Maize Porridge, *Food Research International*, 35: 315-321.

Juliano, 1985, *Rice: Chemistry and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

Juliano, B.O., 1984, Rice Starch: Production, Properties and Uses. In: Whistler, R.L., BeMiller, J.M., & Paschall, E.F. (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology*, Academic Press, Inc., New York.

Kaddus M.M.A., 2002, Parboiling of Rice. Part II: Effect of Hot Soaking Time on The Degree of Starch Gelatinization, *Food Science and Technology*, 37: 539-545.

Kayahara, H. and Tsukahara, K., 2000, Flavor, Health and Nutritional Quality of Pre-germinated Brown Rice, *International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, Hawaii.

Leelayuthsoontorn, P. and Thipayarat, A., 2006, Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions, *Food Chemistry*, 96: 606-613.

Mei, H., Ong, J. and Blanshard, M.V., 1995, The Significance of Starch Polymorphism in Commercially Produced Parboiled Rice, *Starch – Stärke*, 47(1): 7-13.

Shoichi, I., 2004, Marketing of Value-Added Rice Production in Japan: Germinated Brown Rice and Rice Bread, *In Rice in global markets*, UN Food in global Market, Italy.

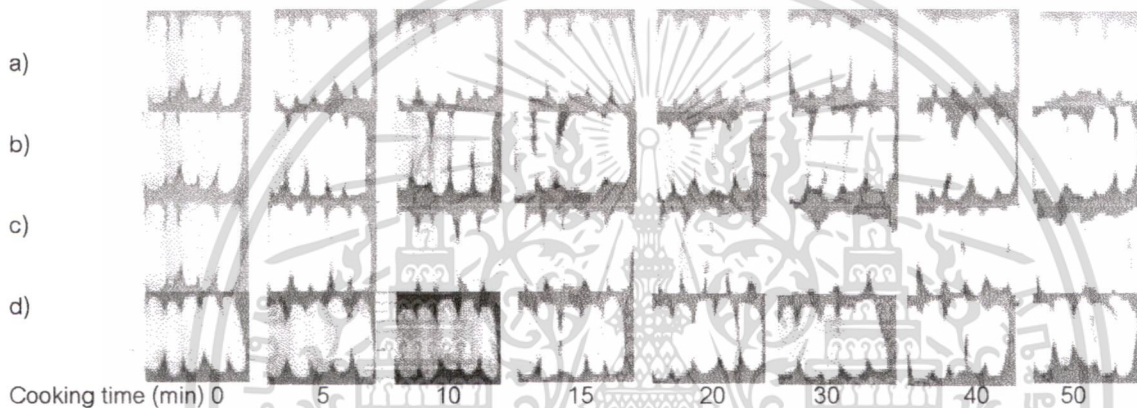


Figure 1 Morphological change of Hang rice undergoing cooking times of 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50 min, respectively; (Hang rice to water ratio of 1:1 (a), 1:2 (b), 1:3 (c) and Streaming (d)) (1 mm/scale)

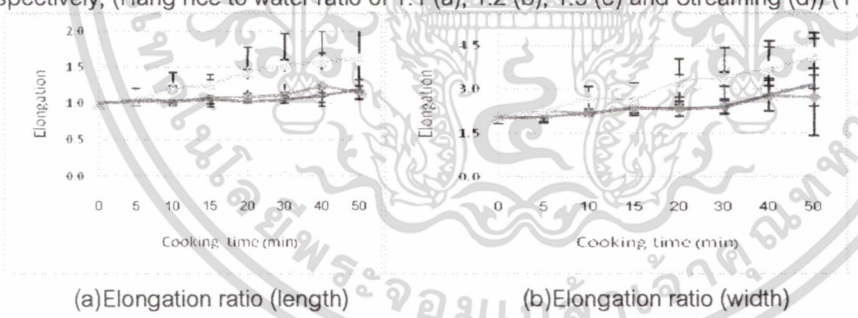


Figure 2 Elongation ratios in length and width of Hang rice during cooking at different cooking methods  
 ◆ Hang rice to water ratio of 1:1 ■ Hang rice to water ratio of 1:2 ▲ Hang rice to water ratio of 1:3 X Streaming

Table 1 Hardness of cooked Hang rice with different Hang rice at cooking time

Cooking Time (min)	Hang rice to water of 1:1	Hang rice to water of 1:2	Hang rice to water of 1:3	Streaming <sup>ns</sup>
0	17008.05 ± 8426.47 <sup>bcd</sup>	17008.05 ± 8426.47 <sup>bcd</sup>	17008.05 ± 8426.47 <sup>bc</sup>	2849.77 ± 3186.60 <sup>A</sup>
5	9556.86 ± 2036.41 <sup>bc</sup>	13514.15 ± 1018.55 <sup>bd</sup>	10042.38 ± 5458.07 <sup>bb</sup>	2759.48 ± 2197.88 <sup>A</sup>
10	7356.16 ± 1168.10 <sup>bc</sup>	8678.41 ± 4604.99 <sup>bc</sup>	10160.71 ± 2114.71 <sup>bc</sup>	2128.17 ± 1672.10 <sup>A</sup>
15 <sup>NS</sup>	3713.73 ± 4075.17 <sup>ab</sup>	7358.09 ± 3820.68 <sup>bc</sup>	8227.185 ± 243050 <sup>b</sup>	6252.57 ± 5058.47
20 <sup>NS</sup>	3905.07 ± 3011.21 <sup>ab</sup>	6053.36 ± 3020.00 <sup>abc</sup>	2347.03 ± 2552.32 <sup>a</sup>	5191.56 ± 4792.88
30 <sup>NS</sup>	3020.63 ± 2381.77 <sup>ab</sup>	2591.76 ± 2092.95 <sup>ab</sup>	1664.96 ± 2191.01 <sup>a</sup>	3832.69 ± 4443.25
40 <sup>NS</sup>	1911.49 ± 12183.71 <sup>a</sup>	2518.58 ± 1340.67 <sup>ab</sup>	1256.61 ± 1404.92 <sup>a</sup>	2558.78 ± 2817.15
50	3044.04 ± 1593.69 <sup>Abab</sup>	1344.55 ± 1048.53 <sup>Aa</sup>	1159.02 ± 934.97 <sup>Aa</sup>	4067.86 ± 3270.22 <sup>B</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Means with different letters in the same column are significantly different ( $P \leq 0.05$ )  
<sup>A,B</sup> Means with different letters in the same row are significantly different ( $P \leq 0.05$ )  
<sup>NS,ns</sup> means non significantly different ( $P \geq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้