การใช้เอนไซม์ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

นางสาวอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิติกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-643-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENZYME TREATMENT ON QUICK COOKING RICE PRODUCTION

Miss Onanong Tapanapunnitikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-643-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้เอนไซม์ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว
โดย	นางสาวอรอนงค์ ฐานปนพันธ์นิติกุล
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)

..... กรรมการ

(คุณวัลลภ มานะธัญญา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิติกุล : การใช้เอนไซม์ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว (ENZYME TREATMENT ON QUICK COOKING RICE PRODUCTION) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง ; 112 หน้า. ISBN 974-636-643-2.

งานวิจัยนี้ผลิตข้าวหุงสุกเร็ว โดยเปรียบเทียบการใช้โปรติเอส 3 ชนิดคือ ปาเปน (P - 3375 1.7 Units / mg. Solid) อัลคาเลส® (0.6 L 2.4 AU./g.) และ เปปซิน A (P - 7000 550 Units / mg.solid) เพื่อย่อยสลายโปรตีนบริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวสารในขั้นตอนการแช่ข้าว พบว่าอัตราส่วนปริมาณเอนไซม์ต่อข้าวสารที่เหมาะสมคือ 1:500 (กรัม/กรัม),1:75 (มิลลิลิตร/กรัม) และ 1:1,000 (กรัม/กรัม) ตามลำดับ โดยกำหนดภาวะการย่อยสลายด้วยปาเปนที่ 50 °C 60 นาที , อัลคาเลส® ที่ 60 °C 90 นาที และเปปซินที่ 60 °C 60 นาที ซึ่งภายใต้ภาวะนี้สามารถย่อยสลายโปรตีนในข้าวสารได้ 7 , 19 และ 31 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวสารที่บำบัดด้วยโปรติเอสมาเจลาทีไนเซชัน ด้วยการต้มในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ทั้งนี้พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการต้มสำหรับข้าวสารที่ผ่านการบำบัดด้วยปาเปนคือที่ 100 °C 10 นาที และอัลคาเลส® หรือเปปซิน คือที่ 85 °C 15 นาที ส่วนข้าวที่แช่ด้วยน้ำกลั่นใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบต้มที่ 100 °C 15 นาที แล้วตามด้วยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 200 °C 1 นาที และ ที่ 60 °C 3 ชั่วโมง ให้มีความชื้นประมาณ 7 % พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ได้ค่าความหนาแน่นก่อนการคืนรูปไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และจากการเปรียบเทียบด้านสมบัติด้านการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูปที่ได้จากการแช่ด้วยเปปซิน ซึ่งมีระดับการย่อยโปรตีน 31% จะมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับคืนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คือ 2.87 กรัม/ กรัม และใช้ เวลาในการคืนรูปน้อยที่สุด คือ 5 นาที ส่วนค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ผลิตได้จากการใช้เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดมีคะแนนด้านสี , รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี และค่าคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C627135 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: QUICK COOKING RICE / ENZYME HYDROLYSIS / PROTEASE

ONANONG TAPANAPUNNITIKUL : ENZYME TREATMENT ON QUICK COOKING RICE PRODUCTION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF PRANEE ANPRUNG, Ph.D. 112 pp. ISBN 974-636-643-2.

This research producs quick cooking rice by comparing the usage of three types of protease ; Papain (P - 3375 1.7 Units / mg. solid) , Alcalase® (0.6 L 2.4 AU./g.) and Pepsin A (P - 7000 550 Units / mg. solid) to hydrolysed protein at the skin of raw grain rice in soaking step. It was found that the optimum enzyme by rice ratio of 1:500 g./g. ,1:75 ml./g. and 1:1,1000 g./g. , respectively. The first sample of raw grain rice was hydrolysed with papain at 50 °C for 60 minutes, the second sample was hydrolysed with Alcalase® at 60 °C for 90 minutes and the third sample was hydrolysed with pepsin at 60 °C for 60 minutes. Under this condition, the rice protein could be hydrolysed to 7 , 19 and 31% , respectively. The three soaked samples were gelatinized by boiling in excess water . The suitable codition for boiling the sample which has treated by papain is at 100 °C for 10 minutes and by Alcalase® or pepsin is at 85 °C for 15 minutes. Besides the sample soaked with water was boiled boiled at 100 °C for 15 minutes as a compared sample. Then all sample were dried to 7% moisture content by hot air oven at 200 °C for 1 minute and 60 °C for 3 hours. All dehydrate quick cooking rices whics has no significant differentces ($P \leq 0.05$) in bulk density before reconstitution is 3.45 ± 0.36, 3.43 ± 0.30 , 3.41 ± 0.29 and 3.47 ± 0.26 g./cm^3 respectively. When comparing the four semples in reconstitution its properties, was found that quick cooking rice from soaking with pepsin (31%DH) has highest rehydration ratio of 2.87 g./g. and uses shortest reconstitution time of 5 minutes. Organoleptics test on the quick cooking rice product using three types of enzymes shows good rating for colour , taste ,texture and no significantly difference of acceptance.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากจะเป็นผลของการทำงานอย่างหนักของข้าพเจ้าแล้ว ยังเนื่องมาจากความช่วยเหลือจากบุคคลอื่นๆมากมาย ในหลายๆด้านซึ่งบุคคลสำคัญผู้หนึ่งที่ข้าพเจ้าระลึกถึงในความมีอุปการะคุณเสมอมา ท่านนั้นคือ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งได้ทำงานหนักกว่าข้าพเจ้าหลายเท่า เพราะนอกจากท่านจะได้ชี้แนะ ให้แนวทาง ตลอดจนความรู้ทางด้านวิชาการ ซึ่งเป็นหน้าที่โดยตรงของท่านแล้ว ท่านยังได้เสียสละเวลา ตลอดจนกำลังกายใจ พร่ำอบรมสั่งสอน บ่มเพาะ นิสัยทุกๆด้าน และคอยกระตุ้นให้ข้าพเจ้ามีพลังต่อสู้ ต่ออุปสรรคนานาประการ พระคุณของท่านนั้นแม้ข้าพเจ้าไม่อาจกล่าวเป็นตัวอักษรและทดแทนได้ทั้งหมด แต่ข้าพเจ้าจะขอเก็บระลึกไว้ในใจชั่วนิรันดร์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล ที่ได้กรุณาสละเวลา และให้เกียรติอย่างสูง เพื่อเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ แห่งภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และคุณ วัลลภ มานะธัญญา แห่งบริษัทบางซื่อโรงสีไฟเจียเม้งจำกัด ที่ได้กรุณาให้เกียรติ เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาแก้ไข และให้ข้อคิดแก่ข้าพเจ้าในส่วนที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์เต็มรูปแบบทางวิชาการสูงยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณบรรดาเจ้าหน้าที่ทั้งแผนกห้องปฏิบัติการตลอดจนแผนกธุรการที่คอยอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอขอบกราบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิ ภมรสมิต คณบดีคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในความอนุเคราะห์ทั้งสถานที่ทำงานวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้ ตลอดจนที่พักอาศัย รวมทั้งคำปรึกษามากมาย จนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ และแม่ ซึ่งเหมือนจะไม่ได้มีส่วนร่วมต่องานวิจัยนี้โดยตรง แต่แท้ที่จริงงานวิจัยนี้คงมิสามารถสำเร็จแน่นอนถ้าขาดบุคคลที่สำคัญที่สุดคู่นี้

สารบัญ

หน้า

หน้าบทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญรูปภาพ.....ฐ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....2
3. อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....26
4. ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....40
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....88
รายการอ้างอิง.....93
ภาคผนวก.....96
ประวัติผู้แต่ง.....112

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 การจำแนกชนิดข้าวตามปริมาณอะมิโลส.....2

2.2 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดี ตามคุณภาพข้าวสุก โดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวง เกษตร และสหกรณ์.....6-7

2.3 ชนิด ตำแหน่ง ปริมาณ ของโปรตีนแต่ละชนิดที่พบในข้าวเจ้า.....12

2.4 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน ของกลูเตลิน.....12

2.5 รายละเอียดของ กลุ่มโปรตีน ที่พบในชั้นแอลิวโรนชั้นในของข้าวเจ้า.....13

3.1 รายการเอนไซม์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....26-27

3.2 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....27

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ ข้าวขาวดอกมะลิ 105.....40

4.2 ผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อร้อยละการย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้า..... ด้วย ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน อุณหภูมิ 30 °C ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที.....42

4.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5, 8.5 และ 1.5 ตามลำดับ.....44

4.4 ผลของอัตรา ส่วนเอนไซม์ ต่อข้าว หลังการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวสาร ที่แช่ด้วยสารละลายปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และ เปปซิน (550 Units / mg. solid), ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ อุณหภูมิ 30 °C.....47-48

4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความชื้นของข้าวเมื่อแปรอุณหภูมิและเวลา ในการแช่ข้าวด้วยสารละลายปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน.....50

4.6 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน(1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่อุณหภูมิและเวลา ต่างๆ.....50
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีนของข้าวเมื่อแปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวด้วยสารละลายปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน.....52
4.8 ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวสารหลังจากแช่ด้วยสารละลาย ปาเปน (1กรัม/500กรัม) อัลคาเลส® (1มิลลิลิตร/75กรัม) และเปปซิน(1กรัม/1,000กรัม) ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ และเวลาต่าง ๆ.....54
4.9 เปรียบเทียบผลของชนิดเอนไซม์ที่ใช้ในการแช่ข้าวสารต่อค่าความชื้นและค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน ที่ 50 องศาเซลเซียส 60 นาที.....56
4.10 ความสัมพันธ์ของค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน และ ค่าความชื้น เมื่อแช่ข้าวที่ อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ ด้วยปาเปน เปปซิน และอัลคาเลส®.....59
4.11 สรุปภาวะในการแช่ข้าวสารที่เลือกได้ และสมบัติของข้าวสารหลังการแช่เอนไซม์ จากการแช่ข้าวสารตามการทดลองที่ 3.3.2.....60
4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ อุณหภูมิ เวลา และระดับการย่อยโปรตีน ค่าร้อยละเจลาทีไนเซชัน ค่าความชื้น และอัตราการขยายตัวของข้าวสุก.....64
4.13 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ เวลา และการย่อยโปรตีน ต่อค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชัน ค่าความชื้นและอัตราการขยายตัวของข้าวสุก.....65
4.14 เปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม และ ลักษณะการแตกบานของ ข้าวสุก ที่เตรียมได้จากข้าวสารที่แช่สารละลายเอนไซม์ และน้ำกลั่น.....71
4.15 สรุปภาวะการเจลาทีไนเซชันที่เลือกได้จากการทดลองที่ 4.4.2.....73
4.16 เปรียบเทียบค่าความชื้นและความหนาแน่น ของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูปที่ได้จากการใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์.....73
4.17 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเอนไซม์และน้ำที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 นาที.....76

4.18 ค่าการยอมรับด้านความนิ่มของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ ปาเปน อัลคาเลส®
และเปปซิน เมื่อคืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 1-10 นาที
ด้วยอัตราส่วนข้าวก่อนคืนรูปต่อน้ำเดือดเป็น 1 : 50 น้ำหนักต่อปริมาตร.....77
4.19 ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และค่าอัตราการขยายตัว ของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป
เมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลาย น้ำกลั่น ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน.....79
4.20 ค่าทางประสาทสัมผัสข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ระดับการย่อยโปรตีนต่างๆ.....81
5.1 สรุปภาวะในการแช่ข้าวสารที่เลือกได้ และสมบัติของข้าวสารหลังการ
แช่ด้วยสารละลายเอนไซม์.....88
5.2 สรุปอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชันของข้าวสารที่ผ่านการแช่
ด้วยสารละลายต่างๆ จากการทดสอบค่าทางประสาทสัมผัส และการตรวจพินิจ.....89
5.3 สรุปสมบัติของข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปและหลังคืนรูปที่ได้จากการใช้เอนไซม์และไม่ใช้
เอนไซม์ในการแช่ข้าวสาร.....90

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างภายในของข้าว.....8
2.2 โครงสร้างภายในชั้นแอลิวโรนชั้นใน S คือ เม็ดแป้ง Ls ,Ss และ Cr คือ กลุ่ม โปรตีนชนิดต่างๆ กำลังขยาย 10,400 เท่า.....9
2.3 โครงสร้างภายในชั้นกลางเนื้อเมล็ด S คือ เม็ดแป้ง บริเวณที่ลูกศรชี้ คือ กลุ่ม โปรตีน Cw คือ ผนังเซล กำลังขยาย 5,570 เท่า.....10
2.4 การจัดเรียงตัวของ อะมิโลสและ อะมิโลเปคติน เป็นโครงสร้างเม็ดแป้ง.....11
2.5 การย่อยโครงสร้างโปรตีนด้วยเปปซิน กำลังขยาย 37,800 เท่า.....18
2.6 แผนภาพการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวเปลือก โดยใช้เอนไซม์ ตามวิธีของ Li และ คณะ ค.ศ. 1976.....23
2.7 แผนภาพการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวนึ่ง โดยใช้เอนไซม์ ตามวิธีของ Lewis และ คณะ ค.ศ. 1986.....24
3.1 ขอบเขตงานวิจัยเรื่องการใช้เอนไซม์ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว.....28
3.2 วิธีการเตรียมแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ขนาด 48 เมช.....30
3.3 ขั้นตอนการหาภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีน แป้งข้าวเจ้าด้วยเอนไซม์.....31
3.4 ขั้นตอนการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวสาร ด้วยสารละลายเอนไซม์.....34
3.5 ขั้นตอนการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวสุก.....36
3.6 เปรียบเทียบลักษณะการแตกบานของข้าวสุก ในขั้นตอนการหา อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวสุก.....37
3.7 ขั้นตอนการประเมินสมบัติข้าวหุงสุกเร็ว.....39

4.1 ผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วย ปาเปน, อัลคาเลส® และเปปซิน อุณหภูมิ 30 °C ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที.....43

4.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการย่อยโปรตีนข้าวเจ้าด้วยปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน ที่ pH 6.5 ,8.5 และ 1.5 ตามลำดับ.....45

4.3 เปรียบเทียบผลของการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยปาเปน (1.7 ยูนิต/ มิลลิกรัม) อัลคาเลส® (3.02 AU./ มิลลิกรัม) และเปปซิน (550 ยูนิต/ มิลลิกรัม) ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ อุณหภูมิ 30 °C.....49

4.4 เปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวสารหลังแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน (1กรัม/500กรัม) อัลคาเลส® (1มิลลิลิตร/75กรัม) และเปปซิน (1กรัม/1,000กรัม) เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว ที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ.....51

4.5 เปรียบเทียบค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวสารหลังแช่ด้วยสารละลาย ปาเปน (1กรัม/500กรัม) อัลคาเลส® (1มิลลิลิตร/75กรัม) และเปปซิน (1กรัม/1,000กรัม) เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว ที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ.....55

4.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละการย่อยโปรตีน และ ค่าความชื้นของข้าวสาร หลังการแช่ข้าวสารด้วย เอนไซม์ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน ที่ 50 องศาเซลเซียส 60 นาที.....58

4.7 กราฟ 2 มิติ ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาใน การแช่ข้าว และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน เมื่อแช่ข้าวด้วยปาเปน.....61

4.8 กราฟ 2 มิติของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลา ในการแช่ ข้าว และค่าร้อยละความชื้น เมื่อแช่ข้าวด้วยปา เปน.....61

4.9 กราฟ 2 มิติ ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ ข้าว และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน เมื่อแช่ข้าวด้วยเปปซิน.....62

4.10 กราฟ 2 มิติ ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ ข้าว และค่าร้อยละความชื้นเมื่อแช่ข้าวด้วยเปปซิน.....62

4.11 กราฟ 2 มิติ ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ ข้าว และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน เมื่อแช่ข้าวด้วยอัลคาเลส®.....63

4.12 กราฟ 2 มิติ ของความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าว และค่าร้อยละความชื้นเมื่อแช่ข้าวด้วยอัลคาเลส® 63
4.13 เปรียบเทียบระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลา ในการต้ม ต่อค่าร้อยละการเกิด เจลาทีไนเซชันของข้าวสุก.....67
4.14 เปรียบเทียบระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลา ในการต้ม ต่อค่าความชื้นของข้าวสุก.....68
4.15 เปรียบเทียบระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลา ในการต้ม ต่อค่าการขยายตัวของข้าวสุก.....70
4.16 เปรียบเทียบค่าความชื้นและความหนาแน่น ของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยน้ำกลั่น , ปาเปน, อัลคาเลส® และเปปซิน.....74
4.17 อัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่เตรียมได้จากการแช่ด้วยน้ำกลั่น ปา เปน อัลคาเลส® และเปปซิน คืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 1-10 นาที ด้วยอัตราส่วนข้าวก่อนคืนรูปต่อน้ำเดือดเป็น 1 :50 น้ำหนักต่อปริมาตร.....77
4.18 ค่าการยอมรับด้านความนิ่มของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน เมื่อคืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 3 นาที, 5 นาที และ 7 นาที.....78
4.19 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และค่าอัตราการขยายตัว ของข้าวหุงสุก เร็ว คืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วย น้ำกลั่น, ปาเปน, อัลคาเลส®และเปปซิน.....80
4.20 เปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วย น้ำกลั่น, ปาเปน, อัลคาเลส® และเปปซิน.....82
4.21 เปรียบเทียบโครงสร้างผิวข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วย น้ำกลั่น (1), ปาเปน (2) อัลคาเลส® (3) และเปปซิน (4) ด้วยกล้องขยายแบบใช้แสง (Light microscope) กำลังขยาย 200 เท่า.....84
4.22 ข้าวขาวดอกมะลิ 105.....85
4.23 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่สารละลายเปปซิน (550 Units / mg. solid) อัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าวสาร 1:1,00 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที.....85

4.24 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่สารละลายเปปซิน
และต้มที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที.....86
4.25 ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเปปซิน.....86
4.26 ข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเปปซิน.....87
4.27 เปรียบเทียบข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านขั้นตอนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว.....87