



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องอก

Development of Canned Germinated Glutinous Brown Rice with Coconut Milk

نامผู้วิจัย นายพศินพงษ์ โสวะพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์พัชรีย์ ตั้งตระกูล, M.S.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอก

Development of Canned Germinated Glutinous Brown Rice with Coconut Milk

โดย

นายพศินพงษ์ ไสวะพันธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พศินพงษ์ โสวะพันธ์ 2555: การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลึงออก
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph.D. 117 หน้า

ข้าวเหนียวเปียกเป็นขนมไทยที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคซึ่งมีข้าวเหนียวเป็นส่วนผสมหลัก จึง
สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารได้โดยใช้ข้าวเหนียวกลึงออกแทนการใช้ข้าวเหนียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลึงออกให้มีคุณค่าทางอาหาร และเป็นที่
ยอมรับของผู้บริโภค จากการจัดตั้งทดลองแบบแฟคตอเรียล 4x5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อศึกษา
ผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกลึงออก พบว่า เมื่อระยะเวลาแช่เพิ่มขึ้น
มีผลทำให้น้ำตาลรีดิวซ์และ GABA อิสระเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดสูงสุดและการคืนตัวมีค่าลดลง การแช่ซีเทรท
บัฟเฟอร์ pH 3 นาน 48 ชั่วโมง ได้ GABA อิสระสูงสุด และการแช่ในไลโดแซนร้อยละ 0.5 ในซีเทรทบัฟเฟอร์
pH 3 ได้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด แต่ไม่เหมาะสมในการทำเป็นข้าวเหนียวเปียกเพราะมีรสชาติไม่ดี สภาวะนอกที่
เหมาะสม คือ การแช่ในสารละลายซีเทรทบัฟเฟอร์ pH5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งได้ข้าวเหนียวกลึงออกที่มี
GABA อิสระ 21.66 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจาก
ข้าวเหนียวกลึงออก โดยศึกษาสัดส่วนของข้าวเหนียวกลึงออกต่อน้ำ (กรัม: กรัม) ที่ใช้หุง 3 ระดับ (600: 1200,
600: 1800 และ 600: 2400) พบว่า การเพิ่มน้ำที่ใช้หุงมีผลทำให้ข้าวเหนียวเปียกที่ได้ มีค่าความคงตัว และดัชนี
ของความหนืดลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า สัดส่วนข้าวเหนียวกลึง
ออกต่อน้ำที่ใช้หุงที่เหมาะสมสำหรับผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง คือ 600: 1200 (กรัม: กรัม) การศึกษา
สภาวะฆ่าเชื้อ (F_0) ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลึงออก โดยศึกษา F_0
3 ระดับ ได้แก่ 5, 8 และ 11 นาที จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการ
ให้คะแนนความชอบ พบว่า F_0 ที่เหมาะสม คือ 5 นาที การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนา
พบว่า มีปริมาณ GABA อิสระ 14.16 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) มีค่าความคงตัวและดัชนีของ
ความหนืดเท่ากับ 15.11 และ 2.06 N-sec ตามลำดับ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้
คะแนนความชอบรวมเฉลี่ยในระดับชอบปานกลาง และให้การยอมรับร้อยละ 96 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นมีผลทำ
ให้ค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดเพิ่มขึ้น

Pasinpong Sowaphan 2012: Development of Canned Germinated Glutinous Brown Rice with Coconut Milk. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Kamolwan Jangchud, Ph.D. 117 pages.

Glutinous rice with coconut milk is a popular Thai dessert containing glutinous rice as a major ingredient. It can be enhanced nutrition by using germinated glutinous brown rice. Therefore, this research aimed to develop canned germinated glutinous brown rice with coconut milk to be more nutritious and acceptable to the consumers. The 4x5 factorial arrangement in a completely randomized design was used to study the effects of soaking times and solutions on the qualities of germinated glutinous brown rice (GGBR). The result showed that as soaking time increased, reducing sugar and GABA increased with reduced-peak viscosity and setback. Soaking in citrate buffer pH 3 for 48 h was found to provide the highest gamma amino butyric acid (GABA) and soaking in 0.5% chitosan in citrate buffer pH 3 for 48 h provided the highest reducing sugar. Although soaking in citrate buffer pH 3 for 48 h was established to yield the highest GABA content, such a practice was found not to be suitable to prepare germinated glutinous brown rice with coconut milk because of the poor taste of the GGBR. The GGBR soaked in citrate buffer pH 5 for 48 h was revealed to be to attain a GABA content of 21.66 mg/ 100 g GGBR (dry basis). The effect of GGBR to water (g/g) ratio for cooking (600:1200, 600:1800 and 600:2400) on properties of canned germinated glutinous brown rice with coconut milk was studied. The result showed that as water content increased, consistency and index of viscosity of the product significantly decrease. The optimal ratio was established to be 600 g to 1200 g, which yielded the product with a moderate liking score. As for the study of the optimal sterilization condition (F_0) for canned germinated glutinous brown rice with coconut milk, three levels of F_0 (5, 8 and 11 min.) were conducted. The results from texture measurement and sensory evaluation showed the optimal F_0 to be 5 minutes. The developed product was found to contain a GABA content of 14.16 mg/ 100 g sample (dry basis) and a consistency and index of viscosity of 15.11 and 2.06 N·sec, respectively. The consumer acceptance test revealed that the developed product attained a moderate liking score with a consumer acceptance of 96%. The changes in quality of the developed product during storage at 30 ± 2 °C for 6 weeks revealed an extended storage time to increase the consistency and index of viscosity

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กมลวรรณ แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย และอาจารย์พัชร ตั้งตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ที่ได้ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยโดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการดำเนินงาน ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ PD ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกคน รวมทั้งผู้มีพระคุณที่ได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน ความห่วงใย ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจที่มีให้ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

พลินพงษ์ โสวะพันธ์

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี	94
ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	99
ภาคผนวก ค แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค	102
ภาคผนวก ง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกล้องอกในระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์	106
ภาคผนวก จ การคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกล้องอก	109
ภาคผนวก ฉ การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกล้องอก	113
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ประโยชน์ของสารต่างๆที่พบในข้าวกล้องงอก	13
2	สารอาหารบางชนิดที่พบในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก	14
3	ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มีค่า pH แตกต่างกัน	25
4	ปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ และ GABA อิสระของข้าวเหนียวกล้องงอก	43
5	คุณภาพการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกที่ผลิตจากระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ที่แตกต่างกัน	46
6	ค่าความคงตัว และค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่ใช้ข้าวเหนียวกล้องงอกและน้ำในการหุงต่างกัน	53
7	คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เตรียมจากการใช้ข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่ต่างกัน	54
8	จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องที่ทดสอบโดยการให้คะแนนความพอดี	55
9	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่ทำการปรับปรุงสูตรแล้ว	56
10	คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่ใช้ระดับของการฆ่าเชื้อ (F_0) แตกต่างกัน	58
11	คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่ใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน	59
12	จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องที่ทดสอบโดยการให้คะแนนความชอบ (Just-about-right scale)	60
13	คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่พัฒนาได้	62
14	ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ทดสอบการยอมรับข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกด้วยวิธี CLT	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียว กลี้งงอกที่พัฒนาแล้วของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายด้วยวิธี CLT	65
16	การตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค	65
17	คะแนนความชอบเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุ กระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน	73
ตารางผนวกที่		
ง1	คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอก ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	107
ง2	คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้ง งอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	107
ง3	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้ง งอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	108
จ1	การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ไว้เท่ากับ 5 นาที	110
จ2	การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ไว้เท่ากับ 8 นาที	111
จ3	การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ไว้เท่ากับ 11 นาที	112

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของ GABA	10
2	กระบวนการสังเคราะห์ GABA	11
3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และเครื่องฆ่าเชื้อ	28
4	ขั้นตอนการเตรียมข้าวเหนียวกลิ้งงอก	33
5	กระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก	36
6	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลาย ซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง	48
7	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลาย ซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง	48
8	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลาย ไคโตแซนร้อยละ 0.5 ใน ซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง	49
9	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลาย ไคโตแซนร้อยละ 0.5 ใน ซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง	49
10	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในน้ำกรอง (pH 6.8) เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง	50
11	ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่พัฒนาได้	66
12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกของข้าวเหนียวเปียกบรรจุ กระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 °C)	67
13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรตของข้าวเหนียวเปียกบรรจุ กระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 °C)	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียว กลี้งงอกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	68
15	การเปลี่ยนแปลงค่าความคงตัวของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าว เหนียวกลี้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	69
16	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกลี้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	70
17	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจาก ข้าวเหนียวกลี้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	71
18	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกลี้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	71
19	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุ กระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)	72
ภาพผนวกที่		
ก1	การวัดค่าเนื้อสัมผัสข้าวเหนียวเปียกด้วยวิธี Backward extrusion	98

การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องอก

Development of Canned Germinated Glutinous Brown Rice with Coconut Milk

คำนำ

ข้าวกล้องอก คือ ข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายภายใต้สภาวะงอกที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขาวและข้าวกล้องธรรมดา (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2550) ในระหว่างกระบวนการงอกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว (Palmiano and Juliano, 1972) และพบการสะสมของสารต่างๆ โดยเฉพาะกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (gamma aminobutyric acid, GABA) (Ohtsubo *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยช่วยรักษาโรคทางระบบประสาท โรคความดันโลหิต ลดความตึงเครียดภายหลังการใช้สมอง ป้องกันความผิดปกติช่วงเปลี่ยนวัยหมดประจำเดือน เป็นต้น (Kayahara and Tukahara, 2000) ซึ่งการผลิตข้าวกล้องอกควรคำนึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องอกที่ได้ เช่น พันธุ์ข้าว ระยะเวลางอก (Charoenthaikij *et al.*, 2009) สภาวะเครียดต่างๆ เช่น การสัมผัสกับความเย็นต่ำ (Mazzucotelli *et al.*, 2006) การมีออกซิเจนในเซลล์ต่ำกว่าปกติ (Crawford *et al.*, 1994) หรือการขาดออกซิเจน (Komatsuzaki *et al.*, 2007) การที่เซลล์มีความเป็นกรดสูง (Crawford *et al.*, 1994) รวมถึงการใช้สารบางชนิด เช่น ไคโตแซน (Oh, 2003) ไคโตแซนเป็นไบโอโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการสกัดไคติน และถูกนำไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เจลของซูริมิ (Benjakul, 2003) ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (Boonlertnirun *et al.*, 2008) ใช้ลดระดับคลอเลสเตอรอลในเลือด (Bokura and Kobayashi, 2003) ใช้เพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องอก (Oh, 2003) เป็นต้น ซึ่งการนำไคโตแซนไปใช้ประโยชน์ควรคำนึงถึงระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสม

ประเทศไทยมีพื้นฐานเศรษฐกิจทางการเกษตร โดยมีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศอย่างมาก แต่ปัจจุบันมีปัญหาราคาข้าวตกต่ำเนื่องจากมีปริมาณผลผลิตส่วนเกินสูง (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2553) จึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเพื่อเพิ่มความหลากหลายของการใช้ประโยชน์และช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวให้อยู่ในรูปของอาหารสำเร็จรูปที่ใช้ระยะเวลาในการเตรียมน้อย มีอายุการเก็บนาน และมีคุณค่าทางอาหาร จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ประกอบกับในปัจจุบันอาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์ได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศทางยุโรป ส่วนไทยมีการส่ง

ออกอาหารเพื่อใช้เป็นอาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์อื่นๆ เป็นส่วนใหญ่ แต่การผลิตอาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์ออกสู่ตลาดยังมีเล็กน้อย ทำให้อาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย (ศูนย์พาณิชยกรรมแฟรงก์เฟิร์ต, 2536)

ขนมไทยเป็นขนมที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีรสหวาน กลิ่นหอม และลักษณะเฉพาะตามชื่อของขนมนั้นๆ ข้าวเหนียวเปียกเป็นขนมไทยชนิดหนึ่งที่มีความนิยมจากผู้บริโภค โดยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ข้าวเหนียว กะทิ และน้ำตาล ดังนั้นการพัฒนาข้าวเหนียวเปียกให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น จึงทำได้โดยประยุกต์ใช้ข้าวเหนียวกล้องงอกแทนส่วนของข้าวเหนียวในสูตร เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่ข้าวในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังเป็นการตอบสนองกระแสตลาดด้านสุขภาพ และเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบและรสชาติใหม่ที่มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการบริโภคของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการความหลากหลาย แปลกใหม่ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับได้นานขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสารละลายที่ใช้แช่และระยะเวลาในการงอกต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวเหนียวกล้องงอกเพื่อผลิตเป็นข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง
2. เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกโดยวิธีสเตอริไลซ์
3. เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่พัฒนาได้
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวเหนียวเปียก

ขนมไทยเป็นขนมที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยการมีสี กลิ่น รูปร่าง รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันตามประเภทของขนมแต่ละชนิด เมื่อแบ่งประเภทตามวิธีการประกอบสามารถแบ่งได้ 6 ประเภท ได้แก่ ขนมประเภทหวาน ประเภทหนึ่ง ประเภทเชื่อม ประเภททอด ประเภทอบ และประเภทต้ม นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกตามลักษณะทั่วไปของขนมได้ 4 ประเภท ได้แก่ ประเภทเหลวเป็นน้ำ ประเภทแห้งกรอบ ประเภทกึ่งเปียกกึ่งแห้ง และประเภทเปียก (กมลวรรณ, 2550) โดยข้าวเหนียวเปียก เป็นขนมไทยประเภทเปียกชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมสำคัญ ได้แก่ ข้าวเหนียว กะทิ และน้ำตาล วิธีผลิตทำได้โดยการนำข้าวเหนียวไปต้มและกวนให้ละ หรือต้มกับน้ำกะทิและเกลือเล็กน้อย กวนให้สุกจนข้นหรือละ มีรสเค็ม และมัน (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2542)

1.1 วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตข้าวเหนียวเปียก

1.1.1 ข้าวเหนียว

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* var. *glutinosa* ลักษณะเมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่น เมื่อนำมาทำให้สุกจะได้ข้าวที่มีลักษณะใส จับตัวกันแน่น นุ่ม และเหนียว ซึ่งลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวสุกเกิดจากองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวที่สำคัญ 2 ชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเพกติน โดยอะมิโลสมีผลทำให้ข้าวสุกมีลักษณะร่วนและแข็งกระด้าง ส่วนอะมิโลเพกตินมีผลทำให้ข้าวสุกมีลักษณะเหนียวและนุ่ม (อรอนงค์, 2547) ซึ่งข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 1-8 และอะมิโลเพกตินร้อยละ 92-99 (Jenning *et al.*, 1979) ดังนั้นข้าวสุกที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียว ส่วนในประเทศไทยได้มีการจำแนกชนิดของข้าวตามปริมาณอะมิโลส รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์เป็น 4 ประเภท ได้แก่ ข้าวเหนียว (อะมิโลสร้อยละ 2) แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์รสหวาน และน้ำสาค ข้าวอะมิโลสดำ (อะมิโลสร้อยละ 12-19) แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับเด็ก อาหารเช้า หรือขนมปัง ข้าวอะมิโลสปานกลาง (อะมิโลสร้อยละ 20-25) แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เค้ก ชูปังกระป๋อง และข้าวอะมิโลสสูง (อะมิโลสมากกว่าร้อยละ 25) แปรรูปเป็นก๋วยเตี๋ยว หรือผลิตภัณฑ์เส้นต่างๆ (ไชยรัตน์ และคณะ, 2543)

1.1.2 กะทิ

กะทิเป็นของเหลวสีขาวครีมที่ได้จากการบีบหรือคั้นจากเนื้อมะพร้าวหูดหรืออบค (Cocos nucifera L.) ในกะทิมือจะมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ความชื้นร้อยละ 54 ไขมันร้อยละ 35 และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันร้อยละ 11 (Simuang *et al.*, 2004) ดังนั้นกะทิจึงมีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion) ซึ่งส่วนของน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ในน้ำ หรือบางครั้งอาจเป็นโปรตีนล้อมรอบไขมัน สภาพดังกล่าวทำให้แรงตึงผิวระหว่างโมเลกุลของน้ำและไขมันต่ำลงเพราะโปรตีนเป็นตัวลดแรงตึงผิว โดยน้ำมันในกะทิถูกล้อมรอบด้วยฟอสโฟลิปิด ได้แก่ เลซิทีน และเซพาลิน ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติในระบบอิมัลชันส่งผลทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น (Phudtal, 2007) นอกจากฟอสโฟลิปิดแล้วยังมีกลูโคส และอัลบูมิน ที่ทำหน้าที่ช่วยให้อิมัลชันในกะทิมีความคงตัว อย่างไรก็ตามอิมัลชันในกะทิจะไม่มีความคงตัวและจะเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาหนึ่ง โดยแยกออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสที่มีความเข้มข้น เรียกว่า ชั้นหัวกะทิ (coconut cream) และเฟสที่มีความเจือจางกว่า เรียกว่า ชั้นหางกะทิ (coconut skim milk)

เนื่องจากกะทิประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรดลอริก และกรดไขมันอิ่มตัวอื่นๆ เช่น กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก (Lawson, 1994) จึงเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เมื่อมีตัวกระตุ้น เช่น ออกซิเจน ความร้อน โลหะ เป็นต้น (นิธิยา, 2545) การวัดค่าการหืนในกะทิสสามารถทำได้หลายวิธี โดย Yusof *et al.* (2007) ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก และค่าไอโอไดนในกะทิที่เก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก และค่าไอโอไดนมีค่าเพิ่มขึ้น Waisundara *et al.* (2007) ทำการศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อค่าคุณภาพทางเคมีของกะทิ โดยนำกะทิตดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทำการสุ่มตัวอย่างกะทิในแต่ละสัปดาห์ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส และร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปกรดลอริก พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส และร้อยละของกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น

ประเทศต่างๆทางแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นิยมใช้กะทิเป็นส่วนผสมสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แยม น้ำเชื่อม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เครื่องดื่ม ชีส ไอศกรีม เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอาหารคาว และอาหารหวาน โดยกะทิทำหน้าที่ในการให้ความมันและกลิ่นรส

เฉพาะในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่ม และให้ความรู้สึกภายในปาก (Seow and Gwee, 1997)

1.1.3 น้ำตาล

น้ำตาลจัดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่หลายชนิด น้ำตาลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นจะเป็นน้ำตาลทรายขาวที่ผลิตจากอ้อย โดยมีซูโครสที่บริสุทธิ์ร้อยละ 99 (จิตรนา และอรอนงค์, 2552) โดยปัจจุบันน้ำตาลทรายขาวที่ทำการผลิตจะมีน้ำตาลทรายขาวธรรมดา และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ซึ่งน้ำตาลทรายขาวธรรมดา ได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้สารดูดซับเพื่อจับรงควัตถุที่ทำให้เกิดสี แล้วตกตะกอนสารดังกล่าวออกไป ทำให้ผลึกน้ำตาลมีสีขาวขึ้น (สุวรรณา, 2543)

น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานที่ใช้ปรุงแต่งในขนมไทยหลายชนิด น้ำตาลทรายที่ใช้ได้ผลดีควรมีความละเอียดและมีสีขาว เพราะจะสามารถผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี (จิตรนา และอรอนงค์, 2552) น้ำตาลสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้สูงสุดหรืออิ่มตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 66 อัตราเร็วของการละลาย (rate of dissolution) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเตรียมสารละลายน้ำตาลอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้น้ำตาลละลายได้เพิ่มขึ้น (สุวรรณา, 2543) การเติมน้ำตาลทรายในอาหารเป็นการช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติก (กล้านรงค์, 2542) โดยส่งผลต่อค่า water activity (a_w) เมื่อเพิ่มระดับปริมาณน้ำตาลทำให้ค่า a_w ของอาหารลดลง และยังส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Cauvain, 2006)

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากข้าวเหนียวในการผลิตเป็นขนมไทย

ข้าวเหนียว สามารถจำหน่ายได้ทั้งในและต่างประเทศ โดยจำหน่ายทั้งในรูปเมล็ดข้าวสารและผลิตภัณฑ์ประมาณ 2 แสนตัน คิดเป็นมูลค่า 3 พันล้านบาทของการส่งออกในแต่ละปี (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2550) และสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมไทยได้หลายชนิด โดยใช้ทั้งในรูปเมล็ดและแป้ง เช่น ขนมบัวลอย ข้าวเหนียวมูน ข้าวเหนียวเปียก เป็นต้น (กรมส่งเสริมวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม, 2553) แต่ข้อจำกัดที่สำคัญของขนมไทย คือ การมีอายุการเก็บสั้น เนื่องจากส่วนผสมหลักส่วนใหญ่เสื่อมเสียได้ง่าย (วรรณภา, 2548) จากงานวิจัยของปิยะพร และศุภวัฒน์ (2548) ที่ได้พัฒนากรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋อง โดย

วิธีการผลิตเริ่มจากการนำข้าวเหนียวไปซาวกับสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 1 แล้วนำไปเคลือบด้วยสารละลายกัมอาร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 1 จากนั้นนำ กะทิ น้ำ น้ำตาล เกลือ และกัวกัม มาผสมรวมกัน แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดบรรจุกระป๋อง นำเข้าในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121°C (F_0 เท่ากับ 5 นาที) โดยใช้เวลาในกระบวนการฆ่าเชื้อทั้งหมด 46 นาที พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูนได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง

วิทวัส (2549) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาผลของปริมาณความชื้นของข้าวก่อนการบรรจุกระป๋อง (ร้อยละ 100-120) และปริมาณไขมันของส่วนผสมทั้งหมด (ร้อยละ 15-25) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ที่ระดับไขมันเดียวกัน ข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋องจะมีความนุ่มและความเหนียวเพิ่มขึ้น และมีการเกาะตัวกันของเมล็ดข้าวลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณไขมันมีผลต่อความเหนียวของข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋องเท่านั้น โดยความเหนียวของข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋องจะลดลงเมื่อปริมาณไขมันสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยพบว่าข้าวเหนียวมูนจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และมีความเหนียวและการเกาะตัวกันลดลง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลา 15 วัน และลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 2 เดือน

จากการศึกษาของพรทิพย์ และคณะ (2553) ที่ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกข้าวโพดหุงสุกเร็วเสริมแคลเซียม พบว่า กระบวนการผลิตที่พัฒนาได้ คือ การนำข้าวเหนียวหุงสุกเร็วเสริมแคลเซียมที่เตรียมโดยการนำข้าวเหนียวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C นาน 10 นาที จากนั้นนำไปต้มในสารละลายแคลเซียมแลกเตตความเข้มข้นร้อยละ 5 (w/v) แล้วอบแห้ง จากนั้นนำข้าวเหนียวปริมาณ 21.5 กรัม ผสมกับน้ำเดือด 200 กรัม แล้วเติมข้าวโพดแห้ง 5 กรัม น้ำตาลทราย 20 กรัม กะทิผง 10 กรัม และเกลือ 0.2 กรัม โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้เวลาเตรียมเพียง 10 นาที

2. ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice) คือ ข้าวกล้องที่ถูกนำไปผ่านการงอกภายใต้สภาวะงอกที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเริ่มเกิดขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปภายในเมล็ด ส่งผลให้เอนไซม์ถูกกระตุ้นให้ทำงาน เช่น อะไมเลส ที่ย่อยสารประเภทคาร์โบไฮเดรตให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง และ โปรตีเอส ที่ย่อยโปรตีนได้เป็นกรด

อะมิโน (Palmiano and Juliano, 1972) Watanabe (2004) กล่าวว่าข้าวกล้องเริ่มงอก คือ ข้าวกล้องที่มีการงอกของรากจากบริเวณจมูกข้าว โดยรากที่งอกจะมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร และระหว่างที่ข้าวกล้องกำลังงอกจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ดข้าว โดยการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าวแล้วกระตุ้นเอนไซม์ในเมล็ดให้ทำงาน เมล็ดข้าวเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี ทำให้ได้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง เนื่องจากการกระตุ้นเมตาบอลิซึมของแป้งและน้ำตาล นอกจากนี้โปรตีนก็ถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ อีกทั้งยังมีการพบการสะสมของสารสำคัญต่างๆ เช่น อินอซิทอล (inositol) แกมมาออริซานอล (gamma-oryzanol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma-aminobutyric acid, GABA) ซึ่งเป็นสารสำคัญ ที่มีสรรพคุณในการช่วยควบคุมระดับความดันโลหิตให้เป็นปกติ ลดความเครียด ป้องกันเส้นเลือดในสมองแตก ป้องกันความผิดปกติในช่วงเปลี่ยนวัยหมดประจำเดือน และช่วยให้ไตทำงานได้เป็นปกติ (Kayahara and Tukahara, 2000)

2.1 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบต่างๆในเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการงอก

การงอก หมายถึง ระยะตั้งแต่เมล็ดข้าวเริ่มมีกระบวนการต่างๆเกิดขึ้นในเมล็ดไปจนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโต (Saikusa *et al.*, 1994) ในระหว่างกระบวนการงอกมีการย่อยสลายของสารอาหารต่างๆที่สะสมอยู่ในเมล็ดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการงอกมักจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการงอก ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ต่างๆภายในเมล็ดหลังจากได้รับความชื้นและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการงอก โดยเอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสารประกอบเชิงซ้อนบางชนิดที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีโครงสร้างอย่างง่าย (Yan-fang *et al.*, 2007; Nonogaki *et al.*, 2010) โดยในระหว่างกระบวนการงอกมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบต่างๆ ดังนี้

2.1.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะเป็นอะมิโลสและอะมิโลเพกติน ในขณะที่เมล็ดข้าวงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยสลาย คาร์โบไฮเดรตได้เป็นเดกซ์ทรินและโมโนแซคคาไรด์ เพื่อส่งไปเลี้ยงบริเวณคัพพะของเมล็ดข้าว โดยเอนไซม์ที่พบว่ามีอิทธิพลต่อการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส

และเบตาอะมิเลส ซึ่งการเปลี่ยนรูปของคาร์โบไฮเดรตจะมีผลต่อความหนืดของแป้งเนื่องจาก
เดกซ์ทรินและโมโนแซคคาไรด์ไม่พองตัวในน้ำร้อน ทำให้อาหารที่ผลิตจากข้าวกล้องงอก
มีความหนืดต่ำกว่าอาหารที่ผลิตจากข้าวธรรมดา (Pathirana *et al.*, 1983)

Palmiano and Juliano (1972) ได้ *et al.* (1972) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทาง
ชีวเคมีของเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการงอก พบว่า ปริมาณสตาร์ชของเมล็ดข้าวลดลงระหว่างการ
งอก โดยเมล็ดข้าวที่ถูกงอกในที่มืด ปริมาณสตาร์ชจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าในที่สว่าง ซึ่งเป็นผลมา
จากการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการย่อยสลายสตาร์ชในเมล็ด
ข้าว ข้าวโอ๊ต และถั่ว ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเฉพาะปริมาณกลูโคสมีปริมาณเพิ่มขึ้น
ระหว่างการงอก

2.1.2 โปรตีนและกรดอะมิโน

เมื่อมีการงอก โปรตีนในใบเลี้ยงจะมีปริมาณลดลง เพราะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน
แล้วถูกเคลื่อนย้ายไปส่วนต่างๆของพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต จากนั้นพืชจะมีการสังเคราะห์
โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนขึ้นมาใหม่อีกครั้ง (วันชัย, 2537) โปรตีนในธัญพืชส่วนใหญ่
ถูกสะสมไว้ในส่วนเมล็ด ในระหว่างการงอกโปรตีนที่สะสมไว้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จาก
การศึกษาของ Palmiano and Juliano (1972) พบว่า ปริมาณโปรตีน (crude protein) ในเมล็ดข้าวจะ
ลดลงระหว่างการงอก โดยเริ่มลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 2 ของการงอก และในช่วง
สัปดาห์แรกของการงอก พบว่า กรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมล็ดข้าวที่งอกในที่มืดจะมี
ปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าการงอกในที่สว่าง ทั้งนี้การลดลงของโปรตีนและการเพิ่มขึ้น
ของกรดอะมิโน อิสระมีสาเหตุมาจากปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่เพิ่มขึ้นระหว่างการงอก

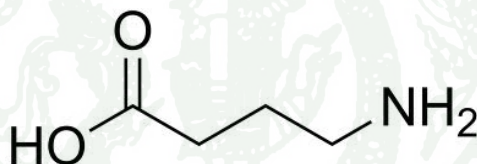
2.1.3 เอนไซม์

เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส เป็นเอนไซม์ที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุล
เล็กลง ขณะที่เมล็ดธัญพืชเริ่มงอกจะมีเอนไซม์อะมิเลสเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส
(Kneen and Dickson, 1967) ระหว่างการงอกกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้น (Murata *et al.*, 1968)
Williams (1970) ได้รายงานไว้ว่า กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส จะเพิ่มสูงสุดเมื่อเมล็ดข้าว
ถูกงอกในที่มืดเป็นระยะเวลาประมาณ 10 วัน

Palmiano and Juliano (1972) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวโมเลกุลของเมล็ดข้าวพันธุ์ IR8 ในระหว่างการงอกเป็นระยะเวลา 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน พบว่า ในระหว่างการงอก กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส และเอนไซม์เบตาอะมิเลสเพิ่มขึ้น และการงอกในที่มืดมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น

2.1.4 กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (gamma-aminobutyric acid, GABA)

GABA จัดเป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้ง (Inhibitory neurotransmitter) ที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ในสมองและไขกระดูกสันหลังของคน (Manyam *et al.*, 1981; Erlander and Tobin, 1991) และเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน โมเลกุลประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) อย่างละ 1 หมู่ ต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอม ดังภาพที่ 1 ซึ่งสารดังกล่าวเกิดจากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) (Shelp *et al.*, 1999) ดังแสดงในภาพที่ 2

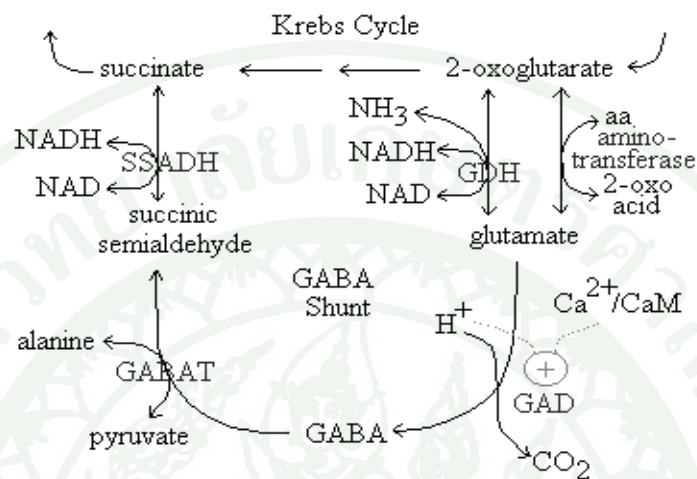


ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของ GABA

ที่มา: Anonymous (2009)

GABA มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง (Zhang *et al.*, 2006) โดยทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองเมื่อได้รับการกระตุ้น ทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและหลับสบาย (Obrietan and Pol, 1995) และช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนสำหรับการเจริญเติบโต (growth hormone) ส่งผลให้ร่างกายเกิดการสร้างเนื้อเยื่อ กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน (สำนักงานวัฒนธรรมแห่งชาติ, 2550) ปริมาณ GABA จะเพิ่มขึ้นระหว่างการงอกของเมล็ด ตามระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ (Ohtsubo *et al.*, 2005) นอกจากนั้นอัตราการเพิ่มของ

GABA ยังขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (Oh, 2003) เช่น การแช่ข้าวในสารละลายที่มีแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรือโลหะหนักบางชนิด (Lui *et al.*, 2005) รวมทั้งสภาวะเครียด (stress condition) เช่น สภาวะที่มีความเป็นกรดสูง (Charoenthaikij *et al.*, 2009)



ภาพที่ 2 กระบวนการสังเคราะห์ GABA

ที่มา: Rhodes (2009)

Ohtsubo *et al.* (2005) ทำการศึกษากระบวนการเพาะข้าวกล้องงอกโดยใช้ข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ *Koshihikari* แช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ แล้วแช่ข้าวกล้องโดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำเป็น 1: 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ 30 องศาเซลเซียส เปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง หลังจากการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น โดยที่การแช่น้ำเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง ได้ข้าวกล้องงอกที่มี GABA สูงสุด คือ 149.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

Oh (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการแช่ข้าวกล้องในสารละลาย 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดแลกติกความเข้มข้น 5 mM กรดกลูตามิกความเข้มข้น 5 mM สารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดแลกติกความเข้มข้น 5 mM และสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกความเข้มข้น 5 mM พบว่า ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายทั้ง 5 ชนิด เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง มีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้องที่แช่ในน้ำกลั่น และพบมากที่สุดในการแช่ข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิก

ความเข้มข้น 5 mM โดยมีปริมาณ GABA สูงกว่าในข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการแช่ประมาณ 13 เท่า เนื่องจากสารละลายไคโตแซนจะไปช่วยกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนในเซลล์ของเมล็ดข้าว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมไอออนในเซลล์มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์ GABA เพิ่มมากขึ้นด้วย

2.1.5 สารอาหารอื่นๆ

ระหว่างการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารในเมล็ดข้าว Shoichi (2004) กล่าวว่าปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องอกที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ได้แก่ GABA, dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, potassium, zinc, oryzanol และ prolylendopeptidase inhibitor โดยสารอาหารแต่ละชนิดมีประโยชน์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประโยชน์ของสารประกอบต่างๆที่พบในข้าวกล้องงอก

สารอาหาร	ประโยชน์
gamma aminobutyric acid (GABA)	ช่วยระบบการทำงานในสมอง ป้องกันอาการปวดหัว ชีเมสเตรี หรือเส้นเลือดในสมองแตก ป้องกันโรคเครียดวิตกกังวล เช่น พฤติกรรมที่มาจากความผิดปกติทางจิต และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไต
dietary fiber	ป้องกันมะเร็งลำไส้ และช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด
inositols	ช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายไขมัน
ferulic acid	กำจัดสาร superoxides และยับยั้งกระบวนการ melanogenesis
tocotrienols	กำจัดสาร superoxides และปกป้องผิวหนังจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต
magnesium	ป้องกันโรคหัวใจ
potassium	ลดความดันโลหิตให้เป็นปกติ
zinc	ป้องกันปฏิกิริยา arteriosclerosis
gamma-oryzanol	เป็นสารต้านออกซิเดชัน ป้องกันผิวหนังเหี่ยวแห้ง และปรับปริมาณคอเลสเตอรอลให้เหมาะสม
prolylendopeptidase inhibitor	ป้องกันโรคความจำเสื่อม (Alzheimer)

ที่มา: Shoichi (2004)

Ohtsubo *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาปริมาณของสารอาหารบางชนิดที่พบในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก ซึ่งพบว่าข้าวกล้องงอกมีสาร oryzanol, inositol, total ferulic acid และ total dietary fiber สูงกว่าในข้าวขาว และข้าวกล้อง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารอาหารบางชนิดที่พบในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก

	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก (ผ่านการงอกนาน 72 ชั่วโมง)
oryzanol (mg/100g)	6.10	48.20	50.40
inositol (mg/100g)	68.00	265.00	237.00
total feruric acid (mg/100g)	11.00	34.00	43.00
total dietary fiber (g/100g)	0.60	2.90	4.20

ที่มา: Ohtsubo *et al.* (2005)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (gamma aminobutyric acid, GABA) ในระหว่างการงอก

การงอกของเมล็ดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญ โดยเริ่มจากการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยน้ำจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มลง เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว ทำให้ออกซิเจนสามารถผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ด มีผลให้เกิดกระบวนการหายใจ และเกิดกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆ ขึ้น (Akiyama, 1998) และเกิดการสะสมของสารอาหารที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะสาร GABA ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารดังกล่าวระหว่างกระบวนการงอกมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่างดังต่อไปนี้ (Shelp *et al.*, 1999)

2.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร GABA ในระหว่างกระบวนการงอก จากการศึกษาของ Watcharaparpai boon *et al.* (2010) ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 25, 35 และ 45 °C ที่ใช้งอกข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ต่อปริมาณ GABA พบว่า การงอกโดยใช้อุณหภูมิ 35 °C ได้ GABA สูงกว่าที่อุณหภูมิอื่น (14.50 mg/ 100g ตัวอย่าง)

2.2.2 ระยะเวลาในการรอก

ระยะเวลาในการรอกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าว ระหว่างกระบวนการรอก เนื่องจากในกระบวนการรอกเมล็ดข้าวจะต้องแช่อยู่ในน้ำหรือสารละลาย เป็นเวลานานจนกระทั่งเปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม น้ำและสารอื่นๆสามารถผ่านเข้าไปในเมล็ด ได้ อีกทั้งระยะเวลาในการรอกที่ยาวนาน ยังมีผลให้กระบวนการทางชีวเคมีต่างๆเกิดเพิ่มขึ้น เป็นผล ให้สาร GABA เกิดการเปลี่ยนแปลง

Banchuen *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาในการรอกข้าวกล้องจากข้าว พันธุ์เชิงพัทลุง เป็นระยะเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการรอกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้น โดยการรอกเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ได้ข้าวกล้องงอกที่มี ปริมาณ GABA 25.81 mg/100 g dry basis ในขณะที่การรอกเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ได้ GABA 8.36 mg/100 g dry basis

2.2.3 ค่า pH ของสารละลายที่ใช้แช่

สภาวะในการรอกเมล็ดข้าวที่มีค่า pH แตกต่างกันมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลง ภายในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่ได้ศึกษาผล ของการแช่ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่างๆกัน ต่อ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่าการแช่ข้าวกล้องในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่มี pH ลดลงจาก 7 เป็น 3 มีผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ GABA และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย แป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ข้าวกล้องในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3 และ 7 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 560.05 และ 15.48 กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งมี ค่าสูงกว่าแป้งข้าวกล้องที่ไม่ได้งอก ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 14.98 กรัม ต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง

Banchuen *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของ pH ของสารละลายที่ใช้แช่ 5 ชนิด ได้แก่ pH 2, pH 3, pH 5 pH 7 และน้ำกรอง (pH 6.8) ต่อปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ เชิงพัทลุง วิธีการทดลองทำโดยการนำข้าวกล้องไปแช่ในสารละลายที่ต้องการศึกษาเป็นระยะ เวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นเทสารละลายที่ใช้แช่ทิ้ง นำข้าวกล้องที่ได้ไปห่อด้วยผ้าขาวบาง แล้วบ่มในตู้

ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลาย pH 3 มีปริมาณ GABA (14.48 mg/ 100 g dry basis) สูงกว่าการแช่ในสารละลายที่ pH อื่น โดยการแช่ในสารละลาย pH 2, pH 5, pH 7 และ น้ำกรอง (pH 6.8) ได้ GABA เท่ากับ 11.28, 9.13, 12.13 และ 9.47 mg/ 100 g dry basis ตามลำดับ

2.2.4 ออกซิเจน

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจเพื่อย่อยสลายสารอาหารสำหรับสร้างพลังงานที่จำเป็นสำหรับการงอก โดยทั่วไปเมล็ดข้าวกล้องจะสามารถงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 การงอกในระยะแรกเมล็ดข้าวอาจจะไม่ต้องใช้พลังงานจากออกซิเจน แต่สามารถใช้พลังงานจากกระบวนการหมักภายในเมล็ดข้าวแทน ถ้าไม่มีออกซิเจนในระยะต่อมาเมล็ดก็จะไม่สามารถงอกได้

Komatsuzuki *et al.* (2007) ศึกษาผลของการแช่น้ำและวิธีการบ่มข้าวกล้องงอกในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิทอากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ต่อปริมาณ GABA ซึ่งการบ่มในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิทเป็นการสร้างสภาวะขาดออกซิเจนให้แก่การงอก โดยใช้ข้าวญี่ปุ่น 5 สายพันธุ์ แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และบ่มในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 19, 20, 21, 22, 23 และ 23.5 ชั่วโมง พบว่า การใช้สภาวะขาดออกซิเจนทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA มากกว่าการแช่น้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวจะทำให้เกิดการสะสมของ GABA แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ GABA จะถูกทำลายเข้าสู่วัฏจักร Krebs เพื่อสังเคราะห์เป็นพลังงานสำหรับการเจริญของพืชต่อไป (Shelp *et al.*, 1999)

2.2.5 สายพันธุ์

การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว เนื่องจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบภายในเมล็ดแตกต่างกัน เช่น ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน เป็นต้น Varanyanond *et al.* (2005) ทำการศึกษาปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกจากข้าวไทย 6 สายพันธุ์ ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ 18.62 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง รองลงมาคือพันธุ์ปทุมธานี ชัยนาท 1 พันธุ์พลาญงาม เหลืองประทิว

123 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยมีปริมาณ GABA เท่ากับ 15.46, 14.45, 11.69, 11.34 และ 10.75 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง ตามลำดับ

2.2.6 สารประกอบอื่นๆ

การใช้สารประกอบบางชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ด โดย Baum *et al.* (1993) รายงานว่า การเพิ่มแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จะช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase; GAD) การใช้โลหะหนักบางชนิดในการออก จะส่งผลให้ได้ข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น (Bor *et al.*, 2009) Oh (2003) ทำการศึกษา ผลของการแช่ข้าวกล้องในสารละลาย 5 ชนิด คือ น้ำกลั่น, กรดแลกติกความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์, กรดกลูตามิกความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์, สารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดแลกติก ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์, และสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณ GABA ของข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายทั้ง 5 ชนิด เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง มีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้อง ที่ไม่ได้ผ่านการแช่ และจะพบมากที่สุดที่แช่ในข้าวกล้องที่ แช่ในสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ โดยจะมี GABA สูงกว่าในข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการแช่ประมาณ 13 เท่า เนื่องจากสารละลายไคโตแซนจะไปช่วยกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนในเซลล์ของเมล็ดข้าว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ แคลเซียมไอออนในเซลล์มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มขึ้น ทำให้ สังเคราะห์ GABA ได้มากขึ้น

2.3 การใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องงอก

ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มเล็งเห็นความสำคัญของข้าวกล้องงอก โดยสำนักงาน นวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) ร่วมกับสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และกลุ่มธุรกิจข้าว รายใหญ่ ของประเทศจำนวน 3 บริษัท พัฒนาสายการผลิตต้นแบบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว กล้องงอก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับอุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย และเพิ่มศักยภาพใน การแข่งขันกับต่างประเทศ รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวไทย มุ่งเน้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ นวัตกรรมจากข้าวกล้องงอกสำหรับรับประทานที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม รับประทานง่าย และ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกแปรรูปเพื่อสุขภาพต่างๆ เช่น ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง อาหาร วุ้น ชูป และเครื่องดื่ม (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2550)

ปัจจุบันข้าวกล้องงอกกลายเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่กำลังเป็นที่นิยมในประเทศญี่ปุ่น และมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องงอกกับอาหารต่างๆ ทั่วโลก เช่น Italia risotto, Spanish paella, Brazillian fejoada, India curry & rice เป็นต้น (Ito, 2004) Watanabe *et al.* (2004) พบว่าการใช้แป้งข้าวกล้องเริ่มงอกร้อยละ 10 และ 20 ร่วมกับการใช้แป้งสาลีสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังได้ โดยช่วยลดกลิ่นอับระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับการใช้แป้งข้าวกล้องร้อยละ 10 และ 20 ร่วมกับแป้งสาลี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของขนมปังจะลดลงตามปริมาณการทดแทนข้าวสาลีด้วยข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้น Motonobu *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาวิธีการผลิตข้าวที่มีการผสมข้าวกล้องงอก โดยนำเมล็ดข้าวกล้องงอกผสมกับใบชา และเก็บในสภาวะที่หยุดการเจริญของข้าว พบว่า ชาที่ได้มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น Hisakatsu (2001) ศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกผสมกับเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และยีสต์เพื่อผลิตเหล้าสาเกของญี่ปุ่น นอกจากนี้ Terumi (2000) ได้ศึกษาการทำงานเมแทบอลิซึมของข้าวกล้องงอกร่วมกับธัญชาติอื่น พบว่าการงอกของเมล็ดธัญชาติทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส อินซูลิน กรดอะมิโน และกรดไขมันจำเป็นอื่นๆ เพิ่มขึ้น และ Charoenthaikij *et al.* (2010) ได้ศึกษาวิธีการผลิตแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และได้นำมาใช้ในการผลิตขนมปังเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวกล้องงอกแทนแป้งสาลีในสูตรการผลิตขนมปังได้ถึงร้อยละ 30 โดยคะแนนความชอบที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมปังที่ใช้แป้งสาลีตามปกติ

3. ไคโตแซน

ไคโตแซน หรือ Poly-N-glucosamine เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการสกัดไคตินด้วยกระบวนการดึงหมู่อะซิทธิลของ N-acetyl-D-glucosamine ออก ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป โดยใช้ด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation การเกิดไคโตแซนขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดปฏิกิริยา deacetylation ซึ่งวัดจากระดับการกำจัดหมู่อะซิทธิล (degree of deacetylation) โดยการทำปฏิกิริยา deacetylation คิดเป็นหน่วยร้อยละ (percentage of degree of deacetylation, % DD) ถ้าร้อยละ DD เกิน 50 ขึ้นไป สามารถใช้ polymer ทำให้เกิดอนุพันธ์ที่ละลายในกรดอินทรีย์ได้ นั่นคือ การลดลงของหมู่อะซิทธิลในไคตินและเป็นการเพิ่มหมู่เอมิโน ซึ่งจะเพิ่มสมบัติการเป็นสารที่มีประจุบวกบนพอลิเมอร์ ทำให้เกิดสภาพของการเป็นไคโตแซนเพิ่มขึ้น ดังนั้นโครงสร้างของไคโตแซนจึงต่างจากไคตินตรงหน่วย glucosamine ในสายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลยังบอกถึงความยาวของไคโตแซนซึ่งมีผลต่อความหนืด โดยไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายยาวและมีความหนืดมากกว่าไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นการนำไคโตแซนไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งร้อยละการเกิด deacetylation และน้ำหนักโมเลกุล (สุวดี, 2542)

ไคโตแซนได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ซึ่งการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมีดังต่อไปนี้

3.1 การใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์การอาหารสนใจประโยชน์ของไคโตแซนมากขึ้น มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านอาหารมากขึ้น ซึ่งประโยชน์ของไคโตแซนในทางด้านอาหารมีหลายอย่าง เช่น การใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ การใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหาร การใช้ผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้ ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Shahidi *et al*, 1999) ใช้เป็นสารยึดเกาะในซูริมิ ทำให้เจลของซูริมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Benjakul, 2003) เป็นต้น

3.2 การใช้ประโยชน์ทางการแพทย์

ไคโตแซนมีแนวโน้มในการนำไปใช้ทางการแพทย์และสุขภาพอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้เพื่อป้องกันฟันผุ การบรรเทาอาการเจ็บปวดบาดแผล การผ่าตัดต่อกระดูก การลดระดับโคเลสเตอรอลในกระแสเลือด (Bokura and Kobayashi, 2003) ใช้เป็นพลาสติกปิดแผล ฟองน้ำ ใช้รักษาและเสริมสร้างสุขภาพของกระดูกอ่อน การช่วยเลือดแข็งตัวเร็วขึ้น การยับยั้งเนื้องอก ควบคุมการปลดปล่อยยา เป็นต้น (จิราภรณ์, 2544)

3.3 การใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอาง

เนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและต่อต้านจุลินทรีย์จึงมีการใช้เป็นสารเติมแต่งให้ความชุ่มชื้น ทำให้ความหอมติดทนนาน เนื้อของเครื่องสำอางละเอียดเนียนปราศจากการแยกชั้นสามารถใช้เป็นสารพื้นฐานของเครื่องสำอางหลายประเภท เช่น แป้งแต่งหน้า น้ำหอม ผงขัดเล็บ ครีมหรือโลชั่นบำรุงผิว เจลล้างหน้า และยาสีฟัน เป็นต้น (จิราภรณ์, 2544)

3.4 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

3.4.1 การนำไปใช้ในการเคลือบเมล็ดพันธุ์เพื่อการเก็บรักษาและกันแมลง

3.4.2 ใช้ในการผลิตเอนไซม์ไคตินเนส เพื่อใช้เป็นสารฆ่าแมลง

3.4.3 ใช้ในการปรับสภาพดินโดยจะเพิ่มความพรุนของดิน การดูดซับน้ำ การอุ้มน้ำ และควบคุมอัตราการชะออกของดิน

3.4.4 ใช้เคลือบใบพืชเพื่อด้านทานโรคและแมลง ไคโตแซนมีผลต่ออินของพืชและเชื้อราที่เป็นอันตรายต่อพืช โดยเชื้อราที่ทำอันตรายพืชจะถูกยับยั้งเนื่องจากพืชมีการสร้างสารป้องกันตัวเอง ซึ่งโมเลกุลที่สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคของพืชเรียกว่า elicitor (Taiz and Zeiger, 2002) เมื่อพืชได้รับการฉีดพ่นด้วยไคโตแซนที่มีขนาดพอเหมาะและสามารถซึมเข้าสู่เซลล์จะทำให้เกิดการกระตุ้น DNA และกระตุ้นการสร้าง mRNA ส่งผลให้มีการผลิตโปรตีน ซึ่งเป็นการไปเพิ่มกิจกรรมของ phenylpropanoid pathway ให้มีการผลิตสารพวก phytoalexins เพิ่มขึ้น และเพิ่มการผลิตเอนไซม์ endo-beta-glucanase และ endo-chitinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราที่เป็นโรคพืชได้ (Khan *et al.*, 2003)

3.4.5 ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยไคโตแซนสามารถจับกับไอออนต่างๆ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต และไนโตรเจน ที่เป็นประโยชน์กับพืช แล้วค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ให้แก่พืช (Dzung, 2011) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลร่วมกันในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Cho *et al.*, 2008)

4. กระบวนการสเตอริไลเซชัน (sterilization)

ปัจจุบันอาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์เริ่มเข้ามามีบทบาทในประเทศไทยตามการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากประชาชนมีกำลังซื้อและมีเทคโนโลยีเข้ามาอำนวยความสะดวก เช่น เตาอบไมโครเวฟ หรือกระเพาะแบบไมใช้น้ำมันประเภทเทฟลอน รวมทั้งหม้อนึ่งความดัน ทำให้ผู้บริโภคได้รับความสะดวกสบายในการบริโภคมากขึ้น ทำให้ประเทศไทยมีความพร้อมสำหรับการแข่งขันในธุรกิจอาหารสำเร็จรูปสเตอริไลซ์มากขึ้น (ศูนย์พาณิชยกรรมแฟรงเฟิร์ต, 2536)

การสเตอริไลเซชัน (sterilization) เป็นกระบวนการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นเพียงพอที่จะทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและทำลายจุลินทรีย์หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียซึ่งสามารถเจริญในอาหารที่อุณหภูมิการเก็บรักษาตามปกติได้ การใช้ความร้อนที่รุนแรงระหว่างการสเตอริไลเซชันกับอาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท (hermetical seal) ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทางโภชนาการและด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร จึงจำเป็นที่จะต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกอุณหภูมิและระยะเวลาในการ

ใช้ที่เหมาะสม ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารทั่วไปเรียกว่า การฆ่าเชื้อทางการค้า (commercial sterilization) ซึ่งเพียงพอที่จะทำลายเชื้อและสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด จุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ซึ่งทนความร้อน รวมถึงจุลินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารภายใต้สภาพดำเนินการและเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ (USFDA, 1997) ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปบรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิทจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยสำคัญด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ค่า pH ของอาหาร

ในทางวิทยาศาสตร์การอาหารวิธีการถนอมรักษาอาหารไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรดค้างของอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งอาหารตามค่า pH ออกเป็น 2 กลุ่ม (Kautter *et al.*, 1992) คือ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid foods) หมายถึง อาหารที่มีค่า pH มากกว่า 4.5 ขึ้นไปและมีค่า water activity มากกว่า 0.85 ยกเว้นผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศและเครื่องดื่มน้ำที่มีแอลกอฮอล์บางชนิด และอาหารที่มีความเป็นกรด (acid foods) หมายถึง อาหารที่มีค่า pH เท่ากับหรือน้อยกว่า 4.5 ซึ่งส่วนใหญ่จะได้แก่ อาหารหมักดอง ผลไม้ และน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ

การให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิรวมกับระยะเวลาจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH ของอาหาร เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ไม่สามารถเจริญได้ที่ pH ต่ำกว่า 3.7 การให้ความร้อนแก่อาหารที่เป็นกรดสูงจึงเป็นเพียงการทำลายจุลินทรีย์ที่เจริญได้ และก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ยีสต์และรา ส่วนอาหารที่ pH ประมาณ 4.5 จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณความร้อนที่สามารถทำลายแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และก่อให้เกิดอันตรายเมื่อบริโภค (Sikorski, 1990)

4.2 การไล่อากาศ

อาหารที่บรรจุกระป๋องก่อนการปิดผนึกต้องผ่านการไล่อากาศออกเพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอาหารและภาชนะบรรจุที่อยู่ในส่วนช่องว่างระหว่างฝากระป๋องกับอาหาร (head space) ถ้าปริมาณอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างฝากระป๋องกับอาหารมีมากเกินไป อาจทำให้เกิดการบวม เนื่องจากอากาศเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการฆ่าเชื้อจะเกิดการขยายตัว และอาหารเกิดการขยายตัวพร้อมๆ กัน ถ้าฝากระป๋องไม่สามารถทนแรงดันที่เกิดขึ้นได้ก็จะทำให้เกิดการบวมหรือระเบิดได้ในขณะฆ่าเชื้อ นอกจากนั้นเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอาหาร

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนที่เหลือยู่ภายในกระป๋องกับไขมันที่อยู่ในอาหาร ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (Aurand and Woods, 1973) ซึ่งการไล่อากาศออกจากผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การบรรจุในขณะที่อาหารร้อนจัด วิธีดูดอากาศออกจากอาหารด้วยปั๊มดูดอากาศ หรือวิธีนึ่งอาหารที่บรรจุในกระป๋องเพื่อใช้ไอน้ำไล่อากาศภายในภาชนะบรรจุออกไป (Fellows, 2000)

4.3 กระบวนการให้ความร้อน

ในการฆ่าเชื้อบางครั้งไม่สามารถใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร เนื่องจากความร้อนรุนแรงมากจนทำให้คุณภาพของอาหารเสียไป ส่งผลให้มีลักษณะปรากฏและกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาใช้กระบวนการให้ความร้อนที่เหมาะสม โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งการให้ความร้อนเช่นนี้เรียกว่า การให้ความร้อนกับอาหารในสภาพปลอดเชื้อเชิงการค้า (commercial sterilization) ซึ่งหมายถึงการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหารที่สามารถทำลายเชื้อและสปอร์ของ *Clostridium botulinum* จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ซึ่งทนความร้อน รวมถึงจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (USFDA, 1997)

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในอาหารที่สำคัญ คือ อัตราเร็วที่ปริมาณความร้อนสามารถแทรกผ่านไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุดในอาหารและคุณสมบัติในการทนทานต่อความร้อนของสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร (ประภาศรี, 2547) อัตราเร็วของปริมาณความร้อนที่แทรกผ่านไปยังจุดร้อนช้าที่สุดในอาหาร ทำให้ทราบว่าต้องใช้เวลาเท่าไรที่ทำให้อุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดและภาชนะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการผลิตจริง ซึ่งในการทดลองต้องใช้สภาวะที่เลวร้ายในการผลิต เช่น น้ำหนักบรรจุมากที่สุด อัตราส่วนผสมที่มีความเข้มข้นมากที่สุด เป็นต้น

คุณสมบัติการทนทานต่อความร้อนของสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร เช่น *C. botulinum* และการทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้นๆ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำบางครั้งอาจใช้กระบวนการฆ่าเชื้อ โดยมีเป้าหมายเพื่อทำลายสปอร์ของแบคทีเรียตัวอื่นที่ทนความร้อนได้มากกว่า *C. botulinum* ที่สำคัญคือ *Bacillus stearothermophilus* (FS 1518) สปอร์ของ

แบคทีเรียตัวนี้จะทนความร้อนสูงมากกว่าสปอร์ของ *C. botulinum* ถึง 20 เท่า ดังนั้นการแปรรูปอาหารสเตอริไลซ์ให้ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ต้องมีการทดสอบเกี่ยวกับการกระจายความร้อนในเครื่องฆ่าเชื้อ (temperature distribution test, TD) เพื่อกำหนดกระบวนการไล่อากาศออกจากเครื่องฆ่าเชื้อ หรือขั้นตอนการฆ่าเชื้อและศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในอาหาร (heat penetration test, HP) และกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำจะต้องถูกกำหนดให้ได้รับความร้อนอย่างน้อยในสภาพปลอดเชื้อเชิงการค้า (วิไล, 2543)

4.4 อัตราการส่งผ่านความร้อน

การถ่ายเทความร้อนของอาหารแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน โดยอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็งจะมีการส่งผ่านความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ส่วนการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน (convection) เกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลวที่อยู่ในอาหารซึ่งเกิดได้เร็วกว่าอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อจึงขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารเป็นสำคัญ

Holdsworth (1997) กล่าวว่า ปัจจัยที่สำคัญของการส่งผ่านความร้อนเข้าไปยังจุดที่ร้อนที่สุดในอาหาร มีดังต่อไปนี้

4.4.1 น้ำมันหรือน้ำตาลในอาหารจะทำให้การส่งผ่านความร้อนช้ากว่าการมีเฉพาะน้ำ

4.4.2 ขนาดของชิ้นอาหาร ชิ้นอาหารขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อมานานกว่าชิ้นเล็ก

4.4.3 ภาชนะขนาดใหญ่จะใช้เวลาส่งผ่านความร้อนเข้าสู่จุดกึ่งกลางนานกว่าขนาดเล็ก

4.4.4 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอาหารและตัวกลางให้ความร้อนที่สูงกว่า จะส่งผ่านความร้อนได้เร็วกว่า

4.4.5 น้ำหนักบรรจุที่มากเกินไปมีผลทำให้อัตราการส่งผ่านความร้อนช้าลง

4.4.6 ผลิตภัณฑ์ที่มีช่องว่างเหนืออาหารไม่เพียงพอ ทำให้การหมุนเวียนของอาหารในภาชนะบรรจุไม่เพียงพอ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสถานะการฆ่าเชื้อที่ไม่เพียงพอ (under-processing)

4.4.7 วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุที่เป็นโลหะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนเร็วกว่าภาชนะบรรจุที่ทำจากแก้วหรือพลาสติก

4.5 ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์

โดยทั่วไปจุลินทรีย์จะมีความทนทานต่อความร้อนในอาหารที่มี pH สูง มากกว่าในอาหารที่มี pH ต่ำ โดยอาหารที่มี pH สูง ($\text{pH} > 4.5$) เชื้อ *C. botulinum* มีความสามารถเจริญและผลิตสารเอ็กโซทอกซิน (exotoxin) ภายใต้อาหารที่ไม่มีออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ส่วนอาหารที่มี pH ต่ำ ($\text{pH} \leq 4.5$) แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ไม่สามารถเจริญได้ จึงสามารถใช้จุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ยีสต์ หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อนเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มี pH ต่างๆ (Stumbo, 1973) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มี pH แตกต่างกัน

ชนิดของอาหารและแบคทีเรีย	D ₂₅₀ (นาที)	Z (°F)
<u>Low-acid and medium-acid (pH > 4.5)</u>		
Thermophiles (spores)		
Flat-sour (<i>B. stearothermophilus</i>)	4.0-5.0	14-22
Gaseous-spoilage (<i>C. thermosaccharolyticum</i>)	3.0-4.0	16-22
Sulfide stinkers (<i>C. nigrificans</i>)	2.0-3.0	16-22
Mesophiles (spores)		
Putrefactive anaerobes		
<i>C. botulinum</i> (type A and B)	0.1-0.2	14-18
<i>C. sporogenes</i> (including P.A.3679)	0.1-1.5	14-18
<u>Acid-foods (pH 4.0-4.5)</u>		
Thermophiles (spores)		
<i>B. coagulans</i> (Facultative mesophile)	0.01-0.07	14-18
<i>B. coagulans</i> (Facultative mesophile)	0.01-0.07	14-18
Mesophiles (spore)		
<i>B. polymyxa</i> and <i>B. macerans</i>	0.1-0.5	12-16
Butyric anaerobes (<i>C. pasteurianum</i>)	0.1-0.5	12-16
<u>High-acid foods (pH ≤ 4.0)</u>		
Mesophilic non-spore forming		
<i>Lactobacillus</i> spp., <i>Leuconostoc</i> spp., and yeasts and molds	0.5-1.0	8-10

ที่มา: Stumbo (1973)

ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง ค่าที่ต้องหาเพื่อนำมาใช้คำนวณหาเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ได้แก่ ค่า D, ค่า Z และค่า F ทั้งสามค่าแสดงถึงความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดในอาหาร และบ่งชี้ว่าการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อนั้นๆ มีผลในการฆ่าหรือทำลายเชื้อมากเท่าไร ซึ่งค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนมีดังต่อไปนี้

4.5.1 ค่า D (decimal reduction time หรือ death rate constant, D-value)

หมายถึง เวลา (นาที) ที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ไปร้อยละ 90 ของปริมาณ จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิม ณ อุณหภูมิหนึ่ง (Stumbo, 1973) การหาค่า D หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$D = t / \log (N_0 - N_t)$$

t = เวลา (นาที)

N_0 = ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

N_t = ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป t นาที

Pflug *et al.* (1981) ได้กำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อความร้อน ของจุลินทรีย์กับค่า D ไว้ดังนี้

(1) ค่า $D_{250} > 1.0$ จุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนสูงมาก เช่น *B. stearothermophilus*

(2) ค่า $D_{250} > 0.1$ จุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนสูง เช่น *C. botulinum*

(3) ค่า $D_{250} > 0.01$ จุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อน เช่น *B. coagulans*

(4) ค่า $D_{250} \leq 0.01$ จุลินทรีย์ที่ไม่ทนต่อความร้อน หรือมีความไวต่อความร้อน

4.5.2 ค่า Z (Z-value) หมายถึง จำนวน $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 วงจรล็อก หรือ 10 เท่า ค่า Z ได้จากการสร้างกราฟเวลาที่ทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน โดยพล็อตระหว่างค่า D ของจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง (บนแกนล็อก) กับอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้ฆ่าเชื้อ (บนแกนธรรมดา) จะได้ กราฟเป็นเส้นตรงเรียกว่า thermal death time curve (TDT) ซึ่งค่า Z ของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อ อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องแสดง (Stumbo, 1973) ดังตารางที่ 3

4.5.3 ค่า F (sterilizing value) หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ ในอาหารภายใต้สภาวะที่กำหนด โดยใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น F_0 ซึ่งการคำนวณค่าดังกล่าวจำเป็นอย่าง ยิ่งที่จะต้องทราบข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการให้ความร้อนและการ

ทำให้เย็น (Stumbo, 1973) ซึ่งการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทั่วไป วิธีใช้สูตร หรือวิธีใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (วิไล, 2543)

(1) วิธีทั่วไป วิธีการหาค่า F_0 ด้วยวิธีนี้จะต้องทราบค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (lethal rate, L) เวลาในการทำลายจุลินทรีย์ (thermal death time, TDT) ซึ่งแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$TDT = 10^{(121.1-CT)/z} \text{ หรือ } 10^{(250-CT)/z}$$

CT คือ อุณหภูมิในกระป๋องที่จุดร้อนช้าที่สุด และ z คือ จำนวน $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 วงจรล็อก

$$L = 1/TDT$$

$$F_0 = (L_{n-1} + L_n)/2 \times dT$$

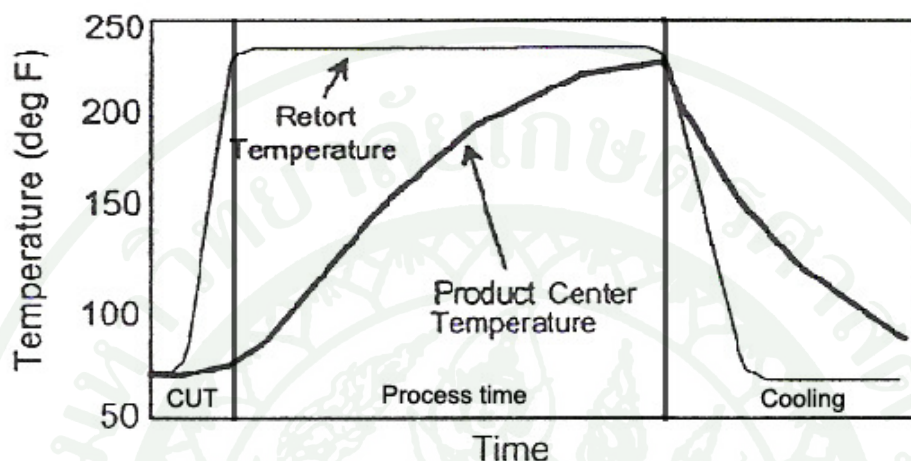
L_n คือ อัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ณ เวลาที่ทำการวัดอุณหภูมิ L_{n-1} คือ อัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ณ เวลาก่อนทำการวัดอุณหภูมิ และ dT คือ ระยะห่างของช่วงเวลาที่ทำการวัดอุณหภูมิ

(2) วิธีใช้สูตร วิธีการหาค่า F_0 ด้วยวิธีนี้ต้องนำข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์มาสร้างเป็นกราฟการแทรกผ่านความร้อน แล้วหาค่า f_h เพื่อนำมาแทนค่าในสมการดังต่อไปนี้

$$F_0 = f_h / (f_h/U) F_i$$

เมื่อ f_h คือ เวลา (นาทิจ) ที่ทำให้กราฟการแทรกผ่านความร้อนส่วนที่เป็นเส้นตรงเปลี่ยนไป 1 วงจรล็อก f_h/U เป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสถานะฆ่าเชื้อ และ F_i เป็นค่าคงที่ของแต่ละอุณหภูมิของรีทอร์ท

การเปลี่ยนแปลงขณะฆ่าเชื้อประกอบไปด้วย ช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อ (come up time, CUT) ช่วงการให้ความร้อน (process time) และช่วงการทำให้อาหารเย็น (cooling) ซึ่งผลของการติดตามอุณหภูมิในผลิตภัณฑ์และเครื่องฆ่าเชื้อ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และเครื่องรีทอร์ท

ที่มา: Larousse and Brown (1997)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารกระป๋องจากข้าว

วุฒิชัย (2539) ได้ทำการศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยมี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ข้าว 3 สายพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกัน (ข้าวหอมมะลิ อะมิโลส ร้อยละ 17.16, ข้าวรวงแก้ว อะมิโลสร้อยละ 22.92 และข้าวปิ่นแก้ว อะมิโลสร้อยละ 30.03) และ F_0 3 ระดับ (1, 3 และ 5 นาที) โดยฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในหม้อนึ่งความดันไอที่กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 115 °C จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) พบว่า ข้าวบรรจุกระป๋องที่ทำจากข้าวหอมมะลิได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านการเกาะติดกันของเมล็ดข้าว ความนุ่ม กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมากกว่าข้าวรวงแก้ว และข้าวปิ่นแก้ว และพบว่า การเพิ่ม F_0 จาก 1 เป็น 3 นาที จะทำให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่การใช้ F_0 เท่ากับ 5 นาที มีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นมีค่าลดลง

Narkrugsu and Saeleaw (2009) ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาและระดับการสเตอริไรซ์ (F_0) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษา การทดลองทำโดยการผลิตข้าวบรรจุกระป๋องจากข้าวเจ้า 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิที่มีอะมิโลสร้อยละ 17.25 ข้าวขาวตาแห้งที่มีอะมิโลสร้อยละ 33.52 และข้าวโคชิฮิการิที่มีอะมิโลสร้อยละ 15.55 และนำผลิตภัณฑ์ไปผ่านกระบวนการสเตอริไรซ์ที่อุณหภูมิ 116°C โดยใช้ F_0 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 5 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27-29^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้เมล็ดข้าวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ($r = 0.48$) โดยผลิตภัณฑ์ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสที่สูงกว่าเมล็ดข้าวจะมีค่าความแข็งมากกว่า ($r=0.85$) เมื่อพิจารณาผลของ F_0 ต่อค่าความแข็งของเมล็ดข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำระหว่างพันธุ์โคชิฮิการิกับพันธุ์หอมมะลิ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่า เม็ดข้าวที่ผ่านการสเตอริไรซ์ด้วย F_0 5 นาที จะมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าการใช้ F_0 1 นาที

Syamsir *et al.* (2009) ได้ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสของข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Cisadane ที่มีอะมิโลสร้อยละ 19.50 ข้าวพันธุ์ IR 64 ที่มีอะมิโลสร้อยละ 23.88 และข้าวพันธุ์ IR 42 ที่มีอะมิโลสร้อยละ 28.24 และระดับการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่อุณหภูมิ 250°F 2 ระดับ ได้แก่ 15 และ 20 นาที ต่อคุณภาพด้านสีและค่าเนื้อสัมผัสของข้าวปรุงรสบรรจุกระป๋อง จากการทดลองพบว่า การใช้ข้าวพันธุ์ Cisadane ซึ่งมีอะมิโลสที่สูงกว่าจะทำให้ได้ข้าวปรุงรสบรรจุกระป๋องที่มีค่าความสว่าง ความแข็ง ความเหนียวยืดติด และความยืดหยุ่นสูงกว่า แต่มีค่าความเป็นสีเขียว และค่าการยืดติดต่ำกว่าการใช้ข้าวพันธุ์ IR 64 และ IR 42 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของระดับการฆ่าเชื้อ (F_0) พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการฆ่าเชื้อจาก 15 เป็น 20 นาที มีผลทำให้ค่าความสว่าง ความแข็ง ความเหนียวยืดติด และความยืดหยุ่นมีค่าลดลง แต่มีผลทำให้ค่าการยืดติดเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จากศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวจังหวัดสกลนคร ซึ่งเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน 2553

1.2 ไลโคแซน น้ำหนักโมเลกุล 30-50 KDa, Degree of deacetylation 94.46% บริษัทต้าหมิง เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด ประเทศไทย

1.3 น้ำปราศจากไอออน

1.4 ซิตริกโมโนไฮเดรต food grade

1.5 โซเดียมซิเตรทแอนไฮดรัส food grade

1.6 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ บริษัท ยูเอสดวี โฮลดิ้ง ไทยแลนด์ จำกัด

1.7 กะทิ UHT (ตราชาวเกาะ)

1.8 น้ำตาลทราย (ตราลิน)

1.9 เกลือ (ตราปฐทิพย์)

2.0 กลิ่นกะทิสังเคราะห์ (ตราวินเนอร์)

2. อุปกรณ์ในการผลิต

2.1 เครื่องสีข้าว รุ่น NW 1000 Turbo บริษัท นาทวีเทคโนโลยี จำกัด

2.2 ถังพลาสติก ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร

2.3 กระป๋องสองชั้นเคลือบ Aluminized organosol บริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ จำกัด

2.4 เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง รุ่น Itcm ARC120 บริษัท เอ็นซี ซายน์เทค จำกัด

2.5 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง รุ่น BS224S บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd

2.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ รุ่น SIH288 AEH บริษัท สยามอินคิวเบเตอร์ซิสเต็ม จำกัด

2.7 ตู้อบลมร้อนแบบถาด รุ่น B.W.S บริษัท ห.จ.ก.บี ดับบลิว.เอส.เทรดดิ้ง ประเทศไทย

2.8 เครื่องรีดรีด รุ่น 60 ROFM บริษัท โอนเอร์ฟู้ดส์ แมชชีนเนอรี จำกัด ประเทศไทย

2.9 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ยี่ห้อโคชิบา รุ่น RC-18JM(W)A บริษัท โคชิบา ไทยแลนด์ จำกัด

2.10 เครื่องไล่อากาศด้วยไอน้ำร้อน (Exhauster) บริษัท โอนเอร์ฟู้ดส์ แมชชีนเนอรี จำกัด ประเทศไทย

2.11 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) รุ่น Squirrel SQ2040 series บริษัท Grant Instruments ประเทศอังกฤษ

2.12 เจ็มวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) type K

2.13 ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP)

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis)
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวัช
- เครื่องวัด pH (pH meter) รุ่น CyberScan pH 510
- เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน รุ่น Dumatherm ยี่ห้อ Garhardt ประเทศเยอรมัน
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรต

3.2 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer Minolta CR-3500d) ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA.XT plus บริษัท Chapa Techcenter, Stable Micro Systems, Ltd. ประเทศอังกฤษ
- เครื่องวัดค่าความหนืดแบบเร็ว (Rapid Visco Analyser) รุ่น RVA 4D บริษัท Scientific Newport, Ltd. ประเทศออสเตรเลีย

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- อุปกรณ์เครื่องแก้วในการเตรียมและวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์
- อุปกรณ์ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์
- ตู้บเชื้อจุลินทรีย์อุณหภูมิต่ำ ยี่ห้อ Astell Hearson ประเทศอังกฤษ
- ตู้ฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M บริษัท ไชแอนติฟกโปรโมชัน ประเทศไทย

3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส และแบบสอบถาม

วิธีการ

1. การตรวจสอบคุณภาพข้าวกล้องและการศึกษาผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก

1.1 การตรวจสอบคุณภาพข้าวกล้อง

นำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ไปทำการสี แล้วนำข้าวกล้องที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ความชื้น (ร้อยละ) ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000), การงอก (ร้อยละ) ตามวิธีการของจวงจันท์ (2529) และน้ำหนัก 1000 เมล็ด ดังภาคผนวก ก

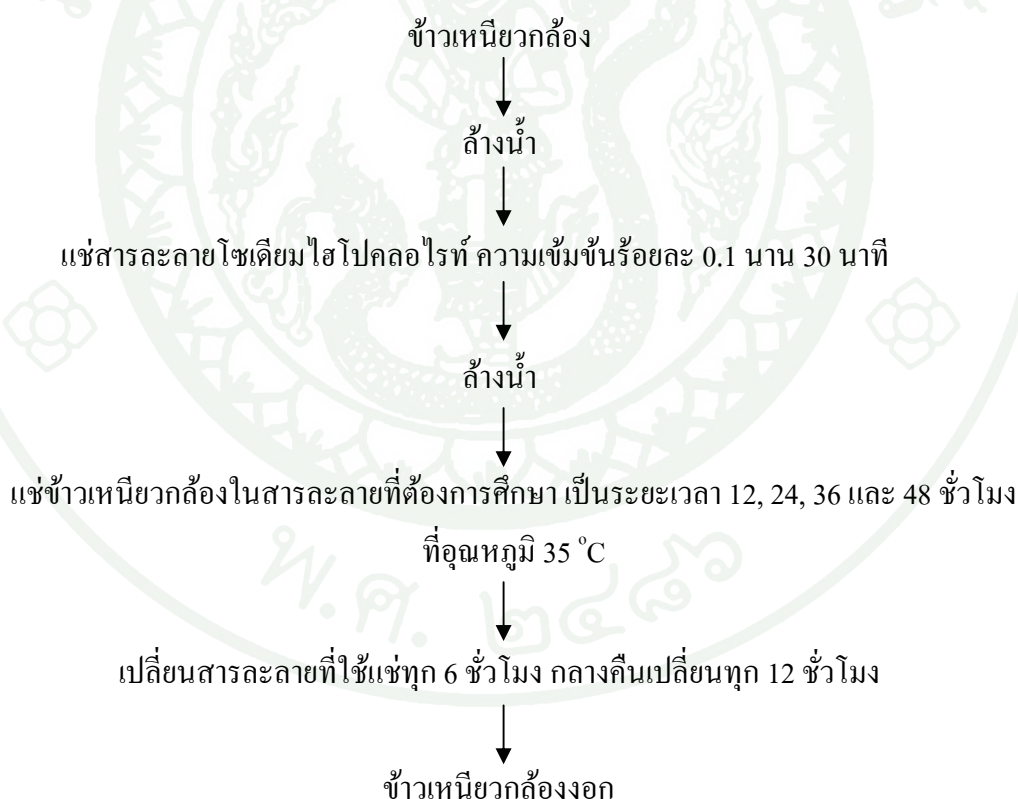
1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก

ศึกษาผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมข้าวเหนียวกล้องงอกที่จะทำเป็นข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟกตอเรียล 4×5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) มี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้แช่ 4 ระดับ ได้แก่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง และสารละลายที่ใช้แช่ 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกรอง (pH 6.8), สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 โดยใช้ข้าวเหนียวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการงอกเป็นตัวอย่างควบคุม มีทั้งหมด 21 สิ่งทดลอง และทำการทดลอง 2 ซ้ำ ขั้นตอนการผลิตข้าวเหนียวกล้องงอกคัดแปลงจากวิธีการของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ดังภาพที่ 4 โดยนำข้าวเหนียวกล้องที่สมบูรณ์และไม่หักไปล้างทำความสะอาด แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด แช่ในสารละลายที่ต้องการศึกษาโดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวกล้องต่อสารละลายเป็น 1: 5 (w/v) ในกล่องพลาสติก แล้วงอกในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 35°C ทำการเปลี่ยนสารละลายแช่ทุก 6 ชั่วโมง แต่ช่วงกลางคืนเปลี่ยนทุก 12 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงลุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องงอกไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพ โดยส่วนแรกใช้วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ และการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งเตรียมตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องงอกโดยการนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด (blender) บดต่อด้วยเครื่องบดละเอียด (Ultra Centrifugal Mill) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh อีกส่วนใช้วิเคราะห์หาปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma-amino butyric

acid, GABA) เตรียมตัวอย่างโดยนำข้าวเหนียวกลิ้งออกไปทำแห้งด้วยเครื่อง freeze dryer จากนั้น บดด้วยโกร่ง นำตัวอย่างทั้งสองส่วนที่เตรียมแล้วแยกบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -18 ± 2 °C เพื่อรอทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพดังต่อไปนี้

1.2.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Somogyi and Nelson (1952) ปริมาณ GABA โดยใช้เครื่อง HPLC ตามวิธีวิเคราะห์ของ Cohen and Michaud (1993) โดยส่งวิเคราะห์ที่สำนักค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.2 คุณภาพทางกายภาพ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืด (viscosity profile) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีของ A.A.C.C. (2000)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเตรียมข้าวเหนียวกลิ้งออก

2. การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

ทำการพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก โดยนำข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการเตรียมด้วยสภาวะงอกที่เหมาะสมจากข้อ 1 มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

คัดเลือกระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ที่เหมาะสมจากข้อ 1 โดยพิจารณาจากปริมาณ GABA อิสระ และรสชาติที่เหมาะสมของข้าวเหนียวกล้องงอกที่นำไปใช้ทำข้าวเหนียวเปียก แล้วนำข้าวเหนียวกล้องงอกไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ชนิษฐา, 2552) จากนั้นนำข้าวเหนียวกล้องงอกไปวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) และปริมาณ GABA อิสระ ด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) โดยส่งวิเคราะห์ที่สำนักวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 การศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่ใช้หุงต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง

ศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่ใช้หุงเพื่อเตรียมเป็นข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่ใช้ในการทำข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง วางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ สัดส่วนของข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่ใช้หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า 3 ระดับ ได้แก่ 600: 1200, 600: 1800 และ 600: 2400 (กรัม: กรัม)

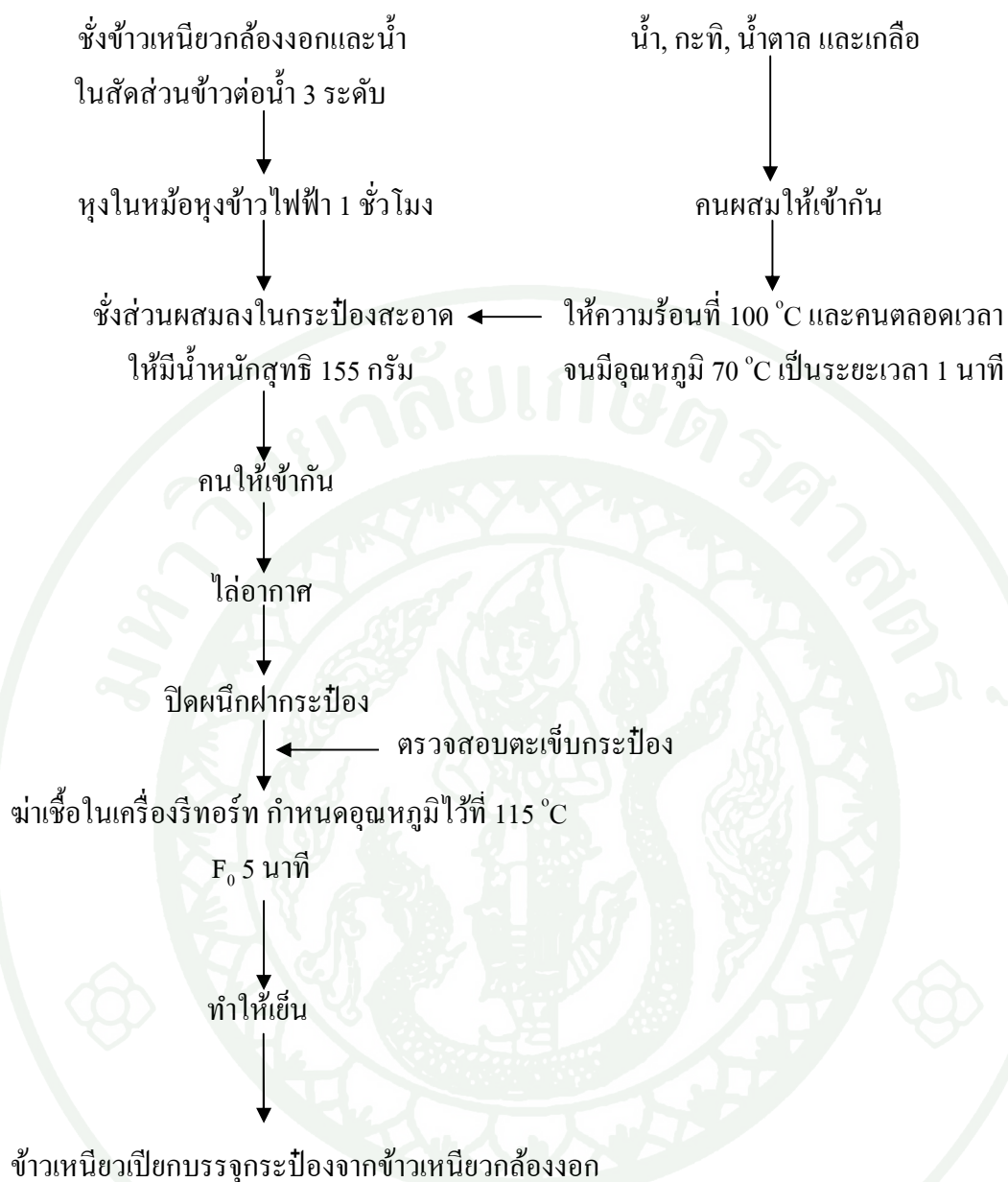
พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง โดยให้ผลิตภัณฑ์แต่ละกระป๋องมีน้ำหนักสุทธิ 155 กรัม ที่มีส่วนผสมของข้าวเหนียวกล้องงอกสุก 62 กรัม และน้ำกะทิ 93 กรัม ที่เตรียมจากน้ำ กะทิ น้ำตาล และเกลือ และทำการผลิตผลิตภัณฑ์ครั้งละ 43 กระป๋อง

นำข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่ได้จากการหุงด้วยสัดส่วนของข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่แตกต่างกันมาใช้ในการผลิตข้าวเหนียวเปียก แล้วทำการศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกโดยใช้กระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกของพรทิพย์ และ

คณะ (2553) ส่วนกระบวนการบรรจุกระป๋องและการฆ่าเชื้อตัดแปลงจากวิธีของ Narkrugs and Saeleaw (2009) ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยทำการเตรียมข้าวเหนียวกล้องงอกสุกด้วยสัดส่วนของข้าวเหนียวกล้องงอกและน้ำตามที่ต้องการศึกษา แล้วนำไปแยกหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมน้ำกะทิทำโดยการนำกะทิ 1,568.60 กรัม น้ำ 1,773.20 กรัม น้ำตาล 716.10 กรัม และเกลือ 34.10 กรัม ผสมรวมกันแล้วคนให้ละลาย แล้วจึงนำไปให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์บนเตาควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 °C พร้อมคนอย่างต่อเนื่องจนน้ำกะทิมีอุณหภูมิ 70 °C จากนั้นจับเวลา 1 นาที แล้วจึงชั่งข้าวเหนียวกล้องงอกสุก 62 กรัม และน้ำกะทิ 93 กรัม บรรจุลงในกระป๋องขนาด 307x113 ที่ผ่านการล้าง จากนั้นนำกระป๋องที่บรรจุผลิตภัณฑ์ไปใส่ในเตาอบด้วยเครื่องไล่อากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วจึงปิดผนึกกระป๋องทันที ตรวจสอบสภาพตะเข็บของกระป๋องให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ จากนั้นนำกระป๋องไปผ่านการฆ่าเชื้อในเครื่องรีเทอร์ท โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อไว้ที่ 115 °C จนได้ F₀ 5 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิในเครื่องรีเทอร์ทลง แล้วส่งน้ำสะอาดเข้าไปในเครื่องเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 40 °C จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังการผลิต ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ นำตัวอย่างข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกไปวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยวิธี Backward extrusion ด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA.XT Plus) ใช้หัววัดแบบ spherical plate plunger เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร โดยใส่ตัวอย่างลงในถ้วยทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร ให้มีความสูงจากก้นกระบอกวัด 30 มิลลิเมตร กำหนดแรงกดขนาด 10 กรัม ด้วยความเร็วหัววัดก่อนวัด ขณะวัด และหลังจากการวัดเท่ากับ 1, 1 และ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยมีระยะกรรไกรระยะ 50 ของความสูงของตัวอย่าง ทำการบันทึกค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดในหน่วย N.sec วิธีการวัดตัดแปลงมาจากวิธีของ Leelayuthsoontorn and Thipayarat (2006) และทำการวัดค่า 10 ครั้ง

2.2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส นำตัวอย่างข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) และวิธีการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นกะทิ รสหวาน รสเค็ม ความหนืด ความนุ่มของเมล็ดข้าว และความชอบรวม



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้างออก

2.3 การปรับปรุงสูตรข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ปรับปรุงสูตรข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกจากสูตรที่ได้รับ การยอมรับมากที่สุดจากข้อ 2.2 โดยเพิ่มกลิ้งกะทิสังเคราะห์เข้าไปในสูตร และเพิ่มปริมาณน้ำตาล โดยลดปริมาณน้ำในสูตรลงในน้ำหนักทดแทนที่เท่ากัน ทำการเตรียมข้าวเหนียวกลิ้งงอกสุกโดยการนำข้าวเหนียวกลิ้งงอกปริมาณ 600 กรัม และน้ำ 1200 กรัม ไปหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็น ระยะเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับน้ำกะทิที่ทำการปรับปรุงสูตร เตรียมโดยนำน้ำ 1,635.44 กรัม กะทิ 1,568.60 กรัม น้ำตาล 851.82 กรัม เกลือ 34.10 กรัม และกลิ้งกะทิสังเคราะห์ 3.41 กรัม ผสมรวม กันและคนให้ละลาย จากนั้นให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์บนเตาควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °C พร้อมคนอย่างต่อเนื่องจนน้ำกะทิมีอุณหภูมิ 70 °C แล้วจับเวลา 1 นาที ชั่งข้าวเหนียวกลิ้งงอก สุก 62 กรัม และน้ำกะทิ 93 กรัม ลงไปในกระป๋องขนาด 307x113 ที่ล้างให้สะอาด ไล่อากาศภายใน กระป๋องที่บรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องไล่อากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วปิดผนึกกระป๋องทันที จากนั้นตรวจสอบสภาพตะเข็บของกระป๋องให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปฆ่าเชื้อใน เครื่องรีทอร์ตโดยกำหนดอุณหภูมิฆ่าเชื้อไว้ที่ 115 °C จนได้ F_0 5 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิในเครื่อง รีทอร์ตลง ส่งน้ำเข้าไปในเครื่องเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 40 °C จากนั้นจึง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังการผลิต ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.3.1 คุณภาพทางกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัสตามวิธีข้อ 2.2.1

2.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามวิธีข้อ 2.2.2

2.4 การศึกษาสภาวะการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง จากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ศึกษาผลของสภาวะการฆ่าเชื้อ (F_0) ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าว เหนียวกลิ้งงอก วางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ศึกษา คือ F_0 3 ระดับ ได้แก่ 5, 8 และ 11 นาที ทำการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกตามวิธีข้อ 2.3 และทำการ ศึกษาข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนเพื่อใช้ในการคำนวณค่า F_0 ด้วยวิธีทั่วไป (Ball and Olson, 1957) ในการบันทึกข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ทำโดยการต่อเข็มวัดอุณหภูมิ (thermocouple) เข้าด้านข้างกระป๋อง โดยให้ปลายเข็มอยู่ตำแหน่งกลางกระป๋อง จากนั้นเตรียมข้าว เหนียวกลิ้งงอกสุกและน้ำกะทิตามวิธีข้อ 2.3 แล้วบรรจุข้าวเหนียวกลิ้งงอกสุก 62 กรัม และ

น้ำกะทิ 93 กรัม ลงในกระป๋องที่ติดตั้งเข็มวัดอุณหภูมิ และกระป๋องที่ผ่านการล้างให้สะอาด แล้วคนส่วนผสมให้เข้ากัน นำกระป๋องทั้งหมดที่บรรจุผลิตภัณฑ์ไปผ่านการไล่อากาศด้วยเครื่องไล่อากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที ปิดผนึกกระป๋องทันที แล้วตรวจสอบสภาพตะเข็บของกระป๋องให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ จากนั้นติดตั้งระบบการวัดการแทรกผ่านความร้อนโดยต่อสายสัญญาณของเข็มวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) แล้วเปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงานเพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิทุก 1 นาที ตลอดระยะเวลาการฆ่าเชื้อและการทำให้เย็น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้ทั้งหมดไปฆ่าเชื้อในเครื่องรีทอร์ทโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 115°C จนได้ F_0 เท่ากับ 5, 8 และ 11 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิในเครื่องรีทอร์ทลงแล้วส่งน้ำเข้าไปในเครื่องรีทอร์ทเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 40°C จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลการแทรกผ่านความร้อน ไปวิเคราะห์คุณภาพภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังการผลิต ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.4.1 คุณภาพทางกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัสตามวิธีข้อ 2.2.1 และวัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ด้วยเครื่องวัดสี (spectrophotometer) จำนวน 10 ซ้ำ

2.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) และวิธีการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสกะทิ รสหวาน รสเค็ม ความหนืด ความนุ่มของเมล็ดข้าว และความชอบรวม

3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลึงงอกที่พัฒนาได้จากข้อ 3 ดังต่อไปนี้

3.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) วัดค่า pH ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง pH meter ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ด้วยเครื่อง hand refractometer และปริมาณ GABA ตามวิธีของ Cohen and Michaud (1993) โดยส่งวิเคราะห์ที่สำนักวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

3.2 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ตามวิธีข้อ 2.2.1

3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ วิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2531) เรื่อง อาหารกระป๋อง เลขที่ มอก. 335-2531 ได้แก่

3.3.1 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้วิธี Standard Plate Count Method (SPC) ตามวิธีของ BAM (2001)

3.3.2 วิเคราะห์เชื้อ Mesophilic flat sour, Thermophilic flat sour, Sulfide spoilage, Mesophilic anaerobes และ Thermophilic anaerobes ตามวิธีของ BAM (2001)

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

ทำการทดสอบการยอมรับข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก โดยใช้การทดสอบแบบ central location test (CLT) กับกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 150 คน ณ โรงอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน โดยทำการสอบถามข้อมูลทางด้านประชากรศาสตร์ ได้แก่ เพศ ช่วงอายุ อาชีพ และรายได้ต่อเดือน และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติโดยรวม รสหวาน ความหนืด และความชอบโดยรวม รวมทั้งถามการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) แบบสะดวก (convenience sampling) (Kotler, 1997)

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกระหว่างการเก็บรักษา

ทำการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างระหว่างการเก็บทุก 2 สัปดาห์ ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ทำการวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 0 และ 6 ของการเก็บรักษา

5.1 คุณภาพทางเคมี วิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) ปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรต ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) และค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

5.2 คุณภาพทางกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer ตามวิธีข้อ 2.2.1 และวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ด้วยเครื่องวัดสี (spectrophotometer) จำนวน 10 ซ้ำ

5.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ทำการทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ รสหวาน กลิ่นรสกะทิ ความหนืด และความชอบรวม

5.4 คุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ตามวิธีของ BAM (2001) ในสัปดาห์ที่ 0 และสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน หากสิ่งทดลองมีความแตกต่าง จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

1. การตรวจสอบคุณภาพข้าวเหนียวกล้องและศึกษาผลของสภาวะงอกต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก

1.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวกล้อง

การตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวกล้อง พบว่า ข้าวเหนียวกล้องมีความชื้นร้อยละ 11.75 ± 0.01 ความงอกร้อยละ 95.60 ± 1.82 และมีน้ำหนัก 1000 เมล็ด เท่ากับ 27.24 ± 1.32 กรัม ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2551) เลขที่ มกอช. 4001-2551 ที่กำหนดให้ความชื้นของข้าวเหนียวกล้องมีไม่เกินร้อยละ 14 และข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีความงอกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และน้ำหนัก 1000 เมล็ด อยู่ระหว่าง 22.5-36.7 กรัม ซึ่งเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุ์กรรม ซึ่งจะแปรปรวนตามสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศ (เครือวัลย์, 2540)

1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก

การศึกษาค้นคว้าของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวเหนียวกล้องงอกเพื่อพัฒนาเป็นข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง โดยการจัดตั้งทดลองแบบแฟกตอเรียล 4x5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ มี 2 ปัจจัยที่ศึกษา คือ ระยะเวลาแช่ 4 ระดับ ได้แก่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง และสารละลายที่ใช้แช่ 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกรอง (pH 6.8), สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 โดยให้ข้าวเหนียวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม (control) รวมสิ่งทดลองทั้งหมดได้ 21 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีดังต่อไปนี้

1.2.1 คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวกล้องงอก

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวกล้องงอก พบว่า ระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่มีผลต่อปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระของข้าวเหนียวกล้องงอกทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อ

ค่าคุณภาพดังกล่าวด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยพบว่าข้าวเหนียวกล้องงอกมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.24-8.88

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกที่ไม่ได้ผ่านการงอกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 10.93 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อระยะเวลาที่ใช้แช่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tian *et al.* (2010) ที่ได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวโอ๊ตระหว่างการงอก โดยพบว่า ข้าวโอ๊ตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลางอกที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลางอกเพิ่มขึ้น (Saman *et al.*, 2008) เมื่อพิจารณาผลของสารละลายที่ใช้แช่ พบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าที่แช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เช่นเดียวกับข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าที่แช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาแช่ที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 มีความเป็นกรดสูงกว่าสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ตามลำดับ ซึ่งการมีความเป็นกรดที่สูงกว่ามีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวระหว่างการแช่ได้มากกว่า จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงกว่า และพบว่า การแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 เพียงอย่างเดียว ที่ระยะเวลาแช่ที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tian *et al.* (2004) ที่ได้ศึกษาผลของสารละลายไคโตแซนต่อกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสและปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ของเมล็ดข้าวโพด พบว่า การใช้สารละลายไคโตแซนมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสเพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการใช้สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงกว่าการใช้สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 เพียงอย่างเดียว โดยข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 22,163.46 และ 4,124.48 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และ pH 5 ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 21,662.98 และ 3,930.90 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ และ GABA อิสระของข้าวเหนียวกล้างอก

ค่าคุณภาพทางเคมี	ระยะเวลาแช่ (ชั่วโมง)	สารละลายที่ใช้แช่				
		ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3	ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5	น้ำกรอง (pH 6.8)
ความชื้น	12	6.79 (0.70) ^{ghi}	8.88(0.08) ^a	6.81 (0.30) ^{fghi}	7.59 (0.12) ^{bcdefgh}	6.80 (0.42) ^{ghi}
	24	8.32 (0.52) ^{abcd}	8.63(0.05) ^{abc}	7.34 (0.37) ^{defghi}	7.17 (0.06) ^{defghi}	6.72 (0.69) ^{ghi}
	36	6.99 (0.80) ^{efghi}	8.72(0.06) ^{ab}	7.81(1.90) ^{abcdefgh}	7.22 (0.10) ^{defghi}	8.05 (0.95) ^{abcdef}
	48	7.91 (1.40) ^{abcdefg}	8.19(0.07) ^{abcde}	6.59 (0.21) ^{hi}	7.12 (0.07) ^{defghi}	7.49 (0.78) ^{cdefghi}
น้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส ต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)	12	198.02 (2.44) ^{kl}	86.49 (1.60) ^{kl}	372.66 (6.41) ^j	93.91 (2.11) ^{kl}	61.33 (1.21) ^l
	24	2,035.18 (0.59) ^h	162.05 (1.23) ^{kl}	3,478.30 (123.31) ^g	259.34 (2.42) ^{jk}	102.36 (2.43) ^{kl}
	36	9,278.81 (101.72) ^d	1,434.41 (1.21) ⁱ	10,601.21 (197.59) ^c	2,039.38 (121.80) ^h	159.10 (3.72) ^{kl}
	48	22,163.46 (240.68) ^b	3,930.90 (115.40) ^f	22,163.46 (240.68) ^a	4,124.48 (1.15) ^c	253.57 (1.23) ^{kl}
GABA อิสระ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)	12	9.12 (0.91) ^m	3.75 (0.25) ^o	9.02 (1.18) ^m	4.22 (0.65) ^{no}	5.32 (0.88) ^{no}
	24	24.66 (1.59) ^f	5.86 (0.25) ⁿ	17.97 (2.05) ^h	5.34 (0.36) ^{no}	8.51 (1.53) ^m
	36	36.51 (1.00) ^c	12.32 (0.59) ^{jk}	30.13 (0.63) ^d	10.25 (0.20) ^{lm}	11.16 (0.44) ^{kl}
	48	54.85 (0.36) ^a	21.66 (0.75) ^g	49.92 (0.51) ^b	13.53 (0.74) ^{ij}	14.88 (3.07) ⁱ

หมายเหตุ ^{a-n} ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

เมื่อพิจารณาปริมาณ GABA อิสระของข้าวเหนียวกล้องอก พบว่า ระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่มีผลต่อปริมาณ GABA อิสระทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่พบว่า ปริมาณ GABA อิสระในแป้งข้าวกล้องอกจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิและข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของ GABA อิสระระหว่างการงอก โดยการแช่ข้าวกล้องในน้ำหรือสารละลายทำให้เกิดการสังเคราะห์ GABA ในระหว่างการแช่ (Ohtsubo *et al.*, 2005) เมื่อพิจารณาผลของสารละลายที่ใช้แช่ พบว่า ที่ระยะเวลาแช่ที่เท่ากัน ข้าวเหนียวกล้องอกที่ได้จากการแช่ในน้ำกรองได้ปริมาณ GABA อิสระน้อยกว่าการแช่ในสารละลายอื่น การแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และการแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 ได้ปริมาณ GABA อิสระสูงกว่าการแช่สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 และที่แช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นเพราะว่าสารละลายที่มี pH ที่ต่ำกว่าจะมีความเป็นกรดที่สูงกว่า และสภาพที่มีความเป็นกรดสูงจะสร้างภาวะเครียด (stress) ที่รุนแรงให้กับเมล็ดข้าวระหว่างการแช่ได้มากกว่า ส่งผลให้เอนไซม์ GAD ถูกกระตุ้นให้ทำงานเพิ่มขึ้นและมีการสังเคราะห์ GABA ได้เพิ่มขึ้นด้วย (Oh, 2003) จึงทำให้ได้ปริมาณ GABA อิสระที่สูงกว่า

ไคโตแซนมีความสามารถในการกระตุ้นกิจกรรมการไฮโดรไลซ์ในเซลล์พืชระหว่างการงอกซึ่งมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมอิสระในเซลล์พืชเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมอิสระมีผลไปกระตุ้นกิจกรรมของ GAD ส่งผลให้มีการสังเคราะห์ GABA เพิ่มขึ้น (Oh, 2003) แต่ในการศึกษานี้ พบว่า การใช้ไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 ไม่มีผลทำให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเกิดจากความแตกต่างของพันธุ์ข้าวที่มีผลให้องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกัน และระยะเวลาในการแช่ซึ่งระยะเวลาต้องนานพอที่จะทำให้ไคโตแซนสามารถไปกระตุ้นการเกิดไฮโดรไลซ์ในระหว่างการงอก แล้วทำให้แคลเซียมอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวกล้องอกที่แช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA อิสระเท่ากับ 54.85 และ 21.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้าวเหนียวกล้องอกที่แช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่มีปริมาณ GABA อิสระเท่ากับ 49.92 และ 13.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวกล้องอกที่ได้จากการแช่น้ำกรอง และข้าวเหนียวกล้องอกที่ไม่ได้งอกมีปริมาณ GABA อิสระเท่ากับ 14.88 และ 3.59 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

1.2.2 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวกล้องงอก

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวเหนียวกล้องงอกโดยใช้เครื่อง RVA (Rapid visco analyzer) ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวเหนียวกล้องงอกดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 6-10 โดยพบว่า ความหนืดของข้าวเหนียวกล้องงอกมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ต่อค่าความหนืดทั้งหมดยกเว้นค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) จากการศึกษพบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้แช่เพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback from trough) ของข้าวเหนียวกล้องงอกมีค่าลดลง ซึ่งการลดลงของค่าความหนืดอาจเกิดจากในระหว่างการแช่เอนไซม์อะมิเลสจะย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เป็นเดกซ์ทรินและมอลโตแซ็กคาไรด์ ดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่เพิ่มขึ้น โดยคาร์โบไฮเดรตที่เปลี่ยนรูปนี้มีผลต่อความหนืดของข้าวเหนียวกล้องงอก ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับ Brandtzaeg *et al.* (1981) ที่ได้ศึกษาผลของการงอกต่อค่าความหนืดในแป้งข้าวฟ่าง และ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่ได้ศึกษาความหนืดในแป้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่ผ่านการงอก โดยพบว่า แป้งข้าวมีความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ได้งอก โดยค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่สารละลายโคโคแซนร้อยละ 0.5 ในซีเทรท บัฟเฟอร์ pH 3 มีค่าลดลงมากกว่าการแช่ในสารละลายชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเกิดจากสารละลายดังกล่าวมีความเป็นกรดสูง โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.4-3.66 จึงมีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวในระหว่างการแช่มากกว่า จากผลการทดลองของ Tian *et al.* (2004) ที่ได้ศึกษาผลของสารละลายโคโคแซนต่อกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสและปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ของเมล็ดข้าวโพด พบว่า การใช้สารละลายโคโคแซนมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสเพิ่มขึ้นและทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ในเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 5 คุณภาพการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลั่นงอกที่ผลิตจากระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ที่แตกต่างกัน

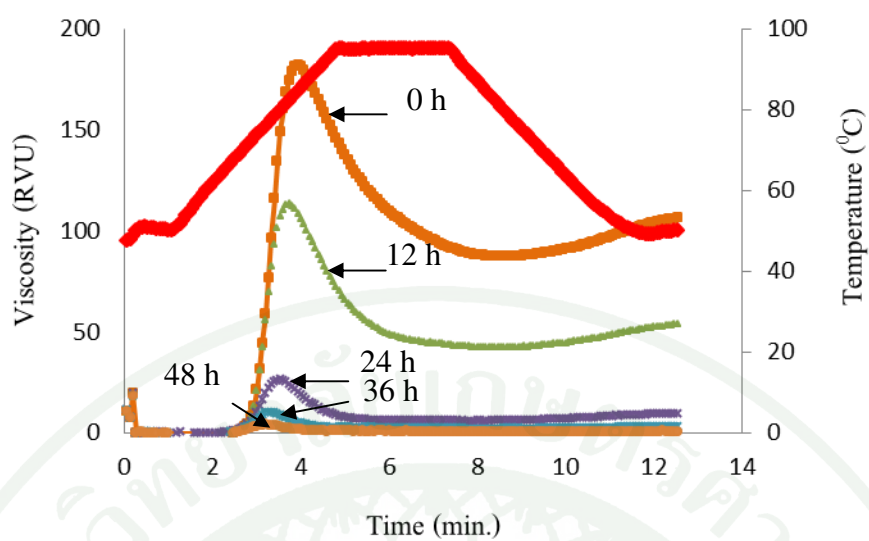
ค่าความหนืด (RVU)	ระยะเวลาแช่ (ชั่วโมง)	สารละลายที่ใช้แช่				
		ซีเทรทบัฟเฟอร์	ซีเทรทบัฟเฟอร์	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5	น้ำกรอง (pH 6.8)
		pH 3	pH 5	ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3	ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5	
อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด ($^{\circ}\text{C}$) ^{ns}	12	68.13 (0.06)	68.13 (0.03)	68.13 (0.08)	68.13 (0.08)	68.08 (0.03)
	24	68.13 (0.06)	68.15 (0.05)	68.17 (0.06)	68.13 (0.06)	68.12 (0.03)
	36	68.12 (0.08)	68.08 (0.08)	68.13 (0.08)	68.17 (0.08)	68.08 (0.06)
	48	68.13 (0.06)	68.15 (0.05)	68.07 (0.06)	68.13 (0.06)	68.10 (0.08)
ความหนืดสูงสุด	12	83.50 (4.39) ^d	152.11 (2.08) ^b	77.63 (0.58) ^c	104.96 (1.34) ^c	163.16 (0.69) ^a
	24	24.38 (0.31) ⁱ	32.37 (1.16) ^g	22.57 (0.30) ⁱ	27.49 (4.89) ^g	46.23 (0.65) ^f
	36	10.88 (1.62) ^l	15.60 (0.75) ^k	7.38 (0.27) ^m	13.71 (1.41) ^k	16.18 (1.12) ^k
	48	4.30 (0.72) ^{no}	5.93 (0.30) ^{mno}	2.90 (0.13) ^o	5.80 (0.21) ^{mno}	6.72 (0.45) ^{mn}
ความหนืดต่ำสุด	12	38.28 (2.03) ^d	79.49 (2.91) ^b	30.98 (0.30) ^c	41.18 (0.75) ^c	83.39 (3.24) ^a
	24	4.15 (0.92) ^{ghi}	10.22 (0.54) ^f	5.40 (0.21) ^{gh}	5.58 (0.25) ^g	10.73 (0.09) ^f
	36	1.56 (0.37) ^k	4.79 (0.90) ^{ghi}	1.09 (0.59) ^{kl}	3.93 (0.80) ^{hi}	3.48 (0.20) ^{ij}
	48	0.92 (0.69) ^l	2.12 (0.43) ^{jk}	0.59 (0.24) ^l	1.62 (0.40) ^k	1.62 (0.73) ^k

ตารางที่ 5 (ต่อ)

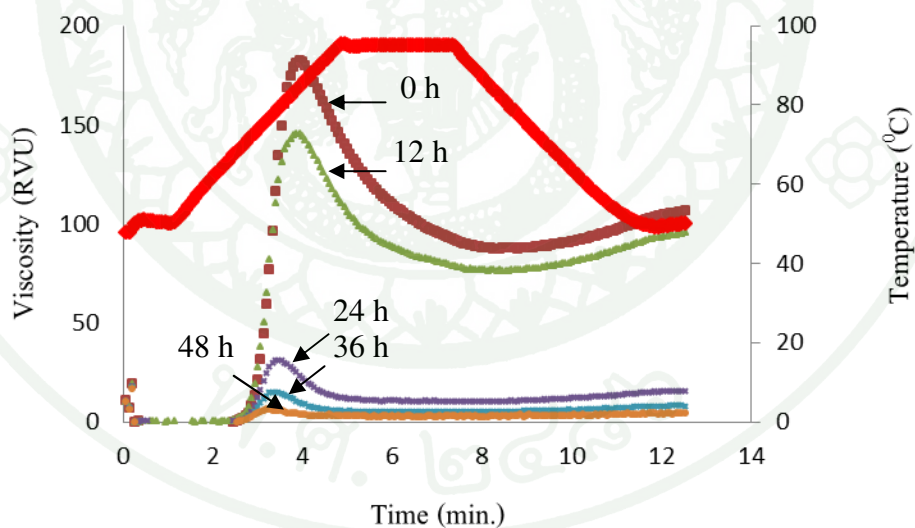
ค่าความหนืด (RVU)	ระยะเวลาแช่ (ชั่วโมง)	สารละลายที่ใช้แช่				น้ำกรอง (pH 6.8)
		ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3	ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3	ไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5	
ความแตกต่างของ ความหนืดสูงสุด และต่ำสุด	12	45.22 (4.86) ^d	72.62 (1.89) ^b	46.65 (0.29) ^d	63.78 (0.61) ^c	79.77 (3.68) ^a
	24	20.23 (0.85) ^f	22.16 (1.10) ^f	17.16 (0.10) ^g	21.90 (4.94) ^f	35.16 (0.05) ^c
	36	9.32 (1.33) ^{ij}	10.81 (0.46) ^{hi}	6.30 (0.69) ^{jk}	9.78 (0.67) ^{hi}	12.69 (1.21) ^h
	48	4.42 (0.39) ^m	3.81 (0.21) ^m	3.68 (0.37) ^m	4.18 (0.30) ^m	5.76 (0.87) ^k
ความหนืดสุดท้าย	12	49.87 (2.22) ^d	99.62 (2.27) ^b	41.59 (0.81) ^c	53.38 (0.97) ^c	105.68 (1.93) ^a
	24	9.08 (0.42) ^{gh}	16.06 (0.68) ^f	6.88 (0.90) ^{ij}	9.89 (0.64) ^g	16.66 (0.38) ^f
	36	3.16 (0.43) ^{kl}	8.11 (1.17) ^{hi}	2.31 (0.68) ^{lm}	6.13 (1.15) ^j	6.16 (0.44) ^j
	48	0.68 (0.81) ^{mn}	3.57 (0.72) ^k	0.25 (0.14) ^k	2.65 (0.35) ^{kl}	2.55 (0.97) ^{kl}
การกินตัว	12	33.63 (5.03) ^c	52.50 (1.35) ^b	36.04 (0.25) ^c	51.57 (0.38) ^b	57.48 (2.27) ^a
	24	17.50 (0.84) ^c	16.31 (1.19) ^{ef}	13.48 (0.17) ^f	17.60 (5.29) ^c	29.56 (0.98) ^d
	36	7.72 (1.62) ^{gh}	7.49 (0.79) ^{gh}	5.07 (0.81) ^{hi}	7.58 (0.26) ^{gh}	10.02 (1.03) ^g
	48	3.62 (0.34) ^{ij}	2.36 (0.46) ^j	2.65 (0.26) ^{ij}	3.15 (0.27) ^{ij}	4.18 (1.12) ^{ij}

หมายเหตุ *^{a-o} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

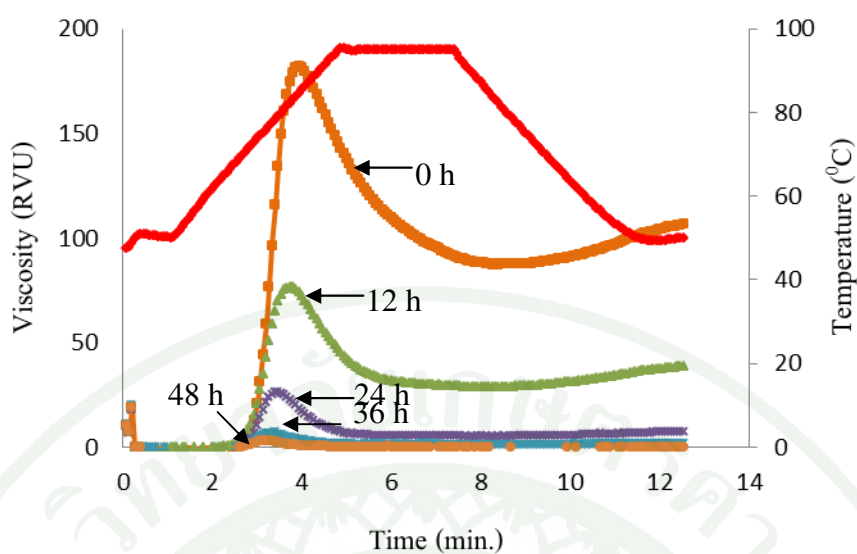
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล



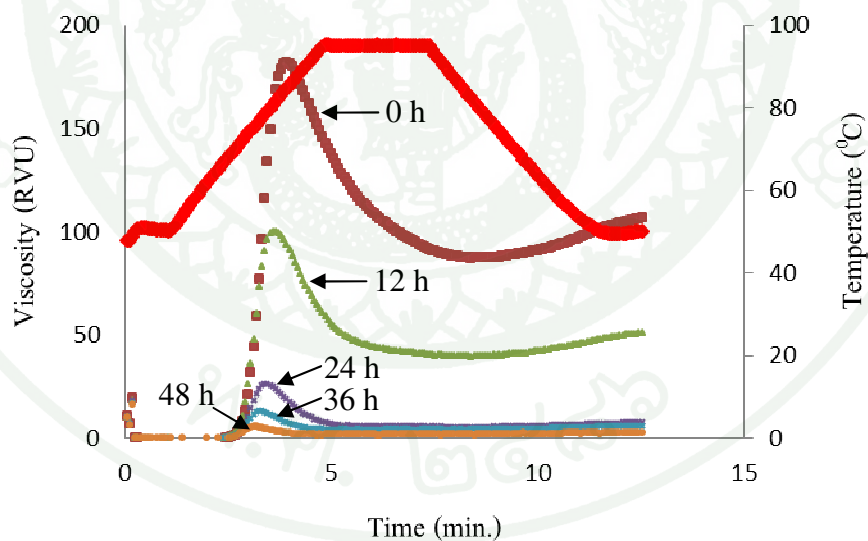
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลายซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



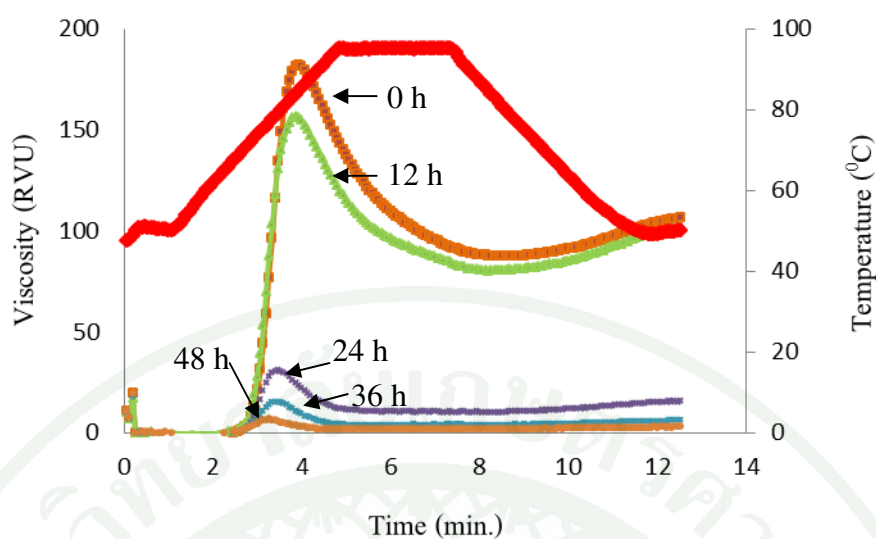
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่แช่ในสารละลายซีเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลายไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลายไคโตแซน ร้อยละ 0.5 ใน ซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล้วยงอกที่แช่ในน้ำกรอง (pH 6.8) เป็นระยะเวลา 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง

จากการพิจารณาอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดหรืออุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนแล้วจะพองตัวอย่างรวดเร็วจนความหนืดเพิ่มขึ้น พบว่า ระยะเวลาและสารละลายที่ใช้แช่ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของข้าวเหนียวกล้วยงอกที่ได้ทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของข้าวเหนียวกล้วยงอกที่ไม่ได้งอกมีค่า 68.06°C และที่ได้จากการแช่ในสารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 และน้ำกรอง อยู่ในช่วง $68.12-68.13^{\circ}\text{C}$, $68.08-68.15^{\circ}\text{C}$, $68.07-68.17^{\circ}\text{C}$, $68.13-68.17^{\circ}\text{C}$ และ $68.08-68.12^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้าย พบว่า ข้าวเหนียวกล้วยงอกที่ไม่ได้งอกมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 190.50, 91.09 และ 111.41 RVU ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาที่ใช้แช่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์อะมิเลสที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการงอกของเมล็ด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Palmiano and Juliano (1972) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสตาร์ช เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส และเอนไซม์เบต้าอะมิเลสในระหว่างการงอกของข้าวสายพันธุ์ IR8 โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสตาร์ช ลดลง แต่ทำให้ปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส และเอนไซม์

เบต้าอะมิเลสเพิ่มขึ้น ดังนั้นความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายของข้าวเหนียวกล้องงอกจึงลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้แช่เพิ่มขึ้น และพบว่า ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายของข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 มีค่าลดลงมากกว่าการแช่ในสารละลายชนิดอื่น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการแช่ในสารละลายชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่สารละลายดังกล่าวมีความเป็นกรดสูง โดยมี pH อยู่ในช่วง 3.4-3.66 จึงมีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวในระหว่างการแช่ และจากงานวิจัยของ Tian *et al.* (2004) ที่ได้ศึกษาผลของสารละลายไคโตแซนต่อกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสในเมล็ดข้าวโพด พบว่า การใช้สารละลายไคโตแซนมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสในเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาการแช่ข้าวเหนียวกล้องในสารละลายไคโตแซนน่าจะทำให้คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเนื่องจากเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสได้มากกว่าการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH เดียวกันที่ไม่มีไคโตแซน ดังนั้นความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 จึงมีค่าลดลงมากกว่าการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3 หรือ pH 5 ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่าการคืนตัวของข้าวเหนียวกล้องงอก พบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในน้ำกรอมมีค่าการคืนตัวสูงกว่าที่แช่ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ระยะเวลาแช่เดียวกัน ทั้งนี้ค่าการคืนตัวได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้ายและค่าความหนืดต่ำสุด ดังนั้นแนวโน้มจึงเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกับค่าความหนืดทั้งสองค่า ซึ่งค่าการคืนตัวของแป้งมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Newport Scientific, 1995) เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความคงตัวของเจลและความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) โดยแป้งที่มีค่าการคืนตัวสูงหรือมีค่าเป็นบวก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Miao *et al.*, 2009) และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแข็งที่แข็งมากกว่า (Beta and Corke, 2001) จากการทดลองพบว่าข้าวเหนียวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 และน้ำกรอมมีค่าการคืนตัวลดลงตามระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าข้าวเหนียวกล้องงอกมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวกล้องที่ไม่ได้งอกที่มีค่าการคืนตัวเท่ากับ 79.09 RVU

2. การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

2.1 การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ

จากผลการทดลองในข้อ 1 พบว่า การแช่ข้าวเหนียวกล้องงอกในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 ได้ข้าวเหนียวกล้องงอกที่มีปริมาณ GABA อิสระสูงสุด รองลงมาคือ การแช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3, สารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5, สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 และน้ำกรอง ตามลำดับ แต่จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 และสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 ไม่เหมาะสมที่จะนำมาเตรียมเป็นข้าวเหนียวเปียก เนื่องจากมีรสเปรี้ยวและฝืด ส่วนข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ให้รสชาติที่ดีกว่า และมี GABA อิสระสูงกว่าที่แช่ในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 และน้ำกรอง ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกสถานะในการเตรียมข้าวเหนียวกล้องงอกที่จะนำไปผลิตเป็นข้าวเหนียวเปียกด้วยการแช่ข้าวเหนียวกล้องงอกในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งพบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.37 ± 0.33 ซึ่งผ่านมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2551) เลขที่ มกอช. 4001-2551 ที่กำหนดไว้ว่าข้าวเหนียวกล้องงอกไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 14 และพบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.72 ± 0.13 (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณ GABA อิสระ 21.66 ± 0.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง) จากนั้นนำวัตถุดิบไปใช้ผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องในขั้นตอนต่อไป

2.2 การศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกล้องงอกและน้ำที่ใช้หุงต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง

ผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก วางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ศึกษา คือ สัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่ใช้หุงเพื่อเตรียมเป็นข้าวเหนียวกล้องงอกสุก (กรัมต่อกรัม) 3 ระดับ ได้แก่ 600: 1200, 600: 1800 และ 600: 2400 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า ข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่ได้จากการหุงด้วยสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำที่ต่างกันมีผลต่อค่าความคงตัว และค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มสัดส่วนน้ำที่ใช้หุง

มีผลทำให้ได้ข้าวเหนียวเปียกที่มีค่าความคงตัว และค่าดัชนีของความหนืดลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากข้าวเหนียวกลี้งอกสุกที่มีปริมาณน้ำที่มากกว่าจะมีค่าความหนืดต่ำกว่า เมื่อนำไปผลิตเป็นข้าวเหนียวเปียกจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความคงตัวและความหนืดที่ต่ำกว่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Shih *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาผลของปริมาณความชื้นของสตาร์ชของข้าวเหนียว 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20, 30 และ 40 (น้ำหนักเปียก) ต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ช โดยพบว่า สตาร์ชข้าวเหนียวที่มีความชื้นร้อยละ 40 มีความหนืดที่ต่ำกว่าสตาร์ชที่มีความชื้นร้อยละ 30 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ค่าความคงตัว และค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอกที่ใช้ข้าวเหนียวกลี้งอกและน้ำในการหุงต่างกัน

ค่าเนื้อสัมผัส	สัดส่วนของข้าวเหนียวกลี้งอกและน้ำ (กรัมต่อกรัม) ที่ใช้หุง		
	600: 1,200	600: 1,800	600: 2,400
ความคงตัว (N.sec)	14.78 (1.16) ^a	7.47 (0.47) ^b	4.60 (0.37) ^c
ดัชนีของความหนืด (N.sec)	1.96 (0.24) ^a	1.10 (0.10) ^b	0.61 (0.07) ^c

หมายเหตุ ^{a-c} ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกันหมายถึงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ โดยผู้บริโภครที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ที่มีต่อลักษณะปรากฏ กลิ่นกะทิ รสหวาน รสเค็ม ความหนืด ความนุ่มของเมล็ดข้าว และความชอบรวม แสดงดังตารางที่ 7 พบว่า สัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกลี้งอกและน้ำที่ใช้หุงไม่มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสหวาน รสเค็ม ความนุ่มของเมล็ดข้าว และความชอบรวมทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อลักษณะด้านกลิ่นกะทิ และความหนืด โดยพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำในการหุงข้าวเหนียวกลี้งอกมีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นกะทิเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านความหนืดลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นกะทิเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้หุง อาจมีสาเหตุมาจากการใช้ปริมาณน้ำในการหุงที่น้อยกว่าจะทำให้ได้ปริมาณข้าวเหนียวกลี้งอกสุกที่มีปริมาณข้าวมากกว่า เพราะมีสัดส่วนของน้ำที่น้อยกว่า ซึ่งการมีปริมาณข้าวเหนียวกลี้งอกสุกที่มากกว่าอาจส่งผลทำให้กลิ่นกะทิในผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากข้าวเหนียวกลี้งอกมีกลิ่นรสเฉพาะ โดย Wu *et al.* (2011) พบว่า ข้าวเหนียวกลี้งอกมีสารระเหยที่ให้กลิ่น

คือ 2-อะซิทิล-1-ไพโรลีน อะซิเทท และไดเมทิลซัลไฟด์ เป็นองค์ประกอบ ส่วนคะแนนความชอบด้านความหนืดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มน้ำที่ใช้หุง อาจมีสาเหตุมาจากผู้บริโภคชอบข้าวเหนียวเปียกที่มีความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่มากกว่า เพราะข้าวเหนียวเปียกที่ทำมาจากข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่มีน้ำมากกว่าจะมีความหนืดที่ต่ำกว่า ซึ่งการที่ความหนืดของข้าวเหนียวเปียกมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณน้ำในการหุงเพิ่มขึ้นให้ผลสอดคล้องกับค่าคุณภาพทางกายภาพ และพบว่า คะแนนความชอบรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้หุง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากผู้บริโภคชอบความหนืดของข้าวเหนียวเปียกที่ใช้ข้าวเหนียวกล้องงอกสุกซึ่งหุงด้วยสัดส่วนของน้ำที่น้อยกว่า

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เตรียมจากการใช้ข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่ต่างกัน

คุณลักษณะ	สัดส่วนของข้าวเหนียวกล้องงอกต่อน้ำ (กรัมต่อกรัม) ที่ใช้หุง		
	600: 1200	600: 1800	600: 2400
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.5 (1.4)	6.2 (1.5)	6.1 (1.4)
กลิ่นกะทิ	6.0 (1.3) ^b	6.7 (1.0) ^a	6.6 (1.0) ^a
รสหวาน ^{ns}	6.4 (1.3)	6.5 (1.7)	6.5 (1.3)
รสเค็ม ^{ns}	6.5 (1.3)	6.5 (1.6)	6.6 (1.3)
ความหนืด	6.7 (1.2) ^a	5.7 (1.5) ^b	5.5 (1.6) ^b
ความนุ่มของเมล็ดข้าว ^{ns}	6.3 (1.2)	5.9 (1.4)	6.0 (1.5)
ความชอบรวม ^{ns}	6.6 (1.2)	6.3 (1.2)	6.0 (1.5)

หมายเหตุ ^{a-b} ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

จากผลการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale) ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องที่ทำจากข้าวเหนียวกล้องงอกสุกที่เตรียมโดยการหุงข้าวเหนียวกล้องงอก 600 กรัม และน้ำ 1200 กรัม มีความพอดีมากที่สุด ยกเว้นกลิ่นกะทิและรสหวานของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่ากลิ่นกะทิมีความเข้มข้นเกินไปร้อยละ 50 พอดีร้อยละ 40 และมากเกินไปร้อยละ 10 ซึ่งอาจแก้ไขด้วยการเพิ่มกลิ่นกะทิสั่งเคราะห์ในสูตรการผลิต และผู้ทดสอบมีความเห็นว่ารสหวานมีความเข้มข้นเกินไปร้อยละ 26.70 พอดีร้อยละ 60 และ

มากเกินไปร้อยละ 13.30 ซึ่งอาจแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิต ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงสูตรในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 8 จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง ที่ทดสอบโดยการให้คะแนนความพอดี

สัดส่วนของ ข้าวเหนียวกลิ้งงอก ต่อน้ำ (กรัมต่อกรัม) ที่ใช้หุง	คุณลักษณะ	น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
600: 1200	กลิ่นกะทิ	50.00	40.00	10.00
	รสหวาน	26.70	60.00	13.30
	รสเค็ม	30.00	66.70	3.30
	ความหนืด	20.00	56.70	16.70
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	50.00	50.00	0.00
600: 1800	กลิ่นกะทิ	30.00	70.00	0.00
	รสหวาน	13.30	66.70	20.00
	รสเค็ม	26.70	60.00	13.30
	ความหนืด	50.00	33.30	16.70
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	46.70	46.70	6.70
600: 2400	กลิ่นกะทิ	36.70	63.30	0.00
	รสหวาน	26.70	66.70	6.70
	รสเค็ม	26.70	66.70	6.70
	ความหนืด	63.30	30.00	6.70
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	56.70	40.00	3.30

2.3 การปรับปรุงสูตรข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

จากการปรับปรุงสูตรข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกโดยการเพิ่มกลิ่นกะทิสังเคราะห์ เพิ่มปริมาณน้ำตาล และลดปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสมลง (ในปริมาณเท่ากับน้ำตาลที่เพิ่ม) แล้วผลิตผลิตภัณฑ์ตามวิธี ข้อ 2.2 (ในส่วนวิธีการ) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังการผลิต พบว่า ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกมีค่าความคงตัวและค่าดัชนีของความหนืดเท่ากับ 14.73 ± 1.53 และ 1.97 ± 0.18 N·sec ตามลำดับ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ร่วมกับการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale) โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 9 โดยพบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นกะทิ รสหวาน รสเค็ม ความหนืด ความนุ่มของเมล็ดข้าว และความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยมีค่า 6.3, 7.2, 7.2, 6.8, 6.7, 6.9 และ 7.1 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ผลการให้คะแนนความพอดี พบว่า ผู้ทดสอบ ส่วนใหญ่มีความเห็นว่าคุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์มีความพอดีแล้ว

ตารางที่ 9 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก ที่ทำการปรับปรุงสูตรแล้ว

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ	จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ)		
		น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
ลักษณะปรากฏ	6.3 (1.1)	-	-	-
กลิ่นกะทิ	7.2 (1.1)	10.00	83.33	6.67
รสหวาน	7.2 (0.7)	0.00	96.67	3.33
รสเค็ม	6.8 (0.9)	20.00	70.00	10.00
ความหนืด	6.7 (1.1)	26.67	70.00	3.33
ความนุ่มของเมล็ดข้าว	6.9 (1.0)	26.67	70.00	3.33
ความชอบรวม	7.1 (0.7)	-	-	-

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

- หมายถึงไม่ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale)

2.4 การศึกษาสภาวะฆ่าเชื้อ (F_0) ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

การศึกษาผลของสภาวะฆ่าเชื้อ (F_0) ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ F_0 3 ระดับ ได้แก่ 5, 8 และ 11 นาที โดยทำการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกตามวิธีข้อ 2.3 (ในส่วนวิธีการ) และทำการศึกษาข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฆ่าเชื้อและการทำให้เย็นเพื่อใช้ในการคำนวณค่า F_0 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการศึกษาข้อมูลการแทรกผ่านความร้อน ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังการผลิต โดยได้ผลการทดลองดังนี้

2.4.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการศึกษาข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตแล้วนำไปคำนวณหา F_0 พบว่า การฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ F_0 5, 8 และ 11 นาที ต้องใช้ระยะเวลา 66, 81 และ 96 นาที ตามลำดับ โดยไม่รวมระยะเวลาการทำให้เย็น ดังแสดงในภาคผนวก จ และจากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย F_0 ที่แตกต่างกัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 10 โดยพบว่า F_0 มีผลต่อค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มระดับ F_0 มีผลทำให้ค่าความคงตัว ค่าดัชนีของความหนืด และความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การลดลงของค่าความคงตัวและค่าดัชนีของความหนืดอาจมีสาเหตุมาจากการใช้ F_0 ที่สูงกว่าจะใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่นานกว่า ซึ่งมีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการสูญเสียความสมบูรณ์สูงกว่าส่งผลทำให้ความหนืดมีค่าลดลงมากกว่า ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai (2001) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยน้ำ (hydrothermal treatment) ต่อสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ พบว่า แป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์มีค่าความหนืดลดลงเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยน้ำเพิ่มขึ้น จากการวัดค่าสี พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลงและค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม F_0 ในการฆ่าเชื้อ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อัลดีไฮด์หรือคีโตนของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนเปปไทด์หรือโปรตีน ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารเมลานอยดินที่มีสีน้ำตาล (Sa *et al.*, 2001) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Okazaki *et al.* (2001) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาในการ

ให้ความร้อนต่อการเกิด ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลของสารละลาย glucose-glycine ที่อุณหภูมิ 115 °C โดยพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลาย glucose-glycine จาก 5 ถึง 35 นาที มีผลทำให้ค่าการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการฆ่าเชื้อไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 10 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องนอกที่ใช้ระดับของการฆ่าเชื้อ (F_0) แตกต่างกัน

คุณภาพทางกายภาพ	F_0 (นาที)		
	5	8	11
เนื้อสัมผัส			
ความคงตัว (N.sec)	14.80 (1.37) ^a	13.20 (0.45) ^b	10.86 (1.44) ^c
ดัชนีของความหนืด (N.sec)	1.94 (0.16) ^a	1.88 (0.26) ^{ab}	1.61 (0.15) ^b
ค่าสี			
ค่าความสว่าง (L^*)	68.53 (0.76) ^a	67.38 (0.33) ^b	67.31 (0.67) ^b
ค่าความเป็นสีแดง (a^*)	2.25 (0.11) ^c	2.77 (0.13) ^b	3.39 (0.17) ^a
ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ^{ns}	17.40 (0.68)	17.82 (0.64)	17.68 (0.69)

หมายเหตุ ^{a-c} ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

2.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ที่มีต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องนอกที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย F_0 ที่แตกต่างกัน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 11 โดยพบว่า ค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสหวาน รสเค็ม และความนุ่มของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะดังกล่าวทั้ง 3 สิ่ง ทดลองอยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.6-7) และพบว่า การเพิ่มระดับ F_0 ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์มีผลทำให้ความชอบด้านกลิ่นรสกะทิ ความหนืด และความชอบรวมมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ F_0 5 นาที มีค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกะทิ และความหนืดสูงที่สุด คือ 6.9 และ 6.9 ตามลำดับ และการที่ค่าคะแนนความชอบรวมลดลงเมื่อเพิ่มระดับ F_0 อาจเกิดจากผู้ทดสอบชอบกลิ่นรสกะทิและความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ใช้ F_0 5 นาที มากกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นรสกะทิ และความหนืดมีค่า 6.9 ซึ่งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ F_0 ระดับอื่น จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right scale) เพื่อทำการปรับปรุงสูตรจากผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะด้านต่างๆของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ตารางที่ 11 คะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ใช้ระดับของการนำเชื้อ (F_0) แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	F_0 (นาที)		
	5	8	11
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.9 (0.8)	6.6 (0.8)	6.5 (1.1)
กลิ่นรสกะทิ	6.9 (0.9) ^a	6.7 (0.9) ^{ab}	6.2 (1.3) ^b
รสหวาน ^{ns}	6.7 (1.0)	6.6 (0.9)	6.7 (1.1)
รสเค็ม ^{ns}	6.6 (1.1)	6.7 (0.8)	6.7 (1.1)
ความหนืด	6.9 (0.9) ^a	6.5 (1.0) ^{ab}	6.2 (1.2) ^b
ความนุ่มของเมล็ดข้าว ^{ns}	6.8 (1.0)	6.6 (0.9)	6.6 (1.1)
ความชอบรวม	7.2 (0.8) ^a	6.6 (0.9) ^b	6.3 (1.0) ^b

หมายเหตุ ^{a-c} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

จากผลการทดสอบด้วยการให้คะแนนความพอดี (Just-about-right) ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยพบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ผลิตจากการใช้สภาวะนำเชื้อด้วย F_0 5 นาที มีความพอดีมากที่สุด โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่ากลิ่นกะทิมีความเข้มข้นพอดีร้อยละ 83.33 รสหวานมีความเข้มข้นพอดีร้อยละ 66.67 รสเค็มมีความเข้มข้นพอดีร้อยละ 73.33 ความหนืดมีความพอดีร้อยละ 70.00 และความนุ่มของเมล็ดข้าวมีความพอดีร้อยละ 80.00 และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์มีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.2) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าคุณลักษณะด้านต่างๆของข้าว

เหนียวเป็กรรจุระป้องจากข้าวเหนียวกล็องงอกมีความพอดีแล้ว ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในขั้นต่อไป

ตารางที่ 12 จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆของข้าวเหนียวเป็กรรจุระป้องที่ทดสอบโดยการให้คะแนนความชอบ (Just-about-right scale)

F ₀ (นาที)	คุณลักษณะ	น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
5	กลิ่นรสกะทิ	16.67	83.33	0.00
	รสหวาน	26.67	66.67	6.67
	รสเค็ม	6.67	73.33	20.00
	ความหนืด	26.67	70.00	3.33
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	16.67	80.00	3.33
8	กลิ่นรสกะทิ	36.67	63.33	0.00
	รสหวาน	23.33	70.00	6.67
	รสเค็ม	3.33	70.00	43.33
	ความหนืด	20.00	73.33	6.67
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	10.00	63.33	26.67
11	กลิ่นรสกะทิ	36.67	60.00	3.33
	รสหวาน	30.00	66.67	3.33
	รสเค็ม	6.67	53.33	23.33
	ความหนืด	30.00	66.67	3.33
	ความนุ่มของเมล็ดข้าว	13.33	43.33	43.33

ดังนั้นกระบวนการผลิตข้าวเหนียวเป็กรรจุระป้องจากข้าวเหนียวกล็องงอก คือ นำข้าวเหนียวกล็องงอกปริมาณ 600 กรัม และน้ำ 1200 กรัม ไปหุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับน้ำกะทิเตรียมโดยนำน้ำ 1,635.44 กรัม กะทิ 1,568.60 กรัม น้ำตาล 851.82 กรัม เกลือ 34.10 กรัม และกลิ่นกะทิสังเคราะห์ 3.41 กรัม ผสมรวมกันแล้วคนให้ละลาย จากนั้นนำไปให้ความร้อนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์บนเตาควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °C คนอย่างต่อเนื่อง จนน้ำกะทิมีอุณหภูมิ 70 °C แล้วจับเวลาเป็นระยะเวลา 1 นาที ซึ่งข้าวเหนียวกล็องงอกสุก 62 กรัม และน้ำกะทิ 93 กรัม บรรจุลงในกระป๋องขนาด 307x113 ที่ผ่านการล้าง จากนั้นทำการไล่อากาศภายในกระป๋อง

ที่บรรจุข้าวเหนียวเปียกด้วยเครื่องไล่อากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วจึงปิดผนึกกระป๋องทันที ตรวจสอบสภาพตะเข็บของกระป๋องให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ แล้วนำกระป๋องไปฆ่าเชื้อในเครื่องรีทอร์ทที่กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 115°C ให้ได้ F_0 5 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิในเครื่องรีทอร์ทลงและส่งน้ำเข้าไปในเครื่องรีทอร์ทเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 40°C

3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องอกที่พัฒนาได้

จากการตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องอกที่พัฒนาได้ แสดงผลดังตารางที่ 13 คุณภาพทางเคมี พบว่า องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ มีดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 65.17 โปรตีนร้อยละ 5.25 ไขมันร้อยละ 10.05 เส้นใยหยาบร้อยละ 0.38 เถ้าร้อยละ 1.91 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.24 pH 5.54 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 21.5°brix และจากการวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีปริมาณ 14.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องมีส่วนของข้าวเหนียวกล้องอกสุกที่มี GABA อิสระ 12.58 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้น GABA อิสระในผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณลดลงจากข้าวเหนียวกล้องอกก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต (21.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวเหนียวกล้องอก) ร้อยละ 41.92 คุณภาพทางกายภาพ ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Texture analyser ใช้วิธีวัดแบบ Backward extrusion พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความคงตัว และดัชนีของความหนืด เท่ากับ 15.11 และ 2.06 N.sec ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องอกที่พัฒนาได้ เมื่อนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นระยะเวลา 14 วัน และ 55°C เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าตรวจไม่พบ Total plate count, Mesophilic flat sour, Thermophilic flat sour, Sulfide spoilage, Mesophilic anaerobes และ Thermophilic anaerobes แสดงว่าสภาวะความร้อนดังกล่าวเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย จึงปลอดภัยต่อการบริโภคตามมาตรฐานการผลิตอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำบรรจุกระป๋อง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531)

ตารางที่ 13 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลึงงอกที่พัฒนาได้

คุณภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ, โดยน้ำหนักเปียก)	65.17 (0.02)
โปรตีน (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแห้ง)	5.25 (0.08)
ไขมัน (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแห้ง)	10.05 (0.11)
เส้นใย (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแห้ง)	0.38 (0.03)
เถ้า (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแห้ง)	1.91 (0.02)
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแห้ง)	17.24 (0.21)
GABA อิสระ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง, โดยน้ำหนักแห้ง)	14.16 (1.45)
ค่า pH	5.54
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°brix)	21.5
คุณภาพทางกายภาพ	
ความคงตัว (N.sec)	15.11 (1.64)
ดัชนีของความหนืด (N.sec)	2.06 (0.33)
คุณภาพทางจุลินทรีย์	
Total plate count	ไม่พบ*
Mesophilic flat sour	ไม่พบ
Thermophilic flat sour	ไม่พบ
Sulfide spoilage	ไม่พบ
Mesophilic anaerobes	ไม่พบ
Thermophilic anaerobes	ไม่พบ

หมายเหตุ * คือ ไม่พบที่ระดับการเจือจาง (dilution) ที่ 10^{-1}

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่พัฒนาได้

จากการนำข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่พัฒนาได้ไปทดสอบการยอมรับกับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 150 คน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ central location test (CLT) ผู้บริโภคทำการให้ข้อมูลทางด้านประชากรศาสตร์ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือน แล้วทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 14 โดยพบว่า กลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายเป็นเพศชาย ร้อยละ 50 และเพศหญิงร้อยละ 50 มีอายุในแต่ละช่วงร้อยละ 25 การศึกษาที่ได้รับอยู่ในระดับต่ำกว่าปริญญาตรีร้อยละ 21 ปริญญาตรีร้อยละ 56 และสูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 23 ส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นนักเรียนหรือนักศึกษาร้อยละ 35 และมีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,000-15,000 บาท

ตารางที่ 14 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกด้วยวิธี CLT

ลักษณะประชากรศาสตร์		ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ	ชาย	50
	หญิง	50
อายุ (ปี)	16-25	25
	26-35	25
	36-45	25
	มากกว่า 45	25
ระดับศึกษาปัจจุบัน	ต่ำกว่าปริญญาตรี	21
	ปริญญาตรี	56
	สูงกว่าปริญญาตรี	23

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ลักษณะประชากรศาสตร์		ความถี่ (ร้อยละ)
อาชีพ		
	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	35
	ข้าราชการ	30
	ธุรกิจส่วนตัว	10
	รับจ้าง/ลูกจ้าง	13
	แม่บ้าน	7
	อื่นๆ	5
รายได้ต่อเดือน (บาท)		
	น้อยกว่า 5,000	15
	5,000 – 10,000	24
	10,001 – 15,000	24
	15,001 – 20,000	7
	20,001 – 25,000	11
	มากกว่า 25,000	19

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) โดยผู้บริโภครายหมายจำนวน 150 คน ต่อลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ รสหวาน ความหนืด และความชอบรวม ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 15 โดยพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ รสหวาน ความหนืด และความชอบรวม อยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยมีค่าเท่ากับ 6.8, 7.1, 7.3, 7.2, 7.0 และ 7.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องนอก
ที่พัฒนาแล้วของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ย
ลักษณะปรากฏ	6.8 (0.8)
กลิ่น	7.1 (0.9)
รสชาติ	7.3 (0.9)
รสหวาน	7.2 (0.9)
ความหนืด	7.0 (1.0)
ความชอบรวม	7.3 (0.9)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

จากการทดสอบการยอมรับและการตัดสินใจซื้อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องนอก ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยพบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 96 ไม่ยอมรับเพียงร้อยละ 4 โดยให้เหตุผลว่าข้าวเหนียวเปียกหวานเกินไป และเลวเกินไป เป็นต้น และเมื่อพิจารณาการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 80 ไม่ซื้อ ร้อยละ 20 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่มีผลไม่เป็นส่วนผสม ข้าวเหนียวเปียกมีขายทั่วไป และสามารถทำรับประทานเองได้ เป็นต้น และผู้บริโภคทั่วไปเสนอแนะว่า ผลิตภัณฑ์ควรมีบรรจุภัณฑ์ที่มีฉลากสวยงาม และควรมีการผสมผักหรือผลไม้บางชนิดลงไปด้วย เช่น ลำไย ข้าวโพด เป็นต้น

ตารางที่ 16 การตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

การตัดสินใจของผู้บริโภค	การยอมรับ (ร้อยละ)		การยอมรับรวม (ร้อยละ)
	ชาย	หญิง	
ยอมรับ	36.0	60.0	96.0
ไม่ยอมรับ	3.3	0.7	4.0
ซื้อ	34.0	49.3	83.3
ไม่ซื้อ	5.3	11.3	16.6



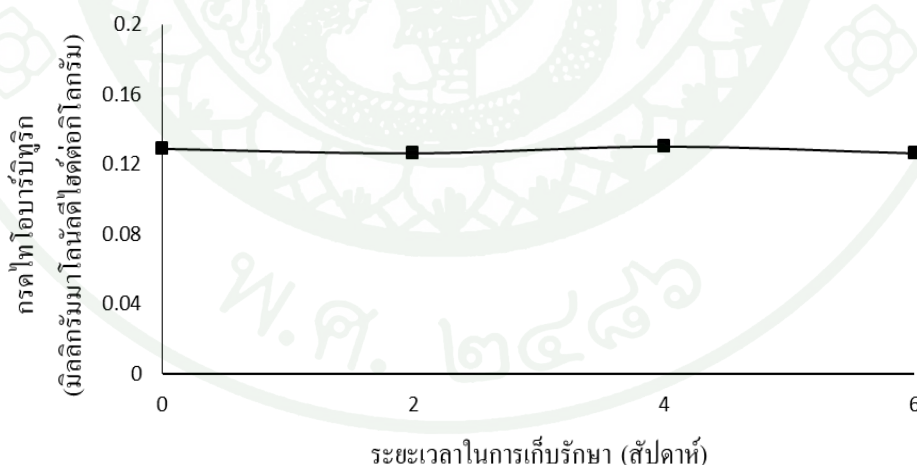
ภาพที่ 11 ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่พัฒนาได้

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล็องงอกระหว่างการเก็บรักษา

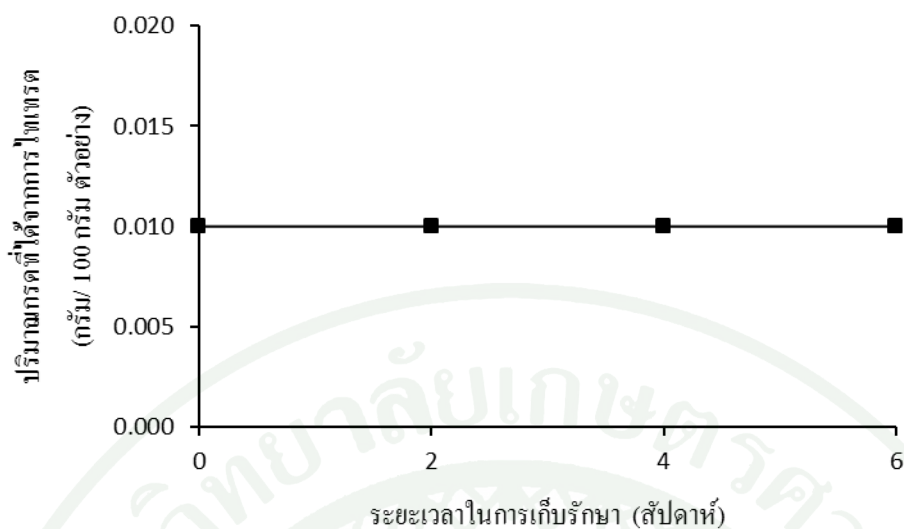
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล็องงอกที่ได้จากการพัฒนา โดยผลิตผลิตภัณฑ์แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการสุ่มตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาทุก 2 สัปดาห์ ไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ทำการสุ่มไปวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 0 และ 6 ของการเก็บรักษา ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

5.1 คุณภาพทางเคมี

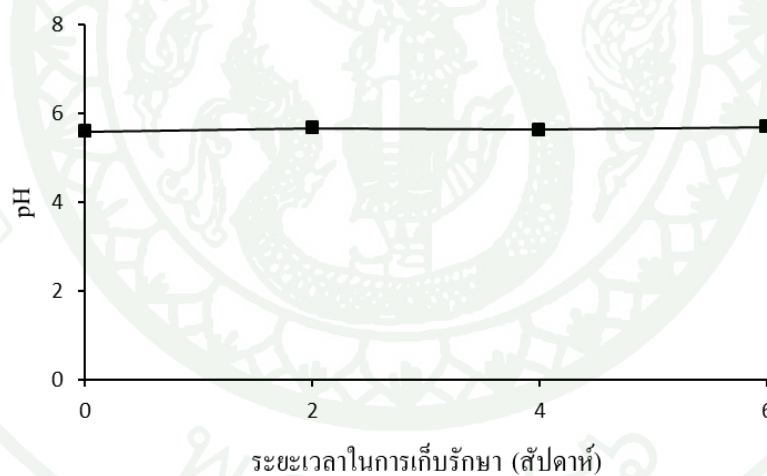
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก ปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรต และค่า pH ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) พบว่า ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก ปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรต และค่า pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 12-14 และในตารางผนวกที่ 1



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริกของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล็องงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรตของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)



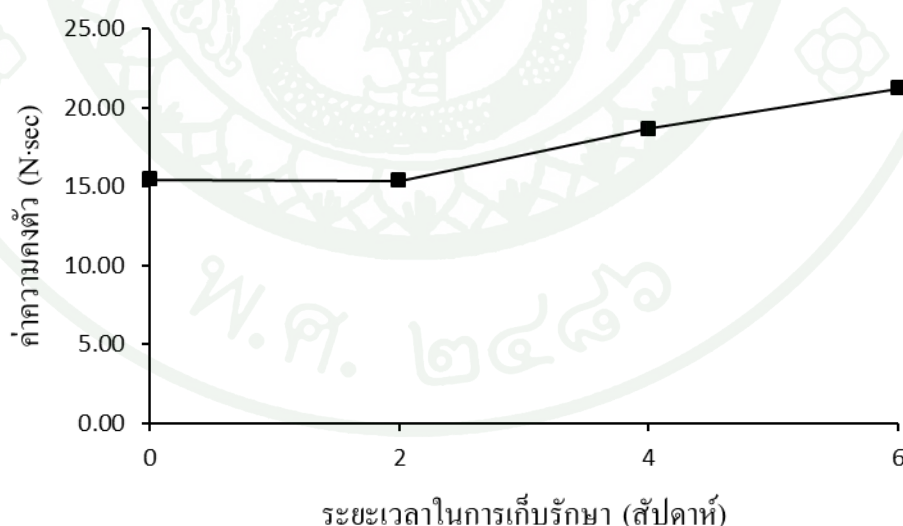
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)

ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริกเป็นค่าที่บ่งบอกความหืนหรือการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอิสระและเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อลิปิดในอาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีผลทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ (นิธิยา, 2545) และอาจส่งผลให้

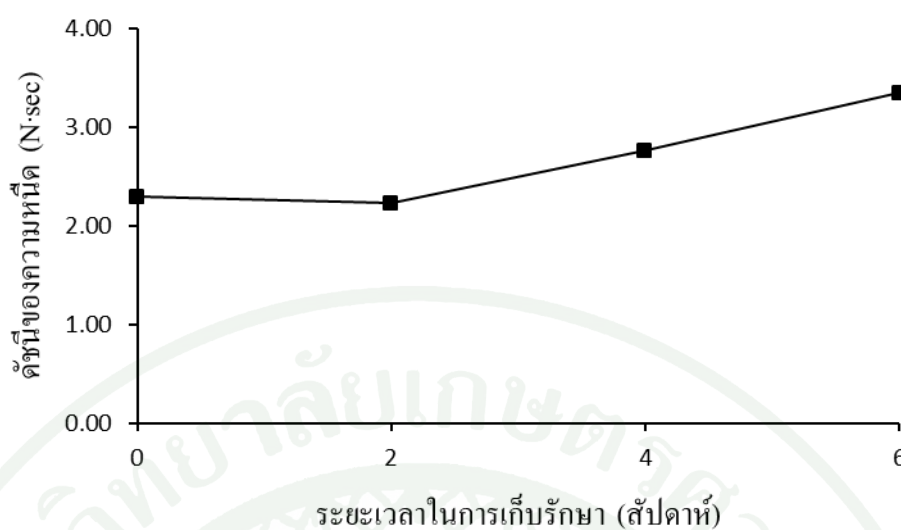
ผลิตภัณฑ์อาหารไม่เป็นที่ยอมรับได้ การที่ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริกของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ โดยมีค่า 0.13 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ ต่อ กิโลกรัมตัวอย่าง ตลอดระยะเวลาการเก็บ อาจเป็นเพราะว่าข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องมีออกซิเจนต่ำเนื่องจากกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง ต้องมีการไล่อากาศก่อนทำการฆ่าเชื้อทำให้ภายในกระป๋องเป็นสุญญากาศหรือมีออกซิเจนต่ำ (วิไล, 2543) ซึ่งการมีออกซิเจนต่ำจะส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันที่มีผลทำให้ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริกเพิ่มขึ้นเกิดได้ช้าลง (Mitchell and Henrick, 1996) และพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ข้าวเหนียวเปียกมีปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรตร้อยละ 0.01 ตลอดระยะเวลาการเก็บ และมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.59-5.69

5.2 คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความคงตัว ค่าดัชนีของความหนืด ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 15-19 และในตารางผนวกที่ ง2



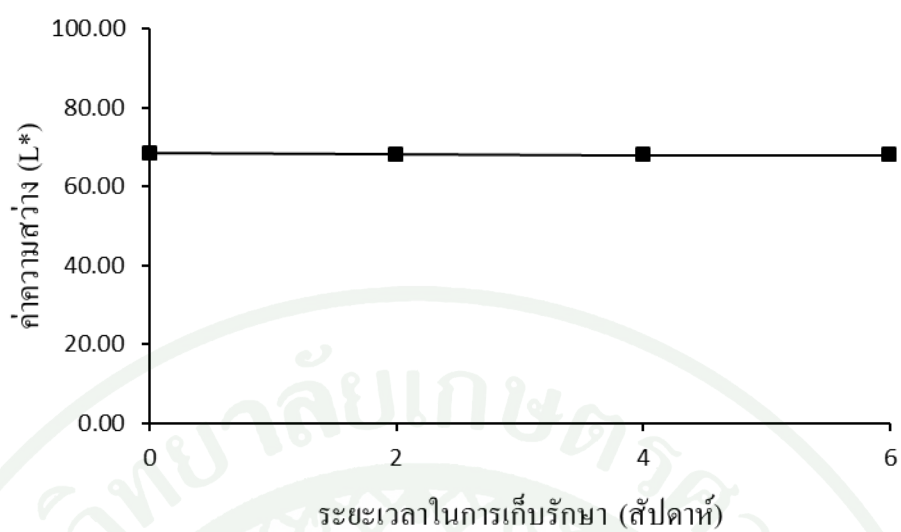
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าความคงตัวของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$)



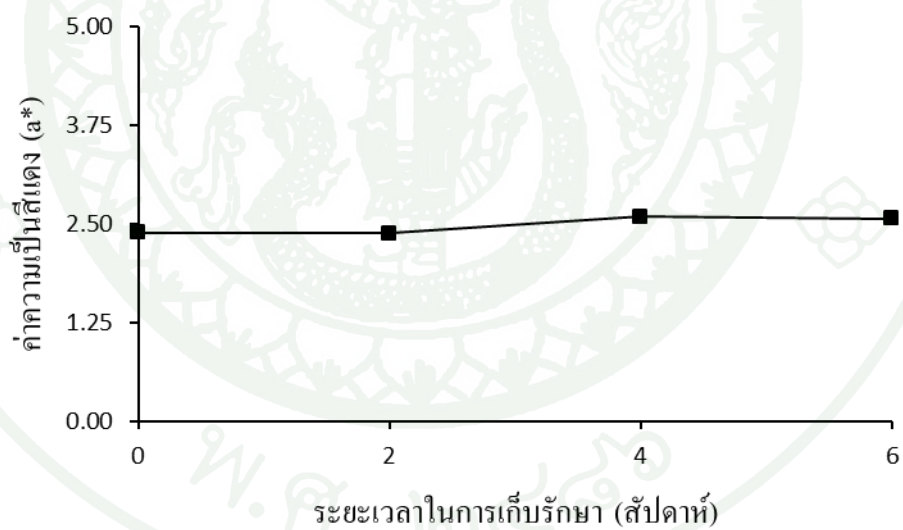
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอก ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C)

จากการวิเคราะห์ค่าความคงตัวและค่าดัชนีของความหนืดของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นมีผลทำให้ค่าความคงตัวและค่าดัชนีของความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลสตาร์ช (retrogradation) เกิดเป็นโครงร่างอีกครั้ง ซึ่งมีผลทำให้ความแน่นแข็ง (firmness) หรือความแข็ง (rigidity) เพิ่มขึ้น (Vandeputte *et al.*, 2003) ดังนั้นค่าความคงตัวและค่าความหนืดจึงเพิ่มขึ้น จากการทดลองของ Vandeputte *et al.* (2003) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเกิด retrogradation ของสตาร์ชข้าวเหนียว พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้เกิด retrogradation ของสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความแน่นแข็ง (firmness) หรือความแข็ง (rigidity) เพิ่มขึ้น

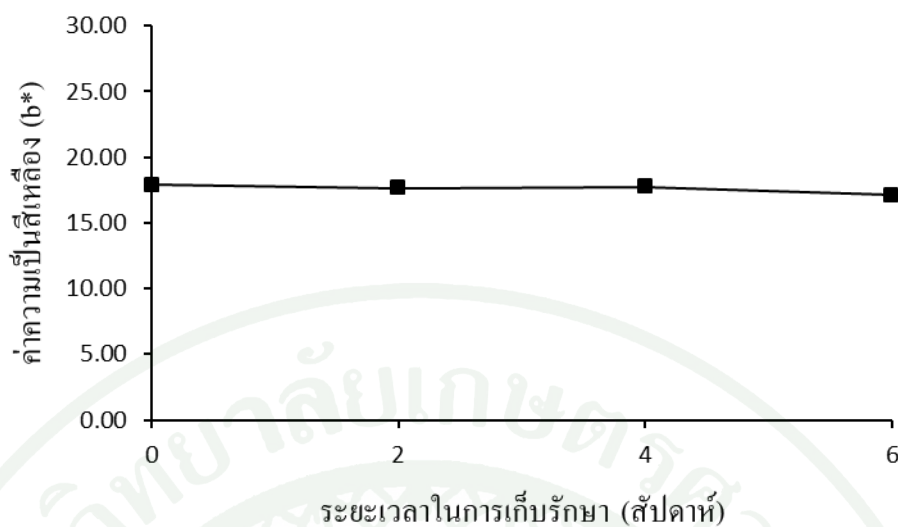
จากการตรวจสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 67.86-68.39 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 2.38-2.56 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 17.47-17.88 ทั้งนี้อาจเกิดจากในสภาวะการเก็บรักษาดังกล่าวไม่มีตัวกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$)

5.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ที่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ รสหวาน กลิ่นรสกะทิ ความหนืด และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รสชาติ รสหวาน และกลิ่นรสกะทิมีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่มีผลทำให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความหนืดและความชอบรวมมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาให้ผลสอดคล้องกับค่าคุณภาพทางกายภาพด้านสี (ค่าความสว่าง, ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง) ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ตารางที่ 17 คะแนนความชอบเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
สี ^{ns}	6.9 (1.0)	7.0 (0.7)	6.9 (0.8)	6.7 (0.7)
กลิ่น ^{ns}	7.3 (0.8)	7.0 (0.9)	6.9 (0.9)	7.0 (0.8)
รสชาติ ^{ns}	7.2 (0.7)	7.3 (0.8)	6.9 (0.8)	7.0 (0.7)
รสหวาน ^{ns}	7.1 (0.9)	7.2 (0.9)	6.7 (1.2)	6.8 (0.7)
กลิ่นรสกะทิ ^{ns}	7.1 (0.7)	6.9 (1.0)	6.7 (0.8)	6.8 (0.6)
ความหนืด	7.1 (1.0) ^a	6.9 (0.9) ^{ab}	6.6 (1.7) ^{ab}	6.4 (0.9) ^b
ความชอบรวม	7.3 (0.8) ^a	7.3 (0.8) ^a	6.9 (1.0) ^b	6.8 (0.6) ^b

หมายเหตุ^{a-c} ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่น รสชาติ รสหวาน และกลิ่นรสกะทิที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ อาจเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่มีการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ซึ่งการเกิดกลิ่นหืนมีผลทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารผิปกติ (นิธิยา, 2545) และมีผลทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ได้

การที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความหนืดมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากผู้บริโภคไม่ชอบความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากค่าความคงตัวและค่าดัชนีของความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยสัปดาห์ที่ 0 ผลิตภัณฑ์มีค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดเท่ากับ 15.45 และ 2.29 N·sec ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 6 ผลิตภัณฑ์มีค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดเท่ากับ 21.22 และ 3.35 N·sec ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ยังส่งผลให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชอบรวมมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยเช่นกัน

5.4 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาให้ผลดังแสดงในตารางผนวกที่ จ3 โดยพบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และรา (ที่ระดับการเจือจางที่ 10^{-1}) ซึ่งบ่งบอกให้ทราบว่าภายหลังจากการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลั่นงอกไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้น



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลของระยะเวลาและสารละลายที่ใช้ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวกลิ้งงอก พบว่า ระยะเวลาและสารละลายที่ใช้จะมีผลต่อปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ GABA อิสระ และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยพบว่า ข้าวเหนียวกลิ้งงอกมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.24-8.88 เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ GABA อิสระ ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และค่าการคืนตัวของข้าวเหนียวกลิ้งงอกลดลง การแช่ข้าวเหนียวกลิ้งงอกในสารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด แต่ข้าวเหนียวกลิ้งงอกมีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และค่าการคืนตัวลดลงมากกว่าการแช่ในสารละลายอื่น เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน การแช่ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ได้ GABA อิสระสูงสุด คือ 54.85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แต่ข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ได้จากการแช่สารละลายไคโตแซนร้อยละ 0.5 ในซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 และซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 3 มีรสเปรี้ยวและเหนียวไม่เหมาะสมในการทำเป็นข้าวเหนียวเปียก สภาวะที่เหมาะสม คือ การแช่ในสารละลายซิเทรทบัฟเฟอร์ pH 5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ GABA อิสระ เท่ากับ 3,930.90 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และ 21.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

การพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกลิ้งงอกและน้ำที่ใช้หุงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้หุงมีผลทำให้ค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องที่ใช้ข้าวเหนียวกลิ้งงอกสุกที่เตรียมโดยหุงข้าวเหนียวกลิ้งงอก 600 กรัม และน้ำ 1200 กรัม เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด แต่มีกลิ่นกะทิและความหวานน้อยเกินไป จึงได้ทำการปรับสูตรโดยการเพิ่มกลิ่นกะทิสั่งเคราะห์และเพิ่มปริมาณน้ำตาลโดยลดส่วนของน้ำในสูตรลง จากการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความคงตัวและดัชนีของความหนืด เท่ากับ 14.73 และ 1.97 N·sec ตามลำดับ และจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า การเพิ่มกลิ่นกะทิสั่งเคราะห์และน้ำตาลทำให้ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นกะทิ และความหวานเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของสภาวะฆ่าเชื้อ (F_0) ต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก พบว่า การเพิ่มระดับ F_0 มีผลทำให้ค่าความคงตัว คำนีของความหนืด ค่าความสว่าง คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกะทิ และคะแนนความชอบด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่า ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่ใช้ F_0 5 นาที ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุด ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.2)

การตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่พัฒนาได้ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 65.17 โปรตีนร้อยละ 5.25 ไขมันร้อยละ 10.05 เส้นใยหยาบร้อยละ 0.38 เถ้าร้อยละ 1.91 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.24 และจากการวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้พบว่ามีปริมาณ 14.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Mesophilic flat sour, Thermophilic flat sour, Sulfide spoilage, Mesophilic anaerobes และ Thermophilic anaerobes

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 96 คิดสินใจซื้อร้อยละ 80 และผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (6.8) กลิ่น (7.1) รสชาติ (7.3) รสหวาน (7.2) ความหนืดโดยรวม (7.0) และความชอบรวม (7.3) อยู่ในระดับชอบปานกลาง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ \text{C}$) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก ปริมาณกรดที่ได้จากการไทเทรต ค่า pH และค่าสี (ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง) ของผลิตภัณฑ์ทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีผลทำให้ค่าความคงตัวและค่านีของความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 15.34-21.22 และ 2.23-3.35 N-sec ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รสชาติ รสหวาน และกลิ่นรสกะทิไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่มีผลทำให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความหนืดและความชอบรวมมีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง และพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนาสูตรโดยการเพิ่มส่วนผสมอื่น เช่น ผลไม้บางชนิด สาเก ข้าวโพด เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้านอื่นให้กับผลิตภัณฑ์



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ แจ่มชัด. 2550. **ขนมไทย: เอกลักษณ์และคุณภาพ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีแปง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม. 2553. **อาหารไทยเป็นอย่างไร**. แหล่งที่มา: http://www.culture.go.th/thai/index.php?option=com_content&view=article&id=546:2010-02-13-08-58-52&catid=37:articles&Itemid=354, 16 มีนาคม 2554.

โครงการพิพิธภัณฑอาหารไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. ม.ป.ป. **อาหารหวานทำจากเมล็ดข้าวสาร**. ข้าว: **วิถีไทย**. แหล่งที่มา: http://www.suandusitcuisine.com/food4/central/rice_food03.php, 16 มีนาคม 2554.

เกร์อวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2540. **คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด**. ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ สำนักงานเลขาธิการกรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2531. **คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง**, น. 94-95. ใน เอกสาร **ประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมการปรับปรุงคุณภาพข้าว สำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี**. ณ อาคารศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2552. **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9 สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิราภรณ์ เชาวลิขิตสุขุมวาสิ. 2544. **ไคติน-ไคโตแซนสารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ**. แลปทูเคย์.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

ชนิษฐา วงศ์บาสก์. 2553. การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยรัตน์ เพชรชลาณวัฒน์, ประนอม มงคลบรรจง, ถือชัย อารยะรังสฤษฎ์, งามชื่น คงเสรี, วิชัย หิรัญยูปกรณ์. 2543. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารจำนวน 8 พันธุ์. ว.วิชาการเกษตร. 18(2): 164-169.

ทวี คุปต์กาญจนากุล. 2544. ความรู้เรื่องข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. ความรู้เรื่องข้าว. กรมวิชาการเกษตร, ปทุมธานี.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 504 น.

ประภาศรี เทพรักษา. 2547. การผลิตอาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน, น. 5-24. ใน สถาบันอาหาร, บรรณาธิการ. หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน. หจก. ธารณ์ภัทรสิน, กรุงเทพฯ.

ปิยะพร พิธิษฐ์กุล และศุภวัฒน์ ธิยา. 2548. การพัฒนาข้าวเหนียวมูนพร้อมบริโภค. โครงการวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2542. ข้าวเหนียวเปียก. แหล่งที่มา <http://rirs3.royin.go.th/new-search/word-25-search.asp>, 9 เมษายน 2555.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, ศรีณย์ วรรณจักริยา, ศิริ ภูพงษ์วัฒนา และ เดชรัตน์ สุขกำเนิด. 2537. รายงานการวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ที่มีอนาคต. บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์ ขวดี ชัยสุริยะพันธ์ และ การุณย์ สุทธิพัฒน์. 2553. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเปียกข้าวโพดหุงสุกเร็วเสริมแคลเซียม. ว. วิทย. กษ. 41(3/1) (พิเศษ):313-316.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2553. **ปัญหาการค้าข้าวตกต่ำ...ต้องแก้โจทย์ทั้งระยะสั้นและระยะยาว**. แหล่งที่มา:

[http://www.kasikornresearch.com/th/k-econ analysis/pages/ViewSummary.aspx?docid=25070#](http://www.kasikornresearch.com/th/k-econ%20analysis/pages/ViewSummary.aspx?docid=25070#), 29 สิงหาคม 2554.

สุวดี จันทร์กระจ่าง. 2542. **สารโคตินและโคโตแซน ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและการประยุกต์ใช้ประโยชน์**. รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารโคตินและโคโตแซนแบบครบวงจร. ณ โรงแรมไอเฟิล จังหวัดระนอง. 2-3 เมษายน 2542. น. 28-59.

สุวรรณ สุกิมารส. 2543. **เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2550. **ข้าวกล้องงอก**. แหล่งที่มา: http://www.nia.or.th/innolinks/index_200701.htm, 14 มีนาคม 2554.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2531. **อาหารกระป๋อง**. มอก. 335-2531.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. **มาตรฐานข้าวหอมไทย**. มกอช. 4001-2551.

สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว. 2550. **ข้าวเหนียว: อนาคต การผลิต และการค้า**. แหล่งที่มา: http://www.riceproduct.org/index.php?option=com_content&task=view&id=68Itemid=2, 23 กรกฎาคม 2554.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. **สรีรวิทยาเมล็ดข้าว**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรรณภา อีหาญ. 2548. **การวิจัยทดลองยุทธศาสตร์การถนอมข้าวเหนียวมูนโดยวิธีการพาสเจอร์ไรซ์น้ำกะทิและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำของร้าน พ. ไพลิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

วิไล รัตตาทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.
กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ จิรนนทกุล. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวมูนบรรจุกระป๋อง.
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วุฒิชัย นาครักษา. 2539. การศึกษากระบวนการแปรรูปโดยความร้อนของข้าวสำเร็จรูปบรรจุ
กระป๋อง. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ปีที่ 28 ฉบับที่ 28 (ก.ค.-ธ.ค.
2539); 243-258.

ศูนย์พานิชยกรรมแฟรงค์เฟิร์ต. 2536. อาหารประเภท Ready-to-Eat. ผู้ส่งออก. 6 (133): 31-37.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ.

A.A.C.C. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th
ed., Washington DC. U.S.A.: American Association of Cereal Chemists Press, St. Paul,
MN.

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis**. 18th ed., The Association of Official Analytical
Chemists Arlington, Virginia.

Akiyama, T., H. Kalco and N. Shibuya. 1998. A cell wall-bond beta-glucosidase from
germination rice: purification and properties. **Phytochemistry**. 48(1): 49-54.

Anonymous. 2009. **GABA**. Available Source: <http://www.biopsychiatry.com/gaba/index.html>,
March 16, 2011.

Aurand, L.W. and A.E. Woods. 1973. **Food Chemistry**. The AVI Publishing Company, Inc.,
Weatport, Connecticut.

Ball, C.O. and F.C.W. Olson. 1957. **Sterilization in Food Technology Theory, Practice and Calculation**. McGraw-Hill, New York.

BAM. 2001. Bacteriological Analytical Manual (BAM). Available Source:
<http://www.fda.gov/default.htm>, January 15, 2010.

Banchuen, J., P. Thammarutwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal. 2010. Increasing the bio-active compounds contents by optimizing the germination conditions of southern Thai brown rice. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 32(3): 219-230.

Baum, G., Y. Chen, T. Arazi, H. Takatsuji and H. Fromm. 1993. A plant glutamate decarboxylase containing calmodulin binding domain: cloning, sequence and functional analysis. **Journal of Biology Chemistry**. 268: 19610-19617.

Benjakul, S., W. Visessanguan, S. Phatchrat and M. Tanaka. 2003. Chitosan affects transglutaminase-induced surimi gelation. **J. Food Biochem.** 27: 53-66.

Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorghum starch properties. **Cereal Chemistry**. 78(4): 417-420.

Bokura, H. and S. Kobayash. 2003. Chitosan decreases total cholesterol in women: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. **European Journal of Clinical Nutrition**. 57: 721-725.

Boonlertnirun, S., C. Boonraung and R. Suvanasara. 2008. Application of chitosan in rice production. **Journal of Metals**. 18(2): 47-52.

Bor, M., B. Seckin, R. Ozgar, O. Yilmaz, F. Ozdemir and L. Turkan. 2009. Comparative effects of drought, salt, heavy metal and heat stresses on gamma-aminobutyric acid levels of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta Physiology Plant**. 31: 655-659.

- Brandtzaeg, B., N.G. Malleshi and U. Svanberg. 1981. Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake with special reference to the feeding of preschool children (III). **Tropical Pediatrics**. 27: 184–189.
- Cauvain, S.P. 2006. **Baked products: Science, Technology and Practice**. Blackwell Publishing, UK.
- Charoenthaikij, P., K. Jangchud, A. Jangchud, K. Piyachomkwan, P. Tungtrakul and W. Prinyawiwatkul. 2009. Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. **Journal of Food Science**. 9(74): c658-c665.
- _____, _____, _____, W. Prinyawiwatkul and P. Tungtrakul. 2010. Germination conditions affect selected quality of composite wheat-germinated brown rice flour and bread formulations. **Journal of Food Science**. 6(75): c312-c318.
- Cho, M.H., H.K. No and W. Prinyawiwatkul. 2008. Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. **J Food Sci**. 73(1): S70-7.
- Cohen, S.A. and D. P. Michaud. 1993. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6 aminoquinolyl-*N*-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high- performance liquid chromatography. **Anal. Biochem**. 211:279-287.
- Crawford, L., A. W. Bown, K. E. Breitkreuz and F. C. Guinel. 1994. The synthesis of γ -amino butyric acid in response to treatments reducing cytosolic pH. **Plant Physiol**. 104: 865-871.
- Damodaran, S. 1996. Amino acids, peptides, and protein, pp. 321-429. *In* O.R. Fennema, ed. **Food Chemistry**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Dzung, N. A., V. T. P. Khanh and T. T. Dzung. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee.

Carbohydrate Polymers. 84: 751-755.

Erlander, M. G. and Tobin, A. J. 1991. The structural and functional heterogeneity of glutamic acid decarboxylase: a review. **Neurochem. Res.** 16: 215-216.

Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology: Principle and Practice.** 2nd ed. CRC Press, New York.

Ferrel, R.E., E.B. Kester and J.W. Pence. 1960. Use of emulsifiers and emulsified oils to reduce cohesion in canned white rice. **Food Tech.** 14(2): 102-105.

George, R.W. and S.F. Milton. 1983. **The Maillard Reaction in Food and Nutrition.** ACS Symposium press, USA.

Gerdes, D.L. and E.E. Burns. 1982. Techniques for canning instant parboiled rice. **J. Food Sci.** 47: 1734-1735.

Hisakatsu, S. 2001. **Method for producing healthy liquor, healthy food or functional food by germinating brown rice.** Japanese Patent 2001231501.

Holdsworth, S.D. 1997. **Thermal Processing of Packaged Foods.** Blackies Academic & Professional, London.

Hutchison, M. 1995. Laboratory Services, pp. 223-238. In R.J. Footitt and A. S. Lewis, eds. **The Canning of Fish and Meat.** Chapman & Hall, New York.

Ito, S., and Y. Ishikawa. 2004. **Marketing of Value-Added Rice Product in Japan: Germinated Brown Rice and Rice Bread.** Tottori University, Japan.

- Jenning, P.R., Coffmen, W.R. and Kauffman, H.E. 1979. **Rice improvement**. International Rice Research Institute: Philippine. 186p.
- Juliano, B.O. 1985. Rice: Chemistry and Technology. Second edition. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, Minnesota. 470p.
- Kautter, D.A., W.L. Landry, A.H. Schwab and G. Lancette. 1992. A examination of canned foods. *In* **Food and Drug Administration: Bacteriological Analytical Manual**. 7th. A.O.A.C. International. Arlington, Virginia.
- Kayahara, H. and K. Tsukahara. 2000. Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice. **International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii 2000**.
- Khan, W., B. Prithiviraj and D. L. Smith. 2003. Chitosan and chitin oligomers increase Phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities in soybean leaves. **Journal of Plant Physiology**. 160: 859-863.
- Kneen, E. and A.D. Dickson. 1967. Malt and Marketing. *In* **Encyclopedia of chemical Technology**. 12: 861-886.
- Komatsuzaki, N., K., tsukahara, H., toyoshima, T., suzuki, N., shimizu and T., kimura. 2007. Soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **J. of Food Engineering**. 78: 556-560.
- Kotler, P. 1997. **Marketing management: Analysis, planning, implementation and control**, 9th ed. Prentice-Hall, Inc., New jersey.
- Lai, H.M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pre-gelatinized rice flour. **Food Chemistry**. 72: 455-463.

Larousse, J. and B.E. Brown. 1997. **Food Canning Technology**. Wiley-VHC, New York.

Lawless, H.T. 1998. **Sensory evaluation of food: Principles and Practices**. Chapman & Hall, Inc., New York. 819p.

Lawson, H. 1994. **Food Oils and Fats: Technology**. Chapman & Hall, New York.

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

Lui, L. L, H. Q. Zhai and J. M. Wan. 2005. Accumulation of gamma-aminobutyric acid in giant-embryo rice grain in relation to glutamate decarboxylase activity and its gene expression during water soaking. **Cereal Chemistry**. 82:191-196.

Manyam, B., V., Katz, L., Hare, T., A.K. Kanifefski and R., D. Tremblay. 1981. Isoniazid-induced elevation of cerebrospinal fluid (CSF) GABA levels and effects on chorea in Huntington's disease. **Annals of Neurology**. 10: 35-37.

Mazzucotelli, E., A. Tartari, L. Cattivelli and G. Forlani. 2006. Metabolism of γ -aminobutyric acid during cold acclimation and freezing and its relationship to frost tolerance in barley and wheat. **Journal of Experimental Botany**. 57: 3755-3766.

Miao, M., T. Zhang and B. Jiang. 2009. Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. **Food Chemistry**. 113: 1025-1032.

Mitchell, J.H. and A.S. Henrick. 1996. Rancidity in foods products, pp. 560. *In* W.O. Lundberg, ed. **Autooxidation and Autoxidant**. Intersciences Publisher, New York, USA.

Miura, D., Y. Ito, A. Mizukuchi, H. Aoto and K. Yagasaki. 2006. Hypocholesterolemic action of pre-germinated brown rice in hepatoma-bearing rats. **Life Sciences**. 79: 259-264.

- Motonobu, K., R. Kosei, and S. Shinji. 2004. **Method for producing germinated brown rice tea containing large amount of gamma-aminobutyric acid**. Japanese Patent 2004194580.
- Murata, T., T. Akazawa, and S. Fuikuchi. 1968. Enzymic mechanism of starch breakdown in germinating rice seeds. I. An analytical study. **Plant Physiology**. 43: 1899-1905.
- Narkrugs, W. and M. Saeleaw. 2009. Retrogradation of canned rice during storage. **KMITL Sci. Tech. J.** 99(1): 1-8.
- Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for the Series 4: Rapid Visco Analyser**. Warri, New South Wales. 93p.
- Nirmala, M., S. Rao, and G. Muralikrishna. 2000. Carbohydrated and their degrading enzymes from native and malted finger millet (Ragi, Eleusine coracana, Indaf-15). **Food Chemistry**. 69: 175-180.
- Nonogaki, H., G.W. Bassel and J.D. Bewley. 2010. Germination-still a mystery. **Plant Science** (Article in Press).
- Obrietan, K. and A.V.D. Pol. 1995. GABA neurotransmission in the hypothalamus: developmental reversal from Ca^{2+} elevating to depressing. **J. of Neuroscience**. 15: 5065-5077.
- 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., K. Suzuki, Y. Yasui and T. Kasumi. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown by a twin-screw extruder. **Journal of Food Composition and Analysis**. 18: 303-316.

- Ohto, M.A., K.N. Kito and K. Nakamura. 1992. Induction of expression of genes coding for sporamin and beta-amylase by polygalacturonic acid in leaf-petiole cuttings of sweet potato. **Plant Physiol.** 99: 422-427.
- Takashi Okazaki, T., S. Yamauchi, T. Yoneda and K. Suzuki. Effect of combination of heating and pressurization on browning reaction of glucose glycine solution and white sauce. **Food Sci. Technol. Res.** 7(4): 285–289.
- Palmiano, E.P. and B.O. Juliano. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. **Plant Physiol.** 49: 751-756.
- Pathirana, R.A., K. Sivayohasundaram and P.M. Jaytissa. 1983. Optimization of conditions for malting of sorghum. **Food Sci.** 20: 108-111.
- Pearson, A. M. and T. R. Dutson. 1997. **Production and Processing of Healthy Meat, Poultry and Fish Products.** Chapman & Hall, London.
- Pflug, I.J., P.M. Davidson and R.G. Holcomb. 1981. Incidence of Canned Food Spoilage at the Retail Level. **J. Food Prot.** 44: 682-685.
- Phudtal, P. 2007. Effect of fat replacer and sweetener on qualities of coconut milk ice cream. Faculty of Agro-Industry, Kasetsart univ., Bangkok. (in Thai) *Cited* D.K. Salunkhe, R.N.A. Chavan and S.S. Kadam. 1992. **World Oil seeds: Chemistry, Technology and Utilization.** Van Nostrand, New York.
- Pigott, G.M. and B.W. Tucker. 1990. **Seafood: Effects of Technology on Nutrition.** New York Press., New York.
- Rhodes, D. 2009. **GABA accumulation under anaerobic stress.** Metabolic Plant Physiology. Available Source: <http://www.hort.purdue.edu/rhodcv/hort640c/aminotr/am00009.htm>, April 4, 2012.

- Rutledge, J.E., M.N. Islam and W.H. James. 1974. Improved canning stability of parboiled rice through cross-linking. **Cereal Chem.** 51(1): 46-51.
- Sa, P.F.G., M. James, Jr. Treubi, R.B. Pyllis and J.A. Dain. 2001. The use of capillary electrophoresis to monitor maillard reaction products (MRP) by glyceraldehyde and the epsilon amino group of lysine. **Food Chem.** 72: 379-384.
- Saikusa, T., T. Horino and Y. Mori. 1994. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural Food Chemistry.** 42: 1112-1126.
- Saman, P., J.A. Vazquez and S.S. Pandiella. 2008. Controlled germination to enhance the functional properties of rice. **Process Biochemistry.** 43: 1377-1382.
- Sapers, G.M. 1993. Browning of Foods: Control by Sulfites, Antioxidants, an Other Means. **Food Technol.** 47:75-84.
- Seow, C.C. and C.N. Gwee. 1997. Coconut milk: chemistry and technology. **Int. J. Food Sci. Technol.** 32: 189-201.
- Shahidi, F., J. Kamil, V. Arachi and Y.J. Jeon. 1999. Food applications of chitin and chitosan. **Trends in Food Sci. and Tech.** 10: 37-51.
- Shallenberger, R.S. 1974. **Browning Reaction, Non-enzymatic. In Encyclopedia of Food Technology.** The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Shelp, B.J., A.W. Bown and M.D McLean. 1999. Metabolism and functions of gamma-amino butyric acid. **Trends in Plant Sci.** 4: 446-452.
- Shih, F., J. King, K. Daigle, H.-J. An. And R. Ali. 2007. Physicochemical properties of rice starch modified by hydrothermal treatment. **Cereal Chem.** 84(5): 527-531.

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 Markets, Italy.

Sikorski, Z.E. 1990. **Seafood : Resources, Nutritional Composition and Preservation**. CRC Press, Florida.

Simuang, J., N. Chiewchan and A. Tansakul. 2004. Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. **Journal of Food Engineering**. 64: 193-197.

Somogyi, S. and N. Nelson. 1952. A photometric adaptation of somogyi and method for the determination of cellulose. **Biological Chemistry**. 153(1).

Sripathy, N.V., B.R. Baliga and B.L. Labiry. 1960. A note on the canning of rice. **Ind. Food. Packer**. 14(9): 11.

Stumbo, C.R. 1973. **Thermobacteriology in Food Processing**. 2nd ed. Academic Press, New York.

Syamsir, E., M. T. Suhartono and S. Valentina. 2009. Effect of time-temperature schedules and amylose content of rice on color and texture of rice-based emergency canned food, pp. 391-398. *In international Seminar Current Issues and Challenges in Food Safety*. IPB International Convention Center, Bogor, Indonesia.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant Physiology**. 3rd ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, USA. 690p.

Terumi, T. 2000. **Cereal cake and manufacturing method**. United State Patent 6060098.

Tian, Z., H.Y. Jun and J. Kun. 2004. Effect of chitosan on seed germination and seedling growth of maize. **Jilin Agricultural Sciences**. 513: 1003-8701.

- Tian, B., B. Xie, J. Shi, J. Wu, Y. Cai, T. Xu, S. Xue and Q. Deng. 2010. Physiochemical changes of oat seeds during germination. **Food Chemistry**. 119: 1195-1200.
- U.S. Food and Drug Administration. 1997. **Low Acid Canned Foods**. FDA State Training Branch: Course Manual, Maryland.
- Vandeputte, G. E., R. Vermeulen, J. Geeroms and J.A. Delcour. 2003. Rice starches III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. **Journal of Cereal Science**. 38: 61-68.
- Varayanond, W., P. Tungtrakul and V. Surojanametakul, 2005. Effects of water soaking on γ -aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. **Kasetsart Journal (National Science)**. 39: 411-415.
- Waisundara, V. Y., C. O. Perera and P. J. Barlow. 2007. Effect of different pre-treatments of fresh coconut kernels on some of the quality attributes of the coconut milk extracted. **Food Chemistry**. 101: 771-777.
- Watanabe, M, T. Maeda, K. Tsukahara, H. Kayahara and N. Morita. 2004. Application of pre-germinated brown rice for bread making. **Cereal Chemistry**. 4(81): 450-455.
- Watcharaparpaiboon, W., N. Laohakunjit and O. Kerdchoechuen. 2010. An improved process for high quality and nutrition of brown rice production. **Food Science and Technology International**. 16: 147-158.
- Williams, J. F. 1970. **Genotype and environmental effects on the relationship between alpha-amylase activity and seedling growth in rice**. Master's thesis, University of California.
- Wootthichai, N. and M. Saeleaw. 2009. The retrogradation of canned rice during storage. **KMITL Sci. Tech. J.** 9: 1-8.

Wu, F., N. Yang, H. Chen, Z. Jin and X. Xu. 2011. Effect of germination on flavor volatiles of cooked brown rice. **Cereal Chemistry**. 88: 497-503.

Yan-fang, R., H. Jun-yu and W. Xiao-feng. Changes in activities of three enzymes degrading galactomannan during and following rice seed germination. **Rice Sci**. 14(4): 295- 301.

Yusof, N., R. A. A. Ramli and F. Ali. 2007. Chemical, sensory and microbiological changes of gamma irradiated coconut cream powder. **Radiation Physics and Chemistry**. 76: 1882-1884.

Zhang, H., H. Yao and F. Chen. 2006. Accumulation of gamma-amino butyric acid in rice germ using protease. **Bio sci**. 70: 1160-1165.





1. การทดสอบการงอกของเมล็ด โดยวิธีของจวงจันท์ (2529)

1.1 จำนวนเมล็ดข้าวที่ใช้: ใช้เมล็ดข้าวอย่างน้อย 400 เมล็ด ที่ได้จากการสุ่ม จากนั้นแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆละ 100 เมล็ด ในกรณีที่เมล็ดข้าวมีปริมาณน้อยให้ลดลงเหลือเพียง 200 หรือ 100 เมล็ด โดยแบ่งเป็น 4 ซ้ำๆละ 50 เมล็ด และ 25 เมล็ด ตามลำดับ เมล็ดข้าวที่สุ่มมาทดสอบต้องนับมาโดยยุติธรรม โดยไม่คำนึงขนาด รูปร่าง น้ำหนัก โรคหรือแมลงที่ติดมากับเมล็ด

1.3 วิธีการเตรียม: นำเมล็ดข้าวกล่อมล้างน้ำ แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:5 (w/v) จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water, DI)

1.4 วิธีการงอก: คัดเลือกเมล็ดที่ไม่แตกหักจำนวน 100 เมล็ด มาใส่ใน plate ที่มีกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 5 มิลลิลิตร อยู่ด้านใน แล้วใช้กระดาษทิชชูปิดเมล็ดข้าวอีกชั้น แล้วเติมน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำ 4 ซ้ำ จากนั้นนำไปงอกในตู้บ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 เมื่อครบเวลาที่กำหนดเติมน้ำปราศจากไอออนลงบนเมล็ดข้าวจำนวน 5 มิลลิลิตร จากนั้นงอกต่อเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วจึงนับจำนวนเมล็ดข้าวที่มีการงอกปกติ

1.5 การวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ: รายงานจำนวนเมล็ดที่งอกปกติเทียบกับจำนวนเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดในแต่ละซ้ำ จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ย แล้วรายงานผลเป็นร้อยละของเมล็ดที่งอกปกติ

2. การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Somogyi and Nelson (1952)

2.1 การเตรียมสารเคมี

Alkaline Copper Reagent: ชั่งสารต่อไปนี้ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 71 กรัม, NaK Tartrate 40 กรัม, NaOH 4 กรัม และ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8 กรัม ละลายสารในน้ำกลั่นประมาณ 700 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเริ่มให้ความร้อนเมื่อเติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จนละลายหมดแล้วจึงเติม Na_2SO_4 180 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง 24-48 ชั่วโมง แล้วนำมากรองตะกอนออกก่อนใช้

Nelson Reagent: ชั่งสารต่อไปนี้ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 53.2 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 21 มิลลิลิตร และ $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 6 กรัม ละลายสารตามลำดับในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง 24-48 ชั่วโมง นำมากรองตะกอนออกก่อนใช้

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.02 แล้วเจือจางให้มีความเข้มข้นต่างๆ

2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1) ปิเปตสารละลายน้ำตาลกลูโคสลงในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Alkaline Copper Reagent 1 มิลลิลิตร ผสมกัน นำไปต้มในอ่างน้ำเดือด 15 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็น

2) เติมสารละลาย Nelson Reagent 1 มิลลิลิตร ผสมกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

3) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณน้ำตาล กลูโคสมาตรฐาน (กราฟมาตรฐาน)

4) สำหรับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยใช้สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรแทนสารละลายกลูโคส 1 มิลลิลิตร โดยปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างต้องอยู่ในช่วงที่วิเคราะห์ได้ ถ้าตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาลสูงต้องเจือจางให้อยู่ในช่วงที่จะวิเคราะห์ได้ และหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3. การวัดค่าเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี **Backward extrusion** โดยดัดแปลงจากวิธีของ Leelayuthsoontorn and Thipayarat (2006)

3.1 เปิดเครื่อง Texture analyser (TA.XT Plus) ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง จากนั้นเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์รัน โปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่า คือ Texture experiment

3.2 Calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน แล้วต่ออุปกรณ์และหัววัดเข้ากับเครื่อง Texture analyser

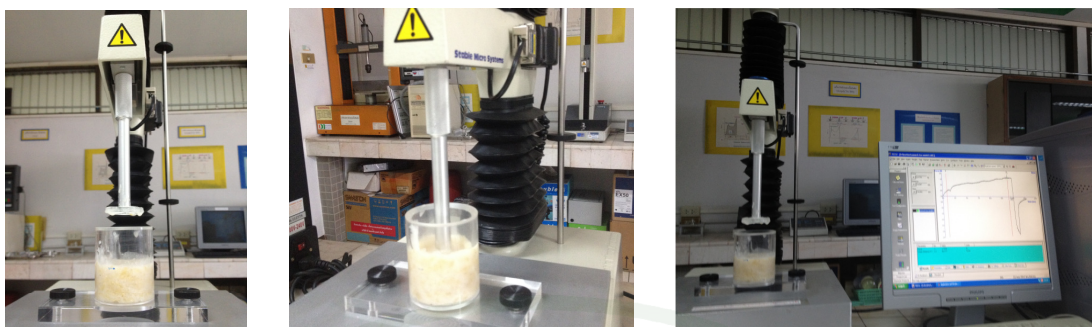
3.3 เลือก Menu T.A. เพื่อกำหนดค่าของหัววัด ได้แก่ return disc เท่ากับ 80 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และ contact force เท่ากับ 10 กรัม

3.4 เลือก Menu T.A. อีกครั้งเพื่อกำหนดค่าที่ใช้ในการวัด ได้แก่ การตั้งโหมดการวัดเป็น compression ให้มี target mode เป็น distance ที่มีค่า 15 มิลลิเมตร เลือก trigger type เป็น Auto โดยให้มีค่า 5 กรัม แล้วกด update project

3.5 ตั้งชื่อข้อมูลที่ต้องการวัดค่า โดยเลือก Menu T.A. กด run a test ใส่ชื่อ File ID เป็นชื่อสิ่งทดลองที่ต้องการวัดค่า และ File number เป็นจำนวนซ้ำการวัด จากนั้นกด Auto save พร้อมระบุตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการบันทึกโดยเลือก brown

3.6 เลือก Probe selection เป็น backward extrusion 40 mm. แล้วเลือก Parameter เป็น strain หรือ product height โดยกำหนดเป็น 30 มิลลิเมตร หรือตามที่ใช้จริงแล้วกด use ตรงตำแหน่งที่เลือก จากนั้นกำหนด Data acquisition ตรง Acquisition rate เป็น 400 pps. หรืออื่นๆ

3.7 ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัดลงในกระบอกสำหรับวัดค่า จากนั้นกด Run a test เพื่อเริ่มการวัด จากนั้นบันทึกค่าที่ต้องการ เช่น ค่าความคงตัว ดัชนีของความหนืด



ภาพผนวกที่ ก1 การวัดค่าเนื้อสัมผัสข้าวเหนียวเปียกด้วยวิธี Backward extrusion

4. การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (A.A.C., 2000)

1. เปิดเครื่อง RVA ไว้ 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง แล้วเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์รัน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิและเวลา (Profile) คือ Idle Temperature 30 °C
2. ตั้งค่าการวัด ได้แก่ ใช้ 50 °C @ 1.0 min, 95 °C @ 4.8 min, 95 °C @ 7.3 min, 50 °C @ 11.1 min และ End of test ที่นาทีที่ 12.5 min
3. ตวงน้ำ 25.0 ± 0.1 มิลลิลิตร (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 12) ใส่ลงในแคน แล้วชั่งตัวอย่างแป้งมา 3.00 กรัม (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 12) แล้วถ่ายลงแคน
4. ใส่พาน (Paddle) ลงในแคน ขยับพายขึ้นลงแรงๆ เพื่อคนให้แป้งและน้ำผสมรวมกัน
5. วางพายไว้ในแคนแล้วใส่ลงในเครื่อง RVA จากนั้นทำการทดสอบ
6. จากการทดสอบจะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งสามารถหาค่าของ Pasting Temperature, Peak Viscosity, Trough Strength, Final Viscosity และ Setback from trough



แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale และคะแนนความพอดี (Just-about-right - JAR) เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างข้าวเหนียวกลิ้งงอกและน้ำที่ใช้หุงต่อคุณภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง และการปรับปรุงสูตรข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ตัวอย่าง: ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

คำแนะนำ: กรุณาทำการทดสอบตัวอย่าง โดยให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างตามคำอธิบายคะแนนความชอบ

สเกลความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 6 = ชอบเล็กน้อย
 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คะแนนความพอดี 1 = ความเข้มข้นเกินไป 2 = ความเข้มพอดี 3 = ความเข้มข้นมากเกินไป

คุณลักษณะ	รหัส.....		รหัส.....		รหัส.....	
	ความชอบ	ความพอดี	ความชอบ	ความพอดี	ความชอบ	ความพอดี
ลักษณะปรากฏ						
กลิ่นกะทิ						
รสหวาน						
รสเค็ม						
ความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์						
ความนุ่มของเมตต์ข้าว						
ความชอบรวม						

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale และคะแนนความพอดี (Just-about-right - JAR) เพื่อศึกษาสภาวะฆ่าเชื้อ (F_0) ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ตัวอย่าง: ข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

คำแนะนำ: กรุณาทำการทดสอบตัวอย่าง โดยให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างตามคำอธิบายคะแนนความชอบ

คะแนนความชอบ

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คะแนนความพอดี 1 = ความเข้มข้นเกินไป 2 = ความเข้มพอดี 3 = ความเข้มข้นมากเกินไป

คุณลักษณะ	รหัส.....		รหัส.....		รหัส.....	
	ความชอบ	ความพอดี	ความชอบ	ความพอดี	ความชอบ	ความพอดี
ลักษณะปรากฏ						
กลิ่นรสกะทิ						
รสหวาน						
รสเค็ม						
ความหนืดโดยรวม ของผลิตภัณฑ์						
ความนุ่มของ เมล็ดข้าว						
ความชอบรวม						

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค

ชุดที่

--	--	--

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการวิจัยเพื่อทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องการพัฒนาข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยนายพศินพงษ์ โสวะพันธ์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้วิจัยขอความกรุณา และความร่วมมือจากท่านในการทดสอบผลิตภัณฑ์และตอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

คำอธิบายข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกหรือ GABA ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบประสาทและสมอง โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่สะอาด ปลอดภัย เหมาะสำหรับผู้บริโภคทั่วไปที่ใส่ใจสุขภาพ และต้องการความสะดวกในการบริโภค

นายพศินพงษ์ โสวะพันธ์
ผู้ทำการวิจัย

คำแนะนำ กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม และตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนของเจ้าหน้าที่

1. เพศ

A1 ☐

☐ ชาย

☐ หญิง

2. อายุ

A2 ☐

☐ 16-25 ปี

☐ 26-35 ปี

☐ 36-45 ปี

☐ มากกว่า 45 ปี ขึ้นไป

3. ระดับการศึกษาที่ได้รับ

A3 ☐

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ ปริญญาตรี

☐ สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

A4 ☐

☐ นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา

☐ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ

☐ ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว

☐ พนักงานบริษัทเอกชน/รับจ้าง

☐ แม่บ้าน

☐ อื่นๆ (ระบุ.....)

5. รายได้ต่อเดือน

A5 ☐

☐ น้อยกว่า 5,000 บาท

☐ 5,000-10,000 บาท

☐ 10,001-15,000 บาท

☐ 15,001-20,000 บาท

☐ 20,001-25,000 บาท

☐ มากกว่า 25,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอก

คำชี้แจง: กรุณาทดสอบตัวอย่างข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอก แล้วให้คะแนนความชอบ โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน โดยมีสเกลความชอบจาก “ไม่ชอบตัวอย่างมากที่สุด” ถึง “ชอบตัวอย่างมากที่สุด”

คุณลักษณะ	ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
กลิ่น	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
รส	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
รสชาติโดยรวม	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
รสหวาน	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ความหนืด	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ความชอบรวม	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

1. ท่านยอมรับข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอกนี้หรือไม่

☐ ยอมรับ เพราะ.....

☐ ไม่ยอมรับ เพราะ.....

2. ถ้ามีข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลี้งงอกจำหน่าย ท่านจะซื้อหรือไม่

☐ ซื้อ เพราะ.....

☐ ไม่ซื้อ เพราะ.....

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือ



ตารางผนวกที่ 1 คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก
ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

คุณภาพทางเคมี	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์) ^{ns}			
	0	2	4	6
กรดไทโอบาร์บิทริก (มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ ต่อ กิโลกรัมตัวอย่าง)	0.13 (0.02)	0.13 (0.01)	0.13 (0.01)	0.13 (0.01)
กรดที่ได้จากการไทเทรต (กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)
ค่า pH	5.59 (0.06)	5.67 (0.03)	5.63 (0.08)	5.69 (0.02)

หมายเหตุ ^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ตารางผนวกที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกลิ้งงอก
ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

คุณภาพทางกายภาพ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์) ^{ns}			
	0	2	4	6
ค่าความคงตัว (Nsec)	15.45 (1.10) ^c	15.34 (1.64) ^c	18.65 (2.42) ^b	21.22 (2.04) ^a
ค่าดัชนีของความหนืด (Nsec)	2.29 (0.14) ^c	2.23 (0.26) ^c	2.76 (0.71) ^b	3.35 (0.35) ^a
ค่าความสว่าง (L*) ^{ns}	68.39 (0.53)	68.10 (0.62)	67.86 (0.40)	67.84 (0.36)
ค่าสีแดง (a*) ^{ns}	2.39 (0.06)	2.38 (0.09)	2.55 (0.08)	2.56 (0.21)
ค่าสีเหลือง (b*) ^{ns}	17.88 (0.59)	17.65 (0.13)	17.72 (0.21)	17.47 (0.51)

หมายเหตุ ^{a-c} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ตารางผนวกที่ 3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้างงอก
ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

คุณภาพทางจุลินทรีย์	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์) ^{ns}	
	0	6
ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	ไม่พบ *	ไม่พบ *
ปริมาณเชื้อยีสต์และรา	ไม่พบ *	ไม่พบ *

หมายเหตุ ^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

* คือ ไม่พบที่ระดับการเจือจาง (dilution) ที่ 10^{-1}



ภาคผนวก จ
การคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อของข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง
จากข้าวเหนียวกลั่นงอก

การคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (F_0) โดยวิธีของ Ball and Olson (1957)

การคำนวณ F_0 5 นาที

- 1) อุณหภูมิฆ่าเชื้อ คือ $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, ค่า $z = 7.08$ (*B. stearothermophilus*) และ $D_{250} = 4\text{-}5$ นาที
- 2) อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง คือ $57.86\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3) Come up time 45 นาที Process time 21 นาที และ Cooling time 22 นาที $\sum F_0 = 5.4951$
- 4) การคำนวณ

$$F_0 = (L_{n-1} + L_n)/2 \times dt$$
เมื่อ dt คือ ช่วงเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_n = 1/\text{TDT} \text{ และ } \text{TDT} = 10^{(121.1 - \text{sample temp.})/z}$$

ตารางผนวกที่ จ1 การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ได้เท่ากับ 5 นาที

time (min.)	sample ($^{\circ}\text{C}$)	(121.1-Core Temp.)/7.08	TDT	lethal rate (L_n)	F_0	$\sum F_0$
1	57.86	8.9322	855467254	0.0000	0.0000	0.0000
10	74.13	6.6342	4307059	0.0000	0.0000	0.0000
20	98.17	3.2387	1733	0.0006	0.0005	0.0010
30	109.64	1.6186	42	0.0241	0.0214	0.0798
40	113.80	1.0311	11	0.0931	0.0896	0.6412
44	114.59	0.9195	8	0.1204	0.1168	1.0760
45	114.96	0.8672	7	0.1358	0.1281	1.2040
46	114.95	0.8686	7	0.1353	0.1355	1.3396
47	115.14	0.8418	7	0.1439	0.1396	1.4792
60	116.59	0.6370	4	0.2307	0.2213	3.8919
65	116.58	0.6384	4	0.2299	0.2322	5.0458
66	116.71	0.6201	4	0.2399	0.2349	5.2807
67	113.39	1.0890	12	0.0815	0.1607	5.4414
75	74.19	6.6257	4223828	0.0000	0.0000	5.4951
88	40.07	11.3559	226951053669	0.0000	0.0000	5.4951

การคำนวณ F_0 8 นาที

- 1) อุณหภูมิมาเชื้อ คือ 115°C , ค่า $z = 7.08$ (*B. stearothermophilus*) และ $D_{250} = 4-5$ นาที
- 2) อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง คือ 69.26°C
- 3) Come up time 48 นาที Process time 38 นาที และ Cooling time 32 นาที $\sum F_0 = 8.75$
- 4) การคำนวณ

$F_0 = (L_{n-1} + L_n)/2 \times dt$ เมื่อ dt คือ ช่วงเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการคำนวณ

$L_n = 1/\text{TDT}$ และ $\text{TDT} = 10^{(121.1 - \text{sample temp.})/z}$

ตารางผนวกที่ ๒ การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ได้เท่ากับ 8 นาที

time (min.)	sample ($^{\circ}\text{C}$)	(121.1-Core Temp.)/7.08	TDT	lethal rate (L_n)	F_0	$\sum F_0$
1.00	69.26	7.32	20991037.20	0.00	0.00	0.00
10.00	84.40	5.18	152621.54	0.00	0.00	0.00
20.00	102.18	2.67	470.24	0.00	0.00	0.00
30.00	110.63	1.48	30.12	0.03	0.03	0.15
40.00	113.68	1.05	11.17	0.09	0.08	0.71
45.00	114.61	0.92	8.25	0.12	0.12	1.23
47.00	114.82	0.89	7.71	0.13	0.13	1.49
48.00	114.97	0.87	7.34	0.14	0.13	1.62
49.00	115.03	0.86	7.20	0.14	0.14	1.76
50.00	115.24	0.83	6.72	0.15	0.14	1.91
60.00	115.77	0.75	5.66	0.18	0.18	3.52
70.00	116.54	0.64	4.41	0.23	0.22	5.51
80.00	116.64	0.63	4.27	0.23	0.24	7.79
86.00	115.45	0.80	6.28	0.16	0.20	8.47
87.00	114.59	0.92	8.31	0.12	0.14	8.61
100.00	66.14	7.76	57904439.81	0.00	0.00	8.75
118.00	40.10	11.44	275853161762.92	0.00	0.00	8.75

การคำนวณ F_0 11 นาที

- 1) อุณหภูมิฆ่าเชื้อ คือ $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, ค่า $z = 7.08$ (*B. stearothermophilus*) และ $D_{250} = 4-5$ นาที
- 2) อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง คือ $56.89\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3) Come up time 45 นาที Process time 51 นาที และ Cooling time 32 นาที $\sum F_0 = 10.97$
- 4) การคำนวณ

$F_0 = (L_{n-1} + L_n)/2 \times dt$ เมื่อ dt คือ ช่วงเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการคำนวณ

$L_n = 1/\text{TDT}$ และ $\text{TDT} = 10^{(121.1 - \text{sample temp.})/z}$

ตารางผนวกที่ 3 การคำนวณค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ได้เท่ากับ 11 นาที

time (min.)	sample ($^{\circ}\text{C}$)	(121.1-Core Temp.)/7.08	TDT	lethal rate (L_n)	F_0	$\sum F_0$
1.00	56.89	9.07	1172759715.73	0.00	0.00	0.00
10.00	97.71	3.30	2012.21	0.00	0.00	0.00
20.00	106.97	2.00	99.03	0.01	0.01	0.03
30.00	112.45	1.22	16.66	0.06	0.06	0.34
40.00	114.16	0.98	9.55	0.10	0.10	1.15
43.00	114.94	0.87	7.41	0.13	0.12	1.50
44.00	114.68	0.91	8.07	0.12	0.13	1.63
45.00	115.83	0.74	5.55	0.18	0.15	1.78
55.00	115.22	0.83	6.77	0.15	0.15	3.37
65.00	115.79	0.75	5.62	0.18	0.17	4.96
75.00	115.66	0.77	5.87	0.17	0.17	6.66
85.00	115.68	0.77	5.83	0.17	0.18	8.45
95.00	115.87	0.74	5.48	0.18	0.18	10.30
96.00	115.82	0.75	5.57	0.18	0.18	10.49
97.00	114.22	0.97	9.37	0.11	0.14	10.63
110.00	68.71	7.40	25102531.12	0.00	0.00	10.97
128.00	40.10	11.44	275853161762.92	0.00	0.00	10.97



ภาคผนวก จ

การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋อง
จากข้าวเหนียวกลั่นงอก

การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอก

1. การคำนวณต้นทุนการผลิตข้าวเหนียวกล้องงอก

- ข้าวเปลือก กข 6 ปริมาณ 1 กิโลกรัม ราคา 20 บาท ให้ข้าวเหนียวกล้อง 0.67 กิโลกรัม
 ดังนั้นข้าวเหนียวกล้อง 1 กิโลกรัม ได้จากข้าวเปลือก $(1 \times 1) / 0.67 = 1.4925$ กิโลกรัม คิดเป็นเงิน
 $1.4925 \times 20 = 29.85$ บาท

- ข้าวเหนียวกล้อง 1 กิโลกรัม ใช้ผลิตข้าวเหนียวกล้องงอกได้ 0.85 กิโลกรัม ดังนั้นข้าว
 เหนียวกล้องงอก 1 กิโลกรัม ใช้ข้าวเหนียวกล้อง $(1 \times 1) / 0.85 = 1.1765$ กิโลกรัม คิดเป็นเงิน
 $1.1765 \times 29.85 = 35.1185$ บาท

- การผลิตข้าวเหนียวกล้องงอก 1 กิโลกรัม ใช้สารละลายแช่ 55,000 มิลลิลิตร

- สารละลายแช่ 55,000 มิลลิลิตร เตรียมจากซดริกโมโนไฮเดรต 237.05 กรัม
 โซเดียมซิเตรทแอนไฮดรัส 477.07 กรัม และน้ำกรองประมาณ 54,285.88 มิลลิลิตร

- ซดริกโมโนไฮเดรต 1000 กรัม ราคา 75 บาท
 ดังนั้นซดริกโมโนไฮเดรต 237.05 กรัม ราคา $(237.05 \times 75) / 1000 = 17.7788$ บาท

- โซเดียมซิเตรทแอนไฮดรัส 1000 กรัม ราคา 100 บาท
 ดังนั้นโซเดียมซิเตรทแอนไฮดรัส 477.07 กรัม ราคา $(477.07 \times 100) / 1000 = 47.7070$ บาท

- น้ำกรอง 1000 มิลลิลิตร ราคา 1 บาท
 ดังนั้นน้ำกรอง 54,285.88 มิลลิลิตร ราคา $(54,285.88 \times 1) / 1000 = 54.2859$ บาท

ดังนั้นต้นทุนการผลิตข้าวเหนียวกล้องงอก 1 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน $17.7788 + 47.7070 +$
 $54.2859 + 35.1185 = 155.0658$ บาท

2. การคำนวณต้นทุนข้าวเหนียวกล้องงอกสุกและน้ำกะทิ

ในการผลิตข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล้องงอกแต่ละครั้งได้เตรียม น้ำกะทิสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 43 กระป๋อง ซึ่งมีส่วนผสม ได้แก่ น้ำ 1,635.44 กรัม กะทิ 1,568.60 กรัม น้ำตาล 851.82 กรัม เกลือ 34.10 กรัม กลิ่นกะทิสังเคราะห์ 3.41 กรัม โดยคำนวณต้นทุนได้ดังต่อไปนี้

2.1 ต้นทุนข้าวเหนียวกล้องงอกสุก

- ข้าวเหนียวกล้องงอก 600 กรัม และน้ำ 1200 กรัม เมื่อนำไปหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า 1 ชั่วโมง ได้ข้าวเหนียวกล้องงอกสุก 1,560 กรัม

- ข้าวเหนียวกล้องงอก 1 กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิต 155.0658 บาท ดังนั้นข้าวเหนียวกล้องงอก 600 กรัม หรือ 0.6 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน $0.6 * 155.0658 = 93.0395$ บาท

- น้ำ 1200 กรัม หรือ 1200 มิลลิลิตร คิดเป็นเงิน 1.2 บาท

- ข้าวเหนียวกล้องงอกสุก 1,560 กรัม จึงมีต้นทุนการผลิต $93.0395 + 1.2 = 94.2395$ บาท ดังนั้นข้าวเหนียวกล้องงอกสุก 62 กรัม คิดเป็นเงิน $(62 * 94.2395) / 1,560 = 3.7454$ บาท

2.2 ต้นทุนน้ำกะทิ

- น้ำ 1 กิโลกรัม ราคา 1 บาท ดังนั้นน้ำ 1,635.44 กรัม หรือ 1.6354 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 1.6354 บาท

- กะทิ 250 มิลลิลิตรหนัก 239.5535 กรัม ราคา 22 บาท ดังนั้นกะทิ 1,568.60 กรัม คิดเป็นเงิน $(1,568.60 * 22) / 239.5535 = 144.0563$ บาท

- น้ำตาล 1 กิโลกรัม ราคา 23.50 บาท ดังนั้นน้ำตาล 851.82 กรัม หรือ 0.8518 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน $0.8518 * 23.50 = 20.0173$ บาท

- เปลือก 120 กรัม ราคา 7 บาท ดังนั้นเปลือก 34.10 กรัม คิดเป็นเงิน $(34.10 * 7) / 120 = 1.9892$ บาท

- กลิ่นกะทิสังเคราะห์ 27 กรัม ราคา 20 บาท ดังนั้นกลิ่นกะทิสังเคราะห์ 3.41 กรัม คิดเป็นเงิน $(3.41 * 20) / 27 = 2.5259$ บาท

- รวมต้นทุนน้ำกะทิได้เท่ากับ $1.6354 + 144.0563 + 20.0173 + 1.9892 + 2.5259 = 170.2241$ บาท ดังนั้นผลิตภัณฑ์ 1 กระป๋อง มีต้นทุนน้ำกะทิเท่ากับ $170.2241 / 43 = 3.9587$ บาท

3. ต้นทุนกระป๋อง โดยตัวกระป๋องราคาใบละ 1.87 บาท และฝากระป๋อง 1 ชิ้นราคา 1.83 บาท ดังนั้นกระป๋องและฝาราคา $1.87 + 1.83 = 3.7$ บาท

ดังนั้นข้าวเหนียวเปียกบรรจุกระป๋องจากข้าวเหนียวกล็องงอก 1 กระป๋อง น้ำหนักสุทธิ 155 กรัม มีต้นทุนการผลิตโดยคิดเฉพาะวัตถุดิบที่ใช้คิดเป็นเงิน $3.7454 + 3.9587 + 3.7 = 11.4041$ บาท

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพศินพงษ์ โสวะพันธ์ (ชื่อเดิม จักรพงษ์ โสวะพันธ์)
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 มีนาคม 2529
สถานที่เกิด	อำเภอหนองสูงศรี กาฬสินธุ์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหาร) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ผลงานทางวิชาการ	โสธยา เกิดพิบูลย์ จักรพงษ์ โสวะพันธ์ ประกาย ผิวทอง และ อรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิตกุล, 2554. ผลของ อิมัลซิไฟเออร์และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติ เชิงกายภาพของฟักทองสเปรด. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 19: 32-40. จักรพงษ์ โสวะพันธ์ กมลวรรณ แจ่มชัด และพัชรีย์ ตั้งตระกูล. ผลของสภาพการงอกต่อ สมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้ง ข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก. รายงาน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1) ทุนภูมิพล ประจำปี 2550 2) ทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชา ประจำปีการศึกษา 2553 3) ทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2555