



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

Development of Steamed Snack from Germinated Glutinous Brown Rice Flour
with Mung Bean - Strawberry Paste Filling

นามผู้วิจัย นางสาวชนิษฐา วงศ์บาสก์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก
ไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

Development of Steamed Snack from Germinated Glutinous Brown Rice Flour
with Mung Bean - Strawberry Paste Filling

โดย

นางสาวชนิษฐา วงศ์บาสก์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

ชนิษฐา วงศ์บาสก์ 2553: การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่ว
กวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph.D. 142 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน ให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากการจัดตั้งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 3 ระดับ (0, 0.5 และ 1 mM ในน้ำจืดไอออน (DI)) และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว 5 ระดับ (12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง) ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยมีข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม พบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ GABA และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ทำให้ความหนืดสูงสุด และการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกลดลง จากการศึกษพบว่า สภาพการงอกที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง คือ แป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 0.5 mM เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณ GABA 16.10 มิลลิกรัมใน 100 กรัม จากการจัดตั้งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด เพื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ (100:0, 80:20 และ 60:40) และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 3 ระดับ (100:105, 100:90 และ 100:75) ที่มีต่อคุณภาพแป้งของผลิตภัณฑ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำและแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงและการเกาะติดผิวเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบและวิเคราะห์โดยใช้วิธี Response Surface Methodology (RSM) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและแป้งผสมต่อน้ำ เหมาะสมอยู่ในช่วง 60:40-64:36 และ 100:91-100:102 ตามลำดับ การพัฒนาไส้สตรอเบอร์รี่กวนโดยจัดตั้งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x2 ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณแป้งคัสตาร์ด 3 ระดับ (ร้อยละ 0, 3 และ 6) และปริมาณแป้งสาลี 2 ระดับ (ร้อยละ 5 และ 10) พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งคัสตาร์ดและแป้งสาลีทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสตรอเบอร์รี่กวนที่เหมาะสมมีปริมาณแป้งคัสตาร์ดร้อยละ 3 และปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 5 พบว่า อัตราส่วนระหว่างสตรอเบอร์รี่กวนและถั่วกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 3:7 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความแข็งแรง 2.32 นิวตัน และมีค่า a_w ของแป้งและไส้ผสมเท่ากับ 0.98 และ 0.91 ตามลำดับ และจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 96 ยอมรับผลิตภัณฑ์

Chanidda Wongbasg 2010: Development of Steamed Snack from Germinated Glutinous Brown Rice Flour with Mung Bean-Strawberry Paste Filling. 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. 142 pages.

The objective of this study was to develop steamed snack product from germinated glutinous brown rice (GGBR) flour with mung bean and strawberry paste filling to be acceptable to consumers. The experiment was conducted by 3x5 factorial arrangement in Completely Randomized Design (CRD) to study the effects of calcium chloride (CaCl_2) concentrations (0, 0.5 and 1 mM in deionized water (DI)) and steeping times (12, 24, 36, 48 and 60 h) on the physical and chemical properties of germinated glutinous brown rice. The non-GGBR served as control. The result showed that GABA content and *alpha*-amylase activity of GGBR significantly increased ($p \leq 0.05$) and peak viscosity and setback from trough considerably decreased when steeping time increased. The GGBR steeped in 0.5mM CaCl_2 for 36 hr was the optimal condition for steamed snack. The 3X3 full factorial arrangement in CRD was used to study the effect of ratios of GGBR and tapioca starch (100:0, 80:20 and 60:40) and ratios of mixed flour and water (100:0, 80:20 and 60:40) on properties of glutinous rice dough. The result showed that hardness significantly decreased and adhesiveness significantly increased ($p \leq 0.05$) with increasing of GGBR flour and water content. From sensory evaluation by 9-point hedonic scale and using Response Surface Methodology (RSM), the result showed that the optimal ratio of GGBR and tapioca starch was in range of 60:40-65:35 and the ratio of mixed flour and water was in range 100:91-100:102. The 3X2 full factorial arrangement in CRD was used to develop strawberry paste filling. Three levels of modified starch (0, 3 and 6%) and two levels of wheat flour (5 and 10%) were studied. The result showed that the increase in modified starch and wheat flour caused the increase in hardness ($p \leq 0.05$). The optimal strawberry paste formulation contained 3% modified starch and 5% wheat flour gave the optimal strawberry paste filling formulation. The optimal ratio of strawberry and mung bean paste for filling was 3:7. Hardness of final product was 2.32 N. The a_w of glutinous rice dough and mixed paste filling was 0.98 and 0.91, respectively. Consumer acceptance test showed that 96% of consumer accepted the developed product

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กมลวรรณ แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร. อนุวัตร แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาคพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ และอบรมสั่งสอนในเรื่องต่าง ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์และให้ความสะดวกในด้านต่าง ๆ และขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยทำแลปร่วมกันจนสำเร็จลุล่วงได้ดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวและญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุน ในด้านการศึกษาตลอดมา

ชนิษฐา วงศ์वासัก
พฤษภาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	98
สรุป	98
ข้อเสนอแนะ	100
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101
ภาคผนวก	113
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย	114
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี	126
ภาคผนวก ค การคำนวณต้นทุนการผลิตอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียว กลี้งอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน	135
ภาคผนวก ง การคำนวณปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งและ ร้อยละการสูญเสีย	138
ภาคผนวก จ การศึกษาเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหาร ว่างประเภทหนึ่ง	140
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	142

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างกระบวนการงอก	17
2 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของสภาวะในการงอกของธัญชาติต่อปริมาณ GABA	19
3 คุณสมบัติของสารอาหารต่างๆที่พบในข้าวกล้องงอก	22
4 สารอาหารบางชนิดที่ใน ข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก	23
5 สิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนระหว่างของแป้งผสมต่อน้ำแตกต่างกัน	44
6 สิ่งทดลองของไส้สตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งคัดแปรและแป้งสาลีแตกต่างกัน	48
7 คุณภาพการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกจากข้าวเหนียวกล้องที่แชในสารละลายและระยะเวลาแตกต่างกัน	54
8 ปริมาณ (โดยน้ำหนักแห้ง) ความชื้น โปรตีน GABA กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาเอมิเลส และน้ำตาลรีดิวซ์ ของแป้งข้าวเหนียวเหนียวกล้องงอกที่แชในสารละลายและระยะเวลาแตกต่างกัน	61
9 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคจากการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการในการบริโภคอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก	64
10 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง	66
11 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก	68
12 ค่าคุณภาพของแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกที่แชในสารละลาย CaCl_2 0.5 mM เป็นเวลา 36 ชั่วโมง	71
13 คุณภาพทางกายภาพของส่วนแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก	74
14 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส่วนแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก	75
15 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส่วนแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำแตกต่างกัน	76
16 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านสีและค่า a_w ของไส้สตรอเบอร์รี่กวน	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
17 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของไส้สตรอเบอร์รี่กวน	85
18 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของสตรอเบอร์รี่กวนที่ใช้ปริมาณแป้งสาลีและแป้งคัดแปรต่างกัน	86
19 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอก ที่มีอัตราส่วนระหว่างถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนต่างกัน	87
20 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มือัตราส่วนระหว่างถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนต่างกัน	89
21 จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อปริมาณไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวน	90
22 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาแล้ว	91
23 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้และโคฟูเกุทางการค้าไส้ถั่วกวน	93
24 คุณภาพทางเคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง จากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้	94
25 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนด้วยวิธี CLT	
26 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาแล้วของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายด้วยวิธี CLT	97
27 การตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้บริโภค	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1 สูตรแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง	136
ค2 สูตรสตรอเบอร์รี่กวน	136
ค3 สูตรถั่วกวน	137
จ1 ค่าความแข็ง (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้าง งอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (เจือจางที่ ระดับ 10^{-4})	141

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเจริญเติบโตของข้าว	12
2 โครงสร้างทางเคมีของ GABA	16
3 กระบวนการสังเคราะห์ GABA	17
4 กรรมวิธีการทำอาหารว่างประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวน	46
5 กระบวนการทำสตรอร์รี่กวน	48
6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกที่แช่ใน DI เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง	56
7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5mM เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง	56
8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 1mM เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง	57
9 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกและปริมาณน้ำ	77
10 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกและปริมาณน้ำ	78
11 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกและปริมาณน้ำ	79
12 แผนภาพคอนทัวร์ของปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลัองงอกและน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง	80
13 สตรอร์รี่กวนที่มีปริมาณ (ร้อยละ) แป้งสาลีและแป้งคัดแปรแตกต่างกัน (ก) แป้งสาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 0, (ข) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 0, (ค) แป้งสาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 3, (ง) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 3, (จ) แป้งสาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 6, (ฉ) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 6	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
14 ผลิตรัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนของไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนแตกต่างกัน (ก) 9:1, (ข) 8:2, (ค) 7:3 และ (ง) 6:4	89
15 ผลิตรัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้	94

การพัฒนาอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองงอก ไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

Development of Steamed Snack from Germinated Glutinous Brown Rice Flour with Mung Bean - Strawberry Paste Filling

คำนำ

ข้าวกลัองงอก (germinated brown rice, GBR) คือ ข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายภายใต้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม มีคุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวกลัองธรรมดา และกำลังเป็นที่นิยมอย่างสูงในประเทศแถบเอเชีย เช่น เกาหลีใต้และญี่ปุ่น โดยในประเทศไทยเริ่มเป็นที่นิยมอย่างสูงตั้งแต่ปี 2550 (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2550) มีรายงานการวิจัยว่าระหว่างกระบวนการงอกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ด ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส มีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตมีขนาดโมเลกุลเล็กลง (Palmiano and Juliano, 1972) นอกจากนี้ยังมีการสะสมของสารอาหารต่างๆ โดยสารอาหารที่สำคัญ คือ กรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก (gamma aminobutyric acid) ที่เกิดจากการย่อยสลายกรดกลูตามิกโดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase) (Ohtsubo *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง ช่วยรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาท และช่วยควบคุมความดันโลหิต เป็นต้น (Oh, 2003, Komatsuzaki *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังพบสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่นๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูกและฟัน เป็นต้น (Shoichi, 2004) ดังนั้น การนำแป้งข้าวกลัองงอกซึ่งผลิตจากข้าวกลัองงอกมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างจึงมีความน่าสนใจและเป็นการเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารให้กับอาหารว่างและเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ข้าวไทย

อาหารว่างประเภทหนึ่งเป็นอาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีความนิยมจากผู้บริโภค ได้แก่ คุกกี้ ขนมเทียน ขนมขง เป็นต้น สามารถรับประทานเป็นอาหารระหว่างมื้อที่มีเนื้อสัมผัสเหนียว นุ่ม และยืดหยุ่น โดยผลิตภัณฑ์มีแป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นอาหารว่างประเภทหนึ่งบางชนิดยังประกอบด้วยไส้ชนิดต่างๆอยู่ภายใน เช่น ถั่วกวน เนื้อมะพร้าวกวน เป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจึงสามารถทำได้ทั้งส่วนแป้งด้านนอกและส่วนไส้จากการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับผลิตภัณฑ์โดยประยุกต์ใช้แป้งข้าวเหนียวกลัองงอกซึ่งมีคุณค่า

ทางอาหารสูงทดแทนแป้งข้าวเหนียว และการพัฒนาไส้ของผลิตภัณฑ์โดยใช้ทั้งถั่วที่มีโปรตีนสูง และผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิต เพื่อเป็นการพัฒนา ผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์รูปแบบและรสชาติใหม่และมีคุณค่าทางอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการบริโภคของผู้บริโภคในปัจจุบันที่มีความหลากหลาย ต้องการความแปลกใหม่และใส่ใจต่อสุขภาพ

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ไส้ถั่วกวนและสตอเบอรี่กวน เพื่อเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากข้าวเหนียวกลึง เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของประเทศไทย และเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร นอกจากนั้นยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่มีความใหม่ เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่และความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าวเหนียวกลี้งอก
2. ศึกษาผลของส่วนผสมต่างๆต่อคุณภาพของส่วนแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่งซึ่งมีแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกเป็นส่วนผสมหลัก
3. ศึกษาผลของส่วนผสมต่างๆต่อคุณภาพไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอก
4. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้

การตรวจเอกสาร

1. ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าว

อาหารว่างตามความหมายจากพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525 หมายถึง ของว่าง เครื่องว่าง เป็นอาหารเบาๆที่แทรกกระหว่างมื้อ อมาราถณ์ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า อาหารว่าง หมายถึง อาหารระหว่างมื้อเป็นอาหารประเภทเบาๆ มีปริมาณอาหารน้อยกว่าอาหารประจำมื้อ หรืออาหารมื้อหลัก อาจเป็นอาหารน้ำหรืออาหารแห้ง มีทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ขึ้นเล็กน้อยพอดีคำ ปริมาณไม่มาก รับประทานง่าย เสริร์ฟคู่กับเครื่องดื่มได้ทั้งร้อนและเย็น เช่น ชา กาแฟ หรือน้ำผลไม้ เป็นต้น

อาหารว่างแบ่งตามการประกอบได้ 6 ประเภท ได้แก่ อาหารว่างประเภทกวน ประเภทนึ่ง ประเภทเชื่อม ประเภททอด ประเภทอบ และประเภทต้ม (กมลวรรณ, 2550) ขนมไฉฟูกุ (Daifuku) เป็นอาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นก้อนกลม เป็นที่นิยมรับประทานในประเทศญี่ปุ่น จีน ไต้หวัน และประเทศไทย ทำจากแป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก ผสมกับน้ำและน้ำตาล ทำให้สุกโดยการนึ่ง และมีไส้ที่มีรสชาติหวานซึ่งสูตรดั้งเดิมจะใช้ถั่วแดงกวน แต่ปัจจุบันมีการประยุกต์ให้ไส้ขนมไฉฟูกุมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น ไส้ไอศกรีม ไส้สตอเบอรี่รสดี เป็นต้น นิยมรับประทานกันในเทศกาล เช่น งานปีใหม่ และงานฉลองต่างๆ โดยจะมีการโรยแป้งข้าวโพดบางๆรอบขนมไฉฟูกุเพื่อป้องกันไม่ให้ขนมติดมือระหว่างการรับประทาน ปัจจุบันถือเป็นขนมชนิดหนึ่งที่นิยมผลิตในประเทศไทย ทั้งเพื่อบริโภคในประเทศและส่งออก โดยไฉฟูกุ 1 ชิ้นจะมีราคา 12-40 บาท (Anonymous, 2007)

โดยทั่วไปแล้วไฉฟูกุเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียว และมีความยืดหยุ่นเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ความเหนียวของไฉฟูกุเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สามารถประเมินโดยการวัดคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส Chuang and Yeh (2006) ทำการศึกษาคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโมจิญี่ปุ่นทางการค้าจำนวน 15 ยี่ห้อ ซึ่งขนมโมจิญี่ปุ่นทำจากแป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบหลักและมีเนื้อสัมผัสเหนียวยืดหยุ่น โดยจะทำการบรรจุโมจิญี่ปุ่นทันทีหลังจากซื้อด้วยถุงพีวีซี 2 ชั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และเพื่อป้องกันผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งจึงทำการวัดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณน้ำมีผลต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำสูงจะมีค่าความแข็งต่ำกว่า

ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำน้อย แต่เมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดผิว พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำสูงจะมีค่าดังกล่าวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำน้อย แต่ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่นๆ และกระบวนการผลิตร่วมด้วย

Okamoto *et al.* (2002) กล่าวว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินเป็นการเสื่อมเสียหลักของขนมไคฟูกุ เนื่องจากมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของขนมไคฟูกุมีความแข็งมากขึ้น โดยทำการศึกษาผลของโครงสร้างของแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกันต่อขนมที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบ โดยใช้แป้งข้าวเหนียวจากข้าวเหนียว 2 พันธุ์ ได้แก่ Kanto-mochi 172 (K-mochi) และ Tsukuba-hatamochi (T-mochi) พบว่า แป้ง M-mochi มีความยาวของสายโซ่ของแอมิโลเพกติน (amylopectin chain length) สั้นกว่าและมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันต่ำกว่าแป้ง T-mochi และเมื่อนำแป้งมาทำโมจิ พบว่า แป้งโมจิที่ทำจากแป้งข้าวเหนียวที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันต่ำกว่าจะใช้เวลาในการแข็งตัวหรือเกิดรีโทรเกรเดชันช้ากว่าแป้งโมจิที่ทำจากแป้งข้าวเหนียวที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันสูง

จากการสำรวจตลาดของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวในปัจจุบันนับว่าเป็นสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรที่มีความน่าสนใจ แม้ว่าตลาดในประเทศจะขยายตัวไม่มากนัก แต่การส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวนั้นมีแนวโน้มที่น่าสนใจ แม้ว่าในปัจจุบันมูลค่าการส่งออกยังไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรหลัก แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวก็นับเป็นสินค้าเกษตรแปรรูปที่สร้างมูลค่าเพิ่มในรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งยังเป็นสินค้าที่มีโอกาสในการขยายการส่งออกได้อีกมาก (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2549) ซึ่งจะพบว่าปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวมามากมาย พรวิณัส (2544) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ เพื่อลดปริมาณการใช้แป้งสาลีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศแล้วใช้แป้งข้าวทดแทน โดยพบว่า สามารถใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีได้ร้อยละ 30

ปัจจุบันตลาดญี่ปุ่นเป็นตลาดที่ใหญ่ที่สุดของขนมขบเคี้ยวจากข้าว โดยมีปริมาณความต้องการบริโภคประมาณปีละ 100,000 ตัน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณความต้องการทั้งหมด ซึ่งในจำนวนนี้เป็นการนำเข้าจากประเทศไทยประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณความต้องการทั้งหมด โดยขนมขบเคี้ยวจากข้าวมียอดจำหน่ายสูงมากในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม เนื่องจากเป็นช่วงเทศกาลที่จะต้องใช้น้ำมันประเภทนี้ และในช่วงต้นปีถือเป็นช่วงที่ยอดสั่งซื้อต่ำ แต่มีแนวโน้มว่าความต้องการนำเข้าเพิ่มมากขึ้น การผลิตในญี่ปุ่นซึ่งมี

ค่าจ้างแรงงานสูงมาก ประเทศญี่ปุ่นต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศและมีการลงทุนในต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่นักลงทุนชาวญี่ปุ่นนิยมลงทุนผลิตขนมประเภทนี้หลายราย ทั้งนี้นอกจากประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตข้าวเหนียวที่มีคุณภาพแล้ว ค่าแรงยังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับญี่ปุ่น ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวประมาณ 10 โรงงาน และมีกำลังการผลิตประมาณปีละ 14,800 ตัน โดยผู้ผลิตรายใหญ่เป็นบริษัทร่วมทุนกับญี่ปุ่น และมีกำลังการผลิตรวมกันคิดเป็นร้อยละ 20 ของตลาดขนมขบเคี้ยวจากข้าว (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2549)

2. ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก คือ ข้าวกล้องที่ถูกนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมทำให้เชื้อหุ้มนั้นงอกอ่อนตัวลง น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดได้มากขึ้น ทำให้ข้าวกล้องสามารถมีรากงอกออกมาได้ (Ohstubo *et al.*, 2005) ส่วน Watanabe (2004) กล่าวว่า ข้าวกล้องเริ่มงอก คือ ข้าวกล้องที่มีการงอกของรากจากบริเวณจมูกข้าว โดยรากที่งอกจะมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร โดยระหว่างที่ข้าวกล้องกำลังงอกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสารอาหารที่อยู่ในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าวแล้วกระตุ้นเอนไซม์ในเมล็ดข้าวให้ทำงาน ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไปเมล็ดข้าวจะเริ่มงอก (germinate) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการชีวเคมี ทำให้ได้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) เนื่องจากการกระตุ้นเมตาบอลิซึมของแป้งและน้ำตาล นอกจากนี้โปรตีนก็จะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโน และเปปไทด์ อีกทั้งยังมีการสะสมสารอื่นๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของสัตว์ เช่น สารแกมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma aminobutyric acid ,GABA), tocopherol, tocotrienol, gamma-oryzanol เป็นต้น (Ohstubo *et al.*, 2005)

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอก

การงอกของเมล็ดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญ โดยเริ่มจากการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดในสภาวะที่เหมาะสม โดยที่น้ำจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มลง เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว ทำให้ออกซิเจนสามารถเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ มีผลให้เมล็ดเกิดการหายใจ และเกิดกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆขึ้นภายใน โดยการที่เมล็ดจะงอกได้นั้น เมล็ดจะต้องมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 30-60 ของน้ำหนักแห้ง (Akiyama, 1998) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอก ได้แก่

2.1.1 อุณหภูมิ

โดยปกติเมล็ดข้าวสามารถงอกได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส โดยร้อยละของการงอกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เมล็ดข้าวจะไม่สามารถงอกได้ ในทำนองเดียวกันอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส การงอกของเมล็ดจะเริ่มลดลงจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียส เมล็ดข้าวจะไม่งอกหรืองอกน้อยมาก ยกเว้นพันธุ์ที่ทนต่ออากาศหนาวเย็นได้ (ทวี, 2544)

ศุภนุช และคณะ (2553) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอก โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิในการแช่ข้าว 2 ระดับ คือ 30 และ 40 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการแช่ข้าว 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 6 ชั่วโมง พบว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าการคืนตัว (setback) และ อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.1.2 ระยะเวลาในการแช่น้ำและการงอก

ระยะเวลาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอก เนื่องจากในกระบวนการงอก เมล็ดข้าวจะต้องแช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานจนกระทั่งเปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มจนน้ำและสารอื่นๆสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อเมล็ดได้ อีกทั้งระยะเวลาที่ยาวนานยังทำให้กระบวนการทางชีวเคมีต่างๆเกิดได้เพิ่มขึ้น เป็นผลให้สารต่างๆที่อยู่ภายในเมล็ดเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

Benjamasuttikul and Naivikul (2007) ทำการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวกล้องงอระหว่างการงอกของข้าวขาวมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6 ในช่วงเวลาการงอก 8-26 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกทั้ง 2 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงระยะเวลาการงอก 12-20 ชั่วโมง โดยในข้าวขาวมะลิ 105 พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด

ลดลง 2.5 เท่า และความหนืดสุดท้ายลดลง 2 เท่า สำหรับข้าวเหนียว กข6 พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดลดลง 5 เท่า และความหนืดสุดท้ายลดลง 4.4 เท่า

Charoenthaikij *et al.* (2009) ทำการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้องงอกต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวกล้องงอก พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ GABA และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความหนืดของแป้งลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแช่ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 ที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในน้ำจืดไอออน (deionized water, DI) มีปริมาณ GABA เท่ากับ 14.84 และ 6.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้งอกหรือแช่น้ำ 0 ชั่วโมงที่มี GABA 2.11 และ 2.41 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

ยุพกนิษฐ์ และวาสนา (2553) ทำการศึกษากาการผลิตข้าวกล้องหนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ พบว่า ปริมาณวิตามินบี 1 และ GABA ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่และการงอก โดยการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมงทำให้ข้าวกล้องงอกแบบมีเปลือกและแบบกะเทาะเปลือกมีปริมาณ GABA สูงสุด คือ 19.75 และ 22.83 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และวิตามินบี 1 เท่ากับ 1.005 และ 0.933 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

2.1.3 ค่าพีเอช (pH)

สภาวะในการงอกของเมล็ดข้าวที่มีค่าพีเอชแตกต่างกันมีผลให้การเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน โดยจากการศึกษาของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่ทำการศึกษาผลของค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้องงอกต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวกล้องงอก พบว่า เมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ GABA และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความหนืดของแป้งลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแช่ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในสารละลายพีเอช 3 และ 7 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 560.05 และ 15.48 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้งอกที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 14.98 กรัมต่อ

100 กรัมตัวอย่าง นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวกล้องแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในสารละลายพีเอช 3 และ 7 มีปริมาณ GABA เท่ากับ 32.70 และ 8.50 มิลลิกรัมกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

2.1.4 ออกซิเจน

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและจำเป็นต้องใช้พลังงาน จึงจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน ที่จำเป็นสำหรับการงอก โดยทั่วไปเมล็ดข้าวกล้องจะสามารถงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน ประมาณร้อยละ 20 แต่การงอกในระยะแรกเมล็ดอาจจะไม่ต้องการพลังงานจากออกซิเจน แต่สามารถใช้พลังงานจากกระบวนการหมักภายในเมล็ดได้ แต่ถ้าไม่มีออกซิเจนในระยะต่อมาเมล็ดก็จะไม่สามารถงอกได้

Komatsuzuki *et al.* (2007) ศึกษาผลของการแช่น้ำและวิธีการบ่มข้าวกล้องงอก ในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท อากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ต่อปริมาณ GABA ซึ่งการบ่มในกล่องพลาสติกเป็นการสร้างสภาวะขาดออกซิเจนให้แก่ระบบของการงอก โดยใช้ข้าวญี่ปุ่น 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Haiminori, Oou 359, Koshihikari, Yumetsukushi และ Nipponbare แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และบ่มในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 23.5, 23, 22, 21, 20 และ 19 ชั่วโมง พบว่า สภาวะขาดออกซิเจนทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA มากกว่าการแช่น้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ

2.1.5 สายพันธุ์

การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว เนื่องจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีส่วนประกอบภายในที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณ แอมิโลส แอมิโลทิน เป็นต้น Varanyond *et al.* (2005) ทำการศึกษาปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกจากข้าวไทย 6 สายพันธุ์ ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ 18.62 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง รองลงมาคือพันธุ์ปทุมธานี พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์พลาญงาม พันธุ์เหลืองประทิว 123 และ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยมีปริมาณ GABA เท่ากับ 15.46, 14.45, 11.69, 11.34, และ 10.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

Benjamasuttikul and Naivakul (2007) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวไทย 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข6 โดยทำการแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็น 3 และ 5 ชั่วโมง และบ่มในกล่องพลาสติก (ไม่แช่น้ำ) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8, 12, 16, 20, 22, 24 และ 26 ชั่วโมง พบว่า ที่สภาวะการงอกเดียวกันค่าความหนืดสูงสุดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ลดลง 2.5 เท่า และ 5 เท่า ตามลำดับ สำหรับความหนืดสุดท้ายลดลง 2 เท่า และ 4.4 เท่า ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุดเกิดจากการสลายตัวของสตาร์ชโดยเอนไซม์ เช่น แอลฟา-แอมิเลส และเบตา-แอมิเลส โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงกว่า

2.1.6 สารประกอบอื่นๆ

การเพิ่มสารประกอบบางชนิดในระหว่างกระบวนการงอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ด โดย Baum *et al.* (1993) รายงานว่า การเพิ่มแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase; GAD) การเพิ่มโลหะหนักและเกลือบางชนิดทำให้กระบวนการงอกช้าลง แต่ส่งผลให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น (Bor *et al.*, 2009)

Lui *et al.* (2005) ทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ไฮมิโนริ โดยทำการแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 0.5 mM และสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ (HgCl_2) 1 mM เป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 ชั่วโมง พบว่า การแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกัน สำหรับการแช่ข้าวในสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสถูกยับยั้งเกือบทั้งหมด

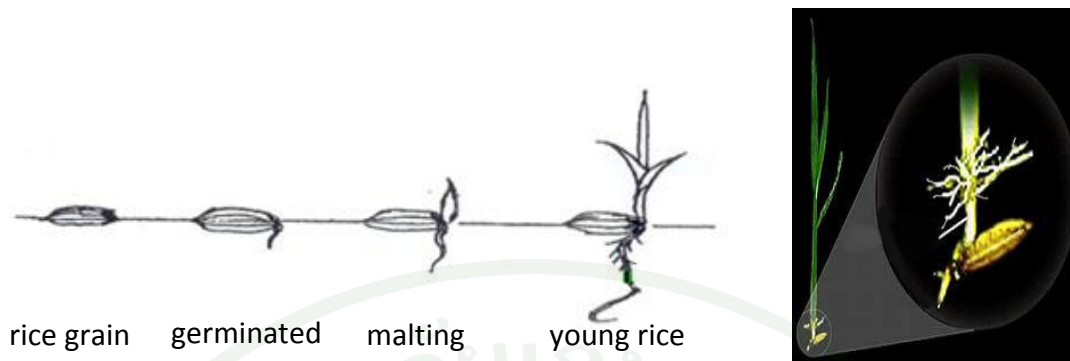
Bai *et al.* (2009) ทำการศึกษาผลของกรดกลูตามิก (glutamic acid, Glu) ไพริโดซอล-5-ฟอสเฟต (pyridoxal-5-phosphate, PLP) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ในสารละลายที่ใช้แช่ข้าวต่อกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส และ GABA ในระหว่างการงอกของเมล็ดข้าวฟ่าง โดยพบว่า ความเข้มข้นของ Glu, PLP และ CaCl_2 ที่เหมาะสมในการงอก

คือ 1.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, 50 μM และ 2.5 mM ตามลำดับ โดยจะพบ GABA เท่ากับ 42.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

Bor *et al.* (2009) ศึกษาการงอกและการสะสมของปริมาณ GABA ในเมล็ดงาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยปลูกเมล็ดงาในกระถางกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ที่บรรจุเพอร์ไลต์ รดน้ำเมล็ดงาด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 150 mM และซีลีเนียม (Se) $100 \mu\text{g g}^{-1}$ ทุกๆ 2 วัน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์เมื่อครบ 0, 7 และ 21 วัน พบว่า ความยาวของรากของเมล็ดงาที่รดด้วยสารละลาย NaCl และ Se น้อยกว่าที่รดด้วยน้ำ แต่ปริมาณ GABA สูงกว่าที่รดด้วยน้ำ โดยปริมาณ GABA ของเมล็ดงาที่รดด้วยสารละลาย Se สูงกว่าที่รดด้วยสารละลาย NaCl

2.2 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบต่างๆระหว่างกระบวนการงอก

การงอก หมายถึง ระยะตั้งแต่ข้าวเริ่มมีกระบวนการต่างๆเกิดขึ้นในเมล็ดไปจนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโต (Saikusa *et al.*, 1994) โดยในกระบวนการงอกจะมีการย่อยสลายสารอาหารต่างๆที่สะสมอยู่ในเมล็ดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการงอกมักจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการงอก ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ต่างๆภายในเมล็ดหลังจากได้รับความชื้นและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการงอก โดยเอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสารประกอบเชิงซ้อนบางชนิดที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีโครงสร้างอย่างง่าย (Yan-fang *et al.*, 2007; Nonogaki *et al.*, 2010)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา: จุไรทิพย์ (2549) และ Agrisnet (n.d.)

องค์ประกอบทางเคมีหลักที่มีในข้าว คือ คาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ในข้าวยังประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวจะแตกต่างกัน ทั้งนี้มีผลมาจากสายพันธุ์ และสภาวะการปลูก เช่น สภาพอากาศ สภาพดินที่ใช้ปลูก และปุ๋ยที่ใช้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าการนำข้าวกล้องไปแช่น้ำในช่วงระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม จนกระทั่งกลายเป็นข้าวกล้องงอกก็มีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลี่ยนแปลงไป (Ohstubo *et al.*, 2005; Miura *et al.*, 2006) โดยในระหว่างกระบวนการงอกมีการเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ ดังนี้

2.2.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเมล็ดส่วนใหญ่จะเป็นแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ในขณะที่เมล็ดงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยสลาย คาร์โบไฮเดรตได้เป็น เดกซ์ตรินและ โมโนแซคคาไรด์เพื่อส่งไปเลี้ยงบริเวณคัพภะของเมล็ด โดยเอนไซม์ที่พบว่ามีอิทธิพลต่อการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสและเบตา-แอมิเลส ซึ่งการเปลี่ยนรูปของคาร์โบไฮเดรตจะมีผลต่อความหนืดของแป้งเนื่องจากเดกซ์ตรินและโมโนแซคคาไรด์ไม่พองตัวในน้ำร้อน ทำให้อาหารที่ผลิตจากข้าวกล้องงอกมีความหนืดต่ำกว่าอาหารที่ผลิตจากข้าวธรรมดา (Pathirana *et al.*, 1983)

Palmiano *et al.* (1972) ทำการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการงอก พบว่า ปริมาณสตาร์ชของเมล็ดข้าวลดลงระหว่างการงอก ซึ่งเมื่อข้าวงอกในที่มืดปริมาณสตาร์ชลดลงอย่างรวดเร็วกว่าในที่สว่าง ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการย่อยสลายสตาร์ชในเมล็ดข้าว ข้าวโอ๊ต และถั่ว ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเฉพาะปริมาณกลูโคสมีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการงอก

Ohtsubo *et al.* (2005) ได้นำข้าวญี่ปุ่นสายพันธุ์ Koshihikari มาทำการเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาว ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ด้วยเครื่อง twin-screw extruder พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยพิจารณาจากปริมาณสตาร์ชในข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 72 ชั่วโมง (71.3 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) มีน้อยกว่าในข้าวกล้อง (74 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) และข้าวขาว (79.8 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ที่ทำการย่อยสตาร์ช

Tian *et al.* (2010) ทำการศึกษสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของเมล็ดข้าวโอ๊ตงอกที่ปลูกในประเทศจีน โดยทำการแช่ข้าวโอ๊ตในที่มืด อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวางให้เมล็ดงอกบนแผ่นเชลลูโลสในที่มืด อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 24, 48, 72, 96, 124 และ 144 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสตาร์ชในเมล็ดข้าวโอ๊ตลดลงเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มมากขึ้น โดยเมล็ดข้าวที่งอกเป็นเวลา 24 และ 144 ชั่วโมง มีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 52.89 และ 20.87 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

2.2.2 โปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนในเมล็ดพืชที่พบจะเป็นโปรตีนที่มีรูปร่าง (protein body) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-10 มิลลิเมตร เมื่อมีการงอกโปรตีนในใบเลี้ยงจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากถูกย่อยสลายไปเป็นกรดอะมิโน โดยกรดอะมิโนเหล่านี้จะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต จากนั้นจะมีการสังเคราะห์โปรตีนและสารประกอบในโตรเจนขึ้นมาใหม่อีกครั้ง (วันชัย, 2537)

โปรตีนส่วนใหญ่ในเมล็ดธัญพืชจะถูกสะสมไว้ในเมล็ด ในระหว่างการออกโปรตีนที่สะสมไว้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จากการศึกษาของ Palmiano *et al.* (1972) พบว่าปริมาณโปรตีน (crude protein) ของเมล็ดข้าวจะลดลงระหว่างการงอก โดยจะเริ่มลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 2 ของการงอก และในช่วงสัปดาห์แรกของการงอก พบว่า กรดอะมิโนอิสระมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเมล็ดข้าวที่งอกในที่มืดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าการงอกในที่สว่าง ทั้งนี้การลดลงของโปรตีนและการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนอิสระเนื่องมาจากปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่เพิ่มขึ้นระหว่างการงอก

จากการศึกษาของ Komatsuzuki *et al.* (2007) ที่นำข้าวญี่ปุ่น 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Haiminori, Oou 359, Koshihikari, Yumetsukushi และ Nipponbare มาศึกษากระบวนการทำข้าวกล้องงอกร่วมกับวิธีการบ่มในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิทอากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ พบว่าปริมาณกรดอะมิโนอิสระในข้าวกล้องงอกมีมากกว่าในข้าวกล้อง ยกเว้นกรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid) เซรีน (Serine) แอสพาราจีน (Asparagine) และ กรดกลูตามิก (Glutamic Acid) ที่จะพบในข้าวกล้องมากกว่า ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Ohtsubo *et al.* (2005)

Tian *et al.* (2010) ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของเมล็ดข้าวโอ๊ตงอกที่ปลูกในประเทศจีน โดยทำการแช่ข้าวโอ๊ตในที่มืด อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวางให้เมล็ดงอกบนแผ่นเชลลูโลสในที่มืด อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 24, 48, 72, 96, 124 และ 144 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโอ๊ตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 18.98 เป็นร้อยละ 22.02 ในระหว่างการงอก ส่วนปริมาณกรดอะมิโน พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการงอก ยกเว้นกรดแอสพาร์ติก เซรีน ไกลซีน (Glycine) และกรดกลูตามิก ที่พบว่ามีปริมาณลดลงระหว่างการงอก

2.2.3 เอนไซม์

เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล พบว่า เอนไซม์นี้มีอยู่ทั่วไปทั้งในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ การผลิตขนมปัง และการผลิตน้ำเชื่อมจากแป้ง เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล่านี้นิยมใช้เอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย และรา และเอนไซม์ที่ได้จากเมล็ดธัญพืชในระยะที่งอก (malt) บางชนิด

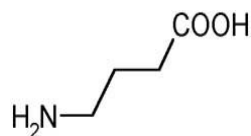
เนื่องจากขณะที่เมล็ดข้าวโพดจะมีเอนไซม์แอมิเลสเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (Kneen and Dickson, 1967) โดยในระหว่างกระบวนการงอกกิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้น โดย Murata *et al.* (1968) และ Williams (1970) รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสจะเพิ่มสูงสุดเมื่อเมล็ดข้าวโพดในที่มีคเป็นระยะเวลาประมาณ 10 วัน

จากการศึกษาของ Palmiano *et al.* (1972) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวโมเลกุลของเมล็ดข้าวพันธุ์ IR8 ในระหว่างกระบวนการงอกเป็นเวลา 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน พบว่า ในระหว่างการงอกกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสและเอนไซม์เบตา-แอมิเลสเพิ่มขึ้น โดยเอนไซม์เบตา-แอมิเลสจะมีมากกว่าเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และการงอกในที่มืดมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น

Agu (1997) ทำการเพาะข้าวฟ่าง โดยนำข้าวฟ่าง 200 กรัม มาเพาะด้วยวิธีการพ่นน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน วัดกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสและแอมิเลสทุก 24 ชั่วโมง พบว่า วันที่ 5 ของการงอก เมล็ดข้าวฟ่างมีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงที่สุดในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์แอมิเลส พบว่า สูงที่สุดในวันที่ 3 ของการงอก และลดลงในวันต่อมา Nirmala *et al.* (2000) นำเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ Indaf-15 มาเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์แอมิเลสมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-ดีกดูโคซิเดสสูงสุดที่ระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมง

2.2.4 สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid, GABA)

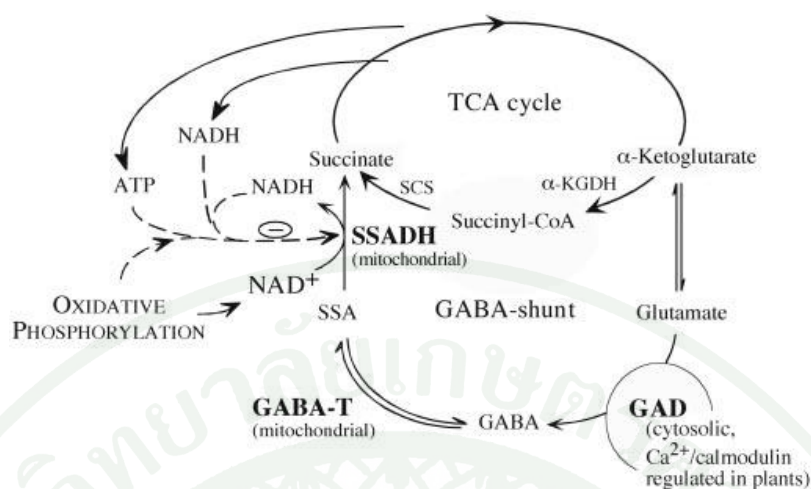
GABA เป็นกรดอะมิโนอิสระที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ทำหน้าที่ในระบบประสาทและไขสันหลังในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) อย่างละ 1 หมู่ต่ออยู่กับการ์บอนอะตอม ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ GABA

ที่มา: Anonymous (2009)

GABA เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยเอนไซม์เอนไซม์กลูตามาตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) (Komatsuzuki *et al.*, 2007) โดยมีกระบวนการสังเคราะห์ดังภาพที่ 3 สารนี้มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง (Zhang *et al.*, 2006) นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันไขมัน (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2550) ปริมาณ GABA จะเพิ่มขึ้นระหว่างที่เมล็ดข้าวกำลังงอก ตามระยะเวลาการแช่น้ำ (Ohtsubo *et al.*, 2005) ดังตารางที่ 1 นอกจากนั้นอัตราการเพิ่มของปริมาณ GABA ระหว่างการงอกยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว (Varanyanond *et al.*, 2005) สารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว (Oh, 2003) เช่น การแช่ข้าวในสารละลายที่มีแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรือโลหะหนักบางชนิด (Lui *et al.*, 2005; Bai *et al.*, 2009; Bor *et al.*, 2009) รวมทั้งสภาวะเครียด (stress condition) เช่น สภาวะที่เมล็ดพืชขาดออกซิเจนระหว่างกระบวนการงอก (Komatsuzuki *et al.*, 2007) สภาวะที่มีความเป็นกรดสูง (Charoenthaikij *et al.*, 2009) ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 กระบวนการสังเคราะห์ GABA

ที่มา: Bouche *et al.* (2009)

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างกระบวนการออก

ตัวอย่าง	ปริมาณ GABA (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)
ข้าวขาว	1.70(0.01)
ข้าวกล้อง	6.04(0.20)
ข้าวกล้องงอกหลังแช่ 24 ชั่วโมง	11.02(0.25)
ข้าวกล้องงอกหลังแช่ 48 ชั่วโมง	27.73(0.46)
ข้าวกล้องงอกหลังแช่ 72 ชั่วโมง	149.03(5.16)

ที่มา: Ohtsubo *et al.* (2005)

Oh (2003) ทำการศึกษาสถานะการแช่ข้าวในสารละลาย 5 ชนิด คือ (1) น้ำกลั่น (2) กรดแลกติกเข้มข้น 5 mM (3) สารละลายไคโตซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดแลกติกเข้มข้น 5 mM (4) กรดกลูตามิกเข้มข้น 5 mM และ (5) สารละลายไคโตซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกเข้มข้น 5 mM พบว่า ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในสารละลายชนิดต่างๆ มีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้องที่ไม่ได้แช่น้ำ และจะพบมากที่สุดในข้าวกล้องงอกที่แช่ใน

สารละลายโคโคซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดคลอตามิกเข้มข้น 5 mM โดยจะมีปริมาณ GABA สูงกว่าในข้าวกล้อง 13 เท่า เนื่องจากสารละลายดังกล่าวจะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาการสังเคราะห์ GABA

Ohtsubo *et al.* (2005) ทำการศึกษากระบวนการเพาะข้าวกล้องงอก โดยใช้ข้าวพันธุ์ *Koshihikari* แช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ โดยใช้ข้าวกล้องต่อน้ำในอัตราส่วน 1: 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยนำข้าวกล้อง 4 กิโลกรัมแช่ในน้ำกลั่น 120 ลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง หลังจากแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่น้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการแช่น้ำ 96 ชั่วโมงข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA สูงที่สุด (149.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) แต่เมล็ดข้าวกล้องงอกที่ได้มีลักษณะเปื่อยยุ่ย ไม่เหมาะสมในการนำไปผลิตขนมปัง จึงเลือกใช้ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมงแทน

Komatsuzuki *et al.* (2007) ศึกษาผลของการแช่น้ำและวิธีการบ่มข้าวกล้องงอกในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท อากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ต่อปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอกญี่ปุ่น 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Haiminori*, *Oou 359*, *Koshihikari*, *Yumetsukushi* และ *Nipponbare* พบว่าข้าวกล้องงอกพันธุ์ *Haiminori* มีปริมาณ GABA สูงที่สุด โดยข้าวกล้องงอกผ่านการแช่น้ำ 3 ชั่วโมงและบ่มเป็นเวลา 21 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA (24.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) สูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำอย่างเดียวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (10.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

ตารางที่ 2 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของสภาวะในการงอกของธัญชาติต่อปริมาณ GABA

ธัญชาติ/พันธุ์	สภาวะในการงอก	ผลการทดลอง	ผู้ทดลอง
1. ข้าวกล้องจาก ประเทศเกาหลี (ไม่ได้ระบุสายพันธุ์)	แช่ข้าวในสารละลาย 5 ชนิด คือ (1) น้ำกลั่น (2) กรดแลก ติกเข้มข้น 5 mM (3) สารละลายไคโตซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดแลกติกเข้มข้น 5 mM (4) กรดกลูตามิก เข้มข้น 5 mM และ (5) สารละลายไคโตซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกเข้มข้น 5 mM เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25-26 องศาเซลเซียส	ปริมาณ GABA ของข้าว กล้องงอกที่แช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในสารละลาย ชนิดต่างๆ มีปริมาณสูงกว่า ในข้าวกล้องที่ไม่ได้แช่น้ำ และจะพบมากที่สุดในข้าว กล้องงอกที่แช่ใน สารละลายไคโตซานเข้มข้น 50 ppm ในกรดกลูตามิกเข้มข้น 5 mM โดยจะมีปริมาณ GABA สูงกว่าในข้าวกล้อง 13 เท่า เนื่องจากสารละลาย ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มปฏิกิริยา การสังเคราะห์ GABA	Oh (2003)
2. ข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ <i>Koshihikari</i>	แช่ข้าวในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เปลี่ยนน้ำ ทุก 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง	เมื่อระยะเวลาการแช่น้ำ เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น โดยที่ ระยะเวลาในการแช่น้ำ 96 ชั่วโมงข้าวกล้องงอกมี ปริมาณ GABA สูงที่สุด (149.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	Ohtsubo <i>et al.</i> (2005)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รัชชาติ/พันธุ์	สภาวะในการรอก	ผลการทดลอง	ผู้ทดลอง
3. ข้าวไทย	แช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ 18.62 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง	Varanyond <i>et al.</i> (2005)
พันธุ์ขาวดอกมะลิ		รองลงมาคือพันธุ์ปทุมธานี	
พันธุ์ปทุมธานี		พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์พลา	
พันธุ์ชัยนาท 1		งาม พันธุ์เหลืองประทิว 123 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดย	
พันธุ์พลา		มีปริมาณ GABA เท่ากับ 15.46, 14.45, 11.69, 11.34, และ 10.75 มิลลิกรัมต่อ 100	
พันธุ์เหลืองประทิว 123		กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ	
พันธุ์สุพรรณบุรี 1			
4. ข้าวญี่ปุ่น 5 พันธุ์	แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และบ่มในกล่องพลาสติกที่ป้องกันไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าออกได้(ภาวะขาดออกซิเจน)เป็นเวลา 23.5, 23, 22, 21, 20 และ 19 ชั่วโมง	ทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นมากกว่าการแช่น้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ	Komatsuzuki <i>et al.</i> (2007)
Haiminori, Oou 359, Koshihikari, Yumetsukushi, Nipponbare			

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รัฐชาติ/พันธุ์	สถานะในการงอก	ผลการทดลอง	ผู้ทดลอง
5. ข้าวฟ่าง	แช่ข้าวฟ่างในน้ำกลั่น 8 ชั่วโมง แล้วแช่ในสารละลายกรดกลูตามิก (glutamic acid, Glu) ไพริโดซอล-5-ฟอสเฟส (pyridoxal-5-phosphate ; PLP) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl ₂) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในที่มีอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส	ความเข้มข้นที่ของ Glu, PLP และ CaCl ₂ ที่เหมาะสมในการงอกคือ 1.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, 50 μ M และ 2.5 mM ตามลำดับ โดยจะพบ GABA จำนวน 42.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง	Bai <i>et al.</i> (2009)
6. เมล็ดงาพันธุ์ <i>Sesamum indicum</i> L.	ปลูกเมล็ดงาในกระถาง กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ที่บรรจุเพอร์ไลต์ รดน้ำเมล็ดงาด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 150 mM และ ซีลีเนียม (Se) 100 μ g g ⁻¹ ทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 0, 7 และ 21 วัน	ปริมาณ GABA ของเมล็ดงาที่รดด้วยสารละลาย NaCl และ Se สูงกว่าที่รดด้วยน้ำ โดยปริมาณ GABA ของเมล็ดงาที่รดด้วยสารละลาย Se สูงกว่าที่รดด้วยสารละลาย NaCl	Bor <i>et al.</i> (2009)
7. ข้าวไทยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ กข6	แช่ข้าวใน DI และสารละลายซีเตรทบัฟเฟอร์ ที่มีค่าพีเอช 3 และ 5 และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 7 เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	ปริมาณ GABA สูงที่สุด เมื่อแช่ข้าวในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 3 โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น พบ GABA ในข้าวขาวดอกมะลิสูงกว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข6	Charoenthaikij <i>et al.</i> (2009)

2.2.5 สารอาหารอื่นๆ

สารอาหารในข้าวกล้องงอกมีหลายชนิด ซึ่งในระหว่างกระบวนการงอกจะมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารภายในเมล็ดข้าว จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ได้แก่ gamma aminobutyric acid (GABA), dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, potassium, zinc, oryzanol และ prolylendopeptidase inhibitor (Shoichi, 2004) โดยสารอาหารแต่ละชนิดมีประโยชน์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณประโยชน์ของสารอาหารต่างๆที่พบในข้าวกล้องงอก

สารอาหาร	ประโยชน์
gamma aminobutyric acid (GABA)	กระตุ้นเมตาบอลิซึมและช่วยระบบการทำงานในสมอง ป้องกันการปวดหัว ชิมเปรี้ยวหรือเส้นเลือดในสมองแตก ป้องกันการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ ป้องกันโรคเครียดวิตกกังวล เช่น โรคนอนไม่หลับ และพฤติกรรมที่มาจากความผิดปกติทางจิต และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไต
Dietary fiber	ป้องกันมะเร็งลำไส้ และช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด
Inositols	ช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายไขมัน
Ferulic acid	กำจัดสาร superoxides และยับยั้งกระบวนการ melanogenesis
Tocotrienols	กำจัดสาร superoxides และปกป้องผิวหนังจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต
Magnesium	ป้องกันโรคหัวใจ
Potassium	ลดความดันโลหิต

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารอาหาร	ประโยชน์
Zinc	ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ป้องกันปฏิกิริยา arteriosclerosis
γ -oryzanol	เป็นสาร antioxidant ป้องกันผิวหนังเหี่ยวย่น และปรับปริมาณคอเลสเตอรอลให้เหมาะสม
Prolylendopeptidase inhibitor	ป้องกันโรคความจำเสื่อม (Alzheimer)

ที่มา: Shoichi (2004)

Ohtsubo *et al.* (2005) ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารบางชนิดในข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูด ดังตารางที่ 4 ซึ่งจะพบว่าข้าวกล้องงอกมีสาร oryzanol, inositol, total ferulic acid และ total dietary fiber สูงกว่าในข้าวขาว และข้าวกล้อง

ตารางที่ 4 สารอาหารบางชนิดที่ใน ข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก

	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก (72 ชั่วโมง)
Oryzanol (mg/100g)	6.10	48.20	50.40
Inositol (mg/100g)	68.00	265.00	237.00
total ferulic 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)

2.3 การใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องงอก

ปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มเล็งเห็นความสำคัญของข้าวกล้องงอก โดยสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) ร่วมกับสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และกลุ่มธุรกิจข้าวรายใหญ่ของประเทศจำนวน 3 บริษัท พัฒนาสายการผลิตต้นแบบ สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับอุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศ รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวไทย มุ่งเน้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมข้าวกล้องงอกสำหรับรับประทานที่มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานง่าย และผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกแปรรูปเพื่อสุขภาพต่างๆ เช่น อาหารว่าง ชุป และเครื่องดื่ม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกดังกล่าวมีคุณประโยชน์จากสารอาหารจำนวนมาก เช่น โยอาหาร กรดไฟติก วิตามินบี วิตามินอี และ GABA (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2550) โดยจากรายงาน พบว่า ในประเทศญี่ปุ่นเริ่มมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกตั้งแต่ปี 1995 โดยบริษัทแรกที่ทำกรพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกคือ บริษัท Domer Co. และรัฐบาลท้องถิ่น หลังจากนั้นบริษัทต่างๆ ที่ให้ความสำคัญและเล็งเห็นประโยชน์จากข้าวกล้องงอกหลายบริษัทจึงได้เริ่มพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกออกมามากมาย ข้าวกล้องงอกสำหรับรับประทานที่มีวางจำหน่ายในปัจจุบันมี 2 รูปแบบ คือ แบบแห้งและแบบเปียก ที่มีความชื้นร้อยละ 15 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งมีวางจำหน่ายทางสมุดแจ้งรายการสินค้า อินเทอร์เน็ต และร้านค้าปลีก ถึงแม้ข้าวกล้องงอกจะสามารถเตรียมได้ง่ายๆที่บ้าน แต่ยังสามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูงกว่าข้าวธรรมดา โดยพบว่าในประเทศญี่ปุ่นจำหน่ายข้าวกล้องงอกที่ราคา กิโลกรัมละ 1,000 เยน (9 เหรียญสหรัฐ) ถึง 800 เยน (7 เหรียญสหรัฐ) ขณะที่ข้าวขาวราคา กิโลกรัมละ 300 เยน (2.7 เหรียญสหรัฐ) ถึง 600 เยน (5.4 เหรียญสหรัฐ) ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเมล็ดข้าว ปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นสามารถจำหน่ายข้าวกล้องงอกได้ประมาณ 15,000 ล้านตันต่อปี ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 15 พันล้านเยน (1,350 ล้านเหรียญสหรัฐ) ในขณะที่ข้าวอื่นๆ สามารถจำหน่ายภายในประเทศได้รวม 9 ล้านล้านตันต่อปี และเป้าหมายในอนาคตสำหรับการจำหน่ายข้าวกล้องงอกในประเทศญี่ปุ่นคือ 90,000 ล้านตันต่อปีหรือคิดเป็นร้อยละ 1 ของปริมาณการจำหน่ายข้าวทั้งหมดภายในประเทศ (Ito, 2004) การบริโภคข้าวกล้องงอกในประเทศเกาหลีใต้ก็ได้รับความนิยมอย่างสูงเช่นกัน โดยมีการผลิตหม้อหุงข้าวที่ใช้สำหรับหุงข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกโดยเฉพาะออกจำหน่าย (Kim, 2006)

ปัจจุบันข้าวกล้องงอกกลายเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่กำลังเป็นที่นิยมในประเทศญี่ปุ่น โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกมากกว่า 50 ชนิด ได้แก่

rice-ball ซุป ขนมนึ่ง โดนัท คุกกี้ เบเกอร์ เป็นต้น นอกจากนั้นพบว่ายังสามารถประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกกับอาหารต่างๆทั่วโลก เช่น Italia risotto, Spanish paella, Brazillian fejoada และ India curry & rice เป็นต้น (Ito, 2004)

นอกจากนั้น Ohtsubo *et al.* (2005) ได้ทำการประยุกต์ใช้แป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงจำนวนร้อยละ 30 ผสมรวมกับแป้งสาลีในการทำขนมนึ่งนั้นพบว่ามีปริมาณ GABA สูงกว่าขนมนึ่งที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และแป้งข้าวกล้องร้อยละ 30 ผสมรวมกับแป้งสาลี โดยขนมนึ่งทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณ GABA เท่ากับ 32.05, 5.39, 8.60 และ ตามลำดับ Watanabe *et al.* (2004) ยังพบว่าการใช้แป้งข้าวกล้องเริ่มงอกร้อยละ 10 และ 20 ร่วมกับแป้งสาลี ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมนึ่งได้โดยช่วยลดกลิ่นอับระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งข้าวกล้องร้อยละ 10 และ 20 ร่วมกับแป้งสาลี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของขนมนึ่งจะลดลงตามปริมาณการทดแทนข้าวสาลีโดยข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้น

สุภาณี และคณะ (2007) ผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 โดยทำการทดสอบระยะเวลาในการงอกที่ต่างกัน (22 และ 26 ชั่วโมง) ทั้งในสภาพปกติของห้องทดลองและสภาพมืด พบว่า การเพาะข้าวในที่มืดเป็นเวลา 26 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นในการทดลอง โดยจากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า ข้าวกล้องงอกมีปริมาณกรดอะมิโน น้ำตาลรีดิวซ์ สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ชนิด Oryzanol เพิ่มขึ้นในระหว่างการงอก

Motonobu *et al.* (2004) ทำการศึกษาวิธีการผลิตชาจากข้าวกล้องงอก โดยนำเมล็ดข้าวกล้องงอกผสมกับใบชา และเก็บในสภาวะที่หยุดการเจริญของข้าว พบว่า ชาที่ได้มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น Hisakatsu (2001) ศึกษาการใช้ข้าวกล้องงอกผสมกับเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และยีสต์ทำเหล้าสาเกของญี่ปุ่น Terumi (2000) ศึกษาการทำขนมเค้กธัญชาติโดยใช้ข้าวกล้องงอกร่วมกับธัญชาติชนิดอื่น พบว่า การงอกของเมล็ดธัญชาติทำให้เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส อินโนซิทอล กรดอะมิโน และกรดไขมันจำเป็นอื่นๆ Hiromichi (2002) ศึกษาวิธีการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวกล้องงอกสำหรับการผลิตลูกกวาด

3. แป้งและสมบัติของแป้ง

3.1 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติด้านทานการไหลของของเหลว ซึ่งในกรณีของแป้งนั้นถ้า นำแป้งดิบผสมกับน้ำ โครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งในธรรมชาติจะทำให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัด โดยสารละลายแป้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นในลักษณะแป้งแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่า แป้งตกตะกอนแยกจากส่วนน้ำ แต่เมื่อให้ความร้อนเม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทำให้พองตัวมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาตรของเม็ดแป้งในของเหลวเพิ่มมากขึ้นพร้อมกับบางส่วนของโมเลกุลแป้งหลุดออกมาจากเม็ดแป้ง จึงทำให้น้ำแป้งมีความต้านทานการไหลมากขึ้น กล่าวคือมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการเจลาติไนเซชัน ซึ่งคุณลักษณะนี้มีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งสามารถตรวจวัดได้หลายวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีหลักการงานและการอ่านค่าความหนืดที่ต่างกัน เช่น เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ (Brabender amylograph) เครื่องแคปิลลารี วิสโคมิเตอร์ (Capillary viscometer) และเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นต้น โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินความหนืดของตัวอย่างขณะที่ให้ความร้อนและขณะที่ทำให้เย็น คุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีและใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ในการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้ดังนี้ peak time คือ เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาทิจา, pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส, peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส, peak viscosity คือ ความหนืดที่สูงที่สุด มีหน่วยเป็น RVU, trough คือ ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU, breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความ

หนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU, final viscosity คือ ความหนืดสูงสุดเมื่อแป้งเย็นตัวลง มีหน่วยเป็น RVU, setback from peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU, setback from trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

3.2 การเกิดเจลาตินไนซ์

เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติเป็น Hydrophilic แต่เม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห ไมเซลล์ (micells) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น ในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะถูกดูดซับน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดและใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือน้อยรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ช้า ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเจลาตินไนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่าอุณหภูมิเริ่มเจลาตินไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด โดยแป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง จะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาตินไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช เช่น แป้งข้าว แป้งสาลี เป็นต้น (อรอนงค์, 2547)

การเกิดปฏิกิริยาของเม็ดแป้งกับน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ (reversible swelling) เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังรักษารูปร่างและโครงสร้างที่เป็นระเบียบและความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ (birefringence) เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิวิกฤตจุดหนึ่งประมาณ 65 องศาเซลเซียส (ทั้งนี้อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและสภาวะในการเกิดปฏิกิริยา) เม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระยะที่ 2 คือ เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible swelling) เรียกว่าการเกิดเจลาตินไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและเริ่มสูญเสียโครงสร้างที่เป็นระเบียบและ

ความสามารถในการบิดรนาบแสงโพลาไรซ์ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนและนำส่วนใสไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของแอมิโลสที่กระจายตัวอยู่ในส่วนอสัณฐานที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า จะถูกชะออกมาจากเม็ดแป้งก่อน โมเลกุลแอมิโลเพกติน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกเม็ดแป้งจะเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงระยะที่ 3 คือ รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆ ได้ดีขึ้น (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546; นิธิยา, 2549)

การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น องค์ประกอบภายในและการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบภายในเม็ดแป้ง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน (Lui *et al*, 2006) ปริมาณไขมัน และฟอสฟอรัสเป็นต้น และจากการรายงานของ ชนิตา (2551) พบว่า ไขมันภายในแป้งโดยเฉพาะแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวฟ่าง เป็นต้น ซึ่งแป้งจากธัญพืชเหล่านี้จะมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.8-1.0 ไขมันเหล่านี้จะอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระ โดยอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลส-ไลปิด เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะทำให้เกิดการยับยั้งการพองตัวและความสามารถในการละลายของเม็ดแป้งจากธัญพืช โดยพบว่า แป้งข้าวโพดจะเริ่มเกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิสูงประมาณ 62-72 องศาเซลเซียส เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลส-ไลปิดในข้าวโพดจะยับยั้งการพองตัวของแป้ง และพบว่า ฟอสฟอรัสในแป้งจากธัญพืชส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของฟอสโฟไลปิด โดยเฉพาะในแป้งมันฝรั่งที่จัดเป็นแป้งทางการค้าชนิดเดียวที่ประกอบไปด้วยสารประกอบที่มีพันธะฟอสเฟตเอสเทอร์ ที่สามารถทำให้แป้งมันฝรั่งเกิดเจลาติไนเซชันได้อย่างรวดเร็วแม้ที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากการมีหมู่ฟอสเฟตที่สร้างพันธะเอสเทอร์แล้วให้โมเลกุลที่มีประจุซึ่งช่วยทำให้แป้งเกิดการพองตัวอันเนื่องมาจากเกิดแรงผลักทางไฟฟ้า ซึ่งจัดว่าเป็นพฤติกรรมของสารละลายที่มีไอออนของแป้งที่จำเพาะอย่างหนึ่ง นอกจากนั้นการเกิดเจลาติไนซ์เซชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ (James, 2007) เกือบบางชนิด (Fasihuddin and Williams, 1999) เป็นต้น

3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตไนซ์เซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจนทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแป้งจะละลายในสารละลายได้ เมื่อลดอุณหภูมิโมเลกุลของแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่อย่างเป็นระเบียบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีก (ทำให้มีความต้านทานการไหลมากขึ้น) โดยในระยะแรกสายโซ่สตาร์ชตั้งแต่สองสายขึ้นไปอาจจะสร้างเป็นขอบเขตรอยต่อ (junction zones) ก่อนแล้วพัฒนาเป็นบริเวณที่มีระเบียบมากขึ้น จนในที่สุดเกิดลักษณะเป็นเจลคล้ายฟิล์มหรือฟลิก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) โดยที่โมเลกุลของแอมิโลสจะเกิดการคืนตัวได้เร็วกว่าโมเลกุลของแอมิโลเพกติน เนื่องจากแอมิโลเพกตินมีโมเลกุลขนาดใหญ่และค่อนข้างเกาะกะเพราะมีสายกิ่งมาก เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นมีผลทำให้เจลมีความแน่นมากขึ้น ทำให้โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการทำให้เย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดด่างของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้ง เป็นต้น (อรอนงค์, 2547; วรรณ, 2549))

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งอาจจะประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือค่าความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid Visco Analyzer นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) ซึ่งจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw stability) ของแป้ง โดยแป้งที่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีมีแนวโน้มที่จะมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำ คือ เกิด syneresis มาก ในขณะที่แป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่ำจะมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูง คือ เกิด syneresis ต่ำ ดังนั้นการวัดความคงตัวต่อการคืนรูปจึงสามารถใช้ประเมินความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งได้โดยทางอ้อม (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

เทวี และ สิริชัย (2553) ทำการศึกษาผลของสารชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ซอร์บิทอล ทรีฮาโลส ซูโครส และน้ำต่อการลดลงของเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันในข้าวสำเร็จรูปพร้อมรับประทานบรรจุกระป๋อง พบว่า การใช้สารชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันดังกล่าวเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าเอนทาลปีและความแข็งของข้าวลงได้ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานกว่า 3 เดือน ซอร์บิทอล ซูโครส และทรีฮาโลส สามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีกว่าเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และน้ำ แต่เมื่อใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 8 โดยน้ำหนักของข้าวดิบ ร่วมกับทรีฮาโลสร้อยละ 8 โดยน้ำหนักของข้าวดิบ สามารถชะลอการแข็งตัวของข้าวสุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสามารถทำให้ข้าวสุกมีความแข็งต่ำที่สุด และสามารถเก็บได้นานถึง 6 เดือน

3.4 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมแป้ง

การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาคุณภาพและถนอมอาหาร พัฒนาวัตถุดิบใหม่เพื่อใช้ผลิตอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ รวมทั้งปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยเอนไซม์ที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการและหน้าที่ของเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับแป้งและขนมอบ ได้แก่ เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการตัดพันธะ 1,4- α -D กลูโคซิดิก ในออลิโกแซ็กคาไรด์ หรือพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น แป้งและไกลโคเจน โดยจะตัดพันธะดังกล่าวแบบสุ่มในสายเป็นเอนโดกลูแคนเนส (endoglucanase) (เปี่ยมสุข, 2551)

การประยุกต์ใช้เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในอุตสาหกรรมแป้ง ส่วนใหญ่จะใช้เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสจาก *B. licheniformis* หรือ *B. subtilis* ย่อยแป้งจากมันฝรั่ง ข้าวโพด หรือแป้งสาลี เพื่อผลิตเดกซ์ทรินสำหรับใช้เป็นสารเติมในอาหาร (food ingredient) เพิ่มเนื้อ ปรับสมบัติด้านความหนืด ควบคุมความชื้น เพิ่มความคงตัว และใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลกลูโคส หรือซูโครส (เปี่ยมสุข, 2551)

ในอุตสาหกรรมแป้งที่เกี่ยวกับขนมอบส่วนใหญ่จะใช้เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสจากเชื้อรา โดยเอนไซม์ทำให้เกิดผลหลายอย่าง คือ ช่วยลดความหนืดของโดในระหว่างการทำให้เม็ดแป้งแตก ทำให้เกิดเดกซ์ทรินจากการย่อยแป้งซึ่งจะถูกสลายเป็นมอลโทสโดยบีตา-แอมิเลสที่มีอยู่ในแป้งธรรมชาติ และการหมักโดยยีสต์ก็จะเกิดขึ้นโดยใช้มอลโทสเป็นอาหาร มีผลให้เกิดฟองอากาศเป็นการเพิ่มเนื้อขนมปัง นอกจากนี้ เอนไซม์ยังทำให้ขนมปังสดเหมาะแก่การเก็บ ซึ่ง

เรียกสมบัตินี้ว่า antistaling โดยเอนไซม์ลดขนาดเอมิโลเพกทินให้เล็กลง โดยการย่อยร่างแหเอมิโลส แต่ต้องทำการปรับสภาวะให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เอมิโลสถูกทำลายมากเกินไป (เปี่ยมสุข, 2551)

Kim et al. (2005) ทำการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์แอลฟา-เอมิเลสจาก *Aspergillus oryzae* ต่อคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งสาลี และแป้งสาลีผสมกับแป้งที่ได้จากการขัดสีข้าวสาลี (polished flour) โดยพบว่า การเติมเอนไซม์สามารถปรับปรุงปริมาณจำเพาะและอายุการเก็บของขนมปังได้ โดยการเติมเอนไซม์แอลฟา-เอมิเลส (500 U/100 g flour) ทำให้ปริมาณจำเพาะ (specific volume) ของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีและขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีผสมกับแป้งที่ได้จากการขัดสีข้าวสาลีจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า ขนมปังที่เติมเอนไซม์แอลฟา-เอมิเลสทำการเก็บรักษาภายในระยะเวลา 3 วัน มีความแน่นเหนียวน้อยกว่าขนมปังที่ไม่มีการเติมเอนไซม์

ปัจจัยสำคัญเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้เอนไซม์ ผู้ผลิตและผู้บริโภคหรือผู้บริโภค ต้องมีความรู้ความเข้าใจ โดยการรับทราบข้อมูลของเอนไซม์ โดยเฉพาะวิธีการสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพ การควบคุมในการผลิต การติดตามวัดค่าการกระจายในอากาศและการตรวจดูแลสุขภาพอนามัย โดยเอนไซม์ถือว่าเป็นโมเลกุลที่มีความเป็นพิษต่ำ จากข้อมูลพบว่า มีผลต่อสุขภาพเพียง 2 ด้าน คือ อาการแพ้ที่เกิดกับระบบหายใจ ได้แก่ การมีน้ำมูก น้ำตา ไอ แน่นหน้าอก หายใจหอบ และอาการระคายเคืองของผิวหนังจากการสัมผัสเอนไซม์เป็นเวลานาน ซึ่งมักเกิดบริเวณผิวหนังที่มีความชื้น เช่น มือ รักแร้ และเท้า จึงควรใส่ถุงมือเพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรง นอกจากนั้นเอนไซม์โปรติเอสยังทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา จึงควรสวมแว่นหรืออุปกรณ์ป้องกันขณะทำงานกับเอนไซม์ (เปี่ยมสุข, 2551)

4. แป้งดัดแปรชนิดพรีเจลาทีไนซ์

แป้งพรีเจลาทีไนซ์ หรือแป้งพรีเจล ทางการค้าเรียกอัลฟาสตาร์ช (alpha starch) เป็นแป้งดัดแปรทางกายภาพที่ทำโดยการให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งสุกหรือเกิดเจลาทีไนซ์ แล้วทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องทำแห้งแบบพอง (spray dryer) หรือเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) และบดให้ละเอียด ได้แป้งดัดแปรที่สามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็น ให้ความหนืดได้ทันที และไม่เกิดเจล เหมาะสำหรับใช้กับอาหารที่ไม่ต้องการให้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ ซอส ไส้กึ่งสำเร็จรูป ส่วนผสมของซูปพวง (นิธิยา, 2549)

4.1 การผลิตแป้งดัดแปรชนิดพรีเจลาทีไนซ์

การผลิตแป้งดัดแปรชนิดพรีเจลาทีไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งแป้งดิบและแป้งดัดแปรทางเคมีชนิดต่างๆ โดยการใส่แป้งในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียก และทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ และเครื่องเอ็กซ์ทราคเตอร์ เป็นต้น ซึ่งในสารแขวนลอยจะมีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 42-44 นอกจากนี้ยังมีการเติมสารที่ช่วยในการเกิดเจล เช่น เกลือหรือเบส และสารป้องกันไม่ให้แป้งติดที่พื้นผิวของเครื่องทำแห้ง เติมเกลือบางชนิด เช่น โซเดียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต เกลือออลูมิเนียม เพื่อป้องกันไม่ให้แป้งเกาะกันเป็นก้อน เติมสารปรุงแต่งรส หรือส่วนผสมอื่นๆ โดยเมื่อแป้งผ่านเครื่องทำแห้งแล้วจะนำไปอบแห้งและบดละเอียด (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

4.2 คุณสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

แป้งพรีเจลาสามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีการเกิดเจลหรือมีแนวโน้มในการเกิดเจลลดลง และสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารปรุงสำเร็จประเภทละลายทันที โดยจะนำแป้งพรีเจลามาสกกับน้ำตาล เกลือ และสารให้กลิ่น เมื่อนำผสมน้ำแป้งจะกระจายตัวและอุ้มน้ำได้ดีและสามารถบริโภคได้ทันที (นิธิยา, 2549) นอกจากนั้นยังนิยมใช้กับ ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ ซอส ไข่กึ่งสำเร็จรูป ส่วนผสมของซุปรอง ใช้เป็นสารยึดเกาะในอาหารประเภทเนื้อเพื่อช่วยรักษาความชุ่มชื้น และอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยในการดูดซับน้ำและฟองอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้ลักษณะเนื้อเค้กที่มีความสม่ำเสมอ (Boettger, 1963) ใช้เป็นส่วนผสมในของหวานที่มีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต (Gardiner, 1975) ใช้เป็นตัวปรับเนื้อสัมผัสสำหรับชีเรียลข้าวโอ๊ต (Ronai and Spanier, 1972) ใช้เป็นส่วนผสมในขนมขบเคี้ยว (Beltran and Singer, 1970) ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับส่วนผสมของอาหารแช่แข็ง (Senda, 1991) ใช้ในเกสซกรรม เป็นสารยึดเกาะและสารช่วยแตกตัวในการผลิตเม็ดยา ซึ่งจะช่วยให้เม็ดยาไม่เสียคุณสมบัติในการไหลและการยึดเกาะเป็นเม็ดโดยนำแป้งพรีเจลามะลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและเติมในส่วนผสมของยา หรือผสมเป็นผงแห้งกับส่วนผสมอื่นๆแล้วเติมน้ำที่หลัง ซึ่งจะให้คุณสมบัติในการยึดเกาะดีกว่าการใช้แป้งเปียก นอกจากนี้การที่สามารถใช้แป้งพรีเจลาได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการให้ความร้อนสำหรับการเตรียมแป้งเปียก (Mitrevej, 1996) อีกทั้งการที่ไม่ต้องผ่านความร้อนอีกครั้ง ทำให้กลิ่นและสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ไม่หายไปด้วย (นิธิยา, 2549)

5. ไส้ขนม (filling)

ไส้ขนมเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ขนมแต่ละชนิดมีลักษณะและรสชาติที่แตกต่างกัน บางชนิดเหมาะที่จะใช้เป็นไส้ของขนมปัง บางชนิดเหมาะที่จะเป็นไส้ของพายและเพสตรี ขึ้นอยู่กับการเลือกไส้ชนิดต่างๆ การนำผลไม้ต่างๆ มาใช้ในรูปของผลไม้สด ผลไม้แห้งหรือผลไม้กระป๋อง หรือนำผลไม้หลายชนิดมาผสมกัน โดยมีการเติมสารเพิ่มความข้นหนืดและสารให้ความหวาน ไส้ผลไม้เหล่านั้นสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตโดนัท เพสตรี พาย เค้ก นอกจากนี้ยังใช้ตกแต่งลงบนหน้าขนมหวานได้อีกด้วย (ประดิษฐ์ และสุภาวดี, 2551)

ไส้ขนมที่นิยมนำมาบรรจุในขนมมีอยู่ 3 ชนิด คือ ไส้ผลไม้ ไส้คัสตาร์ดและไส้ครีม ซึ่งแต่ละชนิดประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆ กัน ส่วนผสมที่ใช้ในการทำไส้พายส่วนใหญ่ได้แก่ ผลไม้และน้ำผลไม้ น้ำตาล เกลือ สตาร์ช นม ไข่ และสารที่ให้อ่อนนุ่ม ซึ่งส่วนผสมแต่ละอย่างทำหน้าที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2546) ปัญหาที่พบในไส้ขนม คือ syneresis หรือ watering-off หมายถึง การแยกตัวของน้ำออกจากเจล เป็นปัญหาที่มักพบในไส้พาย อาจเกิดจากการคน การปั๊มและการใช้แรงกลอื่นๆ ที่ทำให้ เจลมีการแตกหัก เสียหาย (Young *et al.*, 2003)

5.1 หน้าที่ของส่วนผสม

ส่วนผสมในไส้ขนมมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2546)

5.1.1 ผลไม้และน้ำผลไม้ ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักของไส้พายหน้าปิด ผลไม้จะช่วยให้เกิดเป็นเนื้อ (body) ของไส้ ให้อ่อนนุ่ม สีสัน และกลิ่นหอมของไส้สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในรูปของผลไม้สด ผลไม้กระป๋อง ผลไม้แช่แข็ง หรือผลไม้ตากแห้ง

5.1.2 น้ำตาล ช่วยเพิ่มความน่ารับประทานทำให้ไส้ขนมมีเนื้อและเพิ่มคุณลักษณะที่ดีของไส้

5.1.3 น้ำ ช่วยละลายน้ำตาล ทำให้สตาร์ชเป็นเจลที่มีโครงสร้างดี

5.1.4 เกลือ ช่วยเน้นรสชาติของส่วนผสมอื่นๆให้เด่นชัดขึ้น

5.1.5 สตาร์ช ใช้ทำให้ไส้ขึ้นขึ้นจนมีความหนืดที่เหมาะสมต่อการบริโภค ส่วนมากนิยมใช้สตาร์ชข้าวโพด

5.1.6 นม ช่วยให้เกิดกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารในครีมคัสตาร์ด โดยมากใช้นมสด นมสตรอเบอรี่ หรือนมผง

5.1.7 ไข่ ใช้ในการทำไส้คัสตาร์ด ไส้ครีมและไส้ชีฟอน ไข่ช่วยให้ไส้ขนมมีคุณภาพดี ให้อร่อย กลิ่น สีสและทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้ส่วนผสมขึ้นขึ้นอีกด้วย

5.1.8 สารที่ให้กลิ่นรสและเครื่องเทศต่างๆ ช่วยเพิ่มกลิ่นรสและกลิ่นหอมของไส้ขนมพายและควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

6. ถั่วเขียว

ถั่วเขียว หรือถั่วทอง เป็นพืชล้มลุกประเภทใบเลี้ยงคู่ อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีชื่อของพฤกษศาสตร์ว่า *Vigna radiata* (L)Wilzek., *Phaseolus aureus* Roxb., หรือ *Vigna mungo* (L) Hepper. (Daisy, 1979) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว พบว่าถั่วเขียวมีปริมาณของโปรตีนร้อยละ 26 ไขมันร้อยละ 3.8 ใยอาหารร้อยละ 1.3 เส้นใยร้อยละ 4.8 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 64.1 (โดยน้ำหนักแห้ง) ในประเทศไทยมีปลูกอยู่หลายพันธุ์แบ่งตามลักษณะเมล็ดและสีของเปลือกได้ 4 ชนิด คือ ถั่วเขียวธรรมชาติหรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้ทำถั่วงอก วุ้นเส้น และส่งจำหน่ายยังต่างประเทศ ถั่วเขียวเมล็ดมันใหญ่ เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเป็นมันและมีขนาดโตกว่าพันธุ์อื่น ถั่วเขียวสีทอง หรือถั่วทอง เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเหลืองหรือสีทอง เนื้อภายในเป็นสีเหลืองนิยมใช้ทำขนมเพราะมีเนื้อสีเหลืองน่ารับประทาน และถั่วเขียวผิวนั้น นิยมใช้เพาะเป็นถั่วงอก (จินตนาและคณะ, 2538)

Dzudie and Hardy (1996) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่และเคมีกายภาพของแป้ง (flour) ที่เตรียมจากถั่วชนิดต่างๆ (ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว) และถั่วเขียว ผลิตแป้งโดยนำ เมล็ดถั่วมาแช่น้ำข้ามคืน แยกเปลือกถั่วออก นำ เมล็ดถั่วไปอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

จากนั้นบดเป็นแป้งผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ศึกษาความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) ของแป้งถั่ว จากปริมาณน้ำมันที่สามารถเกิดอิมัลชันต่อกรัมของแป้ง พบว่า แป้งจากถั่วเขียวมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงกว่าแป้งจากถั่วชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ (ความสามารถในการเกิดอิมัลชันเป็น 21.7 ± 1.3 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อกรัมของแป้ง)

Prabhavat (1991) สกัดโปรตีนจากถั่วเขียวที่ผ่านการกระเทาะให้แตกมาแล้ว โดยนำมาล้าง น้ำ และแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อเอาเปลือกออก ปั่นผสมถั่ว กับน้ำในอัตราส่วน ถั่ว : น้ำ เป็น 1 : 3 (โดยน้ำหนัก) ได้สารละลายโปรตีน-สตาร์ชและกากถั่วเขียว ล้างและกรองแยกตะกอนสตาร์ชออกซ้ำอีก 2-3 ครั้ง จนได้สตาร์ชถั่วเขียวที่บริสุทธิ์ ส่วนสารละลาย โปรตีนทั้งหมดที่ได้จะนำไปต้มและตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดอะซิติก (glacialacetic acid) โดย ปรับให้ได้ค่าพีเอช เท่ากับ 4.5 กรองแยกตะกอนออก นำมาล้างน้ำและกรองอีกครั้ง จะได้โปรตีน ถั่วเขียวไอโซเลต นำไปอบให้แห้งที่ 80–90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

พงศ์สัน (2548) ทำการพัฒนาโปรตีนถั่วเขียวสำหรับใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ อาหาร พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับปรับตะกอนโปรตีนถั่วเขียวก่อนการทำแห้งคือ 7.0 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด คือ ที่อุณหภูมิ 55 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ความหนาของการเคลือบโปรตีนในถาด 0.5 เซนติเมตร ได้โปรตีนถั่ว เขียวเข้มข้นที่ปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักฐานแห้งร้อยละ 87.02 มีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) จากโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและดีกว่าไข่ แดงผงเชิงการค้าทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

7. สตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลักษณะการเจริญโดยการแตกกอ มีดอกสีขาว และผลขนาดเล็กสีแดง ผิวเป็นมัน มีเกล็ดติดอยู่ที่ผิวด้านนอกของผล เมื่อสุกจะมีกลิ่นหอม เป็นพืช ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงของการพัฒนาตา ดอกและการติดผล (ชูพงษ์, 2531) ผลสตรอเบอร์รี่ ควรเก็บเกี่ยวในช่วงที่น้ำและความสดเนื่องจากเป็นผลไม้ที่ได้รับความเสียหายง่าย

7.1 สายพันธุ์ของสตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบนมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์จะมีลักษณะประจำและการนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน เช่น บางชนิดเหมาะสำหรับการรับประทานสด บางชนิดเหมาะสำหรับการแปรรูปหรือแช่เยือกแข็ง เป็นต้น รวมทั้งความชอบในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันด้วย ซึ่งลักษณะของสตรอเบอร์รี่พันธุ์ต่างๆ มีดังนี้

7.1.1 พันธุ์พระราชทานเบอร์ 16 (Tioga) เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ดีในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ กัน ไม่ต้องการความเย็นในการชักนำให้สร้างตาดอกมากเท่ากับพันธุ์อื่นๆ ผลมีขนาดเล็กถึงกลาง เนื้อแข็ง รสชาติค่อนข้างเปรี้ยว ผิวเป็นมัน เหมาะที่จะส่งโรงงานเพื่อทำการแปรรูป

7.1.2 พันธุ์พระราชทานเบอร์ 20 (Sequoia) เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่สูง รสชาติค่อนข้างหวาน เนื้อผลนุ่มผิวค่อนข้างบาง ทำให้มีปัญหาในการขนส่งเนื่องจากง่าย จึงเหมาะต่อการส่งตลาดเพื่อรับประทานสดมากกว่าส่งโรงงาน

7.1.3 พันธุ์พระราชทานเบอร์ 50 เป็นพันธุ์ที่ออกผลช้า มีผลขนาดปานกลางถึงโต เนื้อแข็ง กลิ่นหอม รสชาติเปรี้ยวอมหวาน แต่ถ้าปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะมีรสหวานมากขึ้น สามารถใช้เพื่อบริโภคสดและส่งโรงงาน

7.1.4 พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 (Toyonoka) เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดปานกลาง มีลักษณะเป็นทรงกลมสวย ผิวค่อนข้างบาง เป็นมัน กลิ่นหอม รสหวาน ถ้าปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะมีรสหวานมากขึ้น เหมาะต่อการบริโภคสด

7.1.5 พันธุ์ญี่ปุ่น (Nyoho) เป็นพันธุ์ที่ยังไม่แพร่หลายมากนัก มีผลขนาดกลาง เนื้อแข็งปานกลาง มีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอมมากกว่าพันธุ์อื่นๆ เหมาะต่อการบริโภคสด

7.1.6 พันธุ์เซลวา (Selva) เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อสีแดงหรือส้มแดง เนื้อแข็ง รสชาติเปรี้ยวแต่จะหวานเมื่อเก็บช่วงแก่จัด ผลขนาดปานกลางถึงโต เหมาะที่จะทำการแปรรูป

7.2 การใช้ประโยชน์จากสตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่เป็นผลผลิตทางการเกษตรสำคัญของประเทศที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินซี โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และแอนโทไซยานิน (Hakala *et al.*, 2003) โดยพบว่าสตรอเบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สูงกว่าในส้ม องุ่นแดง แอปเปิล และ แดงเนื้อขาว (Honeydew melon) 1.3, 2, 5 และ 13 เท่า (Guo *et al.*, 1997) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีคุณสมบัติในการป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเรื้อรังอื่นๆ (Hunnum, 2004)

การแปรรูปสตรอเบอร์รี่ที่สำคัญ คือ การแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ยืดอายุการเก็บของผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยสตรอเบอร์รี่แช่เยือกแข็งส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแยม น้ำผลไม้ และน้ำผลไม้เข้มข้น เป็นต้น (Wicklund *et al.*, 2005; Oszmianski *et al.*, 2009) โดยการแช่สตรอเบอร์รี่สดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือเพกตินเมทิลเอสเทอร์ (pectin methyltransferase, PME) ในระบบสุญญากาศก่อนการแช่เยือกแข็ง สามารถเพิ่มความแน่นเนื้อของสตรอเบอร์รี่แช่เยือกแข็งและแยมได้ (Suutarinen *et al.*, 2000)

Gossinger *et al.* (2009) ทำการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อความคงตัวของสีของน้ำสตรอเบอร์รี่ (strawberry nectar) พบว่า การใช้สตรอเบอร์รี่แช่เยือกแข็งเป็นวัตถุดิบทำให้สีของน้ำสตรอเบอร์รี่มีความคงตัวมากขึ้น โดยสามารถเก็บรักษาได้นาน 12 เดือน และพบว่าครึ่งชีวิต (half life) ของแอนโทไซยานินในน้ำสตรอเบอร์รี่ที่ใช้สตรอเบอร์รี่แช่เยือกแข็งเป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิสูงในการพาสเจอร์ไรซ์มีผลต่อความคงตัวของสีและปริมาณแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ อุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อความคงตัวของสี โดยพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสทำให้น้ำสตรอเบอร์รี่สามารถเก็บรักษาได้นาน 12 เดือน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ข้าวเปลือกพันธุ์ กข6 จากกรมวิชาการเกษตร
- 1.2 สตรอเบอร์รี่สดแช่แข็ง จากบริษัท All Season Frozen จำกัด
- 1.3 ถั่วเขียวซีก (ตราไรท์พิช)
- 1.4 แปะแซ (ตราแฟนซีคาร์ฟ) มีค่า DE เท่ากับ 42
- 1.5 น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล)
- 1.6 เนยขาว (ตราเซสท์)
- 1.7 แป้งสาลี (ตราว่าว)
- 1.8 แป้งมัน (ตรานิวเกรด)
- 1.9 แป้งข้าวโพด (ตราคนอร์)
- 1.10 แป้งดัดแปร ชนิดพรีเจลาติไนซ์จากแป้งมันสำปะหลัง จากบริษัท เนชั่นเนล สตาร์ช
- 1.11 เกลือ (ตราปรุงทิพย์)
- 1.12 สีส้มอาหารสีชมพู (ตราวินเนอร์)
- 1.13 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและเตรียมวัตถุดิบ

- 2.1 ก่องพลาสติก
- 2.2 ตะกร้าพลาสติก
- 2.3 กระบอกฉีดน้ำ
- 2.4 ถังน้ำ
- 2.5 กระชอน
- 2.6 เครื่องบด
- 2.7 เครื่องบดละเอียด (Ultra Centrifugal Mill)
- 2.8 เครื่องบดตัวอย่าง รุ่น SR300 ยี่ห้อ Retsch บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด

2.9 เครื่องบรรจุสุญญากาศ

2.10 ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh

2.11 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.12 ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (tray dryer) รุ่น B.W.S บริษัท
ห.จ.ก.บี ดับบลิว.เอส.เทรดดิ้ง ประเทศไทย

2.13 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dryer) รุ่น Dura-Top/Dura-Stop MP ยี่ห้อ FTS
Systems บริษัท ซาห์น เอ็นจิเนียร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

3.1.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

3.1.2 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส

3.1.3 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

3.1.4 ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้ยี่ห้อ severin

3.1.5 เครื่องเหวี่ยงแยก

3.1.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง

3.1.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

3.1.8 เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน รุ่น Dumatherm ยี่ห้อ Garhardt ประเทศเยอรมัน

3.2 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

3.2.1 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer Minolta CR-3500d) ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส รุ่น TA500 ยี่ห้อ Lloyd บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd.
ประเทศอังกฤษ

3.2.3 เครื่องวัดค่า water activity รุ่น CX3TE ยี่ห้อ Aqua lab บริษัท จาร์ฟา เทคโนโลยี
เตอร์ จำกัด

3.2.4 เครื่องวัดค่าความหนืด (Rapid Viscosity Amylyzer) รุ่น RVA 4D บริษัท
Scientific Newport, Ltd ประเทศออสเตรเลีย

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- 3.3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วในการวิเคราะห์จุลินทรีย์
- 3.3.2 อุปกรณ์ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์
- 3.3.3 ตู้อบเชื้อจุลินทรีย์อุณหภูมิต่ำ ยี่ห้อ Astell Hearson ประเทศอังกฤษ
- 3.3.4 ตู้ฆ่าเชื้อแบบลมร้อน ยี่ห้อ Binder บริษัทไฮแอนดิฟิคโปร โมชัน
- 3.3.5 ตู้ฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-Steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M บริษัทไฮแอนดิฟิคโปร โมชัน

3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- 3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส
- 3.4.2 แบบทดสอบ

วิธีการ

1. การศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่เหมาะสมต่อแป้งเหนียวกลิ้งงอกพันธุ์ กข6 โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3×5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มี 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 mM ในน้ำจืดไอออน (deionized water, DI) และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว มี 5 ระดับ คือ 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง โดยให้ข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม (control) รวม 16 สิ่งทดลอง ทำการทดลอง 2 ซ้ำกรรมวิธีการทำข้าวกลิ้งงอกดัดแปลงตามวิธีการของ Charoenthaikij *et al.* (2009) โดยนำข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการคัดเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และแตกหักออกไป ล้างทำความสะอาดแล้วนำไปแช่ในสารละลาย Peroxyacetic acid ความเข้มข้น 500 ppm นาน 15 นาที ล้างด้วย DI จากนั้นแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ใน DI ตามความเข้มข้นที่ทดลอง ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนข้าว 200 กรัมต่อสารละลาย CaCl_2 1 ลิตร

เพาะในกล่องพลาสติกขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร ทำการเปลี่ยนสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าวทุกๆ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ข้าวเหนียวกล้างตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำข้าวเหนียวกล้างออกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีถาดขนาดกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร ถาดละ 400 กรัม จากนั้นนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดหยาบ (blender) และเครื่องบดละเอียด (ultra centrifigall mill) ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid, GABA) และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-เอมิเลส ทำการอบแห้งโดยใช้เครื่อง freeze dryer บดตัวอย่างโดยใช้โกร่ง นำตัวอย่างที่บดแล้วทั้งหมดไปบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นต่อไป โดยตัวอย่างแบ่งข้าวกล้างที่เตรียมแล้วนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

นำแป้งข้าวเหนียวกล้างที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด บดละเอียด และผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh จำนวน 16 สิ่งทดลอง มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล้าง โดยใช้เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) ใช้สารละลายแป้งข้าวกล้างร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้งต่อปริมาตร ใส่ในกระป๋องอลูมิเนียม (aluminium can) ใช้โปรแกรม RVA วัดความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เวลาประมาณ 13 นาที ความแปรปรวนของอุณหภูมิไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส และเพิ่มจาก 50 ไปจนถึง 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 13 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงที่ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 2 นาที หยุดทำงานที่ 13 นาที ความเร็วในการกวนมอเตอร์ 10 วินาทีแรกที่ 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นลดลงและคงที่ที่ 160 รอบต่อนาที วิเคราะห์ผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Thermocline for window ทำซ้ำ 2 การทดลอง

1.2 คุณภาพทางเคมี

1.2.1 ปริมาณความชื้นตามวิธีการ ของ A.O.A.C (2000)

1.2.2 ปริมาณโปรตีน โดยวิธีการเผาไหม้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน

1.2.3 วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-เอมิเลส

1.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีการของ Somogyi and Nelson (1952)

1.2.5 ปริมาณ gamma-aminobutyric acid (GABA) โดยใช้ HPLC ตามวิธีการของ Varanyanond *et. al.* (2000) ดังภาคผนวก ข โดยส่งวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง โดยนำแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกจากข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข6 ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh ที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1 มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยมีวิธีการดังนี้

2.1 การศึกษาพฤติกรรม ทักษะคติ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ศึกษาพฤติกรรม ทักษะคติ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยการสร้างแบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทางประชากรศาสตร์ ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง และ ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง

ประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกโดยกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 150 คน วิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) แบบสะดวก (convenience sampling)

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง

นำแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกที่ได้จากสภาวะการงอกในข้อ 1 ที่เหมาะสมสำหรับทำอาหารว่างประเภทหนึ่ง ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด บดหยาบและบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดตัวอย่าง rotor mill มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกโดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer ใช้แหล่งกำเนิดแสง (illuminant) D_{65} ใช้มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (standard observer) 10 องศา บรรจุตัวอย่างใน petri dish จนเต็มแล้ววางตัวอย่างบนช่องวัดขนาด 30 mm บันทึกค่าสีของตัวอย่างในระบบ $L^* a^* b^*$ วัดค่าตัวอย่าง 10 ครั้ง และวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัด water activity

2.2.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน โดยวิธีการเผาไหม้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีการของ Somogyi and Nelson (1952) ปริมาณความชื้นตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) และปริมาณ GABA โดยใช้ HPLC ตามวิธีการของ Varanyanond *et. al.* (2000) ดังภาคผนวก ข โดยส่งวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

2.2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ วิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด วิเคราะห์ยีสต์และรา และวิเคราะห์โคลิฟอร์มและ *E. coli* ตามวิธีการของ BAM (2000)

2.3 ศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกและน้ำที่มีต่อคุณภาพของแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอก

พัฒนาสูตรแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่ง โดยมีสูตรพื้นฐานมาจากสูตรการทำขนมไผ่ฟูจากแป้งข้าวเหนียวตราสิงห์ดาว ซึ่งประกอบด้วย แป้งข้าวเหนียว 93 กรัม แป้งมันสำปะหลัง

7 กรัม น้ำ 100 กรัม และ น้ำตาล 15 กรัม เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความคงตัวของรูปร่างของแป้งขนม โดยปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและรูปร่างมากที่สุดคือ ปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก และ น้ำ ดังนั้นจึงศึกษาโดยจัดสิ่งทดลองแบบ 3x3 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ 100:0, 80:20, 60:40 และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 100:75, 100:90, 100:105 ทำการทดลอง 3 ซ้ำที่สิ่งทดลอง T5 โดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 11 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนของแป้งผสมต่อน้ำแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อัตราส่วน (กรัมต่อกรัม)		น้ำตาล (กรัม)
	แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง	แป้งผสมและน้ำ	
T1	100:0	100:75	15
T2	100:0	100:90	15
T3	100:0	100:105	15
T4	80:20	100:75	15
T5	80:20	100:90	15
T6	80:20	100:105	15
T7	60:40	100:75	15
T8	60:40	100:90	15
T9	60:40	100:105	15
T10	80:20	100:90	15
T11	80:20	100:90	15

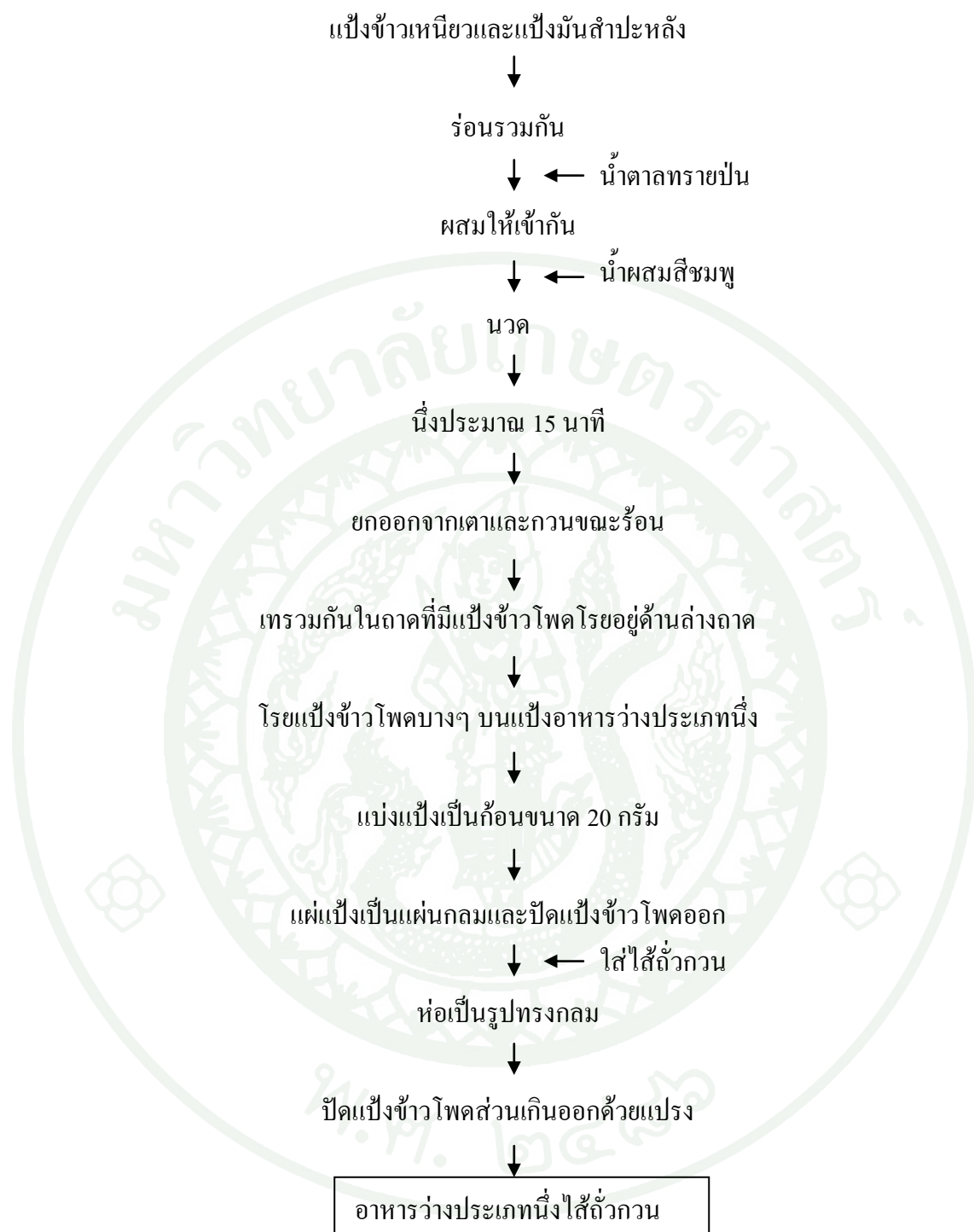
กรรมวิธีการผลิตขนมอาหารว่างประเภทนี้ดัดแปลงจากสูตรการทำขนมไฉฟูจากแป้งข้าวเหนียวตราสิงห์ดาว (ภาพที่ 4) โดยร่อนแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง ผสมน้ำตาลทรายป่นให้เข้ากัน จากนั้นค่อยๆเติมน้ำที่ผสมสีชมพูโดยใช้อัตราส่วนน้ำ 100 มิลลิลิตรต่อสี 0.05 มิลลิลิตร นวดจนส่วนผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปนึ่งในลังถึงใช้ไฟระดับกลางเป็นเวลาประมาณ 15 นาที เมื่อสุกนำแป้งออกมาควนผสมให้เข้ากันขณะยังร้อน เทออกจากภาชนะลงบนถาดอะลูมิเนียมที่โรยด้วยแป้งข้าวโพดประมาณ 5 กรัม แล้วโรยทับด้วยแป้งข้าวโพดอีก 2 กรัม นำไป

ปั่นเป็นก้อนทรงกลมน้ำหนัก 20 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพในขั้นตอนต่อไป ส่วนตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจะปั่นโดยใช้แป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่ง 20 กรัม แป้งเป็นแผ่นกลมแล้วหุ้มไส้ถั่วทองกวาน 10 กรัม ซึ่งเป็นตัวแทนของไส้ขนม โดยไส้ถั่วทองกวานประกอบด้วยถั่วเขียวชักร้อยละ 36 น้ำตาลร้อยละ 36 และกะทिर้อยละ 28 มีกรรมวิธีการผลิต คือ แช่ถั่วเขียวชักรในน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำถั่วไปนึ่งเป็นเวลา 30 นาที บดถั่ว กะทิ และน้ำตาลให้ละเอียดด้วยเครื่องบด แล้วกวนในหม้อเคลือบจนกระทั่งถั่วทองกวานมีปริมาณ total soluble solid อยู่ในช่วง 65-70°Brix ทิ้งให้เย็น แล้วปั่นเป็นก้อนกลมน้ำหนัก 10 กรัมเพื่อเป็นตัวแทนของไส้ขนม ทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่ง ดังนี้

2.3.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าเนื้อสัมผัสส่วนแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่ง ด้วยเครื่อง texture analyzer โดยวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 75 โดยตัวอย่างแป้งที่จะทำการวัดค่าเนื้อสัมผัสเตรียมดังกรรมวิธีตามภาพที่ 4 แต่จะไม่มีกรบรรจุไส้ มีเฉพาะส่วนแป้งเท่านั้น มีลักษณะทรงกลมน้ำหนัก 20 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่าง 10 ครั้ง โดยวัดค่าตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากการผลิตและวัดค่า water activity (a_w) ของส่วนแป้งด้วยเครื่องวัด water activity วัดค่าตัวอย่าง 3 ครั้ง

2.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งไส้ถั่วทองกวาน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ตามคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ใช้ทำการทดสอบบรรจุไส้ถั่วทองกวานเป็นตัวแทนของไส้ ประกอบด้วยส่วนของแป้ง 20 กรัม และส่วนของไส้ถั่วทองกวาน 10 กรัม



ภาพที่ 4 กรรมวิธีการทำอาหารว่างประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวน

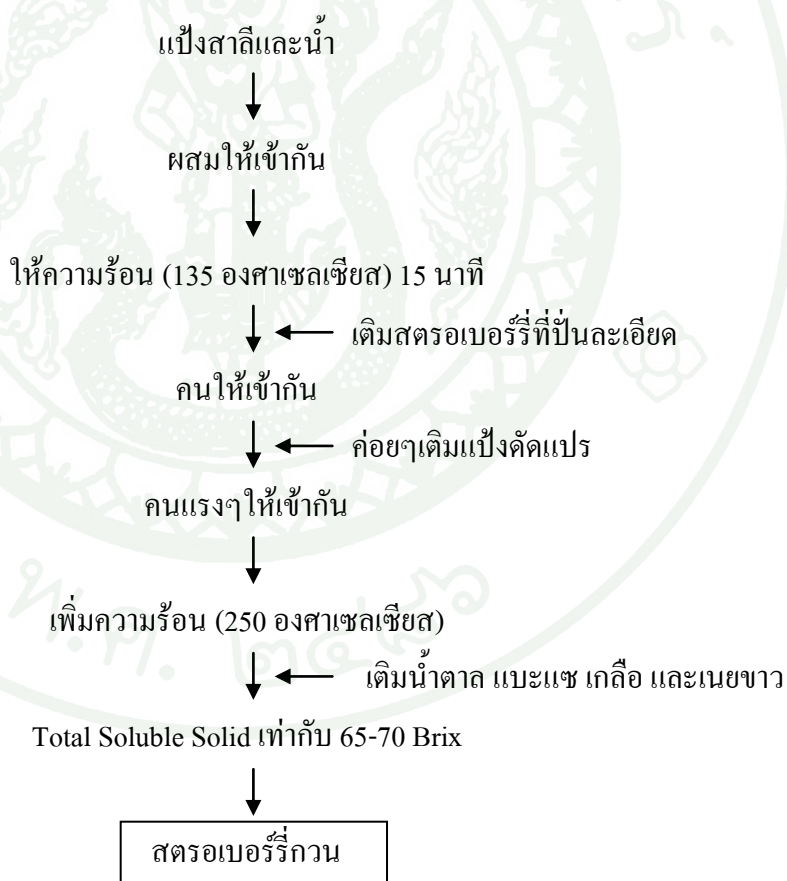
2.4 การพัฒนาสูตรไส้สตรอเบอร์รี่กวน

ไส้ของอาหารว่างประเภทนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สตรอเบอร์รี่กวนอยู่ด้านในหุ้มด้วยถั่วทองกวนซึ่งอยู่ด้านนอก ทำการพัฒนาสูตรสตรอเบอร์รี่กวนเพื่อพัฒนาเนื้อสัมผัสของสตรอเบอร์รี่กวน โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3×2 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลอง ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณแป้งคัสแตร (แป้งพรีเจลาทีไนซ์จากแป้งมันสำปะหลัง) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 3 และ 6 และปริมาณแป้งสาลี 2 ระดับ คือ ร้อยละ 5 และ 10 โดยทำการทดแทนในส่วนของสตรอเบอร์รี่ โดยไส้สตรอเบอร์รี่กวนประกอบด้วยสตรอเบอร์รี่สดแช่เยือกแข็งบดละเอียดที่นำมาละลายน้ำแข็งในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงร้อยละ 50.0 น้ำตาลทรายร้อยละ 25.0 แปะแซร้อยละ 15.0 เนยขาวร้อยละ 4.5 และเกลือร้อยละ 0.5 (คัดแปลงจากสูตรไส้สมุนไพรวงกวนและผลไม้กวน รสพร (2551); ชูติมา (2553)) มีสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 6

กรรมวิธีการทำไส้สตรอเบอร์รี่กวนแสดงดังภาพที่ 5 โดยในการกวน 1 ครั้งมีปริมาณเป็น 3 เท่าของปริมาณส่วนผสม (หน่วยเป็นกรัม) ในตารางที่ 6 โดยผสมแป้งสาลีกับน้ำ ในหม้อแสดงนเลสบนเครื่องให้ความร้อน (hot plate) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเติมสตรอเบอร์รี่บดละเอียด คนให้เข้ากัน ค่อยๆ ใส่แป้งคัสแตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 250 องศาเซลเซียส เมื่อส่วนผสมเริ่มเดือดแล้วจึงเติมน้ำตาล แปะแซ เกลือ และเนยขาว กวนจนกระทั่งสตรอเบอร์รี่กวนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ $65-70^{\circ}\text{Brix}$ ตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) แล้วบรรจุลงกล่องพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพของไส้สตรอเบอร์รี่กวนดังนี้

ตารางที่ 6 ส่วนผสม (ร้อยละ) ของสิ่งทดลองของไส้สตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งคัสเปอร์และแป้งสาลีแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	S1	S2	S3	S4	S5	S6
สตรอเบอร์รี่	50	45	47	42	44	39
แป้งสาลี	5	10	5	10	5	10
แป้งคัสเปอร์	0	0	3	3	6	6
น้ำตาล	25	25	25	25	25	25
เบะแซ	15	15	15	15	15	15
เนยขาว	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
เกลือ	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตสตรอเบอร์รี่กวน

2.4.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีสโตรเบอร์รี่กวนโดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer ใช้แหล่งกำเนิดแสง (illuminant) D_{65} ใช้มุมมองของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (standard observer) 10 องศา บรรจุตัวอย่างใน Petri dish จนเต็มแล้ววางตัวอย่างบนช่องวัดขนาด 30 mm บันทึกค่าสีของตัวอย่างในระบบ $L^* a^* b^* C^* h$ วัดค่าตัวอย่าง 10 ครั้ง วัดค่าเนื้อสัมผัส สโตรเบอร์รี่กวนด้วยเครื่อง texture analyzer โดยวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป ร้อยละ 75 ตัวอย่างมีลักษณะทรงกลมน้ำหนัก 20 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร วัดค่า ตัวอย่าง 10 ครั้ง และวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัด water activity

2.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสโตรเบอร์รี่กวน โดยวิธีการให้ คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ตามคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ (สีแดง) กลิ่น (กลิ่นสโตรเบอร์รี่) เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

2.5 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสโตรเบอร์รี่กวน

ทำการศึกษาอัตราส่วนของไส้ระหว่างถั่วกวนและสโตรเบอร์รี่กวนที่เหมาะสม สำหรับอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยจัดสิ่งทดลองแบบ CRD ทำ 2 ข้าง การทดลอง ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณถั่วกวนและปริมาณสโตรเบอร์รี่กวน เท่ากับ 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยทำการวัดค่าคุณภาพของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียว กลิ้งงอกไส้ถั่วกวนและสโตรเบอร์รี่กวนที่มีอัตราส่วนแตกต่างกันดังนี้

2.5.1 คุณภาพทางกายภาพ โดยการวัดค่าของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจาก แป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่มีอัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนผสมสโตรเบอร์รี่กวนแตกต่างกัน ด้วย เครื่อง texture analyzer โดยวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 75 ตัวอย่างที่ทำการ ทดสอบประกอบด้วยส่วนของแป้ง 20 กรัม และส่วนของไส้ 10 กรัม มีลักษณะทรงกลม เส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่าง 10 ครั้ง โดยจะทำการวัดค่าตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมงหลังการผลิต

2.5.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่กวน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ตามคุณลักษณะทางด้านขนาดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะปรากฏของไส้ (ดูสัดส่วนของถั่วกวนต่อสตอเบอรี่กวนจากตัวอย่างที่ผ่าครึ่ง) รสชาติโดยรวม (เมื่อรับประทานแป้งพร้อมไส้) เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่กวน โดยทำการศึกษาความพอดีของปริมาณถั่วกวนและสตอเบอรี่กวนโดยใช้วิธีให้คะแนนความพอดี (just about right) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

3. การตรวจสอบคุณภาพของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่กวนที่พัฒนาได้

ทำการตรวจสอบคุณภาพของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่กวนที่พัฒนาได้จากข้อ 2 ดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าเนื้อสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกด้วยเครื่อง texture analyzer โดยวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 75 ตัวอย่างมีลักษณะทรงกลมเส้นน้ำหนัก 30 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร วัดค่าตัวอย่าง 10 ครั้ง วัด a_w ของแป้งของอาหารว่างประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวน และไส้สตอเบอรี่กวน ด้วยเครื่องวัด water activity โดยจะทำการวัดค่าตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมงหลังการผลิต

3.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวล่องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่กวน ได้แก่ ความชื้น

ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์ ตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำผลิตภัณฑ์มาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และวิเคราะห์ปริมาณ GABA โดยใช้ HPLC ตามวิธีการของ Varanyanond *et al.* (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข ส่งวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ทำการเตรียมตัวอย่างโดยการนำส่วนแบ่งของอาหารว่างประเภทหนึ่งผ่านการนึ่งแล้วมาทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze dryer แล้วบดละเอียดด้วยโกร่ง

3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ วิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด วิเคราะห์ยีสต์และรา และวิเคราะห์โคลิฟอร์มและ *E. coli* ตามวิธีการของ BAM (2000)

3.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้ โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ตามคุณลักษณะทางด้านขนาดของผลิตภัณฑ์สีชมพู กลิ่นแป้ง เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม) รสหวาน และความชอบรวม ร่วมกับการทดสอบ just about right scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่ออาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้

ทดสอบการยอมรับได้จากผู้บริโภคที่ได้จากการพัฒนา โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ต่อปัจจัยคุณภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสหวาน เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม รวมทั้งถามการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคจำนวน 100 คน โดยใช้สถานที่ทดสอบแบบ central location test (CLT) สถานที่ทดสอบ คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) แบบสะดวก (convenience sampling) (Kotler, 1997)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

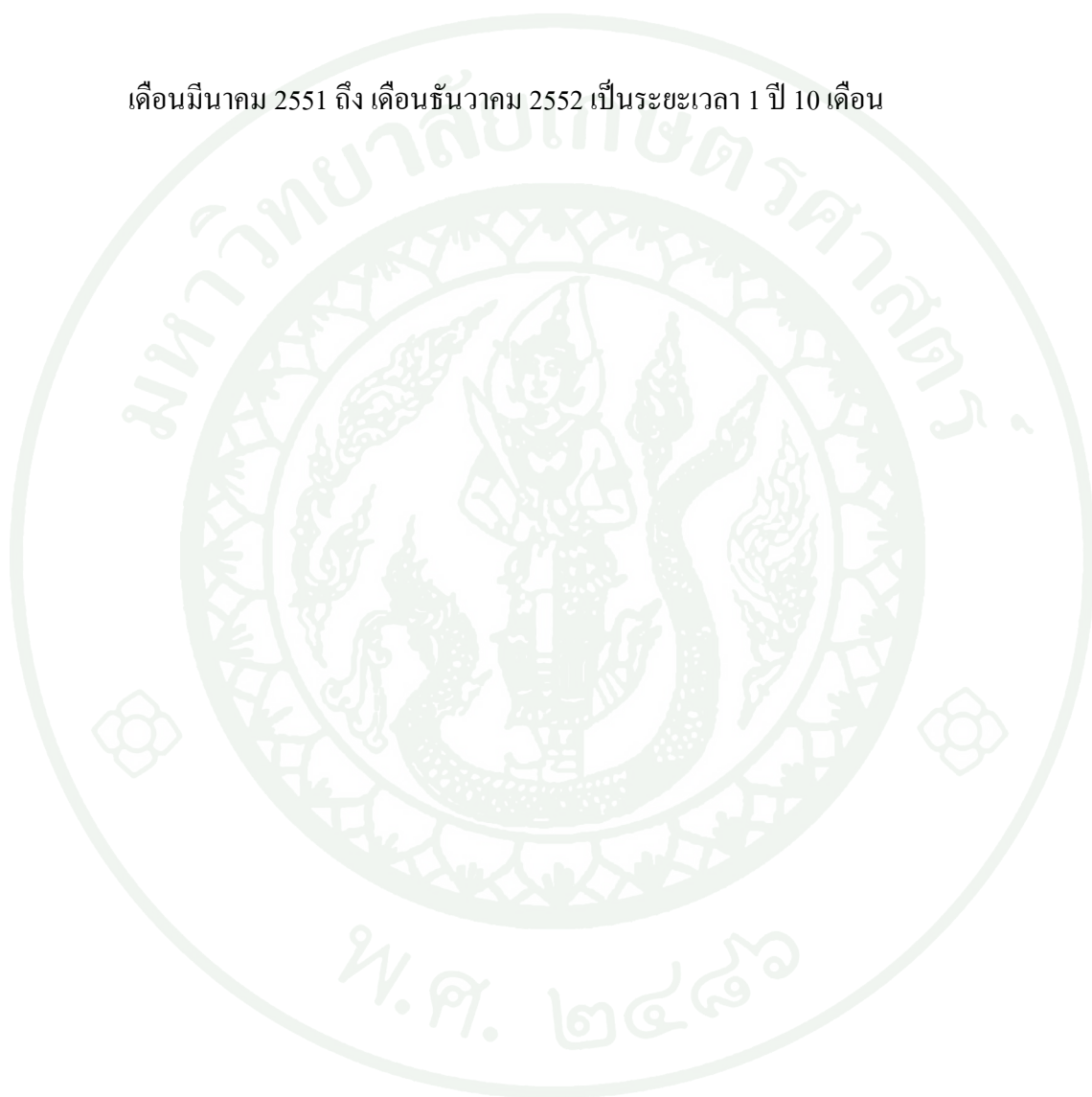
วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และหากสิ่งทดลองมีความแตกต่าง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

6. สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนมีนาคม 2551 ถึง เดือนธันวาคม 2552 เป็นระยะเวลา 1 ปี 10 เดือน



ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอก

การศึกษาค้นคว้าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาที่เหมาะสมในการงอกของข้าวเหนียวกลึงงอกพันธุ์ กข6 โดยจัดตั้งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x5 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำซ้ำ 2 การทดลอง ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มี 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 mM ใน DI และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวมี 5 ระดับ คือ 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง โดยให้ข้าวเหนียวกลึงงอกพันธุ์ กข6 ที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม (control) รวมสิ่งทดลองทั้งหมดเท่ากับ 16 สิ่งทดลอง ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอก

คุณสมบัติด้านความหนืดเป็นคุณภาพทางกายภาพที่มีความสำคัญของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอก จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกโดยใช้เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) โดยค่าคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกแสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 6-8 พบว่า ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการแช่น้ำและความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าวเหนียวกลึง โดยค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback from trough) ลดลงตามระยะเวลาการแช่ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งการลดลงของความหนืดเนื่องจากในระหว่างการงอกเอนไซม์แอมิเลสจะย่อยคาร์โบไฮเดรต เช่น แอมิโลส แอมิโลเพกทิน และกลูโคแอมิเลส เป็นต้น ให้เป็นเดกซ์ทรินและมอลโตแซ็กคาไรด์ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน โดยคาร์โบไฮเดรตที่เปลี่ยนรูปนี้มีผลต่อความหนืดของแป้ง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Brandtzaeg *et. al* (1981) ที่ได้ศึกษาผลความหนืดในแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการงอก พบว่า แป้งมีความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวฟ่างจากเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการงอก

ตารางที่ 7 คุณภาพการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลั่นออกจากข้าวเหนียวกลั่นที่แช่ในสารละลายและระยะเวลาแตกต่างกัน

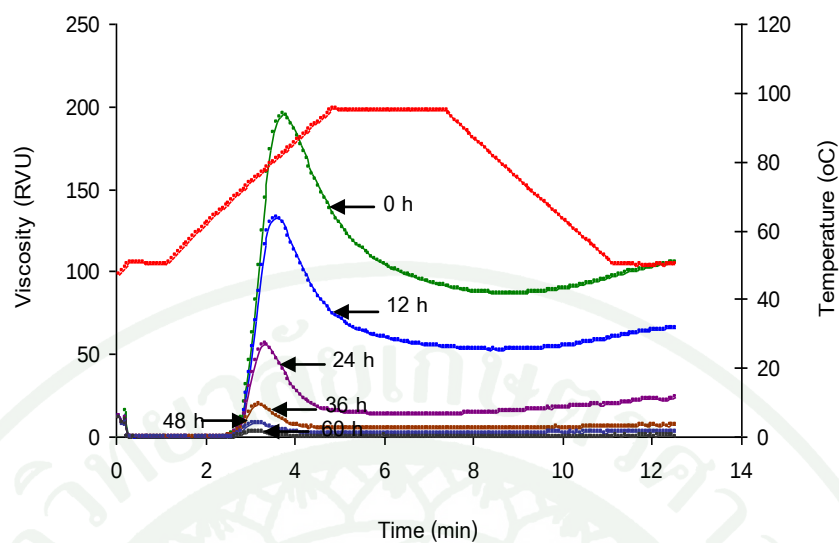
สารละลาย ที่ใช้ในการแช่ข้าว	ระยะเวลา ในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)	อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (⁰ C)	ความหนืด (RVU)				
			ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความแตกต่างของความ หนืดสูงสุดและต่ำสุด	ความหนืดสุดท้าย	ค่าการกินตัว
Control	0	71.41(1.3) ^a	195.66(1.9) ^a	86.75(1.0) ^a	108.91(2.6) ^a	105.68(0.9) ^a	18.93(1.1) ^a
DI	12	70.20(0.5) ^{ab}	132.60(3.6) ^b	52.38(3.6) ^b	80.22(6.9) ^b	66.24 (4.1) ^b	13.86(0.5) ^b
	24	70.33(0.3) ^{ab}	54.30(3.2) ^c	12.05(1.2) ^c	42.25(2.1) ^c	17.91(1.6) ^c	5.86(0.5) ^c
	36	71.24(0.1) ^a	20.48(3.9) ^f	4.53(0.9) ^f	15.76(2.9) ^f	6.93(1.1) ^f	2.40(0.2) ^g
	48	70.07(0.1) ^{abc}	8.78(1.0) ^g	1.54(0.8) ^g	7.22(0.3) ^g	3.07(1.1) ^{gh}	1.53(0.3) ^{hi}
	60	70.06(0.9) ^{abc}	3.32(1.5) ^g	-0.44(0.9) ^g	3.75(0.9) ^{gh}	0.35(0.9) ⁱ	0.79(0.1) ⁱ
0.5mM	12	68.08(0.7) ^d	69.21(1.1) ^d	20.08(5.9) ^d	50.64(1.8) ^d	26.85(5.3) ^d	6.78(1.4) ^d
CaCl ₂	24	67.95(1.7) ^d	24.49(1.2) ^f	4.64(0.7) ^f	20.19(1.1) ^f	7.96(0.6) ^f	3.32(0.3) ^f
	36	68.38(2.4) ^d	8.47(1.6) ^g	1.47(0.5) ^g	7.01(1.4) ^{gh}	3.02(0.5) ^{gh}	1.55(0.3) ^{hi}
	48	68.73(0.8) ^{bcd}	2.92(1.9) ^g	0.49(0.7) ^g	3.07(0.4) ^{gh}	1.49(0.7) ^{ghi}	1.00(0.2) ^{hi}
	60	69.00(1.2) ^{bcd}	1.11(0.4) ^h	-0.75(0.6) ^g	1.86(0.3) ^h	0.09(0.5) ⁱ	0.83(0.4) ⁱ

ตารางที่ 7 (ต่อ)

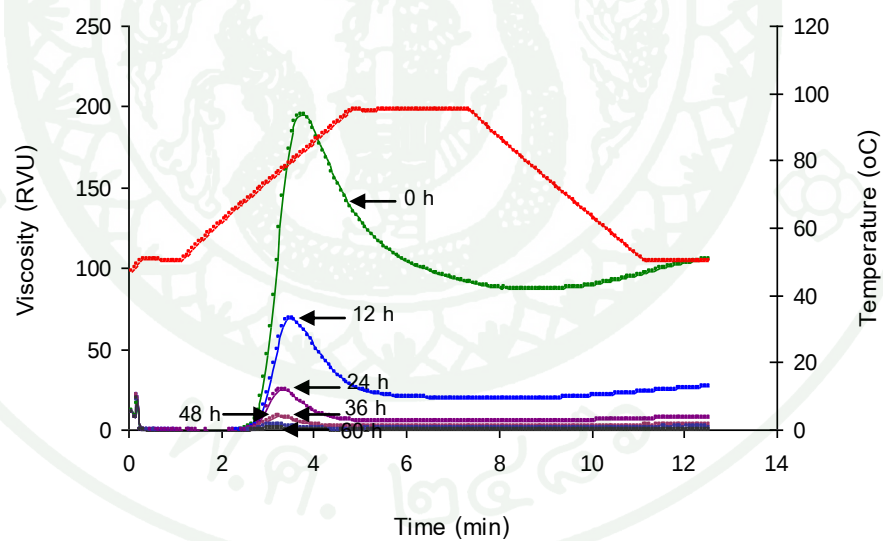
สารละลาย ที่ใช้ในการแช่ข้าว	ระยะเวลา ในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)	อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (°C)	ความหนืด (RVU)				
			ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความแตกต่างของความ หนืดสูงสุดและต่ำสุด	ความหนืดสุดท้าย	ค่าการกินตัว
1mM	12	68.05(0.7) ^d	82.53(2.9) ^c	23.24(1.4) ^c	59.30(1.7) ^c	33.03(1.6) ^c	9.79(0.4) ^c
CaCl ₂	24	68.33(0.8) ^d	23.95(0.9) ^f	5.05(0.5) ^f	18.90(0.6) ^f	8.31(0.5) ^f	3.27(0.3) ^f
	36	69.03(0.9) ^{bcd}	8.88(0.9) ^g	1.94(0.7) ^g	6.94(0.5) ^{gh}	3.67(0.7) ^g	1.73(0.3) ^{gh}
	48	69.05(1.4) ^{bcd}	2.82(0.5) ^g	0.26(0.7) ^g	2.95(0.7) ^{gh}	1.07(0.9) ^{ghi}	0.82(1.1) ⁱ
	60	69.02(1.8) ^{bcd}	2.02(0.7) ^h	0.11(0.6) ^g	2.13(0.2) ^{gh}	0.83(0.5) ^{hi}	0.72(0.5) ⁱ

หมายเหตุ ^{a-i} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

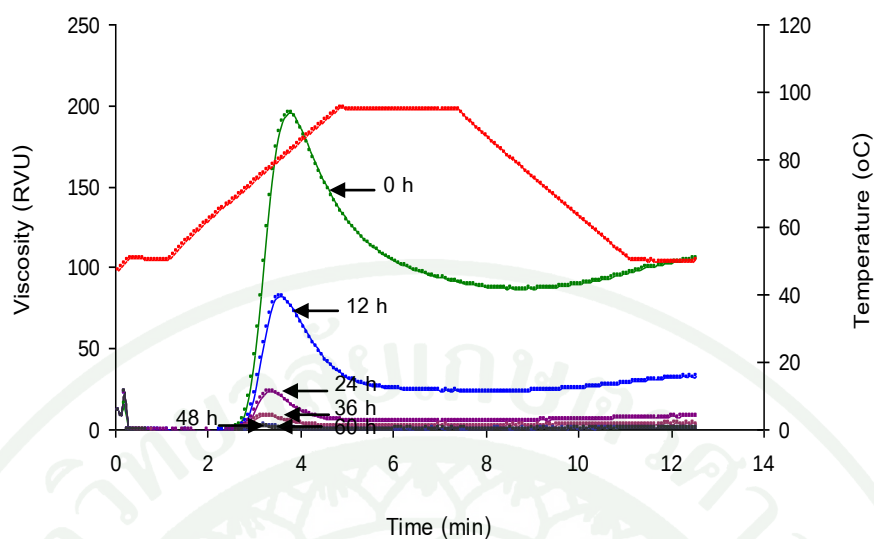
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกที่แช่ใน DI เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5mM เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 1mM เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง

จากการพิจารณาอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) หรือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วจนความหนืดเพิ่มขึ้น พบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่แช่ใน DI สารละลาย CaCl_2 0.5mM และสารละลาย CaCl_2 1mM อยู่ในช่วง 70.06-71.24 องศาเซลเซียส, 67.95-69.00 องศาเซลเซียส และ 68.05-69.05 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาจากสารละลายในการแช่ข้าว พบว่า แป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่แช่ใน DI มีค่าอุณหภูมิเริ่มหนืดสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5mM และสารละลาย CaCl_2 1mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Funami *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาการเกิดเจลในเซชันและรีโทรเกรดชันในแป้งข้าวโพดโดยการเติมเกลือบางชนิด พบว่า Pasting temperature ของแป้งข้าวโพดลดลงเมื่อมี CaCl_2 แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) และซีเซียมคลอไรด์ (CsCl)

จากการพิจารณาค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด พบว่า ความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกลดลงตามระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่ทำการศึกษาผลของสภาวะการงอกต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกพบว่า ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งลดลงเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์เอมิเลสที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการงอกของเมล็ด (Palmiano *et al.*, 1972) เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าว พบว่า ข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI (CaCl_2 0 mM) มีความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดสูงกว่าที่แช่ใน CaCl_2 0.5 และ 1 mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลาย CaCl_2 มีความเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5-6 จึงมีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว อีกทั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวส่งผลให้ความหนืดของแป้งเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 ต่ำกว่าที่แช่ใน

จากการพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงคุณภาพของแป้งและเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงลักษณะของแป้งหรือผลิตภัณฑ์ว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็น (Newport Scientific, 1995) พบว่า ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกลดลงตามระยะเวลาการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์เอมิเลสที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการงอกของเมล็ด (Palmiano *et al.*, 1972) เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าว พบว่า ข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI (CaCl_2 0 mM) มีความหนืดสุดท้ายสูงกว่าที่แช่ใน CaCl_2 0.5 และ 1 mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลาย CaCl_2 มีความเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5-6 จึงมีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว อีกทั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวส่งผลให้ความหนืดของแป้งเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 ต่ำกว่าที่แช่ใน

และจากการพิจารณาค่าการคืนตัว (setback) พบว่า ค่าการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกลดลงตามระยะเวลาการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่ทำการศึกษาผลของสภาวะการงอกต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก โดยพบว่าค่าการคืนตัวของแป้งลดลงเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์เอมิเลสที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการงอกของเมล็ด (Palmiano *et al.*,

1972) เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าว พบว่า ข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI มีค่าการคืบตัวสูงกว่าที่แช่ใน CaCl_2 0.5 และ 1 mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน ทั้งนี้ค่าการคืบตัวได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้ายและค่าความหนืดต่ำสุดคั้งนั้นแนวโน้มจึงเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความหนืดทั้งสองค่า ซึ่งค่าการคืบตัวของแป้งมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Newport Scientific, 1995) เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความคงตัวของเจลและความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยแป้งที่มีค่าการคืบตัวสูงหรือมีค่าเป็นบวก ผลิตภัณฑ์จากแป้งนั้นจะมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Miao *et al.*, 2009) และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก (Beta and Corke, 2001) จากการทดลองพบว่าแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI สารละลาย CaCl_2 0.5mM และสารละลาย CaCl_2 1mM มีค่าการคืบตัวลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่ไม่ได้งอก โดยพบว่าแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่น้ำเป็นเวลา 48 และ 60 ชั่วโมง มีค่าการคืบตัวต่ำ

1.2 คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก พบว่า ระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่ใช้ในการแช่ข้าวเหนียวกลี้งงอกต่างกันมีผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของข้าวเหนียวกลี้งงอกทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 7.98–10.29 และปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6.17–7.43

เมื่อพิจารณาปริมาณ GABA ของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก พบว่า ระยะเวลาในการแช่มีผลต่อปริมาณ GABA อิสระทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Oh (2003) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์อินรีโดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ พบว่า ในข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA สูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ข้าวในน้ำหรือสารละลายทำให้เกิดการสังเคราะห์กรดกลูตามิกโดย GAD ได้เป็น GABA (Ohtsubo *et al.*, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Charoenthaikij *et al.* (2009) ที่พบว่า ปริมาณ GABA อิสระในแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ และข้าวเหนียวกลี้งงอกพันธุ์ กข6 เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ต่อปริมาณ GABA อิสระ พบว่า แป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่โดยสารละลาย CaCl_2 เข้มข้น 0.5 และ 1 mM มีปริมาณ

GABA อิสระสูงกว่าที่แช่ใน DI เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวที่เท่ากัน เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) มีความสามารถในการเพิ่มกิจกรรมของ GAD (Oh, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ Lui *et al.* (2005) ที่ศึกษาการสะสมปริมาณ GABA ในเมล็ดข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ไฮมีโนริ พบว่า กิจกรรมของ GAD ถูกกระตุ้นโดย Ca^{2+} 0.5mM ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ GAD มีความสัมพันธ์กับปริมาณ GABA ที่เพิ่มขึ้น ($r = 0.9201$) และ Zhang *et al.* (2007) ศึกษาคุณลักษณะของ GAD จากเมล็ดข้าว พบว่า การแช่ข้าวในสารละลาย CaCl_2 0.5mM ที่มี pH ระหว่าง 5.5-5.8 สามารถเพิ่มกิจกรรมของ GAD ร้อยละ 145 จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ที่แตกต่างกัน (0.5mM และ 1mM) ไม่มีผลต่อปริมาณ GABA อิสระทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วงระยะเวลาการแช่ 12-36 ชั่วโมง แต่ในช่วง 48-60 ชั่วโมง ข้าวที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5mM มี GABA อิสระสูงกว่าที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 1mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามข้าวเหนียวกล้องงอกที่ผ่านการแช่สารละลาย CaCl_2 ทั้งสองความเข้มข้นมี GABA อิสระสูงกว่าที่แช่ใน DI โดยพบว่าที่ระยะเวลา 60 ชั่วโมง แป้งข้าวเหนียวกล้องงอกที่แช่ใน DI, สารละลาย CaCl_2 0.5mM และ สารละลาย CaCl_2 1mM มีปริมาณ GABA อิสระเท่ากับ 20.44, 31.78 และ 24.43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับแป้งข้าวเหนียวกล้องที่ไม่ได้งอกมี GABA 3.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง จากการรวบรวมข้อมูลของ Oh (2003) อธิบายได้ว่าภายใต้สภาวะที่ควบคุมบางสภาวะในระหว่างการงอกของเมล็ดพืช เช่น ได้รับการกระตุ้นจากเครื่องจักร ภาวะขาดออกซิเจน การเติมกรดหรือน้ำความมืด และภาวะแห้งแล้ง เป็นการเพิ่มความกดดันให้กับข้าวในระหว่างการงอกมีผลทำให้ปริมาณ GABA สูงขึ้นเนื่องจากภาวะเหล่านี้จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GAD ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สังเคราะห์กรดกลูตามิกให้เป็น GABA

เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสมีบทบาทสำคัญในการงอกของเมล็ดพืช เนื่องจากจำเป็นในการนำไปใช้ย่อยสลายสตาร์ชในเมล็ดข้าวให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง (Charoenthaikij *et al.*, 2009) จากการพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส พบว่า ระยะเวลาในการแช่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ($p \leq 0.05$) โดยกิจกรรมของแอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าวซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Palmiano and Juliano (1972) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างงอกของเมล็ดข้าว โดยพบว่าระหว่างงอกกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้น และจากตารางที่ 8 พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่แช่ใน DI มีมากกว่าที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการแช่เท่ากัน เนื่องจากแคลเซียมไอออนเป็นปัจจัยที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (Feller *et al.*, 1996)

ตารางที่ 8 ปริมาณ (โดยน้ำหนักแห้ง) ความชื้น โปรตีน GABA กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และน้ำตาลรีดิซิง ของแป้งข้าวเหนียวเหนียวกลิ้งออก
ที่แช่ในสารละลายและระยะเวลาแตกต่างกัน

สารละลายที่ใช้ ในการแช่ข้าว	ระยะเวลา ในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)	ความชื้น (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	GABA อิสระ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)	กิจกรรมของเอนไซม์ แอลฟา-แอมิเลส (หน่วยต่อมิลลิลิตร)	น้ำตาลรีดิซิง (มิลลิกรัม กลูโคสต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)
Control	0	9.17(0.1) ^c	6.99(0.1) ^{bcd}	3.26(0.2) ^j	14.14(6.2) ^{ij}	86.71(1.1) ^k
DI	12	8.50(0.2) ^d	7.22(0.1) ^{abc}	6.10(0.4) ⁱ	26.11(2.3) ⁱ	111.79(5.1) ^j
	24	8.23(0.4) ^{de}	7.21(0.1) ^{abc}	10.65(0.9) ^g	95.70(9.2) ^e	119.46(6.7) ^j
	36	8.28(0.6) ^{de}	6.94(0.4) ^{cd}	13.41(1.2) ^f	198.05(1.1) ^c	180.27(5.4) ^h
	48	8.32(0.4) ^{de}	7.32(0.1) ^{ab}	18.10(2.2) ^d	319.17(9.8) ^a	249.51(1.9) ^f
	60	7.98(0.1) ^e	7.43(0.0) ^a	20.44(1.5) ^c	328.39(9.5) ^a	458.10(23.9) ^c
0.5m MCaCl ₂	12	9.27(0.1) ^c	6.17(0.3) ^f	8.23(1.2) ^h	3.71(0.8) ^j	113.99(5.9) ^j
	24	9.67(0.6) ^{bc}	6.43(0.1) ^{ef}	14.28(0.9) ^f	70.50(1.5) ^f	215.79(9.4) ^g
	36	9.46(0.1) ^c	6.43(0.4) ^{ef}	16.10(0.4) ^e	78.19(2.7) ^f	254.82(3.5) ^f
	48	9.47(0.1) ^c	6.50(0.2) ^e	25.32(0.9) ^b	116.24(2.2) ^d	340.41(12.3) ^d
	60	10.06(0.5) ^{ab}	6.49(0.2) ^{ef}	31.78(4.1) ^a	241.04(6.1) ^c	847.25(14.9) ^a

ตารางที่ 8 (ต่อ)

สารละลายที่ใช้ ในการแช่ข้าว	ระยะเวลา ในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)	ความชื้น (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	GABA อิสระ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)	กิจกรรมของเอนไซม์ แอลฟา-แอมิเลส (หน่วยต่อมิลลิลิตร)	น้ำตาลรีดิซิง (มิลลิกรัม กลูโคสต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง)
1m M _{CaCl} 2	12	9.56(0.3) ^c	6.41(0.2) ^{ef}	7.62(0.5) ^{hi}	9.22(1.4) ^j	143.26(8.1) ⁱ
	24	9.46(0.1) ^c	6.41(0.2) ^{ef}	12.77(0.8) ^f	41.78(4.1) ^g	179.01(9.4) ^h
	36	9.40(0.2) ^c	6.47(0.4) ^{ef}	16.14(0.5) ^e	75.44(3.5) ^f	255.89(6.0) ^f
	48	9.57(0.5) ^c	6.66(0.1) ^{def}	20.14(0.8) ^c	201.23(9.6) ^d	290.54(11.9) ^e
	60	10.29(0.5) ^a	6.50(0.2) ^{ef}	24.43(1.6) ^b	263.66(13.1) ^b	616.12(1.3) ^b

หมายเหตุ ^{a-j} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

กิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส 1 หน่วย หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์ที่ผลิตน้ำตาลรีดิซิง 1 μ g ภายในเวลา 1 นาที

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก พบว่า ระยะเวลาในการแช่และความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI, สารละลาย CaCl_2 0.5mM และ สารละลาย CaCl_2 1mM เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 111.79, 113.99 และ 143.26 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่ไม่ได้งอกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 86.71 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอกเมล็ดข้าวจะมีกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล จากการศึกษาของ Tian *et al.* (2010) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของเมล็ดข้าวโอ๊ตระหว่างการงอก พบว่า ในระหว่างกระบวนการงอกปริมาณน้ำตาลอิสระและน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส เบต้า-แอมิเลส และแอลฟาไกลโคซิเดส (Saman *et al.*, 2008) เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า สารละลาย CaCl_2 เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ใน DI, สารละลาย CaCl_2 0.5mM และ สารละลาย CaCl_2 1mM เป็นระยะเวลา 60 ชั่วโมงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 458.10, 847.25 และ 616.12 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลาย CaCl_2 มีความเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5-6 จึงมีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก

2.1 การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก

จากการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก โดยใช้กลุ่มเป้าหมายเป็นผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 150 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) แบบสะดวก (convenience sampling) โดยแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทางประชากรศาสตร์ ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง และส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภครวม 120 คน พบว่าเป็น เพศหญิง ร้อยละ 64.7 และเพศชาย ร้อยละ 35.3 กลุ่มผู้บริโภคมียุ่ช่วง 20-29 ปี มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 80 รองลงมาคือ อายุ 30-39 ปี ร้อยละ 10.0 อายุ 10-19 ปี ร้อยละ 6.0 และอายุ 40 ปีขึ้นไป ร้อยละ 4.0 มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60.7 รองลงมาคือ สูงกว่า ปริญญาตรี และต่ำกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 33.3 และร้อยละ 6.0 ตามลำดับ อาชีพของผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 59.3 รองลงมาคือพนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 16.0 ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 12.0 ธุรกิจส่วนตัว และอื่นๆ เช่น แม่บ้าน ลูกจ้างชั่วคราว รับจ้างเป็นต้น ร้อยละ 10.0 และ 2.7 ตามลำดับ สำหรับรายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง น้อยกว่า 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 44.7 รองลงมาคือ 10,000-20,000 บาท ร้อยละ 36.0 มีรายได้ 20,001-30,000 บาท และสูงกว่า 30,000บาท ร้อยละ 11.3 และ 8.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคจากการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการในการบริโภคอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ		
ชาย	53	35.3
หญิง	97	64.7
อายุ		
10-19 ปี	9	6.0
20-29 ปี	120	80.0
30-39 ปี	15	10.0
40 ขึ้นไป	6	4.0
การศึกษา		
ต่ำกว่าปริญญาตรี	9	6.0
ปริญญาตรี	91	60.7
สูงกว่าปริญญาตรี	50	33.3

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
อาชีพ		
นักเรียน นิสิต นักศึกษา	89	59.3
ข้าราชการ รัฐวิสาหกิจ	18	12.0
พนักงานบริษัทเอกชน	24	16.0
ธุรกิจส่วนตัว	15	10.0
อื่นๆ	4	2.7
รายได้ต่อเดือน		
น้อยกว่า 10,000 บาท	67	44.7
10,000-20,000 บาท	54	36.0
20,001-30,000 บาท	17	11.3
สูงกว่า 30,000 บาท	12	8.0

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่า ความถี่ในการรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว มากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 48.7 ประมาณ 4-5 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 20.7 ประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 14.6 ประมาณ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 10.0 และ น้อยกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 6.0 สถานที่ในการเลือกซื้ออาหารขบเคี้ยว (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) มากที่สุด ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อ เช่น เซเว่นอีเลฟเว่น เฟรชมาร์ท ร้อยละ 38.3 รองลงมาคือซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อปส์ ฟู๊ดโลออนส์ ร้อยละ 26.8 ซูเปอร์สโตร์ เช่น โลตัส บิ๊กซี คาร์ฟูร์ ร้อยละ 23.4 และร้านขายของชำ ร้อยละ 11.5 เหตุผลในการเลือกซื้ออาหารขบเคี้ยว (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) นั้นพบว่า รสชาติดี อร่อย มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 33.2 รองลงมาคือความสะดวกในการรับประทาน ร้อยละ 31.8 หาซื้อง่าย ร้อยละ 25.4 รับประทานแล้วอิ่มและต้องการคุณค่าทางอาหาร ร้อยละ 5.6 และ 4.0 ตามลำดับ โอกาสในการรับประทานอาหารขบเคี้ยว (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) พบว่า เมื่อรู้สึกอยากรับประทานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.9 รองลงมาคือ เมื่อรู้สึกหิว ร้อยละ 22.5 ระหว่างมื้ออาหาร ร้อยละ 17.6 เวลาอ่านหนังสือ ร้อยละ 16.5 และรับประทานแทนอาหารมื้อหลักร้อยละ 3.5

ตารางที่ 10 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภคร่วมผลิตภัณฑอาหารว่าง

ข้อมูลสำรวจ	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ความถี่ในการรับประทานอาหารว่าง		
มากกว่า 5 ครั้ง/สัปดาห์	73	48.7
4-5 ครั้ง/สัปดาห์	31	20.7
2-3 ครั้ง/สัปดาห์	22	14.6
1 ครั้ง/สัปดาห์	15	10.0
น้อยกว่า 1 ครั้ง/สัปดาห์	9	6.0
สถานที่ในการเลือกซื้ออาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
ซูเปอร์มาร์เก็ต	93	26.8
ซูเปอร์สโตร์	81	23.4
ร้านสะดวกซื้อ	133	38.3
ร้านขายของชำ	40	11.5
เหตุผลในการเลือกซื้ออาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
สะดวกในการรับประทาน	120	31.8
หาซื้อง่าย	96	25.4
ต้องการคุณค่าทางอาหาร	15	4.0
รสชาติดี รสอร่อย	125	33.2
รับประทานแล้วอิ่ม	21	5.6
อื่นๆ	0	0.0
โอกาสในการรับประทานอาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
เวลาอ่านหนังสือ	57	16.5
ระหว่างมื้ออาหาร	61	17.6
เมื่อรู้สึกอยากรับประทาน	138	39.9
เมื่อเวลาหิว	78	22.5
รับประทานแทนอาหารมื้อหลัก	12	3.5
อื่นๆ	0	0.0

ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวไส้ถั่วกวนที่ผู้บริโภครู้จักมากที่สุด คือ ไตฟูกุคิดเป็นร้อยละ 83.3 รองลงมาคือ ขนมโก๋สด บัวหิมะ และอื่นๆ เช่น ขนมเทียนโดยคิดเป็นร้อยละ 52.0, 46.0 และ 4.0 ตามลำดับ ผู้บริโภคเคยรับประทานอาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวไส้ถั่วกวนร้อยละ 98 และไม่เคยรับประทานร้อยละ 2.0 ผู้บริโภคมีความสนใจต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวนร้อยละ 84.7 และไม่แน่ใจร้อยละ 15.3 เนื่องจากไม่แน่ใจว่ารสชาติจะอร่อยหรือไม่ ผู้บริโภคต้องการให้นำถั่วทองหรือถั่วเขียวชกมาทำเป็นไส้ขนมมากที่สุด ร้อยละ 52.7 รองลงมาคือ ถั่วแดงและถั่วดำ คิดเป็นร้อยละ 27.3 และ 20.0 ตามลำดับ ผลไม้ที่ต้องการให้เป็นส่วนผสมในไส้ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ สตรอเบอร์รี่ร้อยละ 63.3 รองลงมาคือองุ่น ร้อยละ 12.7 สับปะรด ร้อยละ 10.7 ทูเรียน ร้อยละ 8.0 กล้วย ร้อยละ 3.3 และมะม่วง ร้อยละ 2.0 ลักษณะของไส้ถั่วกวนและผลไม้กวนที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด คือ ถั่วกวนและผลไม้กวนอยู่แยกชั้นกันโดยมีถั่วกวนหุ้มผลไม้กวน ร้อยละ 90 สำหรับลักษณะของไส้ที่ผสมถั่วกวนรวมกับผลไม้กวนเป็นเนื้อเดียวกันคิดเป็นร้อยละ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเหนียวนุ่ม) ร้อยละ 32.2 รองลงมาคือ รสชาติ ร้อยละ 27.1 กลิ่น ร้อยละ 21.0 สี ร้อยละ 11.8 และรูปร่าง ร้อยละ 7.9 รูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุดคือ ทรงกลม ร้อยละ 82.7 ร้อยละ รองลงมาคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส ร้อยละ 7.3 ทรงกระบอก ร้อยละ 6.7 และ สี่เหลี่ยมผืนผ้า ร้อยละ 3.3 ผู้บริโภคสนใจจะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวน ร้อยละ 83.3 เนื่องจากมีความแปลกใหม่และมีประโยชน์จากข้าวกลิ้งงอก ถั่วทอง และผลไม้ และไม่แน่ใจร้อยละ 16.7 เนื่องจากไม่แน่ใจเรื่องรสชาติของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาพฤติกรรม ทักษะคิด และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการมีลักษณะเป็นทรงกลม มีไส้ประกอบด้วยถั่วทองกวนหุ้มสตรอเบอร์รี่กวน และปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุดของอาหารว่างประเภทหนึ่ง คือ ปัจจัยด้านเนื้อสัมผัส (ความเหนียวนุ่ม) ดังนั้นจึงทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

ข้อมูลสำรวจ	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวไส้ถั่วกวนที่รู้จัก (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
ไคฟูกู	125	83.3
บัวหิมะ	69	46.0
ขนมโก๋สด	78	52.0
อื่นๆ	6	4.0
เคยรับประทานอาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวไส้ถั่วกวน		
เคย	147	98.0
ไม่เคย	3	2.0
ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก ประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวน		
สนใจ	127	84.7
ไม่แน่ใจ	23	15.3
ไม่สนใจ	0	0.0
ชนิดของถั่วที่ต้องการให้เป็นส่วนผสมในไส้ของผลิตภัณฑ์		
ถั่วดำ	30	20.0
ถั่วแดง	41	27.3
ถั่วเขียวซีก (ถั่วทอง)	79	52.7
ชนิดของผลไม้ที่ต้องการให้เป็นส่วนผสมในไส้ของผลิตภัณฑ์		
สตอเบอรี่	95	63.3
องุ่น	19	12.7
สับปะรด	16	10.7
ทุเรียน	12	8.0
มะม่วง	3	2.0
กล้วย	5	3.3
อื่นๆ	0	0.0

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ข้อมูลสำรวจ	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ลักษณะของไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวนที่ต้องการ		
ถั่วกวนและผลไม้กวนอยู่แยกชั้นกัน	135	90
		
ถั่วกวนผสมรวมกับผลไม้กวนเป็นเนื้อเดียวกัน	15	10
คุณลักษณะของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่สำคัญ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
สี	51	11.8
กลิ่น	91	21.0
เนื้อสัมผัส (ความเหนียวนุ่ม)	139	32.2
รสชาติ	117	27.1
รูปร่าง	34	7.9
รูปร่างของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่ต้องการ		
ทรงกลม	124	82.7
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	5	3.3
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	11	7.3
ทรงกระบอก	10	6.7
ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีว่างจำหน่าย		
สนใจ	125	83.3
ไม่แน่ใจ	25	16.7
ไม่สนใจ	0	0.0

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง

จากการทดลองข้อ 1 พบว่า ข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5 mM มีปริมาณ GABA อิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 1 mM และใน DI ที่ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่ได้จากข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง มีความหนืดเหมาะสมที่จะนำมาทำแป้งโดฟู เนื่องจากสามารถคงรูปได้เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่เป็นระยะเวลา 48 และ 60 ชั่วโมงไม่สามารถคงรูปได้เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยแป้งจะไหลลงมารวมกันที่บริเวณฐานของขนม จึงนำข้าวเหนียวกลี้งงอกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5 mM เป็นเวลา 36 ชั่วโมง มาทำการอบแห้งและบดละเอียด ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งในขั้นต่อไป

ทำการตรวจสอบคุณภาพของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่นำมาเป็นส่วนผสมของแป้งของผลิตภัณฑ์ดังแสดงผลในตารางที่ 12 ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ พบว่า ค่า a_w ของแป้งเท่ากับ 0.21 ส่วนค่าสีของแป้งที่ประกอบด้วย L^* , a^* , b^* , C^* และ h ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่าง สีแดง สีเหลือง ความเข้มของสี และค่ามุมของสี มีค่าเท่ากับ 89.92, 0.14, 8.13, 8.13 และ 88.99 ตามลำดับ เนื่องจากค่า hue angle อยู่ที่มุม 88.99 องศา ซึ่งเป็นช่วงของสีเหลือง และมีค่าความสว่างสูงใกล้เคียง 100 ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างมีลักษณะเป็นสีขาวค่อนข้างเหลือง เมื่อพิจารณาคุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก พบว่า แป้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.96 ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียวที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 13 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.43 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง 254.82 มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และปริมาณ GABA อิสระ 15.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก ซึ่งแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกที่ไม่ผ่านการงอกมี GABA อิสระ 3.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้ง แสดงว่าการข้าวเหนียวกลี้งงอกในสารละลาย CaCl_2 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น 4.7 เท่า และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า แป้งมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.1×10^5 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียวที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียวที่กำหนดไว้ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และพบโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/ml

ตารางที่ 12 ค่าคุณภาพของแป้งข้าวเหนียวกล้างออกที่แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5 mM
เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

คุณภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่า water activity (a_w)	0.21
ค่าสี L^*	89.92
a^*	0.14
b^*	8.13
C^*	8.13
h	88.99
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ)	7.96
โปรตีน (ร้อยละ)	6.43
น้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคสต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)	250.67
GABA อิสระ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าวเหนียวกล้างออก)	15.35
คุณภาพทางจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	4.1×10^5
จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	< 10 โดยประมาณ
จำนวนโคลิฟอร์ม (MPN/ml)	< 3

2.3 การศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกและน้ำที่มีต่อคุณภาพของแป้งอาหารว่างประเภทนี้

แป้งข้าวเหนียวจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เป็นแป้งที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำ (ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความนุ่มและเหนียว (Keeratipibul *et al.*, 2008) แต่จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกที่ไม่ได้งอก ดังนั้นในการพัฒนาสูตรแป้งของอาหารว่างประเภทนี้จากแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกจึงต้องทำการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความคงตัวของรูปร่างของแป้งขนม โดยปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและรูปร่างมากที่สุดคือ ปริมาณแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกและน้ำ ดังนั้นจึงจัดตั้งทดลองแบบ 3x3 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ดังตารางที่ 5 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ 100:0, 80:20, 60:40 และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 100:75, 100:90, 100:105

จากผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพโดยการวัดค่ากายภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของส่วนแป้งของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำไม่มีผลต่อการรวมตัวกันภายในของอาหาร (Cohesiveness) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness) ทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยแป้งของผลิตภัณฑ์มีค่าการรวมตัวกันภายในอาหารอยู่ในช่วง 0.33-0.56 และมีค่าพลังงานในการเคี้ยวอยู่ในช่วง 0.03-0.11 จูล เมื่อพิจารณาความแข็ง (Hardness) การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (Springiness) ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปื่อย (Gumminess) และการเกาะติดผิว (Adhesiveness) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำมีผลต่อค่าดังกล่าวทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากันพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ค่าความแข็งลดลง และทำให้ค่าการเกาะติดผิวเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนการลดปริมาณแป้งข้าวเหนียวลี้ยงงอกเมื่อมีอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำเท่ากันทำให้ค่าความแข็ง ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปื่อย และค่าการเกาะติดผิวมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ Chuang and Yeh (2006) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านการไหลและเนื้อสัมผัสของขนมโมจิ พบว่า ผลิตภัณฑ์โมจิจากท้องตลาดที่มีปริมาณน้ำน้อยจะมีค่าความแข็งสูงกว่าโมจิที่มี

ปริมาณน้ำสูง แต่มีค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมต่ำกว่าโมจิที่มีปริมาณน้ำสูง ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำลดลง แต่ทั้งนี้ลักษณะของเนื้อสัมผัสของโมจิยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่นๆ และกระบวนการในการผลิตอีกด้วย โดยในกระบวนการเกิดเจลของแป้งความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองภายในโครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกตินคลายตัวลง สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสมหรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชทำให้เกิดการพองตัวของขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับเกิดความชื้นเหนียว ซึ่งแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูง เจลที่ได้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวและติดมือ (อรอนงค์, 2547) การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมีผลให้แป้งขนมสามารถคงรูปร่างและลดความเหนียวของแป้งได้ และจากการวัดค่า a_w ของส่วนแป้งของขนมผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งพบว่า แป้งของผลิตภัณฑ์มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.97-0.99 แป้งผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง 100:0 และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 100:105 มีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.99

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม แสดงผลดังตารางที่ 14 ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ กับค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งแสดงผลดัง ตารางที่ 15 และเนื่องจากค่าคะแนนความชอบด้านความหวานของแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จึงคำนวณเฉพาะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม โดยพบว่า สามารถอธิบายความแปรปรวนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในช่วงร้อยละ 67-78

ตารางที่ 13 คุณภาพทางกายภาพของส่วนแบ่งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอก

สิ่ง ทดลอง	แป้งข้าวเหนียว กลี้งอก ต่อ แป้งมันสำปะหลัง	แป้งผสม ต่อ น้ำ	a_w	ค่าเนื้อสัมผัส					
				ความแข็ง (นิวตัน)	การรวมตัวกัน ภายในของ อาหาร	การกลับคืนสู่ ขนาดเดิม (มิลลิเมตร.)	ระดับความเป็น กาวยาง (นิวตัน)	พลังงานใน การเคี้ยว (จูล)	การเกาะติดผิว (จูล)
T1	100:0	100:75	0.973(0.0) ^d	2.70(0.3) ^b	0.39(0.1) ^a	0.61(0.2) ^{ab}	2.82(0.5) ^a	0.03(0.0) ^a	1437.51(6.0) ^b
T2	100:0	100:90	0.973(0.0) ^d	1.65(0.1) ^c	0.52(0.4) ^a	0.72(0.0) ^a	2.42(0.3) ^{ab}	0.03(0.0) ^a	1403.30(3.7) ^b
T3	100:0	100:105	0.991(0.0) ^a	1.06(0.1) ^d	0.30(0.1) ^a	0.70(0.1) ^a	2.75(0.9) ^a	0.09(0.1) ^a	1617.79(8.3) ^a
T4	80:20	100:75	0.974(0.0) ^d	2.30(0.2) ^b	0.40(0.1) ^a	0.48(0.1) ^b	1.32(0.1) ^b	0.05(0.0) ^a	570.92(5.4) ^c
T5	80:20	100:90	0.982(0.0) ^c	1.79(0.1) ^c	0.48(0.4) ^a	0.50(0.2) ^b	1.27(1.1) ^b	0.07(0.1) ^a	701.89(2.1) ^d
T6	80:20	100:105	0.988(0.0) ^b	1.52(0.3) ^c	0.33(0.2) ^a	0.62(0.1) ^{ab}	2.43(0.5) ^{ab}	0.06(0.0) ^a	898.11(4.3) ^c
T7	60:40	100:75	0.981(0.0) ^c	3.51(0.2) ^a	0.52(0.0) ^a	0.74(0.1) ^a	1.82(0.2) ^{ab}	0.03(0.0) ^a	330.45(1.6) ^f
T8	60:40	100:90	0.981(0.0) ^c	1.80(0.2) ^c	0.47(0.2) ^a	0.62(0.1) ^{ab}	1.23(1.0) ^b	0.11(0.1) ^a	460.30(8.1) ^c
T9	60:40	100:105	0.988(0.0) ^b	1.54(0.4) ^c	0.56(0.0) ^a	0.67(0.1) ^a	1.74(0.5) ^{ab}	0.06(0.0) ^a	575.96(7.2) ^c

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

ตารางที่ 14 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส่วนแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอก

สิ่งทดลอง	แป้งข้าวเหนียวกลึงงอก ต่อ แป้งมันสำปะหลัง	แป้งผสม ต่อ น้ำ	ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส			
			รูปร่าง	ความนุ่ม	รสหวาน	ความชอบรวม
T1	100:0	100:75	5.6(0.9) ^b	4.2(0.8) ^c	5.7(1.8) ^a	4.1(0.6) ^c
T2	100:0	100:90	5.1(0.8) ^b	5.6(0.8) ^{bc}	6.3(1.4) ^a	5.4(0.6) ^b
T3	100:0	100:105	2.4(0.8) ^c	5.0(0.9) ^d	6.2(1.1) ^a	3.2(0.9) ^d
T4	80:20	100:75	6.4(1.1) ^a	3.8(0.9) ^c	5.9(1.2) ^a	4.1(0.8) ^c
T5	80:20	100:90	5.5(0.9) ^b	5.9(1.9) ^b	6.3(1.5) ^a	5.2(1.0) ^b
T6	80:20	100:105	2.8(1.0) ^c	5.1(1.0) ^{cd}	6.3(1.3) ^a	3.0(0.8) ^d
T7	60:40	100:75	6.0(0.8) ^a	3.5(0.8) ^f	6.0 (1.3) ^a	4.3(0.8) ^c
T8	60:40	100:90	6.6(1.4) ^a	6.1(0.9) ^{ab}	6.3(1.4) ^a	6.6(0.7) ^a
T9	60:40	100:105	6.5(1.3) ^a	6.6(1.3) ^a	6.0(1.3) ^a	6.8(0.7) ^a

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

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ตารางที่ 15 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส่วนแบ่งของ
ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้ง
มันสำปะหลัง และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำแตกต่างกัน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ^a	R ²
ลักษณะปรากฏ (รูปร่าง)	$Y_1 = -13.3287 - 0.0938x_1 + 0.626x_2 + 0.0015x_1^2 - 0.0023x_1x_2 - 0.0029x_2^2$	0.78
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)	$Y_2 = -53.1287 + 0.087x_1 + 1.1831x_2 + 0.0005x_1^2 - 0.0019x_1x_2 - 0.0054x_2^2$	0.67
ความชอบรวม	$Y_3 = -54.4058 - 0.1423x_1 + 1.4826x_2 + 0.0022x_1^2 - 0.0028x_1x_2 - 0.007x_2^2$	0.78

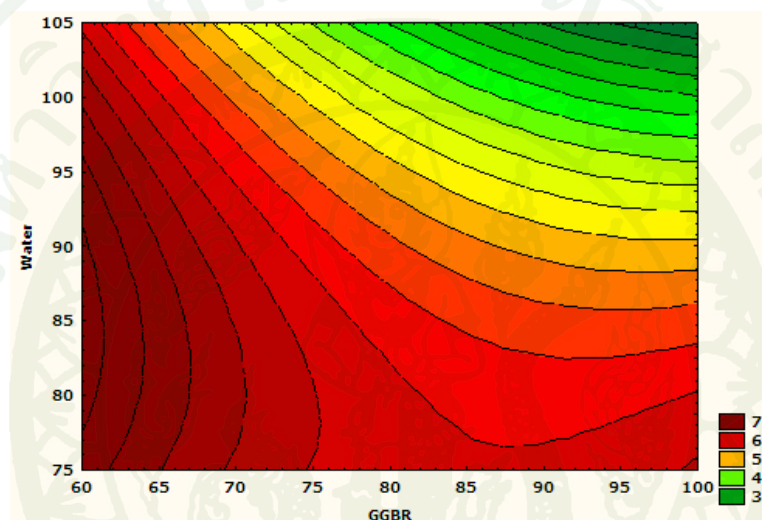
หมายเหตุ ^a แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ : $Y_i = \beta x_1 + \beta x_2 + \beta x_3 + \beta x_4 + \beta x_5$, Y_i คือ คุณภาพทางประสาทสัมผัส

β คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_i แต่ละตัวในสมการรีเกรสชัน

x_1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก และ x_2 คือปริมาณน้ำ

จากการศึกษาเบื้องต้นซึ่งทดลองใช้แป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกเป็นส่วนผสมโดยไม่ใส่แป้งมันสำปะหลังในส่วนแบ่งผลิตภัณฑ์ พบว่า แป้งไม่สามารถคงรูปร่างของขนมได้ โดยเมื่อตั้งทิ้งไว้แป้งบางส่วนจะไหลลงมารวมกันบริเวณฐานของขนมและมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างเหนียวจนเกินไป ดังนั้นจึงเพิ่มแป้งมันสำปะหลังเพื่อช่วยให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวหนึบและยืดหยุ่นขึ้น โดยจากสูตรมาตรฐานพบว่ามีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 3.25 เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 15) พบว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำซึ่งแสดงเป็นปริมาณน้ำ (x_2) มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่สุด คือ 0.626 แสดงว่า ปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความชอบด้านรูปร่างมากที่สุด โดยจากเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ในสมการ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำค่าความชอบด้านรูปร่างจะเพิ่มขึ้น แต่จากภาพที่ 9 พบว่า เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกสูงการเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากกว่า 90 กรัม (เมื่อมีปริมาณแป้งผสม 100 กรัม) จะมีผลให้คะแนนความชอบด้านรูปร่างลดลงเนื่องจากแป้งของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถคงรูปร่างไว้ได้ โดยจะไหลลงมารวมกันบริเวณฐาน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังซึ่งแสดงเป็นปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก (x_1) มีค่า 0.094 และจากเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ในสมการซึ่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าความชอบด้านรูปร่างแปรผกผันกับปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก โดยจากภาพที่ 9 พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก (เมื่อมีปริมาณน้ำเท่ากัน) ทำให้ค่าความชอบด้านรูปร่างลดลง

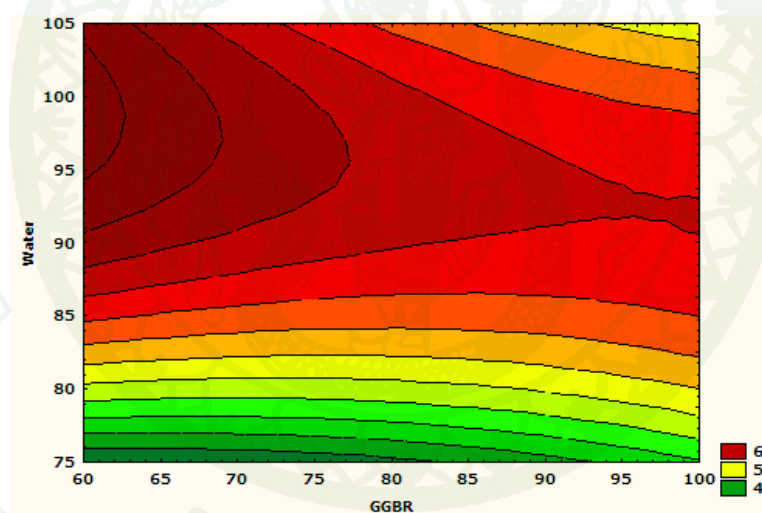
เนื่องจากแป้งของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถคงรูปร่างได้ โดยแป้งบางส่วนจะไหลลงไปรวมกันบริเวณฐานของขนม ซึ่งจากตารางที่ 14 สิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกและแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 60:40 มีคะแนนความชอบในด้านนี้มากที่สุดคือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย โดยเมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อรูปร่าง พบว่า สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อรูปร่างได้ร้อยละ 77.8 ($R^2 = 0.78$)



ภาพที่ 9 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกและปริมาณน้ำ

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง (ตารางที่ 15) พบว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำซึ่งแสดงเป็นปริมาณน้ำ (x_2) มีค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด คือ 1.183 แสดงว่า ปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความชอบด้านความนุ่มมากที่สุด โดยปริมาณน้ำแปรผันตรงกับคะแนนความชอบ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังซึ่งแสดงเป็นปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก (x_1) มีค่า 0.087 โดยแปรผันตรงกับความชอบด้านความนุ่ม แสดงว่า การเพิ่มปริมาณน้ำและปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกทำให้ค่าความชอบด้านความนุ่มเพิ่มขึ้น แต่จากภาพที่ 10 พบว่า เมื่อปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 88-105 กรัม (เมื่อใช้แป้งผสม 100 กรัม)

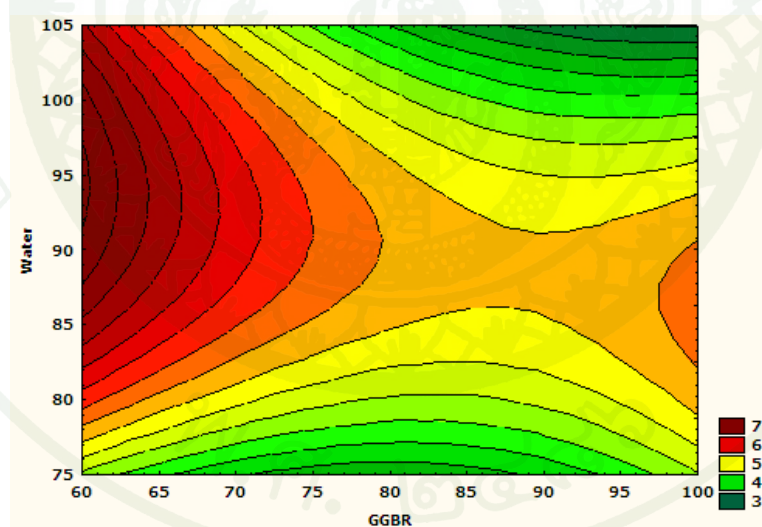
การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก จะส่งผลให้ความชอบด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเนื้อสัมผัสของแป้งผลิตภัณฑ์มีความนุ่มและเหนียวติดเพดานปาก โดยอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำสามารถอธิบายความแปรปรวนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อความนุ่มได้ร้อยละ 67.4 จากตารางที่ 14 พบว่าสิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 100:90 และ 100:105 และมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกและแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 60:40 (T8 และ T9) มีค่าคะแนนความชอบด้านความนุ่มมากที่สุดคือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) พบว่า สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบต่อเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ได้ร้อยละ 67 ($R^2 = 0.67$)



ภาพที่ 10 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกและปริมาณน้ำ

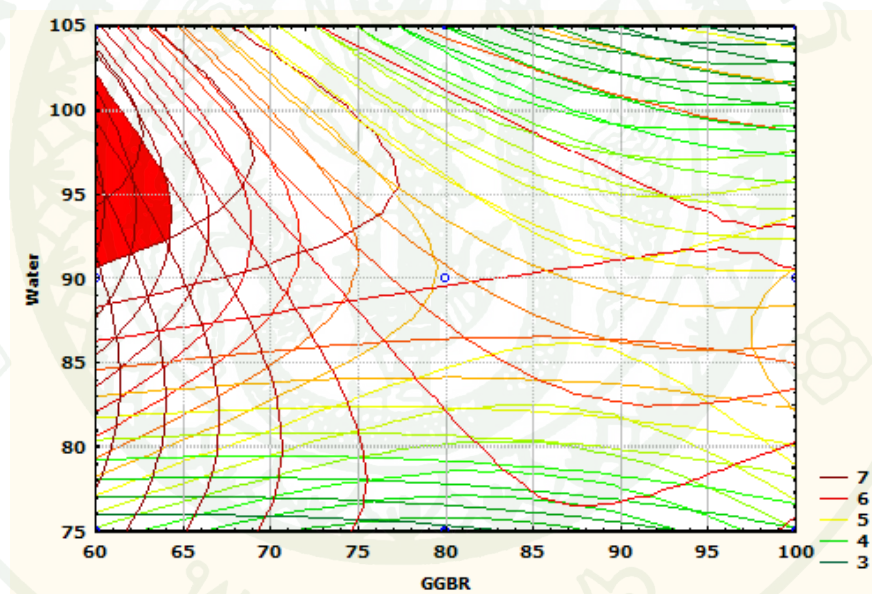
และเมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง (ตารางที่ 15) พบว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำซึ่งแสดงเป็นปริมาณน้ำ (x_2) มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่สุด คือ 1.483 แสดงว่า ปริมาณน้ำมีผลต่อ

ค่าความชอบด้านความชอบรวมมากที่สุดเช่นเดียวกับความชอบคุณลักษณะอื่นๆ โดยการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ความชอบรวมเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังซึ่งแสดงเป็นปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก (x_1) มีค่า 0.142 และจากเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ในสมการซึ่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่า ปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกแปรผกผันกับความชอบรวม นั่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกจะทำให้ความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ลดลง จากภาพที่ 11 พบว่า เมื่อปริมาณน้ำมีค่ามากกว่า 90 กรัม (เมื่อใช้แป้งผสม 100 กรัม) การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก จะส่งผลให้ความชอบรวมผลิตภัณฑ์ลดลง จากตารางที่ 14 พบว่า สิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 100:90 และ 100:105 และมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกและแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 60:40 (T8 และ T9) มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุดคือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบรวม พบว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบรวมได้ร้อยละ 77.8 ($R^2 = 0.78$)



ภาพที่ 11 แผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกและปริมาณน้ำ

เมื่อนำแผนภาพคอนทัวร์จากคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม ดังแสดงในภาพ 9-11 มาซ้อนทับกันเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสม โดยใช้เกณฑ์คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) และความชอบรวมตั้งแต่ระดับความชอบปานกลาง (7.0) ขึ้นไป ส่วนด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ใช้เกณฑ์คะแนนตั้งแต่ระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (6.5) ขึ้นไป ได้พื้นที่ที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 12 โดยพบว่า ช่วงของปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่เหมาะสมที่สุดของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทนี้ คือ 60-64 กรัม นั่นคือ มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 60:40-64:36 และช่วงของปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ 91-102 กรัม นั่นคือ มีอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำอยู่ในช่วง 100:91-100:102 โดยมีค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) ความชอบด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.5-7.0)



ภาพที่ 12 แผนภาพคอนทัวร์ของปริมาณแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกและน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทนี้

2.4 การพัฒนาสูตรไส้สตรอเบอร์รี่กวน

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าสตรอเบอร์รี่กวนสูตรมาตรฐานซึ่งเป็นไส้ด้านในแล้วหุ้มด้วยถั่วกวนด้านนอกไม่สามารถปั้นเป็นก้อนกลมแล้วหุ้มด้วยถั่วกวนได้เนื่องจากสตรอเบอร์รี่กวนสูตรดังกล่าวมีความเหนียวสูงและติดมือในระหว่างการปั้น ดังนั้นจึงมีการเพิ่มแป้งสาลีซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไส้พาย เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของสตรอเบอร์รี่กวนโดยลดการเหนียวติดมือในระหว่างการปั้น และเติมแป้งคัสเตปรีชนิดพรีเจลาติไนเซชันจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มปริมาณของสตรอเบอร์รี่กวน จากการทดลองพบว่าปริมาณแป้งสาลีและปริมาณแป้งคัสเตปรีมีผลต่อค่า a_w และค่าสีของไส้ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 16 โดยทั้ง 6 สิ่งทดลองมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.75-0.94 สิ่งทดลองที่มีปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 10 และแป้งคัสเตปรีร้อยละ 6 (S6) มีค่า a_w สูงที่สุดคือ 0.94 สำหรับผลการวัดค่าคุณภาพด้านสี พบว่า ปริมาณแป้งคัสเตปรีและแป้งสาลีมีผลค่าสีของไส้สตรอเบอร์รี่กวน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งคัสเตปรี มีผลให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสี เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาปริมาณแป้งสาลีที่เพิ่มขึ้นพบว่า มีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่าของมุมของสีอยู่ในช่วงสีเหลือง ไส้สตรอเบอร์รี่กวนทั้ง 6 สิ่งทดลองแสดงดังภาพที่ 13

ตารางที่ 16 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านสีและค่า a_w ของไส้สตรอเบอรี่กวน

สิ่งทดลอง	ร้อยละ		a_w	ค่าคุณภาพด้านสี				
	แป้งสาลี	แป้งคัสเปอร์		L*	a*	b*	C*	h
S1	5	0	0.748 ^f	21.79 ^f (0.5)	26.31 ^d (0.1)	13.16 ^c (0.2)	29.41 ^d (0.1)	26.57 ^c (0.3)
S2	10	0	0.866 ^d	24.44 ^d (0.7)	25.37 ^c (0.1)	11.90 ^d (0.1)	28.02 ^c (0.8)	25.12 ^c (0.2)
S3	5	3	0.874 ^d	23.30 ^e (0.4)	28.75 ^b (0.1)	15.06 ^b (0.1)	32.46 ^b (0.7)	27.65 ^b (0.1)
S4	10	3	0.913 ^b	29.49 ^b (0.6)	25.30 ^c (0.2)	12.17 ^d (0.2)	28.07 ^c (0.2)	25.68 ^d (0.2)
S5	5	6	0.921 ^c	25.23 ^c (0.1)	29.55 ^a (0.1)	16.39 ^a (0.4)	33.79 ^a (0.3)	29.00 ^a (0.5)
S6	10	6	0.938 ^a	32.27 ^a (0.4)	27.60 ^c (0.1)	13.24 ^c (0.2)	30.62 ^c (0.1)	25.63 ^d (0.3)

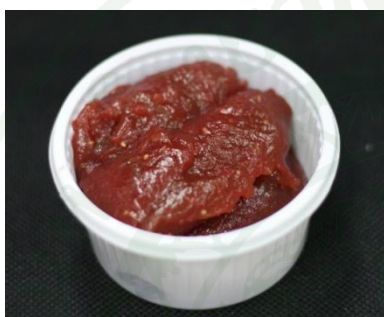
หมายเหตุ ^{a-f} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 13 สตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณ (ร้อยละ) แป้งสาลีและแป้งคัดแปรแตกต่างกัน (ก) แป้งสาลี ร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 0, (ข) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 0, (ค) แป้ง สาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 3, (ง) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 3, (จ) แป้ง สาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 6 และ (ฉ) แป้งสาลีร้อยละ 10 แป้งคัดแปรร้อยละ 6

จากการทดสอบคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของไส้สตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งดัดแปรและแป้งสาลีแตกต่างกัน ดังตารางที่ 17 พบว่า ปริมาณแป้งสาลีไม่มีผลต่อค่าการรวมตัวกันภายในของอาหาร และค่าการเกาะติดผิวทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณแป้งสาลีมีผลทำให้ค่าความแข็ง ค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก และพลังงานในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกลูเตนในแป้งสาลีทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นยาง เหนียว และยืดหยุ่นได้ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2541) ดังนั้น สตรอเบอร์รี่กวนจึงมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม และยืดหยุ่นและเมื่อพิจารณาปริมาณแป้งดัดแปร พบว่าไม่มีผลต่อค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม และพลังงานในการเคี้ยวทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปรมีผลทำให้ค่าความแข็ง และระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียกเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และทำให้ค่าการรวมตัวกันภายในของอาหาร และค่าการเกาะติดผิวลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะปรากฏ (สีแดง) กลิ่น (กลิ่นสตรอเบอร์รี่) เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของไส้สตรอเบอร์รี่กวนแสดงดังตารางที่ 18 พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปรและแป้งสาลีมีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของไส้สตรอเบอร์รี่กวนลดลง โดยสตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 5 และแป้งดัดแปรร้อยละ 0 (S1) และสตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 5 และแป้งดัดแปรร้อยละ 3 (S3) มีค่าคะแนนความชอบในด้านต่างๆ มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย S1 มีค่าคะแนนความชอบต่อสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม 6.7, 6.2, 6.1 และ 6.4 ตามลำดับ ส่วน S3 มีคะแนนความชอบ 6.8, 6.4, 5.8 และ 6.1 ตามลำดับ แต่เนื่องจาก S3 สามารถปั้นเป็นไส้ขนมได้ง่ายกว่าไม่เหนียวติดมือและใช้ปริมาณสตรอเบอร์รี่น้อยกว่า เพื่อเป็นการลดต้นทุนจึงเลือกนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นไส้ขนมในขั้นตอนต่อไป สำหรับสตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 10 และแป้งดัดแปรร้อยละ 6 (S6) และสตรอเบอร์รี่กวนที่มีปริมาณแป้งสาลีร้อยละ 10 และแป้งดัดแปรร้อยละ 3 (S4) มีคะแนนความชอบด้านต่างๆ น้อยที่สุด เนื่องจากสตรอเบอร์รี่กวนมีสีค่อนข้างซีด มีกลิ่นรสของสตรอเบอร์รี่น้อยเกินไป และมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง

ตารางที่ 17 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของไส้สตรอเบอร์รี่กวน

สิ่ง ทดลอง	ร้อยละ		ค่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส					
	แป้งสาลี	แป้งคัสเปอร์	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าการรวมตัวกัน ภายในของอาหาร	ค่าการกลับคืนสู่ ขนาดและรูปร่าง เดิม (มิลลิเมตร)	ระดับความเป็น กาวยาง (นิวตัน)	พลังงานในการเคี้ยว (จูล)	ค่าการเกาะติดผิว (จูล)
S1	5	0	0.70(0.1) ^c	0.84(0.0) ^a	10.24(0.3) ^b	0.55(0.1) ^b	0.0063(0.0) ^b	0.0047(0.0) ^a
S2	10	0	0.90(0.1) ^b	0.80(0.1) ^{ab}	11.28(0.7) ^a	0.78(0.1) ^a	0.0088(0.0) ^a	0.0033(0.0) ^{ab}
S3	5	3	0.93(0.1) ^{ab}	0.82(0.0) ^{ab}	10.14(0.1) ^b	0.66(0.1) ^{ab}	0.0067(0.0) ^b	0.0033(0.0) ^{ab}
S4	10	3	1.00(0.1) ^{ab}	0.71(0.1) ^{bc}	11.28(0.0) ^a	0.78(0.0) ^a	0.0088(0.0) ^a	0.0032(0.0) ^{ab}
S5	5	6	1.00(0.1) ^{ab}	0.67(0.0) ^c	10.23(0.6) ^b	0.66(0.1) ^{ab}	0.0068(0.0) ^b	0.0027(0.0) ^b
S6	10	6	1.04(0.1) ^a	0.75(0.1) ^{abc}	11.09(0.3) ^a	0.77(0.1) ^a	0.0081(0.0) ^{ab}	0.0026(0.0) ^b

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

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ตารางที่ 18 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของสตรอเบอร์รี่กวนที่ใช้ปริมาณแป้งสาลีและแป้งคัสเปอร์ต่างกัน

สิ่งทดลอง	ร้อยละ		ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส			
	แป้งสาลี	แป้งคัสเปอร์	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
S1	5	0	6.7 (1.8) ^a	6.2 (1.3) ^{ab}	6.1 (1.4) ^a	6.4 (1.3) ^a
S2	10	0	5.6(1.4) ^b	6.30(1.1) ^a	5.1(1.6) ^{bc}	5.40(1.4) ^{bc}
S3	5	3	6.8(1.0) ^a	6.4 (1.2) ^a	5.8 (1.6) ^{ab}	6.1 (1.4) ^{ab}
S4	10	3	4.2(1.6) ^c	5.5 (1.7) ^{bc}	4.8 (2.1) ^{bc}	4.6 (1.8) ^{cd}
S5	5	6	6.1(1.3) ^b	6.2 (1.3) ^{ab}	5.0 (2.0) ^{bc}	5.2 (1.7) ^c
S6	10	6	3.9(1.7) ^c	5.3 (1.7) ^c	4.6 (1.9) ^c	4.1 (1.7) ^d

หมายเหตุ ^{a-d} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

2.5 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวน

จากการวัดค่าทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่า อัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวนไม่มีผลต่อค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมและค่าการเกาะติดผิวทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่า การเพิ่มปริมาณสตรอเบอร์รี่กวนทำให้ค่าความแข็งลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวน 6:4 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด คือ 8.92 นิวตัน แต่การเพิ่มปริมาณสตรอเบอร์รี่กวนมีผลทำให้ค่าการรวมตัวกันภายในอาหารระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปือก และพลังงานในการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนระหว่างไส้ถั่วกวนและสตรอเบอร์รี่กวน 6:4 มีระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปือกสูงที่สุด คือ 8.54 นิวตัน และมีค่าพลังงานในการเคี้ยวสูงที่สุด คือ 0.06 จูล

ตารางที่ 19 ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกที่มีอัตราส่วนระหว่างถั่วกวนและสตอเบอรี่ต่างกัน

อัตราส่วนระหว่าง ถั่วกวนและ สตอเบอรี่กวน	ค่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส					
	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าการรวมตัวกัน ภายในของอาหาร	ค่าการกลับคืนสู่ขนาด และรูปร่างเดิม (มิลลิเมตร)	ระดับความเป็น กาวยาง (นิวตัน)	พลังงานในการเคี้ยว (จูล)	ค่าการเกาะติดผิว (จูล)
9:1	14.86(1.5) ^a	0.21(1.0) ^b	6.45(4.6) ^a	4.29(0.9) ^c	0.03(1.4) ^b	0.0002(0.0) ^a
8:2	13.11(0.6) ^b	0.22(1.3) ^b	4.52(0.4) ^a	5.80(0.6) ^b	0.03(0.3) ^b	0.0001(0.0) ^a
7:3	9.90(0.7) ^c	0.22(0.8) ^b	4.99(1.6) ^a	6.02(1.3) ^b	0.03(1.6) ^b	0.0001(0.0) ^a
6:4	8.92(1.6) ^c	0.27(0.6) ^a	6.99(1.8) ^a	8.54(0.7) ^a	0.06(0.2) ^a	0.0001(0.0) ^a

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

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกที่มีอัตราส่วนของไส้ถั่วกวนและสตอเบอรี่กวนแตกต่างกันดังภาพที่ 14 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 20 พบว่า ความชอบด้านขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะดังกล่าวในระดับชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของไส้ (คู่สัดส่วนของถั่วกวนต่อสตอเบอรี่กวนจากตัวอย่างที่ผ่าครึ่ง) พบว่า แต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณสตอเบอรี่กวนทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของไส้ถั่วกวนต่อสตอเบอรี่กวน 7:3 มีค่าคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะนี้สูงที่สุด คือ 7.5 ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของไส้ 9:1 มีค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด คือ 4.9 เนื่องจากมีปริมาณสตอเบอรี่กวนน้อยเกินไป สำหรับคุณลักษณะด้านรสชาติโดยรวม (เมื่อรับประทานแป้งพร้อมไส้) พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มปริมาณสตอเบอรี่กวนทำให้ความชอบด้านรสชาติโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทนี้เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของไส้ 7:3 และ 6:4 มีค่าคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะนี้ในระดับชอบปานกลาง คือ 7.1 และ 7.0 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชอบด้านคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะดังกล่าวอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง คืออยู่ในช่วง 6.3-6.7 คะแนน และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านความชอบรวม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสตอเบอรี่กวนทำให้คะแนนความชอบรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้ทดสอบชอบรสชาติของไส้สตอเบอรี่กวน ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของไส้ 7:3 และ 6:4 มีค่าคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะนี้สูงคือ 7.10 และ 7.00 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการทดสอบความพอดี (just about right) เพื่อทดสอบความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อปริมาณไส้ถั่วกวนและสตอเบอรี่กวนในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทนี้จากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 14 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนของไส้ถั่วกวนและสตอเบอรี่กวนแตกต่างกัน (ก) 9:1, (ข) 8:2, (ค) 7:3 และ (ง) 6:4

ตารางที่ 20 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนระหว่างถั่วกวนและสตอเบอรี่กวนต่างกัน

อัตราส่วนระหว่าง ถั่วกวนและ สตอเบอรี่กวน	ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	ขนาด	ลักษณะปรากฏ	รสชาติรวม	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
9:1	7.8(0.1) ^a	4.9(1.8) ^c	5.8(1.5) ^b	6.5(1.1) ^a	5.9(1.1) ^b
8:2	7.7(0.5) ^a	6.2(1.6) ^b	6.2(1.3) ^b	6.3(1.3) ^a	6.2(1.1) ^b
7:3	7.7(0.4) ^a	7.5(0.9) ^a	7.1(1.1) ^a	6.7(1.5) ^a	7.1(1.0) ^a
6:4	7.7(0.3) ^a	6.9(1.5) ^b	7.0(1.1) ^a	6.6(1.3) ^a	7.0(0.9) ^a

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

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

จากผลการทดสอบความพอดี (just about right) ดังแสดงผลในตารางที่ 21 พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนของไส้ถั่วกวนต่อสตรอบอร์รี่กวน 7:3 มีความพอดีมากที่สุด โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่าปริมาณถั่วกวนน้อยเกินไปร้อยละ 10 พอดีร้อยละ 73.3 และมากเกินไปร้อยละ 16.7 ปริมาณสตรอบอร์รี่กวนน้อยเกินไปร้อยละ 26.7 พอดีร้อยละ 70 และมากเกินไปร้อยละ 3.3 โดยในการผลิตอาหารว่างประเภทนี้จากแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอบอร์รี่กวนใช้ปริมาณแป้งหุ้มไส้และไส้ถั่วกวนผสมสตรอบอร์รี่กวนในอัตราส่วน 2:1 ใช้แป้ง 20 กรัม และไส้กวนรวม 10 กรัม

ตารางที่ 21 จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ) ที่มีต่อปริมาณไส้ถั่วกวนและสตรอบอร์รี่กวน

อัตราส่วนระหว่างถั่วกวนและ สตรอบอร์รี่กวน	คุณลักษณะ	น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
9:1	ปริมาณถั่วกวน	3.3	20	76.7
	ปริมาณสตรอบอร์รี่กวน	90	10	0
8:2	ปริมาณถั่วกวน	13.3	50	36.7
	ปริมาณสตรอบอร์รี่กวน	60	36.7	3.3
7:3	ปริมาณถั่วกวน	10	73.3	16.7
	ปริมาณสตรอบอร์รี่กวน	26.7	70	3.3
6:4	ปริมาณถั่วกวน	33.3	60	6.7
	ปริมาณสตรอบอร์รี่กวน	20	60	20

นำผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกต่อแป้งมันสำปะหลัง 60:40 และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำ 100:92 ไส้ประกอบด้วยถั่วกวนต่อสตรอบอร์รี่กวน 7:3 โดยสตรอบอร์รี่กวนมีแป้งสาลีร้อยละ 5 และแป้งคัดแปรร้อยละ 3 มาทำการทดสอบด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ร่วมกับการทดสอบความพอดี (Just about right) เพื่อศึกษาระดับความชอบและความพอดีในคุณลักษณะด้านขนาดของผลิตภัณฑ์ (สีชมพู) กลิ่นแป้ง เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม) รสหวาน และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คนพบว่า คะแนนความชอบด้านขนาดของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.8) โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (ร้อยละ 76.67) เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีขนาดพอดี และร้อยละ 23.33 เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่เกินไป ส่วนคะแนนความชอบด้านสี (สีชมพู) อยู่ในระดับชอบปานกลาง

(7.0) โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าความเข้มข้นของสีมีความพอดี (ร้อยละ 76.67) เห็นว่าน้อยเกินไป ร้อยละ 20 และเห็นว่าเข้มข้นเกินไปร้อยละ 3.33 เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่นแป้ง พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าพอดี (ร้อยละ 76.67) น้อยเกินไปร้อยละ 3.33 มากเกินไปร้อยละ 20 โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.8) สำหรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม) พบว่ามีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.4) ร้อยละ 60 ของผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์นี้มีความนุ่มพอดี ร้อยละ 3.33 เห็นว่าน้อยเกินไป ร้อยละ 36.67 เห็นว่านุ่มมากเกินไป โดยอาจจะทำการแก้ไขโดยการลดปริมาณน้ำในสูตร ส่วนรสหวานของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.1) โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (ร้อยละ 86.67) เห็นว่าพอดี ร้อยละ 10 เห็นว่าหวานน้อยเกินไป และร้อยละ 3.33 เห็นว่าหวานมากเกินไป และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวม พบว่า มีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.1) (ตารางที่ 22) จากการวิเคราะห์ พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นว่าคุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาแล้ว

ตารางที่ 22 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลี้งอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาแล้ว

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ	จำนวนผู้ทดสอบ (ร้อยละ)		
		น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
ขนาดของผลิตภัณฑ์	6.8(0.9)	0	76.67	23.33
สี (สีชมพู)	7.0(1.1)	20	76.67	3.33
กลิ่นแป้ง	6.8(0.7)	3.33	76.67	20
เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม)	6.4(1.1)	3.33	60	36.67
รสหวาน	7.1(0.9)	10	86.67	3.33
ความชอบรวม	7.1(0.7)	-	-	-

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

- หมายถึงไม่ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบความพอดี (just about right)

3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกใส่ถั่ว กวนผสมสตรอเบอรี่กวนที่พัฒนาได้

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่พัฒนาได้ 1 ชิ้น ประกอบด้วยส่วนของแป้ง 20 กรัม และ ไข่ 10 กรัม ซึ่งส่วนของแป้งขนมประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกร้อยละ 30 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 19 น้ำตาลร้อยละ 7 และน้ำผสมสีชมพูร้อยละ 44 โดยมีกรรมวิธีการผลิต ดังนี้ ผสมส่วนผสมทั้งหมดแล้วนึ่ง 15 นาที เมื่อสุกนำแป้งออกมาผสมให้เข้ากันขณะร้อน จากนั้นนำมาเป็นก้อนก้อนละ 20 กรัม แล้วนำไปแผ่เป็นแผ่นกลมแล้วห่อหุ้มไข่ ซึ่งประกอบด้วย ถั่วกวน 7 กรัม หุ้มสตรอเบอรี่กวน 3 กรัม โดยสตรอเบอรี่กวนที่พัฒนาได้ประกอบด้วยสตรอเบอรี่สดแช่เยือกแข็งบดร้อยละ 47 แป้งสาลีร้อยละ 5 แป้งคัดแปรร้อยละ 3 น้ำตาลร้อยละ 25 แบะแซร้อยละ 15 เนยขาวร้อยละ 4.5 และเกลือร้อยละ 0.5

จากการตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่พัฒนาได้ (ภาพที่ 15) แสดงผลดังตารางที่ 23-24 โดยเมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ (ตารางที่ 23) พบว่า ค่า a_w ของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง และไข่กวน มีค่า 0.98 และ 0.91 ตามลำดับ จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส วัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็ง 9.20 นิวตัน การรวมตัวกันภายในอาหาร 0.33 การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม 5.55 มิลลิเมตร ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก 3.00 นิวตัน พลังงานในการเคี้ยว 0.02 จูล และการเกาะติดผิว 0.0001 จูล ซึ่งทุกค่ามีค่าใกล้เคียงกับไคฟูกุเชิงการค้ายี่ห้อ A และ B ยกเว้นระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่พัฒนาได้มีค่าค่อนข้างน้อยกว่าไคฟูกุเชิงการค้า เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกมีความหนืดต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียวปกติ

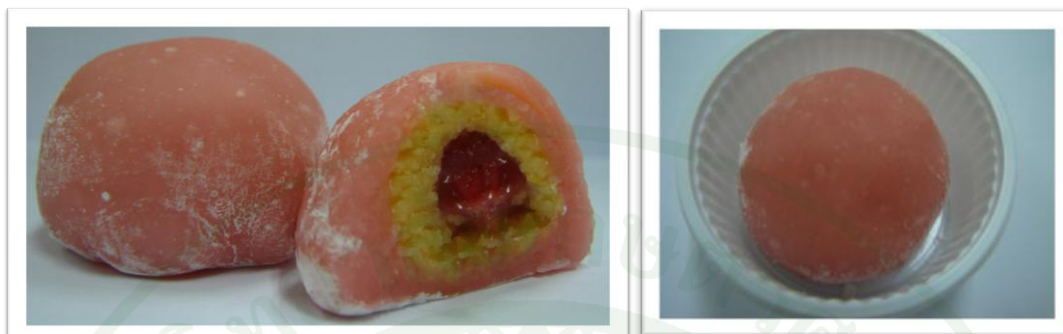
ตารางที่ 23 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงออกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้และไคฟูกุทางการค้าไส้ถั่วกวน

ค่าคุณภาพทางกายภาพ	อาหารว่างประเภทหนึ่งที่พัฒนาได้	ไคฟูกุเชิงการค้า	
		A	B
ค่า water activity (a_w)			
แป้งไคฟูกุ	0.98	0.91	0.95
ไส้	0.91	0.91	0.94
ค่าเนื้อสัมผัส			
ความแข็ง (นิวตัน)	9.20	10.62	8.73
การรวมตัวกันภายในอาหาร	0.33	0.29	0.31
การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (มิลลิเมตร)	5.55	5.16	4.6
ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปื่อย (นิวตัน)	3.00	5.90	5.92
พลังงานในการเคี้ยว (จูล)	0.02	0.03	0.03
การเกาะติดผิว (จูล)	0.0001	0.0002	0.0001

เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 24) โดยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงออกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน มีดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 37.54 โปรตีนร้อยละ 6.58 ไขมันร้อยละ 3.3 เส้นใยหยาบร้อยละ 0.01 เถ้าร้อยละ 1.05 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 51.52 และจากการวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระในส่วนของแป้งอาหารว่างประเภทหนึ่งที่พัฒนาได้พบว่ามีปริมาณ GABA อิสระ 7.37 มิลลิกรัมต่อแป้งของผลิตภัณฑ์ (ไม่มีไส้) 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะพบว่า อาหารว่างประเภทหนึ่ง 1 ชิ้น ประกอบด้วยแป้งขนม 20 กรัม มี GABA 0.92 มิลลิกรัม ดังนั้นปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจึงมีปริมาณลดลงจากแป้งข้าวเหนียวกลึงออกก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต (15.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าวเหนียวกลึงออก) ร้อยละ 8.34

เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ของอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงออก (ตารางที่ 24) พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมโมจิที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม มีจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10

โคโลนีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมโมจิที่กำหนดไว้ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และพบโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/ml



ภาพที่ 15 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้

ตารางที่ 24 คุณภาพทางเคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้

คุณภาพ		ค่าที่วิเคราะห์ได้
คุณภาพทางเคมี		
	ความชื้น (ร้อยละ)	37.54
	โปรตีน (ร้อยละ)	6.58
	ไขมัน (ร้อยละ)	3.30
	เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	0.01
	เถ้า (ร้อยละ)	1.05
	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	51.52
	GABA อิสระ(มิลลิกรัมต่อแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง100 กรัม)	7.37
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	< 25 โดยประมาณ
	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	< 10 โดยประมาณ
	จำนวนโคลิฟอร์ม (MPN/ml)	< 3

จากการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่ได้เบื้องต้น พบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน โดยผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดการรีโทรเกรเดชันของแป้งของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แข็งขึ้น หลังจากนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ syneresis ทำให้น้ำภายในแป้งของผลิตภัณฑ์ถูกขับออกมา และจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองอกไล่ด้วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาได้

จากการนำผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่ได้ผ่านการพัฒนาสูตรมาทดสอบการยอมรับกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 100 คน โดยใช้สถานที่ทดสอบแบบ central location test (CLT) ผู้บริโภคทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) จากข้อมูลทางประชากรศาสตร์ดังตารางที่ 25 พบว่ากลุ่มผู้บริโภคร้อยละ 25 และเพศหญิงร้อยละ 75 มีอายุเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-29 ปี มีการศึกษาระดับต่ำกว่าปริญญาตรีร้อยละ 20 ระดับปริญญาตรีร้อยละ 60 และระดับสูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 20 ส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นนักเรียนนักศึกษาและมีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,000-10,000 บาท

ตารางที่ 25 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลัองอกไล่ด้วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนด้วยวิธี CLT

ลักษณะประชากรศาสตร์	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ	
ชาย	25
หญิง	75
อายุ	
ต่ำกว่า 20 ปี	4
20-29 ปี	84
30-39 ปี	9
40-49 ปี	0
50 ปีขึ้นไป	3

ตารางที่ 26 (ต่อ)

ลักษณะประชากรศาสตร์	ความถี่ (ร้อยละ)
ระดับศึกษาปัจจุบัน	
ต่ำกว่าปริญญาตรี	20
ปริญญาตรี	60
สูงกว่าปริญญาตรี	20
รายได้ต่อเดือน	
น้อยกว่า 5,000 บาท	28
5,000 – 10,000 บาท	49
10,001 – 15,000 บาท	16
15,001 – 20,000 บาท	6
20,001 – 25,000 บาท	1
มากกว่า 25,000 บาท	0

จากตารางที่ 26 ข้อมูลทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่ที่ผู้ทดสอบประเมินด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) เพื่อประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสหวาน เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏในระดับชอบเล็กน้อย (6.7) คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นในระดับชอบเล็กน้อย (6.1) คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสหวานในระดับชอบปานกลาง (7.1) คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความนุ่มในระดับชอบเล็กน้อย (6.1) และคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง (7.1)

ตารางที่ 26 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียว
กลี้งงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่พัฒนาแล้วของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายด้วย
วิธี CLT

คุณลักษณะ	ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ลักษณะปรากฏ	6.7(1.4)
กลิ่น	6.1(1.5)
รสหวาน	7.1(1.4)
ความนุ่ม	6.1(1.7)
ความชอบรวม	7.2(1.2)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

จากตารางที่ 27 เมื่อพิจารณาการยอมรับผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 96 ไม่ยอมรับร้อยละ 4 เนื่องจากแป้งหนาเกินไป แป้งเหนียวจนเกินไป เป็นต้น และเมื่อพิจารณาการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 91 ไม่ซื้อร้อยละ 9 เนื่องจากไม่ชอบรสชาติของแป้งของผลิตภัณฑ์ เนื้อสัมผัสของขนมมีความเหนียวหนึบจนเกินไป และไม่ชอบไส้ของขนม เป็นต้น โดยผู้บริโภคให้ข้อเสนอแนะ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น ควรมีราคา 7-9 บาท ผลิตภัณฑ์ควรมีขนาดเล็กกลง และมีความเหนียวน้อยลง

ตารางที่ 27 การตัดสินใจยอมรับและซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

การตัดสินใจของผู้บริโภค	ความถี่ (ร้อยละ) การยอมรับ		ความถี่ (ร้อยละ) การยอมรับโดยรวม
	ชาย	หญิง	
ยอมรับ	100	94.7	96
ไม่ยอมรับ	0	5.3	4
ซื้อ	92	90.7	91
ไม่ซื้อ	8	9.3	9

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 พบว่า มีผลต่อปริมาณความชื้นและโปรตีน ปริมาณ GABA อิสระ กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ของข้าวเหนียวกล็องงอกมีผลทำให้ปริมาณ GABA และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุดและการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกลดลง ส่วนการแช่ข้าวเหนียวกล็องในสารละลาย CaCl_2 มีผลให้ปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น แต่แป้งมีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และค่าการคืนตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่แช่ใน DI เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่เท่ากัน แต่ปริมาณ GABA อิสระของแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลาย CaCl_2 ที่ 0.5mM และมีปริมาณ GABA อิสระมากกว่าที่ 1mM ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงระยะเวลาในการแช่ 48-60 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแช่ข้าวเหนียว คือ แช่ในสารละลาย CaCl_2 0.5mM โดยมีปริมาณ GABA อิสระเท่ากับ 8.23, 14.28, 16.10, 25.32 และ 31.78 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อมีระยะเวลาในการแช่ 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง ตามลำดับ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล็องงอก โดยศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกและน้ำที่มีต่อคุณภาพของแป้งของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากันการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง และทำให้ค่าการเกาะติดผิวเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนการลดปริมาณแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกเมื่อมีอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำเท่ากันทำให้ค่าความแข็งแรง ระดับความเป็นการยางหรือแป้งเปื่อย และค่าการเกาะติดผิวมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาแผนภาพคอนทัวร์ที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (รูปร่าง) เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบรวม พบว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกล็องงอกต่อแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 60:40 – 64:36 และอัตราส่วนระหว่างแป้งผสมต่อน้ำอยู่ในช่วง 100:91-100:102

การพัฒนาไส้สตรอเบอร์รี่กวนโดยการศึกษาผลปริมาณแป้งสาลีและแป้งคัสส่ายต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสต่อไส้สตรอเบอร์รี่กวน พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งคัสส่ายมีผลให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีของสตรอเบอร์รี่กวนเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาปริมาณแป้งสาลีที่เพิ่มขึ้น พบว่า มีผลทำให้ค่าความ

สว่างเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่ามุมของสีอยู่ในช่วงสีเหลือง จากการทดสอบคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งสาธิตีมีผลทำให้ค่าความแข็ง ค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก และพลังงานในการเคี้ยวของสตรอเบอร์รี่เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปร พบว่า มีผลทำให้ค่าความแข็ง และระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียกของสตรอเบอร์รี่กวนเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปรและแป้งสาธิตีมีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของไส้สตรอเบอร์รี่กวนลดลง และ พบว่า อัตราส่วนของไส้ถั่วกวนต่อสตรอเบอร์รี่กวนที่เหมาะสมที่สุด คือ 7:3

การตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่ได้พัฒนาได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 37.54 โปรตีนร้อยละ 6.58 ไขมันร้อยละ 3.3 เส้นใยหยาบร้อยละ 0.01 เถ้าร้อยละ 1.05 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 51.52 และจากการวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระในส่วนของแป้งของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้พบว่ามีปริมาณ GABA อิสระ 7.37 มิลลิกรัมต่อแป้งของผลิตภัณฑ์ 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น (ประกอบด้วยแป้งขนม 20 กรัม) มีปริมาณ GABA 0.92 มิลลิกรัม (โดยน้ำหนักเปียก) ดังนั้นปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจึงมีปริมาณลดลงจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต (15.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก) ร้อยละ 8 และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม มีจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และพบโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/ml

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 96 ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 91 และผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านขนาดของผลิตภัณฑ์ (6.8) สี (7.0) กลิ่นแป้ง (6.8) เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม) (6.4) รสหวาน (7.1) และความชอบรวม (7.1) ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งโดยการเติมสารป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชัน เช่น ทรีฮาโลส หรือการเติมเอนไซม์ เช่น เบตา-แอมิเลส หรือ แอลฟา-แอมิเลส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มตลอดการเก็บรักษา
2. ควรมีการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารว่างประเภทหนึ่งให้มีลักษณะเหนียวนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น โดยการศึกษาคุณสมบัติของสารให้ความหนืด เช่น สตาร์ชดัดแปร หรือใช้แป้งที่นิยมนำมาทำไอศฟูกมาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ แจ่มชัด. 2550. ขนมหไทย : เอกลักษณ์และคุณภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิตรนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. เบเกอร์เทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินตนา อุปติสสกุล, อรอนงค์ นัยวิกุล และสมชาย ประภาวัต. 2538. การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว. รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเขียว ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล. มหัตถรรพ์ของความเป็นข้าว. แหล่งที่มา: <http://pcog.pharmacy.psu.ac.th>, 20 มกราคม 2551.

ชนิดา หันสวาส. 2551. เคมีของแป้งและแป้งดัดแปร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชุติมา ภูมิวนิชชา, อนุวัตร แจ่มชัด และ กมลวรรณ แจ่มชัด. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแผ่น, น. 443-451. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชูพงษ์ สุกมุลนนทน. 2531. สตรอเบอรี่. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอ.เอส.พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

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

เทวี คุ่มวงศ์ และ สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. ผลของสารชะลอการเกิดริโทเกรเดชันในข้าวสำเร็จรูป
พร้อมรับประทานบรรจุกระป๋อง, น. 303-309. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร).
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. อาหารว่างสำคัญต่อลูก. อาหารว่าง. 2549. แหล่งที่มา: <http://www.tripfood.com>, 11
มกราคม 2550.

นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

บุญทิwa นิลจันทร์. 2548. การศึกษาสมบัติเคมีฟิสิกส์ของฟลาวและสตาร์ชข้าวจากข้าวพันธุ์ต่างๆ
ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ และสุภาวดี รอดศิริ. 2551. เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ขนมอบ. แหล่งที่มา:
<http://courseware.rmutl.ac.th/courses/109/unit000.html>, 21 เมษายน 2553.

เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. 2551. เอนไซม์ตัดแปรการโบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พงศ์สันต์ อรุณสินทวีพร. 2548. การพัฒนาโปรตีนถั่วเขียวสำหรับใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ใน
ผลิตภัณฑ์อาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2525. บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท.จำกัด: กรุงเทพฯ

พรวิมล ปันทยา. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์โมจิ. มผช. 117-2549.

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมแห่งชาติ. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียว. มกอช.639-2548

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวิระกุล และ วาสนา กล้าหาญ. การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 และแกมมาอะมีโนบิวทริกแอซิดในการผลิตข้าวกล้องหนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ, น. 155-161. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รศพร เจียมจริยธรรม. 2551. การพัฒนาอาหารว่างประเภทคุกกี้จากแป้งข้าวกล้องงอกใส่สมุนไพรบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณดา ตูลย์ชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทรประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดข้าว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยโภชนาการ. 2541. ข้าวกล้อง. หมอชาวบ้าน. ธันวาคม 2541: 4 – 7.

สุภาณี จงดี, สุนันทา วงศ์ชัยชน และ วชิร สุขวิวัฒน์. 2548. ไขมันที่สำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก. ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, อุบลราชธานี.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2550. แหล่งที่มา: http://www.nia.or.th/innolinks/index_200701.htm, 11 มกราคม 2550.

ศุภนุช ไต้แปง, นิรมล อุดมอ่าง และ ยุทธนา พิมพ์ศิริผล. ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงอก, น. 100-107. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2549. **ผลิตภัณฑ์ข้าว : ตลาดส่งออกที่ยังเติบโตต่อไปได้**. แหล่งที่มา:

<http://sac.la.ubu.ac.th/Search/display.asp?id=38236>, 12 เมษายน 2553.

อมราภรณ์ วงษ์ฟัก. ม.ป.ป. **อาหารว่าง**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันราชภัฏสวนดุสิต, กรุงเทพฯ.

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

BAM. 2000. Bacteriological Analytical Manual (BAM). Available Source:

<http://www.fda.gov/default.htm>, January 15, 2010.

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

Agrisnet. n.d. **rice**. Available Source: <http://www.sikkimagrisnet.org/en/Agriculture/Rice.aspx>, April 13, 2010.

Agu, R.C. and G.H. Palmer. 1997. The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. **Process Biochemistry** 32 (6): 501–507.

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. 2005. **Gamma Aminobutyric Acid (GABA)**. Available Source:

http://www.worldhealth.net/news/gamma_aminobutyric_acid_gaba/, April 13, 2010.

Anonymous. 2007. **Daifuku**. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Daifuku>, April 13, 2010.

- Bai, Q., M. Chai, Z. Gu, X. Cao, Y. Li and K. Lui. 2009. Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and gamma-aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italic* L.). **Food Chemistry** (116): 152-157.
- Bahadur, KC., Hari, Dr. 2003. **Useful Germinated Brown Rice**. The Rising Nepal. Available Source: <http://www.nepalnews.com/contents/englishdaily/trn/2003/apr/apr09/features1.htm>, December 11, 2006.
- 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.
- Beltran, E.G. and N.S. Singer. 1970. **Snack Food**. Canadian Patent 847 281 (847281).
- Benjamasuttikul, S., O. Naivikul. 2007. Pasting properties change during pre-germination process of Thai rice varieties, pp. 185-192. *In Proceedings of the 4th International Conference on starch Technology*. 6-7 November 2007. Bangkok, Thailand.
- Bernfeld, P. 1955. Amylase α and β . **Methods in Enzymology** (1): 149-158.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorhum starch properties. **Cereal Chemistry** 78(4): 417-420.
- Boettger, M. 1993. Recent study show the effect of pregelatinized starches on cake quality. **Cereal Science Today** (8): 106-108.
- 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.

- Bouche, N., A. Fait, D. Bouchez, S.G. Moller and H. Fromm. 2003. Mitochondrial succinic-semialdehyde dehydrogenase of the gamma-aminobutyrate shunt is required to restrict levels of reactive oxygen intermediates in plants. **Plant Biology** (100): 6843-6848.
- 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.
- 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.
- Chuang, G. C-C. and A-I. Yeh. 2006. Rheological characteristics and texture attributes of glutinous rice cake (mochi). **Journal of Food Engineering** (74): 314-323.
- Daisy, E.K. 1979. **Food Legumes**. London Tropical Products Institute. pp 207.
- Dzudie, T. and J. Hardy. 1996. Physicochemical and Functional Properties of Flours Prepared from Beans and Green Mungbeans. **Journal of Agricultural. Food Chemistry** 44: 3029-3032.
- FANCL. Available Source: <http://www.fancl-hk.com>, January 10, 2007.
- Fasihuddin B.A. and P.A. Williams. 1999. Effect of Salts on Gelatinization and Rheological Properties of Sago Starch. **Journal of Agricultural Food Chemistry** (47):3359-3366.
- Feller, G., O. le Bussy, C. Houssier and C. Gerday. Structure and functional aspects of Chloride binding to *Alteromonas haloplantis* alpha-amylase. 1996. **Journal of Biological Chemistry** 39(271): 23836-23841.

Funami, T., S. Noda, M. Hiroe, I. Asai, S. Ikeda and K. Nashinari. 2008. Functions of iota-carrageenan on the gelatinization and retrogradation behaviors of corn starch in the presence or absence of various salts. **Food Hydrocolloids** (22): 1273-1282.

Gardiner, D.S. **Dessert Composition**. British Patent. 1 419 996.

Gossinger, M., S. Moritz, M. Hermes, S. Wendelin, H. Scherbichler, H. Halbwirth, K. Stich and E. Berghofer. Effects of processing parameters on colour stability of strawberry nectar from puree. 2009. **Journal of Food Engineering** (90): 171-178.

Guo, C., G. Cao, E. Sofic and R.L. Prior. 1997. High-performance liquid chromatography coupled with coulometric array detection of electroactive components in fruits and vegetables. Relationship to oxygen radical absorbance capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** (45): 1787-1796.

Hannum, S. M. (2004). Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. **Critical Review Food Science** (44): 1-17.

Hiromichi, A., S. Tomomi, S. Hiroto, M. Aya, K. Mitsuo, T. Sachiyo, S. Sachio, T. Keiko, and I. Kenichi. 2002. **Germinated brown rice**. United State Patent 2002031596.

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

James, N.B. 2007. **Carbohydrate Chemistry**. 2nd ed. AACC International, Inc, U.S.A.

Karim, A.A., M.Z. Nadiha, F.K. Chen, Y.P. Phuah, Y.M. Chui and A. Fazilah. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated saga (*Metroxylon sagu*) starch. 2008. **Food Hydrocolloids** (22): 1044-1053.

- Keeratipibul, S., N. Luangsakul and T. Lertsatchayarn. 2008. The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). **Food Science and Technology** (41): 1934-1943.
- Kotler, P. 1997. Marketing Management: **Analysis, Planing, Implementation, and Control**, 9th ed. Prentice-Hall, Inc., New jersey.
- Lui, H. L. Yu, F. Xie and L. Chen. 2006. Gelatinization of cornstarch with different amylase/amylopectin content. **Carbohydrate Polymers** (65):357-363.
- 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.
- Kim, H. 2006. Constructing Nature and Science in a Food: Germinating Brown Rice in South Korea. University of Illinois at Urbana-Champaign, Dept of Sociology.
- Kneen, E. and A.D. Dickson. 1967. Malt and Marketing. *In* **Encyclopedia of chemical Technology** 12: 861-886.
- Komatsuzuki, N., K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering** (78): 556-560.
- Leung, D.W.M. and T.A. Thorpet. 1984. Interference by EDTA and calcium ions of the 3,5-Dinitrosalicylate reducing sugar assay. **Phytochemistry** 23(12): 2949-2950.
- Miao, M., T. Zhang and B. Jiang. 2009. Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. **Food Chemistry** (113): 1025-1032.

- Mitsunaga, S., M. Kobayashi, S. Fukui, K. Fukuoka, O. Kawakami, J. Yamaguchi, M. Ohshima and T. Mitsui. 2007. α -amylase production is induced by sulfuric acid in rice aleurone cells. **Plant Physiology and Biochemistry** (45): 922-925
- 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.
- Nanogaki, H. 2006. Seed Germination-The Biochemical and Molecular Mechanisms. **Breeding Science** (56): 93-105.
- Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for The Series 4 Rapid Visco Analyser.** Warri, New South Wales. 93 p.
- 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).

- 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.
- Okamoto, K., K. Kobayashi, H. Hirasawa and T. Umemoto. 2002. Structural differences in amylopectin affect waxy rice processing. **Plant Production Science** 5(1): 45-50.
- Oszmianski, J., A. Wojdylo, J. Koloniak. 2009. Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze-thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries. **Food Science and Technology** (42): 581-586.
- 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.
- Prabhavat, S. 1991. Mungbean Utilization in Thailand. pp. 9-15. *In* Thavarasook, C. et al., eds. **Proceedings of the Mungbean Meeting 90. Chiang Mai, 23-24, February, 1990.** Tropical Agriculture Research Center, Japan, Thailand Office, Bangkok.
- Ronai, K.S. and H.C. Spanier. 1972. **Instant Oat Cereal.** United State Patent 3704134.
- 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.

Senda, A. 1991. Premix Preparation for ice foods. United State Patent 5006359.

Shyama Prasad Rao, R. and G. Myralikrishna. 2004. Non-starch polysaccharide-phenolic acid complexes from native and germinated cereals and millet. **Food Chemistry** (84): 527-531.

Smith, R.J. 1979. **Food Carbohydrate**. The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.

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.

Soaked brown rice is better for you. Available Source:

<http://www.abc.net.au/science/news/stories/s225249.htm>, December 11, 2006.

Somogyi, S. and N. Nelson. 1944. A photometric adaptation of somogyi and method for the determination of cellulose. **Biological Chemistry** 153(1).

Suutarinen, J., K. Honkapaa, R-L. Heinio, K. Autio and M. Morkila. 2000. The effect of different prefreezing treatments on the structure of strawberries before and after jam making. **Lebensm.-Wiss. u.-Technology** (33): 188-201.

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

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.

- Tiwari, B.K., C.P. O'Donnell, A. Patras, N. Brunton and P.J. Cullen. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry** (113): 1119-1126.
- Varayanond, W., P. Tungtrakul, V. Surojanametakul, L. Watanasiritham and W. Luxiang. 2005. Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. **Kasetsart Journal** (39): 411-415.
- Watanabe, M, T. Maeda, K. Tsukahara, H. Kayahara and N. Morita. 2004. Application of Pregerminated Brown Rice for Breadmaking. **Cereal Chemistry** 4 (81): 450-455.
- Wicklund, T., H.J. Rosenfeld, B.K. Martinsen, M.W. Sundfor, P. Lea and T. Bruun. 2005. Antioxidant capacity and colour of strawberry jam as influenced by cultivar and storage conditions. **Food Science and Technology** (38): 387-391.
- 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, Davis.
- 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 Science** 14 (4): 295-301.
- Young, N.W.G., G. Kappel and T. Bladt. 2003. A polyuronan blend giving novel synergistic effects and bake-stable functionality to high soluble solids fruit fillings. **Food Hydrocolloids**. 17: 407-418.
- Zhang, H., H.Y. Yao and F. Chen. 2007. Genotype and environmental effects on the relationship between alpha-amylase activity and seedling growth in rice. **Bioscience Biotechnology Biochemistry** 5 (70): 1160-1165.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจพฤติกรรม และความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวกลือ งอก สอดใส่ถั่วกวนผสมผลไม้กวน

คำชี้แจง : แบบสอบถามชุดนี้เป็นการสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างจาก แป้งข้าวเหนียวกลือ งอก สอดใส่ถั่วกวนผสมผลไม้กวน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ของ

น.ส. ชนิษฐา วงศ์บาศก์ นิสิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอ ความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับงานวิจัยและจะไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบ แบบสอบถาม

คำแนะนำ : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในวงเล็บ () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตามความคิดเห็น ของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ

() 10-19 ปี

() 20-29 ปี

() 30-39 ปี

() 40-49 ปี

() 50-59 ปี

3. การศึกษาสูงสุด

() ต่ำกว่าปริญญาตรี

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

() นิสิต/นักศึกษา

() ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ

() พนักงานบริษัทเอกชน

() ธุรกิจส่วนตัว

() อื่นๆ โปรดระบุ.....

5. รายได้ต่อเดือน

- () น้อยกว่า 10,000 บาท () 10,000-20,000 บาท
() 20,001-30,000 บาท () สูงกว่า 30,000 บาท

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง

6. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารว่างบ่อยเพียงใด

- () มากกว่า 5 ครั้ง/สัปดาห์ () 4-5 ครั้ง/สัปดาห์
() 2-3 ครั้ง/สัปดาห์ () 1 ครั้ง/สัปดาห์
() น้อยกว่า 1 ครั้ง/สัปดาห์

7. สถานที่ในการเลือกซื้ออาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () ซูเปอร์มาร์เก็ต (เช่น ท็อปส์, ฟู๊ดโลอนส์)
() ซูเปอร์สโตร์ (เช่น โลตัส, บิ๊กซี, คาร์ฟูร์)
() ร้านสะดวกซื้อ (เช่น เซเว่นอีเลฟเว่น, เฟรชมาร์ท)
() ร้านขายของชำ

8. เหตุผลในการเลือกซื้ออาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () สะดวกในการรับประทาน () หาซื้อง่าย
() ต้องการคุณค่าทางอาหาร () รสชาติดี อร่อย
() รับประทานแล้วอิ่ม () อื่นๆ โปรดระบุ

9. ในโอกาสใดบ้างที่ท่านจะรับประทานอาหารว่าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () เวลาอ่านหนังสือ () ระหว่างมื้ออาหาร
() เมื่อรู้สึกอยากรับประทาน () เมื่อรู้สึกหิว
() รับประทานแทนอาหารมื้อหลัก () อื่นๆ โปรดระบุ

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียว
กลี้งงอก

10. ท่านรู้จักผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวสอดไส้ถั่วกวนชนิดใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () ไคฟูกู () บัวหิมะ
() ขนมโก๋สด () อื่นๆ โปรดระบุ

11. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวทอดไส้ถั่วกวนหรือไม่

() เคย

() ไม่เคย

12. หากมีผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวล่องจอกประเภทหนึ่งทอดไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวนท่านสนใจหรือไม่

() สนใจ เพราะ.....(ตอบคำถามข้อ 13-18 ต่อ)

() ไม่สนใจ เพราะ.....(ตอบคำถามข้อ 13-18 ต่อ)

() ไม่สนใจ เพราะ

13. ท่านต้องการไส้ถั่วกวนจากถั่วชนิดใดมากที่สุด

() ถั่วดำ

() ถั่วแดง

() ถั่วทอง

14. ผลไม้ชนิดใดที่ท่านต้องการให้เป็นส่วนผสมของไส้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวล่องจอกประเภทหนึ่ง

() สตรอเบอรี่

() องุ่น

() สับปะรด

() ทูเรียน

() มะม่วง

() กล้วย

() อื่นๆ โปรดระบุ.....

15. ท่านต้องการไส้ถั่วกวนผสมผลไม้กวนที่มีลักษณะอย่างไร

() ถั่วกวนและผลไม้กวนอยู่แยกชั้นกัน



ผลไม้กวน
ถั่วกวน

() ถั่วกวนผสมรวมกับผลไม้กวนเป็นเนื้อเดียวกัน

16. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวล่องจอกประเภทหนึ่งใดบ้างที่ท่านคิดว่าจะมีความสำคัญ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

() สี

() กลิ่น

() เนื้อสัมผัส (ความนุ่มเหนียว)

() รสชาติ

() รูปร่าง

17. รูปร่างของผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งข้าวเหนียวล่องจอกประเภทหนึ่งอย่างไรที่ท่านต้องการ

() ทรงกลม

() สี่เหลี่ยมผืนผ้า

() สี่เหลี่ยมจัตุรัส

() ทรงกระบอก

18. ถ้ามีผลิตภัณฑ์ดังกล่าววางจำหน่ายท่านจะสนใจซื้อหรือไม่

() สนใจ เพราะ.....

() ไม่สนใจ เพราะ.....

() ไม่สนใจ เพราะ

แบบสอบถามการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ
ใบรายงานผลการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scaling)

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....ชุดที่ 1

ตัวอย่าง : ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

คำชี้แจง

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของ แป้ง ของตัวอย่างใด ๆ จากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกให้ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อตัวอย่างดังกล่าวที่กำหนด

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

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
รูปร่าง (ความคงตัวของแป้ง)						
ความนุ่มของแป้ง						
รสหวานของขนม						
ความชอบรวม						

แบบสอบถามการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ
ใบรายงานผลการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scaling)

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....ชุดที่ 2

ตัวอย่าง : ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก

คำชี้แจง

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของ แป้ง ของตัวอย่างใดๆจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกให้ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อตัวอย่างดังกล่าวที่กำหนด

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

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
รูปร่าง (ความคงตัวของแป้ง)					
ความนุ่มของแป้ง					
รสหวานของขนม					
ความชอบรวม					

แบบสอบถามการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ
ใบรายงานผลการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scaling)

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ตัวอย่าง : สตรอเบอร์รี่กวน

คำชี้แจง

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของ
 สตรอเบอร์รี่กวนให้ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อตัวอย่างดังสเกลที่กำหนด

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

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ (สีแดง)						
กลิ่นสตรอเบอร์รี่						
เนื้อสัมผัส (ความเหนียว)						
ความชอบรวม						

แบบทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก
ไส้ถั่วกวนผสมสตรอร์รี่กวน

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจาก **ซ้ายไปขวา** แล้วให้คะแนนความชอบและความรู้สึกในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งไส้ถั่วกวนผสมสตรอร์รี่กวนให้ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อตัวอย่างดังกล่าวที่กำหนด

สเกลความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ขนาดของผลิตภัณฑ์				
ลักษณะปรากฏของไส้ (ดูสัดส่วนของถั่วกวนต่อสตรอร์รี่กวนจากตัวอย่างที่ผ่าครึ่ง)				
รสชาติโดยรวม (เมื่อรับประทานแป้งพร้อมไส้)				
เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์				
ความชอบรวม				

สเกลความรู้สึก

1 = น้อยเกินไป

2 = พอดี

3 = มากเกินไป

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ปริมาณสตรอร์รี่กวน (เมื่อรับประทานแป้งพร้อมไส้)				
ปริมาณถั่วกวน (เมื่อรับประทานแป้งพร้อมไส้)				

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณค่ะ

**แบบทดสอบความชอบและความรู้สึกของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอก
ไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน**

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่ทดสอบ.....

ตัวอย่าง : ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

คำแนะนำ : กรุณาให้คะแนนความชอบและความรู้สึกในแต่ละคุณลักษณะของไคฟูจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนให้ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อตัวอย่างดังสเกลที่กำหนด

สเกลความชอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

สเกลความรู้สึก

1 = น้อยเกินไป

2 = พอดี

3 = มากเกินไป

คุณลักษณะ	ความชอบ	ความรู้สึก
ขนาดของผลิตภัณฑ์		
สี (สีชมพู)		
กลิ่นแป้ง		
เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ความนุ่ม)		
รสหวาน		
ความชอบรวม		

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่ว
กวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวชนิษฐา วงศ์บาศก์ นิธิตปริญญโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณากรอกแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

คำอธิบาย

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน เป็นอาหารว่างที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารและสาร GABA ที่มีประโยชน์ต่อระบบประสาทและสมอง โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตที่สะอาด ปลอดภัย เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และต้องการผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่รับประทานแล้วมีประโยชน์ต่อร่างกาย

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในวงเล็บ () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ

() ต่ำกว่า 20 ปี

() 20-29 ปี

() 30-39 ปี

() 40-49 ปี

() 50 ปีขึ้นไป

3. การศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

() ต่ำกว่าปริญญาตรี

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

- () นักเรียน/นักศึกษา () ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ () แม่บ้าน
() รับจ้าง/พนักงานบริษัทเอกชน () ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว () อื่นๆ

5. รายได้ต่อเดือน

- () 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 การศึกษาความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์ไคฟูจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

6. กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนแล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

คุณลักษณะ	ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ไม่สามารถบอก ได้ว่าชอบหรือไม่	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบ	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
ลักษณะปรากฏ	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
กลิ่น	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
รสหวาน	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ความนุ่ม	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ความชอบรวม	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

ข้อเสนอแนะ.....

7. ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน 1 ชิ้น ราคา 10 บาท เหมาะสมหรือไม่

- () เหมาะสม
() ไม่เหมาะสม ควรีราคา บาท

8. ท่านคิดว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกไส้ถั่วกวนผสมสตอเบอรี่รึกวนมารับประทานหรือไม่

() ซื้ เพราะ

() ไม่ซื้ เพราะ

9. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

() ยอมรับ

() ไม่ยอมรับ เพราะ

ขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือ

ชนิษฎา วงศ์บาสก์

ผู้วิจัย



1. คุณสมบัติความหนืด (A.A.C.C., 1995)

เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่ออุ่นเครื่อง เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์รันโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม อุณหภูมิและเวลา (Profile) คือ Idle Temperature 30 ° C

1. 50 ° C @ 1.0 min
2. 95 ° C @ 4.8 min
3. 95 ° C @ 7.3 min
4. 50 ° C @ 11.1 min
5. End of test 12.5 min

ความเร็วของมอเตอร์เมื่อ 10 วินาทีแรกเป็น 960 รอบต่อนาที จากนั้นจะเปลี่ยนลงมาอยู่ที่ 160 รอบต่อ นาทีตลอดการทดสอบ

ตวงน้ำ 25.0 + 0.1 มิลลิลิตร (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 12) ใส่ลงในแคน

ชั่งตัวอย่างแป้งมา 3.00 กรัม (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 12) แล้วถ่ายลงแคน

ใส่พาน (Paddle) ลงในแคน ขยับพายขึ้นลงแรงๆ เพื่อคนประมาณ 10 ครั้ง

วางพายไว้ในแคนแล้วใส่ลงในเครื่อง RVA ทำการทดสอบ

จากการทดสอบ จะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งสามารถหาค่าของ Pasting Temperature, Peak Viscosity, Hold Strength, Final Viscosity

2. การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซิง (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 ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง 24 – 48 ชั่วโมง แล้วนำมากรองตะกอนออกก่อนใช้

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.2 นำสารละลายน้ำตาลที่ได้มาทำให้เจือจางเป็นความเข้มข้นร้อยละ 0.02 และนำมาทำให้มีความเข้มข้นต่างๆ จากน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 0.02

2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง

2.3.1 ปิเปตสารละลายน้ำตาลลงในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร

2.3.2 เติมสารละลาย Alkaline Copper Reagent 1 มิลลิลิตร ผสมกัน นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 15 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็นจัด

2.3.3 เติมสารละลาย Nelson Reagent 1 มิลลิลิตร ผสมกันทันที ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

2.3.4 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน (กราฟมาตรฐาน)

2.3.5 สำหรับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยใช้ สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร แทนสารละลายกลูโคส 1 มิลลิลิตร โดยปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างต้องอยู่ในช่วงที่ วิเคราะห์ได้ ถ้าตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาลอยู่สูงจะต้องเจือจางให้อยู่ในช่วงที่จะวิเคราะห์ได้ และหาปริมาณน้ำตาล รีดิวซ์ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3. การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสด้วยวิธี DNS

3.1 การสกัดเอนไซม์

บดเมล็ดข้าว 5 เมล็ด แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในสารละลายบัฟเฟอร์ (20 mM sodium acetate, pH 5.3, containing 5 mM CaCl_2) 1 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.2 นำสารละลายน้ำตาลที่ได้มาทำให้เจือจางเป็นความเข้มข้นร้อยละ 0.02 และนำมาทำให้มีความเข้มข้นต่างๆ จากน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 0.02

3.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส

3.3.1 ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

3.3.2 เติมสารละลาย 1% soluble starch ใน citrate-phosphate buffer (pH 6.5)

3.3.3 บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.3.4 เตรียม blank โดยนำสารละลายจากข้อ 3.1 ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ตามข้อ 3.3.1-3.3.3

3.3.5 หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการเติมสารละลาย DNS (3,5, dinitrosalicylic acid 1.0 กรัม, 20 ml. of NaOH and 30 g of sodium potassium tartarate in 100 ml) 2 มิลลิลิตร

3.3.6 ต้มในน้ำเดือด 5 นาที

3.3.7 ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

3.3.8 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

4. การวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระ

4.1 การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ GABA

4.1.1 3% sulfosalicylic acid (S-32) 30 ml. ใส่น้ำในขวดสีชา เก็บไว้ในตู้เย็น) โดยชั่ง sulfosalicylic acid (S-32) 0.9. ใส่น้ำ DI water 25 ml (ใส่น้ำ volumetric flask 25 ml)

4.1.2 100 mM NaHCO_3 25 ml โดยชั่ง NaHCO_3 (S7) 0.2100 g. ใส่น้ำ DI water 25 ml (ใส่น้ำ volumetric flask 25 ml)

4.1.3 25 mM PO_4 buffer pH 6.8 50 ml เตรียมโดยชั่ง KH_2PO_4 (p9) 0.17011 g. ใน DI 30 ml. ปรับ pH 6.8 ด้วย 10% KOH ปรับปริมาตรด้วย DI ใน volumetric flask 50 ml.

4.1.4 4 mM DAB อยู่ใน desicator ขวดสีขาว ฝาขาว (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งในการทำอนุพันธ์)

ชั่ง DAB 0.01296 g.	ใช้ CAN	10 ml
0.007776 g.		6 ml.
0.009072 g.		7 ml
0.015552 g.		12 ml

4.1.5 standard GABA 1000 ppm 25 ml. (อยู่ใน desicator กระจกพลาสติกสีขาว)
ชั่ง GABA 0.02500 g. ใส่ DI 5ml. ละลายจนหมด ใส่ 3% sulfosalicylic acid ปรับปริมาตรด้วย volumetric flask 25 ml.

4.1.6 การเตรียม stock GABA 200 ppm 50 ml. นำ stock GABA 1000 ppm (จากข้อที่ 5.1.2) มา 10 ml. ใส่ volumetric flask 50 ml. ใส่ 3% sulfosalicylic acid 5 ml. ปรับปริมาตรด้วย DI

4.1.7 การเตรียม 0.3% sulfosalicylic acid จาก 3% sulfosalicylic acid
ใส่ในขวดสีขาว เตรียม 50 ml. ใช้ 3% sulfosalicylic acid 5 ml. + DI water 45 ml., 40 ml, 4 ml. และ 36 ml.

4.1.8 นำสารจากข้อ 6. และ ข้อ 7. มาเตรียม stock std. GABA สำหรับ injection ลง HPLC เตรียม stock ไว้ที่ 10 ml.

$$2.5 \text{ ppm} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 0.125 \text{ ml.} + 9.785 \text{ ml.}$$

$$5 \text{ ppm} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 0.25 \text{ ml.} + 9.75 \text{ ml.}$$

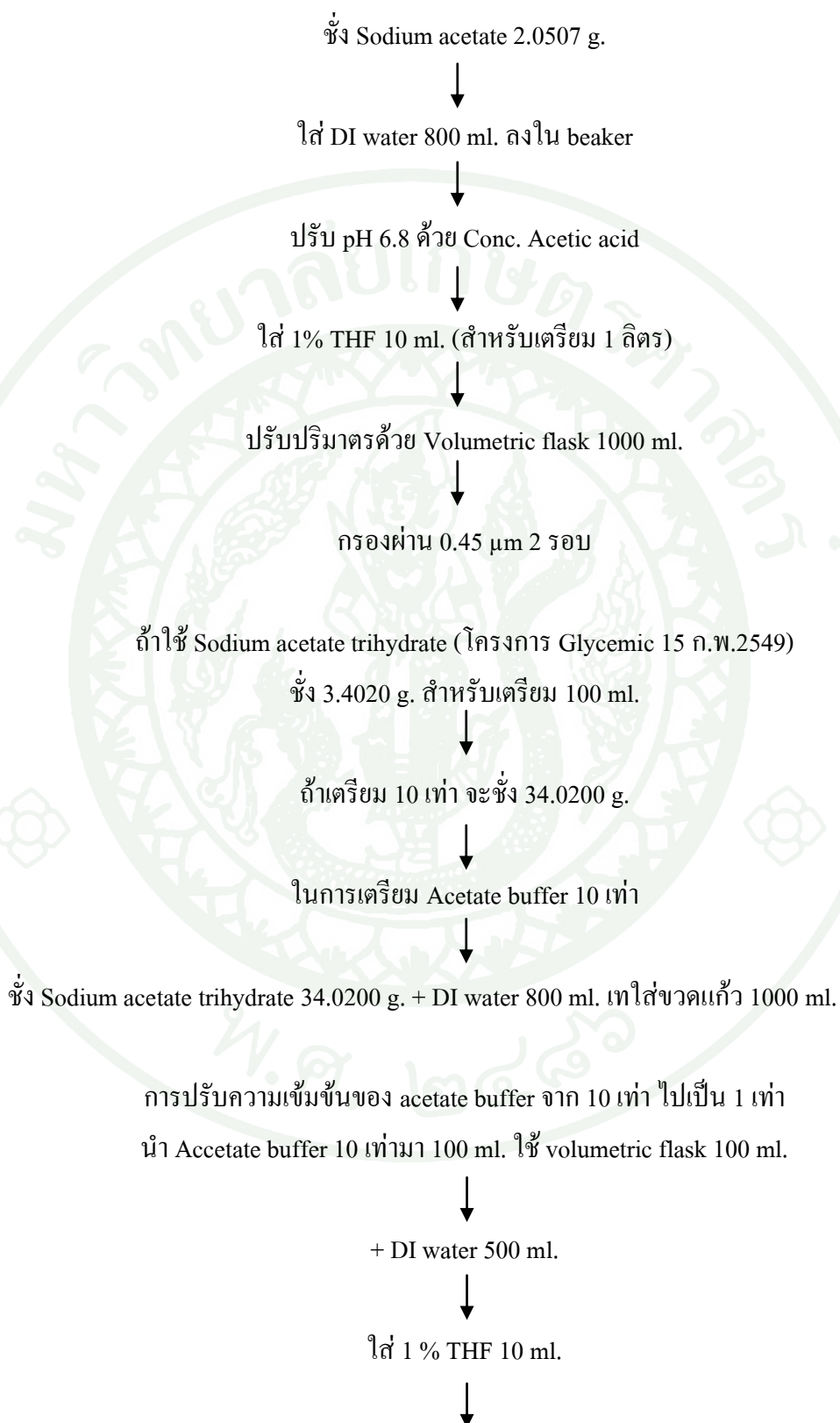
$$10 \text{ ppm} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 0.5 \text{ ml.} + 9.50 \text{ ml.}$$

$$20 \text{ ppm} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 0.10 \text{ ml.} + 9.90 \text{ ml.}$$

$$25 \text{ ppm} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 1.25 \text{ ml.} + 8.75 \text{ ml.}$$

$$\text{blank} = 200 \text{ ppm} / 2.5 = 80 \text{ เท่า} = 10 \text{ ml.} / 80 \text{ เท่า} = \text{ใช้ } 0 \text{ ml.}$$

4.1.9 Acetate buffer pH 6.8 25 mM sodium Acetate (ทำเป็น mobile phase)



ปรับปริมาตร 1000 ml.



กรองผ่าน 0.45 μm 2 รอบ

4.2 วิธีการสกัด

บดตัวอย่างให้ละเอียด



ชั่งน้ำหนัก 0.5000 กรัม



เติมน้ำ Deionizer 1.8 มิลลิลิตร



เติม 3% Sulfosalicylic acid 0.2 มิลลิลิตร



เขย่าให้เข้ากัน



เขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (เขย่าในแนวนอน)



Centrifuge ที่ 4,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที



ดูดน้ำส่วนใสไปทำอนุพันธ์

4.3 วิธีการเตรียมอนุพันธ์

จุด Blank Standard 2.5, 5 , 10, 20, 25 ppm และตัวอย่าง อย่างละ 0.05 มิลลิลิตร ใส่ tube 2 ml.

↓
เติม 100 μ l. NaHCO_3 0.05 มิลลิลิตร

↓
เติม 4 mM Dimethylaminoazobenzene (Dabsyl chloride) 0.2 มิลลิลิตร

↓
เขย่าให้เข้ากัน

↓
Incubate ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

↓
เติม Ethanol 0.25 มิลลิลิตร

↓
เขย่าให้เข้ากัน

↓
เติม 25 mM KH_2PO_4 (buffer pH 6.8) 0.25 มิลลิลิตร

↓
เขย่าให้เข้ากัน

↓
Centrifuge (เครื่องเล็ก)

↓
กรองผ่าน Nylon membrane 0.45 μ m

↓
ฉีดด้วย HPLC



ภาคผนวก ค

การคำนวณต้นทุนการผลิตอาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งออก
ไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน

การคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงออกไส้ถั่วกวน ผสมสตรอเบอร์รี่กวน (คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบ)

ตารางผนวกที่ ค1 สูตรแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
แป้งข้าวเหนียวกลึงออก	30
แป้งมันสำปะหลัง	19
น้ำตาล	7
น้ำ	44

แป้งขนมจากปริมาณข้างต้นสามารถผลิตแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งได้ 4 ชิ้น โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดมีรายละเอียดของราคาดังนี้

แป้งข้าวเหนียวกลึงออกราคากิโลกรัมละ 100 บาท ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวกลึงออก 30 กรัม ราคา 3 บาท

แป้งมันสำปะหลัง (ตรานิวเกรด) 400 กรัม ราคา 13.50 บาท ดังนั้นแป้งมันสำปะหลัง 19 กรัม ราคา 0.64 บาท

น้ำตาล (ตรามิตรผล) ราคากิโลกรัมละ 23.50 บาท ดังนั้นน้ำตาล 7 กรัม ราคา 0.16 บาท ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง 1 ชิ้น มีต้นทุนในส่วนของแป้ง 0.95 บาท

ตารางผนวกที่ ค2 สูตรสตรอเบอร์รี่กวน

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
สตรอเบอร์รี่สดแช่เยือกแข็ง	47
แป้งสาลี	5
แป้งคัสเปอร์	3
น้ำตาลทราย	25
แบะแซ	15
เนยขาว	4.5
เกลือ	0.5

สตรอเบอร์รี่กวนตามปริมาณจากสูตรข้างต้นสามารถผลิตสตรอเบอร์รี่กวนได้ 78 กรัม โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดมีรายละเอียดของราคาดังนี้

สตรอเบอร์รี่สดแช่เยือกแข็ง ราคากิโลกรัมละ 85 บาท ดังนั้นสตรอเบอร์รี่สดแช่เยือกแข็ง 47 กรัม ราคา 4.00 บาท

แป้งสาลีเอนกประสงค์ทราบว่าราคากิโลกรัมละ 42 ดังนั้นแป้งสาลี 5 กรัม ราคา 0.21 บาท

แป้งคัสเตร่าราคากิโลกรัมละ 120 บาท ดังนั้นแป้งคัสเตร่า 3 กรัม ราคา 0.36 บาท

น้ำตาลทรายราคากิโลกรัมละ 23.5 บาท ดังนั้นน้ำตาลทราย 25 กรัม ราคา 0.59 บาท

แบะแซ 420 กรัม ราคา 15 บาท ดังนั้นแบะแซ 15 กรัม ราคา 0.54 บาท

เนยขาว (ตราเชสท์) กรัม ราคา 75 บาท ดังนั้นเนยขาว 4.5 กรัม ราคา 0.34 บาท

เกลือ (ตราปทุมทิพย์) 120 กรัม ราคา 8.50 บาท ดังนั้นเกลือ 0.5 กรัม ราคา 0.04 บาท

ดังนั้นสตรอเบอร์รี่กวน 78 กรัม ราคาค่าต้นทุน 6.08 บาท ในไคฟูกู 1 ชิ้น ที่ประกอบด้วยสตรอเบอร์รี่กวน 3 กรัม จึงมีราคาค่าต้นทุนในส่วนของสตรอเบอร์รี่กวน 0.23 บาท

ตารางผนวกที่ ค3 สูตรถั่วกวน

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
ถั่วเขียวซีก	36
กะทิ	28
น้ำตาล	36

วัตถุดิบปริมาณดังตารางข้างต้นสามารถผลิตถั่วกวนได้ 55 กรัม

ถั่วเขียวซีก 500 กรัม ราคา 22 บาท ดังนั้นถั่วเขียว 36 กรัม ราคา 1.58 บาท

กะทิ 250 กรัม ราคา 17 บาท ดังนั้นกะทิ 28 กรัมราคา 1.90 บาท

น้ำตาลทรายราคากิโลกรัมละ 25 บาท ดังนั้นน้ำตาล 36 กรัมราคา 0.9 บาท

ดังนั้นถั่วกวน 55 กรัม ราคาค่าต้นทุน 4.38 บาท ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง 1 ชิ้น ที่ประกอบด้วยถั่วกวน 7 กรัม จึงมีราคาค่าต้นทุนในส่วนของถั่วกวน 0.56 บาท

ดังนั้นราคาค่าต้นทุน (เฉพาะค่าวัตถุดิบ) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลิ้งงอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวน 1 ชิ้น เท่ากับ 1.74 บาท



ภาคผนวก ง

การคำนวณปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งและร้อยละการสูญเสีย

1. การคำนวณปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง

แป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกก่อนผ่านกระบวนการผลิตมีปริมาณ GABA 15.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง)

แป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งมีปริมาณ GABA 7.37 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีความชื้นร้อยละ 37.54

ดังนั้นแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งมีปริมาณ GABA 4.60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักเปียก)

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง 1 ชิ้น ประกอบด้วยส่วนของแป้ง 20 กรัม ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง 1 ชิ้น มีปริมาณ $GABA \frac{4.60}{4} = 0.92$ มิลลิกรัม

2. การคำนวณร้อยละการสูญเสียของปริมาณ GABA เมื่อผ่านกระบวนการผลิต

แป้งข้าวเหนียวกลี้งงอกก่อนผ่านกระบวนการผลิตมีปริมาณ GABA 15.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง)

แป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่ผ่านกระบวนการผลิตประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวกลี้งงอร้อยละ 52.17 ซึ่งมีปริมาณ GABA 7.37 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง)

ดังนั้น แป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งที่ผ่านกระบวนการผลิตมีปริมาณ GABA 14.13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง)

ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะเกิดการสูญเสีย GABA ร้อยละ 7.95



ภาคผนวก จ

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่ง

ทำการศึกษาศึกษาเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแป้งของผลิตภัณฑ์โดยการเติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (ชนิด Fungamyl 800 L ซึ่งเอนไซม์ 1 กรัมมี 800 FAU โดย 1 FAU สามารถย่อยสลายได้ 5.26 กรัม ในเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีของ Novozymes) หลังจากนั้นแป้งแล้วจากนั้นทำการหุ้ดกิจกรรมของเอนไซม์โดยการนำแป้งไปนึ่งเป็นเวลา 5 นาทีหลังจากใส่เอนไซม์ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (เจือจางที่ระดับ 10^{-4}) 2 ระดับ คือ ร้อยละ 4 และ 6 ของปริมาณแป้งผสม และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ระดับ คือ 5 และ 10 นาที แสดงผลดังตารางที่ 25 ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลงเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมคือ ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (เจือจางที่ระดับ 10^{-4}) ร้อยละ 4 ของปริมาณแป้งผสม และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เนื่องจากสภาวะอื่นแป้งของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถคงรูปได้โดยจะไหลรวมกันบริเวณฐานของผลิตภัณฑ์

ตารางผนวกที่ จ1 ค่าความแข็ง (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียว กล้องอกใส่ถั่วกวนผสมสตรอเบอร์รี่กวนที่มีการเติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (เจือจางที่ระดับ 10^{-4})

ปริมาณเอนไซม์ (ร้อยละ)	ระยะเวลา (นาที)	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
0	0	0.19(0.0) ^a	0.82(0.1) ^a	1.57(0.2) ^a
4	5	0.15(0.0) ^b	0.31(0.0) ^b	0.43(0.2) ^b
4	10	0.11(0.0) ^{bc}	0.20(0.0) ^c	0.31(0.1) ^{bc}
6	5	0.09(0.0) ^c	0.18(0.0) ^c	0.25(0.1) ^c
6	10	0.09(0.0) ^c	0.11(0.1) ^c	0.21(0.0) ^c

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

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวชนิษฐา วงศ์บาสก์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 พฤษภาคม 2525
สถานที่เกิด	สกลนคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2548)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	2552 - Germination Condition Affecting The Physical and Chemical Properties of Germinated Glutinous Brown Rice Flour