บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ภาวะในการแช่ข้าวสารด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในการแช่ข้าวสาร 3 ชนิดคือ ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน มีความสามารถในการย่อยโปรตีนในข้าวได้แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) **เปปซินมีความสามารถในการย่อยโปรตีนข้าวได้ดีที่สุด รองลงมาคือ อัคาเลส® และปาเปนมีความสามารถในการย่อยโปรตีนข้าวต่ำที่สุด** ซึ่งเมื่อค่าร้อยละการย่อยโปรตีนเพิ่มมากขึ้น ค่าความชื้นของข้าวสาร จะมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการแช่ข้าวสารด้วยสารละลายเอนไซม์โดยเฉพาะเปปซิน จะมีผลให้ข้าวสารมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาในการแช่ข้าวสารให้มีความชื้นตามต้องการน้อยลง ซึ่งน่าจะช่วยลดปริมาณการแตกหักของข้าวสารเนื่องจากการแช่น้ำเป็นเวลานานได้ จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการย่อยโปรตีนและ ค่าความชื้น ของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าแตกต่างกัน **โดยที่ระดับการย่อยโปรตีนเดียวกัน ข้าวที่ผ่านการแช่ด้วยปาเปนจะมีค่าความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือเปปซินและ อัลคาเลส®**

ตารางที่ 5.1 สรุปภาวะในการแช่ข้าวสารที่เลือกได้ และสมบัติของข้าวสารหลังการแช่ด้วยสารละลายเอนไซม์

สารละลายเอนไซม์ที่ใช้แช่ข้าวสาร		สมบัติของข้าวสารหลังจากแช่ด้วยสารละลายเอนไซม์		ภาวะในการแช่ข้าวสารด้วยสารละลายเอนไซม์
เอนไซม์	เอนไซม์ต่อข้าวสาร	ร้อยละการย่อยโปรตีน	ความ ชื้น (%)	
ปาเปน	1:500 g./g.	7	32	50 °C 60 นาที
อัลคาเลส®	1:75 ml./g.	19	33	60 °C 90 นาที
เปปซิน	1:1,00 g./g.	31	34.5	60 °C 60 นาที

5.2 ภาวะในการเจลาทีไนเซชัน

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระดับการย่อยโปรตีน มีผลให้ค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชัน และค่าความชื้น เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) **แต่ผลต่ออัตราการขยายตัวของข้าวสุก พบว่าระดับการย่อยโปรตีนจะมีผลให้ข้าวมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง และค่าการขยายตัวจะค่อย ๆลดลง** ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องจากการสูญเสียอะมิโลส ที่เป็นปัจจัยในการขยายตัวของข้าวสุกมากเกินไป ดังนั้นการย่อยข้าวสารด้วยเปปซิน จากการทดลองพบว่าการย่อยข้าวที่ ระดับการย่อยโปรตีน 31% โดยใช้เปปซิน จะทำให้มีอัตราการขยายตัวต่ำกว่าการใช้เอนไซม์ชนิดอื่น และน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) **จะเห็นว่าการใช้เอนไซม์ในการย่อยโปรตีนข้าวเพื่อจุดประสงค์ในการลดพลังงานในการเกิดเจลาทีไนเซันนั้น จะมีข้อจำกัดในการใช้คือ ในการย่อยโปรตีนระดับสูง จะมีผลต่อสมบัติของข้าวสุก อัตราการขยายตัวจะลดลง ข้าวจะหุงขึ้นหม้อน้อยลง**

ตารางที่ 5.2 สรุปอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชันของข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายต่างๆ จากการทดสอบค่าทางประสาทสัมผัส และการตรวจพินิจ

วิธีการ	อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชัน
น้ำกลั่น	100 °C 15 นาที
ปาเปน	100 °C 10 นาที
อัลคาเลส®	85 °C 15 นาที
เปปซิน	85 °C 15 นาที

5.3 ประเมินสมบัติข้าวหุงสุกเร็ว

5. 3.1.1 สมบัติข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป

พบว่าค่าความชื้น และ ความหนาแน่น ของข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) **เมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่นของข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้ ประมาณ 0.98 - 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร** พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ซึ่งอาจปรับปรุงให้มีค่าต่ำกว่านี้ ได้โดยการใช้ วิธีการทำแห้งแช่เยือกแข็งแทนการใช้ลมร้อน ซึ่งจะทำให้มีค่าความหนาแน่นน้อยลง แต่การเพิ่มเวลาการแช่ข้าวให้มีระดับการย่อยโปรตีนที่สูง

กว่านี้จะไม่มีผลในการปรับปรุงค่าความหนาแน่น เพราะที่ระดับการย่อยโปรตีนสูงข้าวจะยิ่งมีอัตราการขยายตัวลดลง ซึ่งน่าจะทำให้ข้าวมีความหนาแน่นมากขึ้น และมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับลดลง

ตารางที่ 5.3 สรุปสมบัติของข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปและหลังคืนรูปที่ได้จากการใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ในการแช่ข้าวสาร

	สมบัติของข้าวหุงสุกเร็วด้านกายภาพ				
	ก่อนคืนรูป			หลังคืนรูป	
สารละลายในการแช่ข้าว	ความชื้น^{ns} (%)	ความหนาแน่น^{ns} (g./cm^3)	เวลาคืนรูป (นาที)	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ* (g./g.)	อัตราการขยายตัว^{ns} (เท่า)
น้ำ	7.61 $\pm$ 0.31	1.01 $\pm$ 0.03	7	2.61 $\pm$0.36^{b}	3.45 $\pm$0.36
ปาเปน	7.67 $\pm$ 0.18	1.01 $\pm$ 0.05	7	2.62 $\pm$0.33^{b}	3.43 $\pm$ 0.30
อัลคาเลส®	7.53 $\pm$ 0.02	1.02 $\pm$ 0.09	7	2.67 $\pm$0.40^{b}	3.41 $\pm$ 0.29
เปปซิน	7.43 $\pm$ 0.11	0.98 $\pm$ 0.02	5	2.87 $\pm$ 0.47^{a}	3.47$\pm$ 0.26

3.2.2 สมบัติข้าวหุงสุกเร็วหลังการคืนรูป

สมบัติข้าวหุงสุกเร็วหลังการคืนรูปด้านกายภาพพบว่า**ข้าวที่แช่ด้วยเปปซิน มีระดับการย่อยโปรตีน 31% จะทำให้ข้าวมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ**($P \leq 0.05$) **เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แช่ด้วย น้ำ , ปาเปน และอัลคาเลส® ซึ่งมีผลให้ข้าวหุงสุกเร็วใช้เวลาในการคืนรูปสั้นกว่าตัวอย่างอื่น แต่ทางด้านค่าการขยายตัวพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ** ($P \leq 0.05$) **มีค่าอยู่ในช่วง 3.41-3.47 เท่าโดยปริมาตร** ซึ่งเมื่อเปรียบกับข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท และแคลเซียมคลอไรด์ 1% แล้วทำแห้ง (Smith et.al., 1985) ซึ่งมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ 2.2 เท่าโดยน้ำหนัก และจากการผลิตโดยการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งในภาวะแช่เยือกแข็ง (Ghosh and Mukherjee, 1988) ซึ่งมีค่าอัตราการขยายตัวของ

ข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป 3.8 เท่าโดยปริมาตร น่าจะจัดได้ว่าข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีคุณภาพทางกายภาพที่ดีในระดับหนึ่ง

ด้านประสาทสัมผัสพบว่า**คะแนนการยอมรับทางด้าน รสชาติ การแตกบาน การเกาะตัว ความนิ่ม ความเหนียว และการยอมรับตามลักษณะของข้าวหุงสุกเร็วอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ**($P \leq 0.05$) แต่คุณภาพทางด้านสี และกลิ่น พบว่า การแช่ข้าวด้วยอัลคาเลส® มีค่าการยอมรับ ด้านสี และกลิ่นต่ำที่สุด คือ 7.69 และ 7.61 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ อาจเนื่องจากว่าอัลคาเลส® เป็นเอนไซม์ที่มีกลิ่นรุนแรง และมีสีเข้ม ซึ่งแสดงว่า**ระดับการย่อยโปรตีนไม่มีผลต่อค่าทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป แต่ชนิดของเอนไซม์ที่ใช้จะมีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสด้าน** สี และกลิ่น ตามลักษณะสี และกลิ่นเฉพาะตัวของเอนไซม์นั้น

แม้ว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการใช้เอนไซม์จะมีคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในเกณฑ์ที่ดี แต่เป็นการยอมรับทางด้านลักษณะเฉพาะของข้าวหุงสุกเร็ว หากจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ได้รับการยอมรับทางด้านคุณภาพของข้าวสุก ควรจะต้องมีการปรับปรุงข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ต่อไป โดยน่าจะลองปรับปรุงวิธีที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชัน โดยใช้วิธีการนึ่ง หรือหุงโดยไม่เช็ดน้ำ ซึ่งจะทำให้ข้าวมีความนุ่มเหนียวมากขึ้น เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภคมากขึ้น แต่วิธีการนี้จะทำให้ข้าวมีอัตราการขยายตัวต่ำกว่าการต้มในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ซึ่งอาจมีผลต่อค่าความหนาแน่น ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และเวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว และจากการทดลองแม้จะพบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชันของข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วยเอนไซม์ จะลดลงจากตัวอย่างที่ข้าวที่แช่ด้วยน้ำไม่ชัดเจนมากนัก อาจเนื่องจากปริมาณที่ใช้ในการทดลองเป็นปริมาณน้อยเป็นการทดลองในห้องทดลอง น่าจะมีการลองขยายขนาดการทดลองให้ใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะได้เห็นผลชัดเจนขึ้น แต่จากงานวิจัยชิ้นนี้จะสังเกตได้ว่าข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีนที่ระดับสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับมากกว่า ซึ่งน่าจะมีการนำข้อมูลที่ได้นี้ ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ข้าวรูปแบบอื่น เช่นอาจเป็นในรูปข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป หรือโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดเดียวกันคือข้าวเจ้า และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงเช่นกัน ซึ่งพอจะมีแนวทางในการผลิตได้ดังนี้

ในการผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากข้าวต้มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องคงความสมบูรณ์ของรูปร่างเม็ดมากนัก ในการผลิตสามารถเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวสารที่ผ่านการแช่สารละลายเอนไซม์ ให้ได้ลักษณะข้าวสุกที่มีการแตกบานมากขึ้น ดังรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าลักษณะของข้าวสุกที่เลือกในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วคือข้าวหมายเลข 3 แต่ในการผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป น่าจะเลือกลักษณะข้าวสุกที่ได้เป็นข้าวหมายเลข 4 ซึ่งจะทำให้ได้ลักษณะการแตกบานมากกว่าข้าวสุกทั่วไป หลังจากนั้นจึงผ่านการทำแห้ง และประเมินสมบัติหลังการคืนรูป ด้วยการทดสอบค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูปโดยการคืนรูปด้วยน้ำซุป

โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป อาจทำได้โดยการใช้ข้าวหัก บดให้มีขนาดที่พอเหมาะ หลังจากนั้นจึงแช่สารละลายเอนไซม์ ผ่านการเจลาทีไนเซชัน แล้วจึงทำแห้ง อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่ใช้เป็นโปรตีนรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปในภาวะที่มีความชื้น จะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปได้ ดังนั้นจึงต้องมีกรรมวิธีที่ที่เหมาะสมเพื่อแยกเอนไซม์ออกจากผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ข้าวสารที่ผ่านการย่อยสลายโปรตีนที่ผิวข้าวสารด้วยการแช่ในสารละลายเอนไซม์ จะใช้เวลาในการทำให้ข้าวสุกลดลง และโปรตีนที่ถูกย่อยสลายไปไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วหลังการคืนรูป โดยเฉพาะข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเปปซิน (550 Units / mg. solid) อัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าวสาร เป็น 1 ต่อ 1,000 โดยน้ำหนัก มีร้อยละการย่อยสลายโปรตีน 31% และเจลาทีไนเซชันโดยการต้มที่ภาวะที่มีน้ำมากเกินพอที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่อทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นประมาณ 7 % จะได้ข้าวหุงสุกเร็วที่มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับคืนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือ 2.87 เท่าโดยน้ำหนัก และใช้ เวลาในการคืนรูปน้อยที่สุด คือ 5 นาที และมีค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปในเกณฑ์ที่ดี จากข้อมูลที่ได้น่าจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการผลิตข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป หรือโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบจากข้าวเจ้าที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ เช่น ปลายข้าว ข้าวเม็ดหัก หรือข้าวเจ้าราคาถูก เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจแก่วัตถุดิบประเภทข้าวที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ และเพื่อเป็นการขยายประโยชน์จากการใช้ข้าวเจ้า ในรูปแบบต่างๆมากขึ้น