



วิทยานิพนธ์

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์
ขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์

**MODIFIED LEUANG 11 RICE FLOUR TO DEVELOP
PASTURIZED KANOMJEEN NAMYAPA IN POUCHES**

นางสาวกิตติญาณ์ เชี่ยวเชิงคำ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์
อ่อนตัวพาสเจอไรซ์

Modified Leuang 11 Rice Flour to Develop Pasturized Kanomjeen Namyapa in Pouches

นามผู้วิจัย นางสาวกิตติญาณ์ เชี่ยวเชิงคำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์อนุกุล วัฒนสุข, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมบัติ ขอทวีวัฒนา, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าใน
บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์

Modified Leuang 11 Rice Flour to Develop Pasturized Kanomjeen Namyapa in Pouches

โดย

นางสาวกิตติญาณ์ เชี่ยวเชิงคำ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

พ.ศ. 2550

กิตติคุณม์ เชี่ยวเชิงคำ 2550: การตัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยา
ป้าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D. 197 หน้า

ผลิตภัณฑ์ขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่นิยมบริโภคกันทั่วไป แต่เนื่องจากมีอายุการเก็บรักษาสั้น
ประมาณ 2-5 วัน ดังนั้นการพาสเจอไรซ์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมจีนได้นาน
ขึ้น อย่างไรก็ตาม การพาสเจอไรซ์มีผลให้เนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนแตกต่างไปจากเส้นขนมจีนปกติ การตัด
แปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 ด้วยวิธีการอบผสมเนื้อเพื่อปรับปรุงคุณภาพเส้นขนมจีนจึงเป็นทางเลือกในการ
พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว โดยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 ที่ผ่านการ
อบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1 ต่อ 2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C มีผลให้เม็ดสตาร์ชเกิด
การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ ด้านสมบัติเชิงความร้อน
เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ได้ผลของอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตีในเซชัน และค่าพลังงานการสลายพันธะเพิ่มขึ้นเป็น 73.26, 77.44, 81.61°C
และ 12.03 จูล/กรัม ตามลำดับ ด้านความหนืด เมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ได้ค่า
อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และค่าความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นเป็น 82.67°C และ 180.47 อาร์วียู ตามลำดับ ค่าความ
หนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย ค่าความคงตัว และค่าเซตแบคคอลลิงเป็น 298.95, 342.34, 118.98 และ 162.37
อาร์วียู ตามลำดับ ค่ากำลังการพองตัวลดลงเป็น 2.54, 7.12, 7.72 และ 8.77 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ที่อุณหภูมิ
65, 75, 85 และ 95°C ตามลำดับ เมื่อวัดเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้ค่าความแข็งแรงของ
เจลสูงขึ้นไปเป็น 460.93 กรัม ค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกสูงขึ้นไปเป็น 17.28 อย่างไรก็ตามการอบผสมเนื้อไม่
เปลี่ยนโครงสร้างผลึก เมื่อวัดด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกชัน คือ ยังคงโครงสร้างผลึกรูปแบบเอ รูปร่างหลาย
เหลี่ยม เม็ดสตาร์ชมีขนาด 3-5 ไมครอน ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเม็ดสตาร์ชแป้งข้าวปกติเมื่อตรวจสอบด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด- (SEM) ดังนั้นเมื่อผลิตเป็นเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน
30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผงต่อแป้งข้าวหมักพรีเจลผงต่อแป้งข้าวอบผสมเนื้อร้อยละ 78.5:17.5:4 ค่า
ความแน่นเนื้อเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจึงมีค่า 94.62 กรัม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) จากเส้น
ขนมจีนที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ที่มีค่าความแน่นเนื้อ 98.22 กรัม รวมถึงคะแนนความเข้มข้นของลักษณะปรากฏ
ด้านความคงตัวของเส้นขนมจีน เมื่อทดสอบด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 12 คน (คะแนน 1-15) มีค่า
สูงสุด คือ 11.44 เมื่อเติมน้ำยาป่าชนิดผงจำนวน 14 กรัม น้ำหนักแห้ง และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 35°C
นาน 15 วัน และที่ 45°C นาน 5 วัน มีผลให้กลิ่นของเครื่องแกงมีคะแนนความเข้มข้นลดลงเป็น 5.01 และ 5.57
ตามลำดับ และรสชาติเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็น 13.60 และ 12.95 ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่ง (Q10) พบว่า ผลิตภัณฑ์มี
อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นานอย่างน้อย 251 วัน หรืออย่างน้อย 8 เดือน

Kittiya Chiewcherngka 2007: Modified Leuang 11 Rice Flour to Develop Pasturized Kanomjeen Namyapa in Pouches. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Professor Onanong Naivikul, Ph.D. 197 pages.

'Kanomjeen' is a popular type of noodle in Thailand, but fresh kanomjeen has a short shelf life of around two to five days. Pasteurization is chosen to extend this period. However, the quality of kanomjeen is changed by pasteurization. Substitution of annealed Leuang 11 rice flour in Kanomjeen formulation should overcome this problem. Therefore this research has determined the properties of annealed rice flour to develop pasteurized kanomjeen namyapa in pouches. The results of testing annealed Leuang 11 rice flour indicated that the annealed samples prepared by heating rice flour at a ratio of flour to water of 1:2 (w/w), at 55°C in a water bath for 24 hr suited to the production of pasteurized products. The Differential Scanning Calorimeter (DSC) results of the sample annealed for 24 hr showed significantly increased ($p \leq 0.05$) in onset temperature (T_o), peak temperature (T_p), conclusion temperature (T_c) and gelatinization enthalpy to 73.26, 77.44, 81.61°C and 12.03 J/g, respectively. The annealed samples achieved significantly higher ($p \leq 0.05$) pasting temperature and holding viscosity of 82.67 °C and 180.47 RVU, respectively, and significantly lower ($p \leq 0.05$) peak viscosity, final viscosity, breakdown and setback to 298.95, 342.34, 118.98 and 162.37 RVU, respectively which determined by Rapid Visco Analyzer (RVA). The swelling power decreased to 2.54, 7.12, 7.72 and 8.77 g/g dry flour at 65, 75, 85 and 95 °C. The gel properties showed significantly increased ($p \leq 0.05$) in gel hardness to 460.93 g. The physical properties showed higher %crytrallinity (17.28) but had an A-type patterns, granule size of 3-5 µm. and polyglonal shape were not significant for both the sample annealed for 24 hours and the native sample. Substitution of 4% of the annealed sample (ratio 1:2, 24 hr) is the best formulation (fermented rice flour: pregelatinizat on fermented rice flour: annealed rice flour = 78.5:17.5:4) of pasteurized kanomjeen at 65°C for 30 mins. The firmness values (94.62 g) were not significantly different ($p > 0.05$) from fresh kanomjeen (98.22 g). It had the highest sensory attribution (11.44) from the 12 taste panels (score 1-15). Namyapa powder was added (14 g) in a pouches and then pasteurized at 65°C for 30 mins to make pasteurized kanomjeen namyapa which was able to be preserved for 13 and 5 days at 35 and 45°C, respectively. Sensory evaluation showed significantly lower ($p \leq 0.05$) in flavor to 5.01 and 5.57, respectively and higher ($p \leq 0.05$) in sour taste to 13.60 and 12.95, respectively. The results of the Q10 calculation to predict the storage time of products was about 251 days or 8 months at 4°C .

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ให้โอกาสการศึกษาในด้านต่าง ๆ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อนุกุล วัฒนสุข กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ สมบัติ ขอทวีวัฒนา กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ ผู้แทนบัณฑิต ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัย และพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ) ที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยภายใต้โครงการ การดัดแปรสสารชีวเข้าด้วยวิธีการอบพลาสมาเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมจีนพร้อมบริโภคเพื่อการส่งออก รวมทั้งผู้ผลิตขนมจีนชุมชนบ้านประโดก จ.นครราชสีมา ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และอำนวยความสะดวกในด้านกระบวนการผลิตขนมจีน

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวเขียวเชิงคำ และครอบครัวดำรงวุฒิการณ์ ที่เลี้ยงดูข้าพเจ้าจนเติบโต สนับสนุนให้ข้าพเจ้ามีโอกาสทางการศึกษาจนประสบความสำเร็จในวันนี้ ขอขอบคุณ คุณพัลลภ ไพพงษ์ คุณกรกช หล่อโลหการ คุณมนต์ราม อินทศิริ คุณไพลาภา นิมสังข์ ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจ ดูแลกันมาตลอด รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน พี่ ๆ น้อง ๆ นิสิตปริญญาโท และปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร ที่เป็นแรงใจตลอดช่วงเวลาของการศึกษาวิจัย

กิตติญาณ์ เขียวเชิงคำ

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	125
สรุป	125
ข้อเสนอแนะ	135
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	136
ภาคผนวก	146
ภาคผนวก ก การตรวจคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ฟิสิกส์ และเคมี ของแป้งข้าว	147
ภาคผนวก ข การตรวจสอบสมบัติของเส้นขนมนมจีน	155
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	158
ภาคผนวก ง การตรวจสอบทางจุลินทรีย์	163
ภาคผนวก จ ผลการทดลองเพิ่มเติม	168
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองทางสถิติ	174
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	197

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ร้อยละปริมาณ โปรตีนในข้าว	5
2	ร้อยละปริมาณ ไขมันในข้าว	7
3	ปริมาณแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักฟรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อในการผลิตเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว	42
4	อุณหภูมิ และเวลาในการฆ่าเชื้อขนมจีนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน	43
5	อัตราส่วนส่วนผสมในการผลิตน้ำยาปราบแห้งชนิดผง และชนิดเข้มข้น	45
6	การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ	50
7	การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ	53
8	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ	55
9	ค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ	58
10	ค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ	60
11	การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°ซ เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC)	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	67
13	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	71
14	การละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	75
15	ค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	78
16	ค่าสีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	85
17	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	87
18	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นขนมจีน	90
19	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด บาซิลลัส ซีเรียส และแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติกในผลิตภัณฑ์ขนมจีนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่ระดับต่าง ๆ กัน	94
20	ค่าสีของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ	97
21	ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก-พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมานเนื้อต่าง ๆ	101
23	ค่าสีของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมานเนื้อ	106
24	ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมานเนื้อต่าง ๆ	108
25	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-เจลผง:แป้งข้าวอบผสมานเนื้อต่าง ๆ	109
26	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนน้ำยาป่าที่ปริมาณน้ำยาป่าต่าง ๆ	113
27	สมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยาป่าชนิดผง และน้ำยาป่าชนิดเข้มข้น	115
28	สมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำยาป่าชนิดผง และน้ำยาป่าชนิดเข้มข้น	115
29	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35°ซ	117
30	ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 45°ซ	118
31	ค่าความเป็นกรด-เบส และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45°ซ	120
32	ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45°ซ	121
33	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส	153
ฉ1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	175
ฉ2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	176
ฉ3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	177
ฉ4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	178
ฉ5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	179
ฉ6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ	180
ฉ7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ	181
ฉ8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ	182
ฉ9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ	183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฉ10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของ เจลจากแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นเวลา ต่าง ๆ	185
ฉ11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่าน การอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่เวลาต่าง ๆ	185
ฉ12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และ แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วน แป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่เวลา ต่าง ๆ	186
ฉ13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง: แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	187
ฉ14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง: แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	188
ฉ15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้น ขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วย อัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	189
ฉ16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้น ขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วย อัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	189
ฉ17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้ง หมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	190
ฉ18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้ง หมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ	191

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ฉ19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ขนมจีนน้ำยาป่าที่ปริมาณน้ำยาต่าง ๆ	192
ฉ20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน พาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่ง อุณหภูมิ 35 °ซ	192
ฉ21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาใน สภาวะเร่งอุณหภูมิ 45 °ซ	194
ฉ22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นกรด-เบสของขนมจีนน้ำยาป่าใน บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษา ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ	195
ฉ23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าออกเทอร์เอกทิวิตีของขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุ ภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาใน สภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ	195
ฉ24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแรงสูงสุดของขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์ อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะ เร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ	196

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างแอมิโลส	4
2	โครงสร้างแอมิโลเพกทินแบบคลัสเตอร์โมเดล (Cluster model)	5
3	โปรตีนในข้าว	6
4	ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำ โดยเพิ่มและลด อุณหภูมิตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก	9
5	(ก)การเกิดผลึก หรือตะกอน (การแยกชั้น) และการเกิดเจลของสตาร์ช ในขณะที่ เย็นลง	12
6	ปริมาณน้ำ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการอบพसानเนื้อ และการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีความร้อนร่วมกับความชื้น	15
7	การจัดเรียงตัวของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินใน (a) สตาร์ชแห้งปกติ (b) สตาร์ช ที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการอบพसानเนื้อ	16
8	กรรมวิธีการผลิตขนมจีน	21
9	รูปแบบการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design	24
10	กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวหมักผง และแป้งข้าวหมักพรีเจลผง	36
11	กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวอบพसानเนื้อ	38
12	กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน	41
13	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกของแป้งข้าว ปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบพसानเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	80
14	รูปร่างเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบพसानเนื้อ เมื่อส่องด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า	82
15	รูปร่างเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบพसानเนื้อ เมื่อส่องด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	รูปร่างเม็ดศตวรรษในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	84
17	ลักษณะพื้นผิวของเส้นขนมจีนตามแบบขวางของเส้นขนมจีนแบบปกติ (สูตร ก และ ข) และแบบเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ (สูตร ค, ง และ จ)	92
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานปริมาณแอมิโลส	154
จ1	กราฟกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ ด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C	169
จ2	กราฟการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C	169
จ3	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C	170
จ4	กราฟกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	170
จ5	กราฟการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C	171

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ6	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าว อบผสานเนื้อที่ผ่านอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำเป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริ- มิเตอร์ (DSC)	171
จ7	การวางแผนการทดลองการหาอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ โดยใช้ mixture design	172

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าใน บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์

Modified Leuang 11 Rice Flour to Develop Pasturized Kanomjeen Namyapa in Pouches

คำนำ

ขนมจีนเป็นอาหารพื้นบ้านของชาวไทยตั้งแต่สมัยโบราณ จนในปัจจุบันก็ยังนิยมบริโภคขนมจีนในเทศกาลงานเลี้ยงต่าง ๆ กรรมวิธีการผลิตขนมจีนแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ขนมจีนแบบหมัก และขนมจีนแบบไม่หมัก โดยมีขั้นตอนที่แตกต่างกันในขั้นการหมักข้าว คือในการผลิตขนมจีนแบบหมักจะใช้เวลาหมักข้าว 2-3 วัน และในการผลิตขนมจีนแบบไม่หมักจะใช้เวลาแช่ข้าวเพียงหนึ่งวันเพื่อให้ปลายข้าวนิ่มเท่านั้น แล้วจึงโม่ให้ละเอียดเป็นน้ำแป้ง นำน้ำแป้งมาตกตะกอน บรรจุตะกอนในถุงผ้า ทบให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำก้อนแป้งมานึ่งให้สุกบางส่วน นวดแป้งส่วนสุกกับแป้งส่วนที่ยังไม่สุกเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสม พร้อมกันนี้ต้องเติมน้ำร้อนให้ส่วนผสมมีความข้นพอดีที่จะโรยเป็นเส้นขนมจีนลงในน้ำเดือดจนขนมจีนสุก ช้อนขึ้นใส่ น้ำเย็น แล้วจับขนมจีนให้เป็นจับเรียงใส่ถุงเพื่อส่งขายต่อไป ขนมจีนที่ผลิตได้นี้จะมีอายุการเก็บรักษาสั้นประมาณ 2-5 วันเท่านั้น (พัชรี และคณะ, 2534) วิธีการถนอมอาหารโดยการใช้ความร้อนเป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาขนมจีนได้วิธีหนึ่งเนื่องจากความร้อนจะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้โทษ และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย รวมถึง เอนไซม์ แมลง และสารพิษต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทนความร้อนได้ (ทนง, 2546) และเพื่อให้เส้นขนมจีนมีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจึงมีการนำแป้งดัดแปรมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเส้นขนมจีนร่วมกับแป้งข้าวหมักผง และแป้งข้าวหมักพรีเจลผง โดยเลือกใช้แป้งดัดแปรทางเคมีเชิงฟิสิกส์ คือ แป้งอบพาสานเนื้อ (Annealing) ซึ่งมีคุณสมบัติ ลดการพองตัว ทนต่อความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือนจากเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารได้ (Jacobs and Delcour, 1998)

ปัจจุบันการใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากเหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นของเหลว มีชิ้นส่วนอาหารอ่อนนุ่ม ลดพื้นที่ในการเก็บผลิตภัณฑ์ ประหยัดค่าเก็บรักษา ค่าสร้างโกดัง และลดน้ำหนักในการขนส่ง ทำให้สะดวกในการขนย้ายสู่ผู้บริโภค นำติดตัวไปบริโภคได้ง่าย สะดวกกว่าอาหารกระป๋อง

ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เนื่องจากสารโลหะหนัก และไม่มีปัญหาการสึกกร่อนเป็นสนิมกับบรรจุภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับอาหารกระป๋อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ลามิเนต ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์รวมถึงอาหารมีคุณภาพที่ดีในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่า เป็นผลจากการใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่าการผลิตอาหารกระป๋อง และสามารถนำมาอุ่นเพื่อรับประทานได้ง่ายด้วยเครื่องไมโครเวฟ (วราทิพย์, 2543)

วัตถุประสงค์

1. ผลิต และตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ทางฟิสิกส์ และทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ
2. หาอัตราส่วนแป้งข้าวอบผานเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว
3. หาสภาวะในการผลิตน้ำยาป่าที่เหมาะสมเพื่อผลิตขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว
4. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

การตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าว มีความหมายตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ปี 2525 คือ เมล็ดของพืชพวกหญ้าในวงศ์ Gramineae ใช้เป็นอาหารสำคัญ ปลูกในประเทศร้อนโดยมาก แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ข้าวเจ้าที่นิยมรับประทานมากในประเทศไทย และประเทศแถบเอเชีย คือ พันธุ์ *Oryza sativa* (อรอนงค์, 2547)

1.1 องค์ประกอบทางเคมีในข้าว

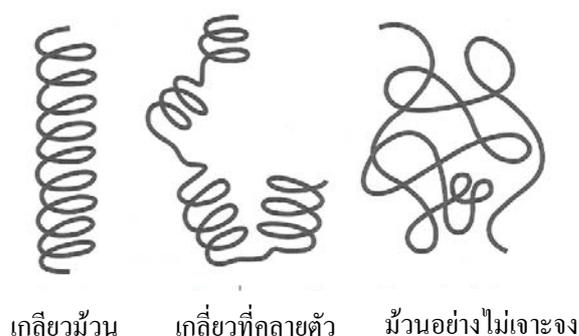
1.1.1 คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ หรือสตาร์ช

ข้าวมีคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ หรือสตาร์ชเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชเป็นรูปห้าเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตร รวมอยู่เป็นกลุ่มในเอมิโลพลาสต์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลมหรือรี มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7-39 ไมโครเมตร โดยภายในเอมิโลพลาสต์มีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-26 เม็ด (อรอนงค์, 2532; Juliano, 1972) องค์ประกอบภายในของเม็ดสตาร์ชประกอบด้วย

ก. แอมิโลส (Amylose)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) แบบสายตรงที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคสิดิก มีส่วนเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคสิดิก ประมาณร้อยละ 0.3-0.5 ของแอมิโลสทั้งหมด มีค่าร้อยละการถูกย่อยด้วยเอนไซม์บีตา-แอมิเลส ประมาณร้อยละ 70-80 ระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) เท่ากับ 1000-1100 หน่วยกลูโคส ความยาวเฉลี่ยของสายโมเลกุลเท่ากับ 250-320 หน่วยกลูโคส และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 10^6 (Champagne, 1996)

โครงสร้างของแอมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวคลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) ดังภาพที่ 1 แอมิโลสอยู่ในลักษณะเกลียวม้วน หรือเกลียวคลายตัวในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง (Whistler and Daniel, 1984) จากการที่แอมิโลสมักอยู่ในลักษณะเกลียวม้วน ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสส่วนที่เหลืออยู่บนผิวด้านนอกของเกลียวม้วน ทำให้ช่องกลางภายในเกลียวมีลักษณะไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) แอมิโลสจึงสามารถยึดเกาะกับสารที่ไม่ชอบน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด (amylose-lipid complex) หรือ แอมิโลสกับไอโอดีนได้ โดยความสามารถในการจับกับไอโอดีนของแอมิโลสจากข้าว คือ ประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (Godet *et al.*, 1993)

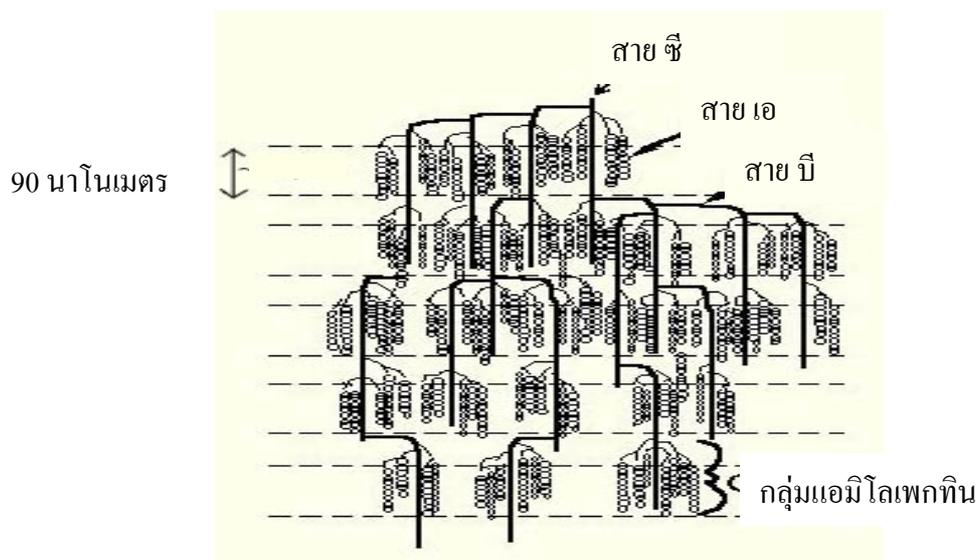


ภาพที่ 1 โครงสร้างแอมิโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Whistler and Daniel (1984)

ข. แอมิโลเพกทิน (Amylopectin)

แอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสแบบมีกิ่งแขนง มีพันธะแอลฟา-1,4-กลูโค-สิดิก ประมาณร้อยละ 95 พันธะแอลฟา-1,6-กลูโค-สิดิก ประมาณร้อยละ 5 ค่าร้อยละการถูกย่อยด้วยเอนไซม์บีตาแอมิเลสประมาณร้อยละ 56-62 ความยาวเฉลี่ยของสายโมเลกุล 15-22 หน่วยกลูโคส แอมิโลเพกทินเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่ละกลุ่ม (cluster) มี 22-25 สาย ประกอบไปด้วยสายหลักที่เรียกว่า สายซี (C chain) เป็นสายที่มีหมู่รีดิวซิง (reducing) เพียง 1 หมู่ และมีสายบี (B chain) ซึ่งเป็นสายที่ให้สายเอ (A chain) มาจับ กิ่งก้านของแอมิโลเพกทินอยู่เป็นกลุ่มก้อน บางกิ่งเกิดเป็นเกลียวคู่ แต่มีน้อยมากจึงมีความสามารถในการจับ ไอโอดีนต่ำ ประมาณร้อยละ 0.4-0.9 (Whistler and BeMiller, 1999)



ภาพที่ 2 โครงสร้างแอมิโลเพกทินแบบคลัสเตอร์โมเดล (Cluster model)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Manner (1989)

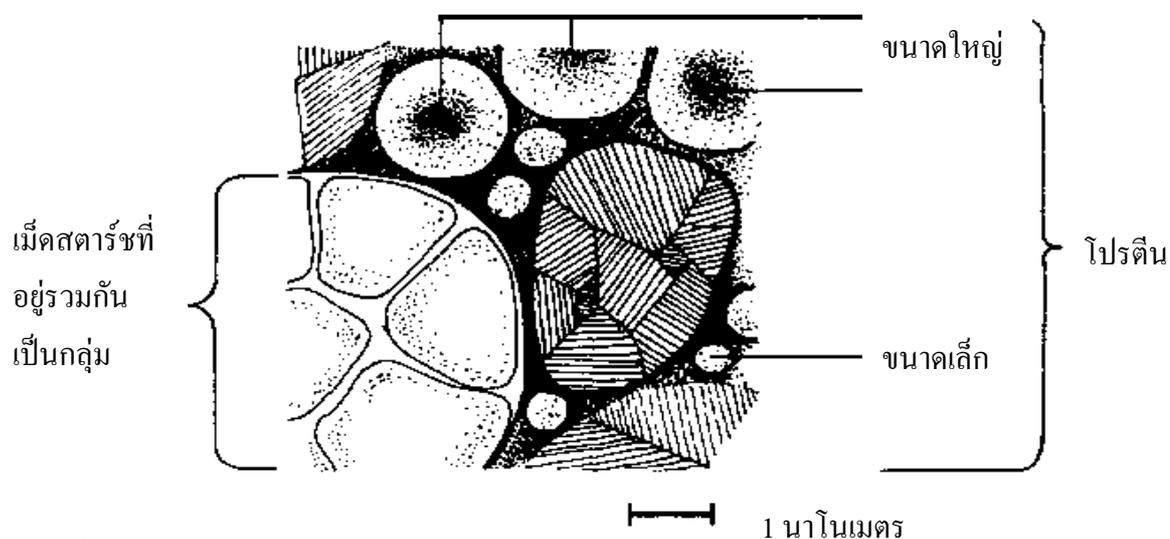
1.1.2 โปรตีน (Protein)

ตารางที่ 1 ร้อยละปริมาณโปรตีนในข้าว

ธัญชาติ	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	แอลบูมิน	โกลบูลิน	โพรลามิน	กลูเทลิน
ข้าว	2-5	2-10	1-5	75-90

ที่มา: ดัดแปลงจาก Juliano (1985)

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในข้าวปริมาณมากเป็นอันดับที่สองรองจากสตาร์ช คือ มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 7 แตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว และสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก (อรอนงค์, 2547) สามารถแบ่งชนิดของโปรตีนตามความสามารถในการละลายได้เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ คือ แอลบูมิน (albumin) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 2-5 โปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือ คือ โกลบูลิน (globulin) ร้อยละ 2-10 โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ คือ โพรลามิน (prolamin) ปริมาณร้อยละ 1-5 และโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 3 และสูงกว่า 10 คือ กลูเทลิน (glutelin) หรือ ออไรเซนิน (oryzenin) มีอยู่ปริมาณร้อยละ 75-90 (Juliano, 1985)



ภาพที่ 3 โปรตีนในข้าว

ที่มา: คัดแปลงจาก Shih (2004)

1.1.3 ไขมัน (Lipid)

ไขมันในสตาร์ชข้าวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไขมันที่กระจายอยู่ในเมล็ด (non-starch lipids) พบในส่วนรำข้าว และคัพพะของข้าวกล้อง ประกอบด้วยไขมันที่ไม่มีขั้ว (ไตรกลีเซอไรด์ ประมาณร้อยละ 73-82) ฟอสโฟลิพิด ร้อยละ 7-10 และไกลโคลิพิดร้อยละ 2-8 โดยมีกรดไขมันส่วนใหญ่เป็นลิโนเลอิก โอเลอิก และปาล์มิติก และไขมันที่ยึดเกาะกับเม็ดสตาร์ช (starch lipids) พบในส่วนของเนื้อเมล็ด มีองค์ประกอบหลัก คือ ไลโซฟอสฟาติลคอลลีน (lysophosphatidyl choline), ไลโซฟอสฟาติลเอทานอลามีน (lysophosphatidyl ethanolamine) และกรดไขมันอิสระ ซึ่งกรดไขมันส่วนใหญ่เป็นปาล์มิติก และลิโนเลอิก (Godber and Juliano, 2004)

ตารางที่ 2 ร้อยละปริมาณไขมันในข้าว

องค์ประกอบในข้าว	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	ไขมันที่กระจายอยู่ในเมล็ดข้าว	ไขมันที่ยึดเกาะกับเมล็ดสตาร์ช
ปริมาณไขมัน	0.8	0.5
ชนิดของกรดไขมัน		
พาล์มิติก	33	45
โอเลอิก	21	11
ลิโนเลอิก	40	40
อื่น ๆ	6	4

ที่มา: คัดแปลงจาก Juliano (1985)

2. คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ช

2.1 การพองตัว

น้ำแป้งข้าวผสมน้ำ ในสัดส่วนน้ำมากกว่าแป้งประมาณร้อยละ 1-5 ขณะที่น้ำอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 0-40 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกันในระยะแรก พบว่า ส่วนผสมมีสีขาวขุ่น ในลักษณะแป้งแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่าแป้งตกตะกอนแยกจากส่วนน้ำคล้ายกับก่อนผสม แสดงว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งไม่ดูดซึมน้ำขณะเย็น หรือดูดซึมน้ำได้น้อยมาก ประมาณร้อยละ 30-35 ปริมาณน้ำที่ดูดเข้าไปจะอยู่ในส่วนออสชันฐาน ทำให้เกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถผันกลับได้ (reversible change) (อรอนงค์, 2547)

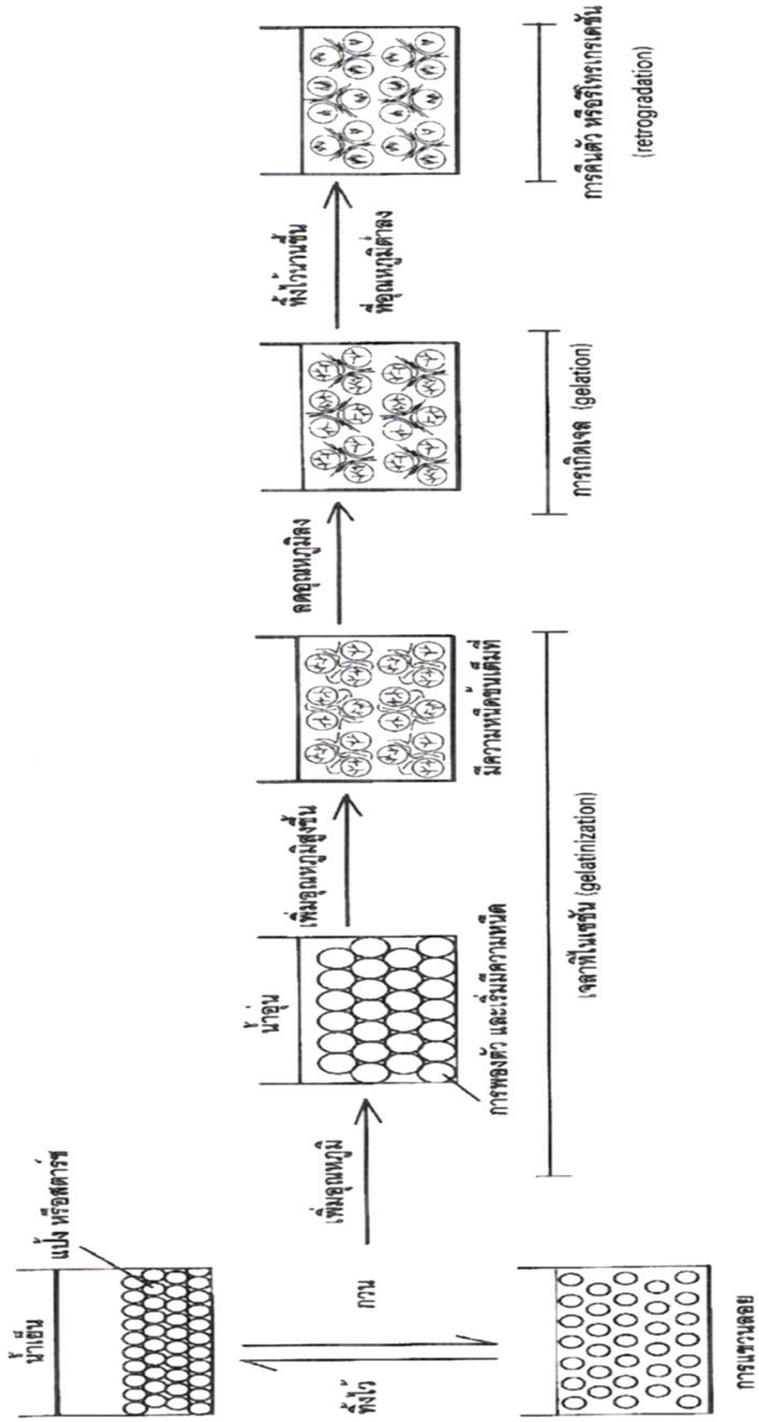
2.2 การเกิดเจลลาทีโนเซชัน

เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในน้ำ เม็ดสตาร์ชสามารถอุ้มน้ำเข้าไปทำให้เกิดการพองตัวขึ้น ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองในบริเวณอสชันฐาน (amorphous zone) ของโครงสร้าง โมเลกุลเอมิโลเพกทินคลายตัวลง สามารถจับกับโมเลกุลน้ำในส่วนผสม หรืออุ้มน้ำเข้าไปในเม็ดสตาร์ชทำให้พองขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับเริ่มมีความหนืดขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงระดับอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (T_0) ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible change) ซึ่งมีผลให้ลักษณะไปรีฟรินเจนชัน

เม็ดสตาร์ชหายไป เปลี่ยนแปลงรูปแบบในการดูดพลังงานความร้อน (endothermic transition) เม็ดสตาร์ชสูญเสียความเป็นผลึก (loss of crystallinity) เอนไซม์ย่อยสลายง่าย (enzymatic vulnerability) เรียกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน (Eliasson and Gudmundsson, 1996)

Marshall *et al.* (1990) เปรียบเทียบการเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนออกด้วยการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ หรือการย่อยด้วยเอนไซม์โปรตีนเอส โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า แป้งข้าวปกติมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชัน คือ 78 องศาเซลเซียส สูงกว่าแป้งข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนออกซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชันในช่วง 60-70 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปริมาณ โปรตีนมีผลต่อค่ากำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าว

Jane *et al.* (1999) ตรวจสอบการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวเจ้า ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า สตาร์ชข้าวเหนียวมี อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิลิ้นสุดของเกิดเจลาทีไนเซชัน 56.9, 63.2 และ 70.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีค่า 70.3, 76.2 และ 80.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างเอมิโลเพกทินของสตาร์ชข้าวเหนียว มีความยาวเฉลี่ยของสายโมเลกุล 18.8 สั้นกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีความยาวเฉลี่ย 22.7 และสตาร์ชข้าวเหนียวมีสัดส่วนของสายโมเลกุลสั้นสูง (DP 6-12) ร้อยละ 27.4 สัดส่วนของสายโมเลกุลยาวน้อย (DP \geq 37) ร้อยละ 6.6 ขณะที่ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่า 15.4 จูลต่อกรัม สูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีค่า 13.2 จูลต่อกรัม



ภาพที่ 4 ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำ โดยเพิ่ม และลดอุณหภูมิ ตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก
ที่มา: อรอนงค์ (2547)

2.3 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ โดยเมื่อเมล็ดสตาร์ชได้รับความร้อนจะดูดน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบ ๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น วิธีการตรวจวัดความหนืดสามารถกระทำได้หลายวิธี และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีหลักการทำงาน และการอ่านค่าความหนืดต่างกัน เช่น การใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield Viscometer) การใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบราเบนเดอร์ วิสโค/แอมิโลกราฟ (Brabender Visco/Amylograph) หรือการใช้เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว หรืออาร์วีเอ (Rapid Visco Analyzer, RVA) เป็นต้น (Brautlecht, 1953)

การใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบราเบนเดอร์ วิสโค/แอมิโลกราฟ หรือการใช้เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว มีหลักการ โดย เมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อน ทำให้เกิดการดูดน้ำ และพองตัว เริ่มมีความหนืดเกิดขึ้นจึงเรียกอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Pasting Temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) เป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โครงสร้างภายในแตกตัวออก ความหนืดลดลง ต่อมาลดอุณหภูมิลง ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสที่ละลายออกจากสตาร์ช เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (กลั่นรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

Jane *et al.* (1999) ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวเจ้า ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว พบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าความหนืดสูงสุด 205 อาร์วียู สูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีค่าความหนืดสูงสุด 113 อาร์วียู ส่วนค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบคของสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่า 84, 100 และ 16 อาร์วียู ตามลำดับ ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีค่า 96, 160 และ 64 อาร์วียู ตามลำดับ

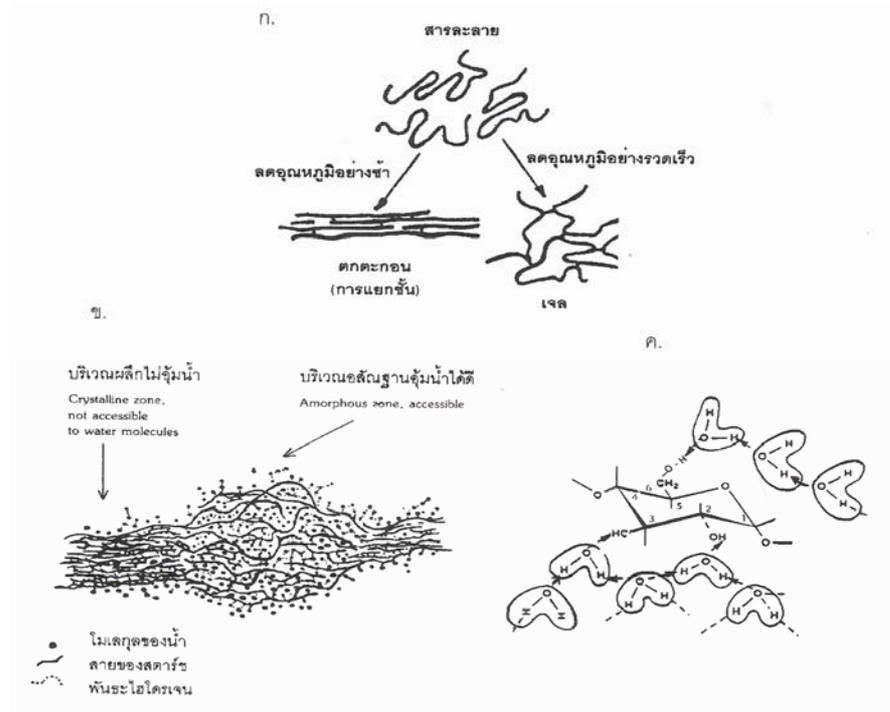
2.4 การเกิดสตาร์เจล

สตาร์เจลเกิดขึ้นเมื่อให้ความเย็นแก่แป้งเปียก ลักษณะเจลเป็นระบบของเหลวที่แสดงลักษณะคล้ายของแข็ง สตาร์เจลเกิดจากปฏิสัมพันธ์ และการเชื่อมต่อกันภายในหรือระหว่างพอลิเมอร์ที่เรียกว่าร่างแหโครงสร้างผลึก (junction zone) ทำให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (gel network) ซึ่งปฏิสัมพันธ์ส่วนใหญ่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน (Hoseney, 1998) หลังกระบวนการเจลาทิไนเซชัน ภายในเจลสตาร์ซยังคงมีเม็ดสตาร์ซที่พองตัวเหลืออยู่ซึ่งเป็นส่วนเสริมมาช่วยอุดในโครงสร้าร่างแหที่เกิดจากแอมิโลส (amylose matrix gel) ทำให้เจลมีความแข็งแรง (Biliaderis, 1998)

สตาร์เจลให้สมบัติทั้งความหนืด และความยืดหยุ่น (viscoelastic) ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อทิ้งสตาร์เจลไว้สักครู่อาจเห็นน้ำแยกตัวออกจากสตาร์ซ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำให้เย็นตัวลง โดยถ้าทำให้เย็นตัวลงอย่างช้า โอกาสที่น้ำจะแยกตัวออกจากโมเลกุลของสตาร์ซ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโมเลกุลแอมิโลสซึ่งมีสายสั้นเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายมาเกาะเกี่ยวกันเอง มีผลให้เกิดการแยกชั้น หรือตกตะกอน (precipitation) แต่น้ำในส่วนที่โมเลกุลแอมิโลสเพกทินอุ้มไว้จะแยกตัวออกจากโมเลกุลได้ช้ากว่า เพราะลักษณะของโมเลกุลแอมิโลสเพกทินซึ่งเป็นโซ่กิ่งจึงอุ้มน้ำไว้ได้ดีกว่า ดังนั้นลักษณะปรากฏของการเกิดเจล (gelation) ขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลส และแอมิโลสเพกทินที่มีอยู่ในสตาร์ซด้วย โดยถ้าทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว น้ำที่แอมิโลส และแอมิโลสเพกทินอุ้มไว้ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงช้ามาก และถ้าการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการแช่เยือกแข็งทำให้น้ำภายในโมเลกุลสตาร์ซเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก ลักษณะเจลจึงคงตัวมากขึ้น (อรอนงค์, 2547) ดังภาพที่ 5

2.5 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิ และการเก็บรักษาสตาร์ซที่เกิดการเจลาทิไนซ์แล้ว โดยในส่วนของออสซิลานมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น หรือจัดเรียงกันเป็นผลึก ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้งของทั้งแอมิโลส และแอมิโลสเพกทิน โดยแอมิโลสมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันเร็วกว่าแอมิโลสเพกทินมาก ส่งผลต่อสมบัติทางด้านรีโวลจี้ (rheology) ให้ความแน่นเนื้อ (firmness) หรือความแข็ง (rigidity) เพิ่มขึ้น สูญเสียความสามารถในการกักเก็บน้ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น (Eliasson and Gudmundsson, 1996)



ภาพที่ 5 (ก) การเกิดผลึก หรือตะกอน (การแยกชั้น) และการเกิดเจลของสตาร์ช ในขณะที่เย็นลง หลังการให้ความร้อน

(ข) การอุ้มน้ำของสตาร์ชบริเวณผลึก (crystalline zone) จะดูดน้ำได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone)

(ค) กลูโคสในบริเวณอสัณฐาน จะอุ้มน้ำได้หลายโมเลกุล

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

Chang and Lui (1991) ตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลจากสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 5 และ -18 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า เจลจากสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 25-33) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรเดชัน 0.8 จูลต่อกรัม ต่ำกว่าเจลจากสตาร์ชข้าวแอมิโลสสูงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ -18 องศาเซลเซียสที่มีค่าพลังงาน 1.4 และ 1.5 จูลต่อกรัมตามลำดับ ขณะที่เจลจากสตาร์ชข้าวเหนียว (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 1-2) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรเดชัน 0.05 จูลต่อกรัม ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ -18 องศาเซลเซียสที่มีค่าพลังงาน 0.9 และ 0.8 จูลต่อกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการเก็บรักษาเดียวกันพบว่า เจลจากสตาร์ชข้าวปริมาณแอมิโลสสูงสามารถเกิดรีโทรเกร-

เดชันได้มากกว่าเจลจากสตาร์ชข้าวเหนียว สอดคล้องกับ Jane *et al.* (1999) หาร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวเหนียวเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเจ้า ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า สตาร์ชข้าวเหนียวมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน คือ 5 ซึ่งต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีค่าร้อยละ 40.5 มาก

3. การดัดแปรสตาร์ช

การดัดแปรสตาร์ชตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสตาร์ช เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวสาลี มาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และ/หรือ สมบัติทางฟิสิกส์จากเดิม ด้วยความร้อน และเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535)

3.1 การดัดแปรทางฟิสิกส์ด้วยวิธีพรีเจลาทีไนเซชัน (Pregelatinization)

พรีเจลาทีไนซ์สตาร์ช คือ สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เป็นการทำให้สตาร์ชสุกหรือเจลาทีไนซ์ก่อน โดยการให้ความร้อนแก่สตาร์ชในสภาพที่มีน้ำ แล้วทำให้แห้งและบดก่อนนำไปใช้ ซึ่งนับว่าเป็นวิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุด (Kerr, 1950) คุณสมบัติของสตาร์ชพรีเจลคือ สามารถพองตัวได้ในน้ำที่อุณหภูมิปกติ (cold water swelling) เมื่อนำสตาร์ชพรีเจลมาผสมกับน้ำทำให้ส่วนผสมข้นขึ้นทันที ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในอาหารที่ต้องการให้มีความข้นหนืดโดยไม่ต้องให้ความร้อน เช่น อาหารเด็กอ่อน ซอส และน้ำเกรวี่ เป็นต้น (Knight, 1969)

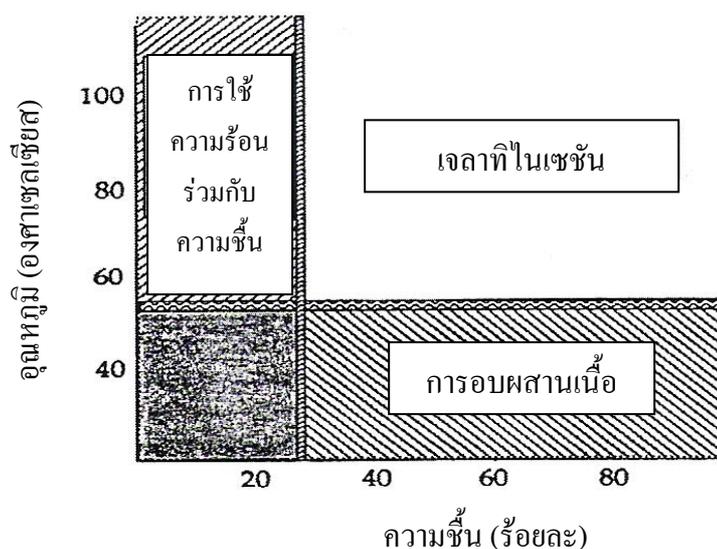
Kerr (1950) ผลิตสตาร์ชพรีเจลจากการเตรียมส่วนผสมของสตาร์ชกับน้ำซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชพรีเจลอย่างยิ่ง โดยต้องให้สตาร์ชดูดน้ำอย่างเต็มที่ด้วยการผสมสตาร์ชให้กระจายตัวอย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอในน้ำ เพราะสตาร์ชที่เกาะกันอยู่เป็นก้อนจะดูดน้ำไม่เต็มที่ เมื่อผลิตเป็นสตาร์ชพรีเจลแล้วจะพองตัวและให้ความหนืดน้อย ความเข้มข้นของส่วนผสมที่เหมาะสม คือ สตาร์ช 4 – 5 ปอนด์ต่อน้ำหนึ่งแกลลอน ซึ่งจะเกิดเจลาทีไนซ์ได้เต็มที่ แต่วิธีผลิตสตาร์ชพรีเจลที่รวดเร็วที่สุด คือ นำสตาร์ชที่ยังอยู่ในระหว่างการโม่ในขั้นตอนการกรองแยกสตาร์ชออกจากน้ำ ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 40 -50 มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสตาร์ชเจล และทำให้

แห้งโดยใช้ลูกกลิ้งที่ให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนภายในลูกกลิ้ง (drum dry) ซึ่งเป็นวิธีการผลิตสตาร์ชพรีเจลที่เหมาะสมที่สุด

อรอนงค์ และคณะ (2533) ผลิตแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ โดยใช้แป้งข้าวเจ้ากับน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แล้วผ่านน้ำแป้งลงเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่จัดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.004 นิ้ว มีความเร็วรอบ 28 รอบต่อนาที ความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้ง 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำแผ่นแป้งที่ได้มาดเป็นผงละเอียดขนาด 1.0 มิลลิเมตร สีขาวเลื่อมมัน มีความชื้นร้อยละ 5.2 ดูดซับน้ำได้ 11.5 เท่า มีความชื้นเหน็ดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเหน็ดแบบบราเวนเดอร์ วิสโค/แอมิโลกราฟ ที่ 30 องศาเซลเซียสได้ 85 บี.ยู. ในขณะที่แป้งที่ไม่ได้ผ่านการคัดแปรยังไม่มีความชื้นเหน็ดเกิดขึ้นที่อุณหภูมินี้ เมื่อตรวจสอบรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า เม็ดสตาร์ชในแป้งพรีเจลลาทีไนซ์จะมีลักษณะเป็นชั้นแบนเกาะกันเป็นกลุ่ม ซึ่งแตกต่างกับเม็ดสตาร์ชปกติซึ่งมีลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม

3.2 การตัดแปรทางฟิสิกส์ด้วยวิธีอบผานเนื้อ (Annealing)

การอบผานเนื้อเป็นวิธีการตัดแปรสตาร์ชทางฟิสิกส์ ด้วยวิธีการควบคุมสตาร์ชให้อยู่ในสภาวะที่มีน้ำมากเกินไป คือ มีน้ำมากกว่าร้อยละ 60 ของน้ำหนักสตาร์ช หรือในสภาวะที่มีน้ำปานกลาง คือ มีน้ำร้อยละ 40 ของน้ำหนักสตาร์ช ระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของแข็งที่มีลักษณะคล้ายแก้ว (glasstransition temperature) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (T_0) ของเม็ดสตาร์ช ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ช โดยที่เม็ดสตาร์ชไม่ถูกทำลาย (Jacobs and Delcour, 1998) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการอบผสานเนื้อ และการตัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีความร้อนร่วมกับความชื้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก Eliasson and Gudmundsson (1996)

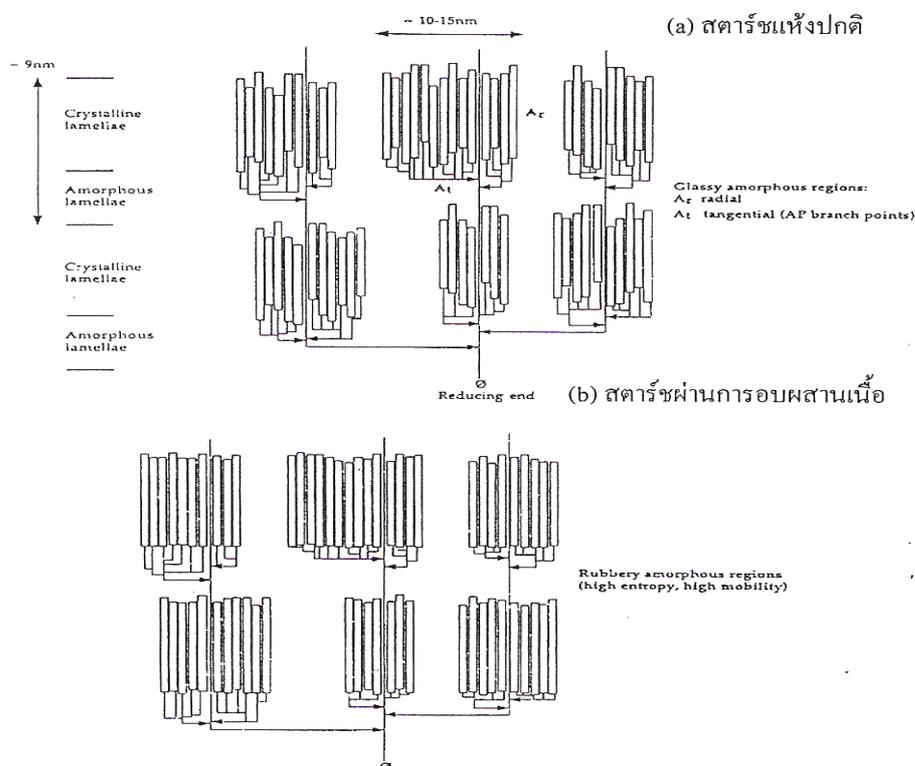
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์อาจเกิดจาก

3.2.1 ส่วนผลึกที่เป็นระเบียบพยายามจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบมากขึ้น โดยสายพอลิเมอร์ทั้งในส่วนผลึกที่เป็นระเบียบ และส่วนอสัณฐานเกิดการหลอม และจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ได้โครงสร้างที่เป็นผลึกเพิ่มขึ้น หรือโครงสร้างที่สมบูรณ์แบบมากขึ้น (Larsson and Eliasson, 1991) ดังภาพที่ 7

3.2.2 อัตรการยาระหว่างเอมิโลสกับเอมิโลส, เอมิโลสกับเอมิโลเพกทิน และเอมิโลสกับไขมันเพิ่มขึ้น (Jacobs and Delcour, 1998)

3.2.3 อัตรการยาระหว่างส่วนอสัณฐาน และส่วนผลึกมีความแข็งแรงมากขึ้น (Stute, 1992)

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังกล่าวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอบผสานเนื้อ



ภาพที่ 7 การจัดเรียงตัวของเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ใน (a) สตาร์ชแห้งปกติ (b) สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tester and Debon (2002)

Seow and Teo (1993) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน ด้วยเครื่องดีพี-เพอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ด้วยระดับความชื้นแตกต่างกัน พบว่า ระดับความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 50 (อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ เป็น 1:1) ให้รูปแบบเอนโดเทอร์ม 2 พีก เนื่องจากปริมาณน้ำปานกลาง (ร้อยละ 40-50) ทำให้ส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชพองตัวและหลอมเหลวได้ก่อน ส่วนผลึกที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบจึงหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงพบพีคการหลอมเหลวในส่วนอสัณฐาน (G) ซึ่งใช้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลที่โนเซชันของสตาร์ชที่ผ่านการอบผานเนื้อ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นที่เปลี่ยนจากของแข็งที่มีผลึกคล้ายแก้ว (glass transition) เป็นลักษณะที่เคลื่อนไหวได้ (rubbery) และพีคการหลอมเหลวในส่วนที่เป็นระเบียบ (M1) ขณะที่ระดับความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 ปรากฏรูปแบบเอนโดเทอร์ม 1 พีก เนื่องจากปริมาณน้ำมากเกินไป (มากกว่าร้อยละ 60) มีผลให้ส่วนอสัณฐาน และส่วนผลึกที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบหลอมเหลวได้

พร้อมกัน อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำระดับปานกลาง และปริมาณน้ำที่มากเกินไปส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset Temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุด (Peak Temperature, T_p) อุณหภูมิสิ้นสุด (Conclusion Temperature, T_c) ของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีโนเซชันมีค่าเพิ่มขึ้น ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาρχปกติ เนื่องจากระหว่างการอบผานเนื้อโครงสร้างภายในของเม็ดสตาρχมีการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ที่มีความเป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสตาρχข้าวอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาρχข้าว:น้ำ เป็น 3:4 นาน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิในการอบผานเนื้อระดับต่าง ๆ คือ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า ค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาρχข้าวอบผานเนื้อเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบผานเนื้อ 55 องศาเซลเซียส มีค่า 14.6 จูล/กรัม ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาρχข้าวปกติ และสตาρχข้าวอบผานเนื้อที่ใช้อุณหภูมิในการอบผานเนื้อ 45 และ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า 14.4 และ 10.0 จูล/กรัม ตามลำดับ

Jacob *et al.* (1995) อบผานเนื้อสตาρχข้าว ด้วยอัตราส่วนสตาρχ:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบสมบัติเชิงความร้อน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) พบว่า สตาρχข้าวอบผานเนื้อเมื่อมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน 66.2, 70.0, 81.2 องศาเซลเซียส และ 14.2 จูลต่อกรัม ตามลำดับ สูงกว่าสตาρχข้าวปกติที่มีค่า 59.7, 67.8, 80.6 องศาเซลเซียส และ 13 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันมีค่า 15.0 องศาเซลเซียส ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาρχปกติที่มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน 22.9 องศาเซลเซียส

Adebowale *et al.* (2005) ทำการดัดแปรสตาρχข้าวฟ่างด้วยการอบผานเนื้อในสภาวะที่มีน้ำมากเกินไป ด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง พบว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วของสตาρχข้าวฟ่างอบผานเนื้อ มีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบค คือ 337.33, 125.0, 351.33 และ 139 อาร์วียู ตามลำดับ น้อยกว่าสตาρχข้าวฟ่างปกติที่มีค่า 386.75, 225.5, 377.17 และ 184 อาร์วียู ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และค่าความหนืดต่ำสุดของสตาρχข้าวฟ่างอบผานเนื้อ มีค่า 64.35 องศาเซลเซียส และ 153.17 อาร์วียู ตามลำดับ มากกว่า

สตาร์ชข้าวฟ่างปกติที่มีค่า 64.50 องศาเซลเซียส และ 212.33 อาร์วียู ตามลำดับ กำลังการพองตัวของ สตาร์ชข้าวฟ่างปกติมีค่าร้อยละ 300, 330, 580, 720 และ 760 ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°ซ ตามลำดับ เมื่อผ่านการอบผานเนื้อแล้วสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่ากำลังการพองตัวลดลงเป็นร้อยละ 210, 260, 400, 500 และ 600 ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°ซ ตามลำดับ ค่าการละลายของสตาร์ช ข้าวฟ่างปกติมีค่าการละลายร้อยละ 2, 3, 4.3, 8 และ 10.5 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°ซ ตามลำดับ เมื่อผ่านการอบผานเนื้อแล้วสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 3, 4, 7, 11 และ 15 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°ซ ตามลำดับ

สุภาวดี และปริศนา (2549) หาผลของการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผาน เนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวแอมิโลสสูง คือ แป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยกำหนดระดับอุณหภูมิในการตัดแปรสูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของสตาร์ชที่ 50 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาทีในเซชัน (T_{gel}) ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด คือ ค่าความหนืดสูงสุด ค่า ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคมีค่าลดลง เมื่อเวลาในการอบผานเนื้อนานขึ้น หรืออุณหภูมิในการอบผานเนื้อสูงขึ้น โดยอยู่ในช่วง 2416-3996.5, 340.5-845.0, 2506-4378 และ 529-1227 เซนติปัวส์ ตามลำดับ และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของการเกิดเจลาทีในเซชันของแป้งตัดแปรเมื่อวัดด้วยเครื่อง ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ คือ มี อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และค่าพลังงานในการสลายพันธะ (ΔH) เพิ่มขึ้น ช่วงการเกิดเจลาทีในเซชัน (T_c-T_o) แคลลง เมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อนาน ขึ้น ก็มีค่าในช่วง 75.87-76.88, 78.64-80.15, 81.44-82.74 องศาเซลเซียส, 11.95-13.68 จูล/กรัม และ 5.18-5.74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4. ขนมหิน

ขนมหินเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเก่าแก่ ซึ่งประชาชนชาวไทยนิยมบริโภคกันมาช้านาน ตั้งแต่สมัยอยุธยา และมีการผลิตเพื่อบริโภคในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยบริโภคแทนข้าวกันได้ ในแทบทุกมื้ออาหาร (เช้า กลางวัน และเย็น) เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรม และประเพณีของชนชาว ไทยในทุกงานเทศกาล ตั้งแต่ทำบุญ ขึ้นบ้านใหม่ แต่งงาน งานพิธีต่าง ๆ ซึ่งทำกันในระดับครัวเรือน ในหมู่บ้านชนบท หรือเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่ (อรอนงค์, 2547)

4.1 รูปแบบของขนมจีน

4.1.1 ขนมจีนแป้งสด เป็นขนมจีนที่ทำจากข้าวเจ้า หรือปลายข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ หรือล้างน้ำก่อนที่จะนำมาไม่ทำเป็นขนมจีน ขนมจีนชนิดนี้เก็บได้ไม่นาน มีความเหนียวน้อยกว่า ขนมจีนแป้งหมัก สีขาว และไม่มึนลิ้นหมัก นิยมบริโภคกันมากในภาคใต้ (อรอนงค์, 2547)

4.1.2 ขนมจีนแป้งหมัก เป็นขนมจีนที่ทำจากการหมักข้าวเจ้า หรือปลายข้าวก่อนที่จะนำมาไม่แล้วทำเป็นขนมจีน ขนมจีนชนิดนี้มีความเหนียว มีสีคล้ำเล็กน้อย และมีกลิ่นหมัก สามารถเก็บไว้ได้นาน จึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมากในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อรอนงค์, 2547)

4.1.3 ขนมจีนแห้งกึ่งสำเร็จรูป เป็นขนมจีนที่ทำจากการนำขนมจีนแป้งหมัก หรือแป้งสด ไปอบให้แห้ง แล้วคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือด นาน 5-10 นาทีก่อนรับประทาน (สิริชัย, 2545)

4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมจีน

สามารถใช้ได้ทั้งข้าวสารเจ้า ปลายข้าวเจ้า หรือข้าวหักเจ้า แต่เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันข้าวหักมีราคาถูกกว่าข้าวสารซึ่งเป็นข้าวเต็มเมล็ด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต จึงนิยมใช้ข้าวหักเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมจีนมากกว่าข้าวสาร และปลายข้าว นอกจากนี้ข้าวหักที่ใช้ทำขนมจีนควรเป็นข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บ 3-4 เดือนขึ้นไป เนื่องจากทำให้ได้เส้นขนมจีนที่เหนียว คุณภาพดี หากใช้ข้าวใหม่จะทำให้เส้นขนมจีนนิ่ม ขาดง่าย เส้นเกาะติดกันมาก และได้ปริมาณผลผลิตน้อย ในขณะที่หากใช้ข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 1 ปี ทำให้เส้นขนมจีนมีความแข็งแรง ร่วน ไม่มีความมันเงา (สิริชัย, 2545) ปริมาณแอมิโลสของข้าวที่นำมาผลิตเป็นอาหารเส้นควรเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 27 เนื่องจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ หลังจากที่ถูกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นลง แป้งสุกจะเกิดภาวะคืนตัว และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียวหยุ่น ไม่แฉะติดกัน (งามชื่น, 2541)

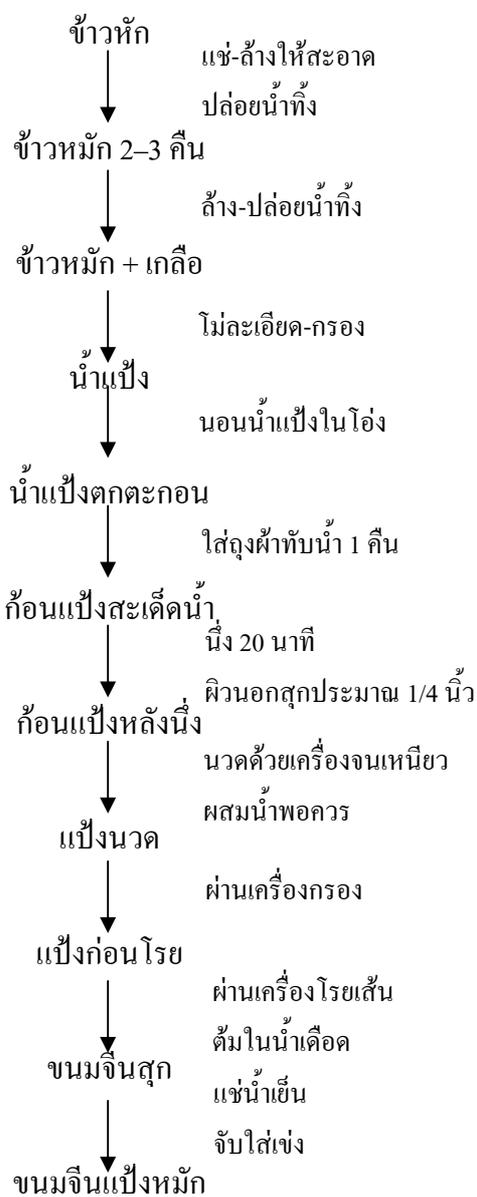
ข้าวหักที่เหมาะสมในการทำขนมจิ้นควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 11.61–14.63 ปริมาณเถ้าประมาณร้อยละ 0.29–0.77 ปริมาณเส้นใยหยาบประมาณร้อยละ 0.33–0.9 ปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 5.99–7.77 ปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 0.58–1.74 และปริมาณแอมิโลสประมาณร้อยละ 27.49–32.89 ซึ่งจัดเป็นข้าวที่มีแอมิโลสสูง โดยพันธุ์ข้าวที่นิยมใช้ในการผลิตขนมจิ้นมีหลายพันธุ์ ได้แก่ เหลืองประทิว บัวใหญ่ แจ็กเซย เหลืองใหญ่ ข้าวนก ข้าวขาวเมล็ดเล็ก เหลืองอ่อน ข้าวขาวเจ้าเหลือง ขาวสัมพันธ์ เปลือกแดง ขาวเปลือกใหญ่ ขาวตาแห้ง เหลือง 11 เหลืองทอง ข้าวบ้านประโดก ข้าวอีสาน ข้าวพิจิตร ข้าวท้องร่วง ข้าวหัวไทร และข้าวสระบุรี ลักษณะความหนืดของแป้งข้าวหักควรมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันในช่วง 74–80.5 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงสุดระหว่าง 720–1,010 บี.ยู. มีค่าความคงตัว และการคืนตัวสูง เนื่องจากเป็นข้าวที่มีแอมิโลสสูงจึงทำให้ได้ลักษณะเส้นขนมจิ้นที่เหนียว และนุ่มดี (พัชร และคณะ, 2534)

4.3 กระบวนการผลิตขนมจิ้นแป้งหมัก

การผลิตขนมจิ้นแป้งหมัก เริ่มจากการล้างข้าวให้สะอาดเพื่อให้ปราศจากฝุ่น และสิ่งเจือปน ใส่งในภาชนะ ที่น้ำไหลผ่านได้สะดวก เช่น ช่าง กระบุง ตะกร้า ใช้ปริมาณน้ำพอสมควร การหมักข้าวอาจทิ้งไว้กลางแดดหรือในร่ม ประมาณ 2-3 วัน ควรควบคุมอุณหภูมิของข้าวระหว่างหมักให้อยู่ระหว่าง 34–40 องศาเซลเซียส และล้างข้าวทุกวันระหว่างการหมัก เพื่อลดอุณหภูมิของการหมัก และจำนวนจุลินทรีย์ไม่ให้เกิดการบูดเน่า ความเป็นกรด-เบสของข้าวระหว่างการหมักจะอยู่ระหว่าง pH 3.3–4.5 ข้าวหมักที่ได้จะมีกลิ่นแรง และมีสีคล้ำ เมื่อหมักข้าวครบตามกำหนด ล้างข้าวด้วยน้ำสะอาด นำข้าวไปบดพร้อมเกลือร้อยละ 7 ของน้ำหนักข้าวด้วยเครื่องโม่หินได้แป้งกับน้ำ ทิ้งให้แป้งตกตะกอนนาน 1–2 วัน คูดน้ำส่วนบนที่มีสีเหลืองอ่อน และมีกลิ่นฉุนทิ้ง ความเป็นกรด-เบสของน้ำระหว่างการนอนน้ำแป้ง 1 คืน อยู่ระหว่าง pH 3.0–3.8 ตักแป้งที่ได้ใส่ในถุงผ้าดิบ แล้วผูกปากถุงด้วยเชือกให้แน่น ทับด้วยของแข็งนาน 1 คืน แป้งหมักขั้นตอนนี้จะเป็นก้อนแข็งเกาะติดกัน มีความชื้นร้อยละ 42–44 อุณหภูมิ 27–30 องศาเซลเซียส (ณรงค์, 2528; สุภรัตน์ และคณะ, 2534)

นำแป้งหมักที่ได้ ปั้นเป็นก้อนกลมหนึ่งหรือต้มให้สุก $\frac{1}{4}$ นิ้ว หรือคิดเป็นร้อยละแป้งสุกประมาณ 27–34 ของน้ำหนัก นวดแป้งสุก และแป้งดิบให้เข้ากัน ค่อย ๆ เติมน้ำร้อน จนแป้งนวดมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 หรือมีความเหลวพอที่ผ่านเครื่องโรยเส้นได้ กรองแป้งผ่านผ้าขาวบาง

โรยเส้นขนมจีนในน้ำเดือดให้เส้นสุก และลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ จึงช้อนเส้นขึ้น ไปแช่ในน้ำเย็น และจับเส้นวางในเข่งต่อไป (สุภรัตน์ และคณะ, 2534)



ภาพที่ 8 กรรมวิธีการผลิตขนมจีน

ที่มา: สุภรัตน์ และคณะ (2534)

ลัธนา (2532) ผลิตแป้งข้าวพรีเจลาทีนซ์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน พบว่าสามารถผลิตแป้งพรีเจลาได้จากการผสมน้ำแป้งร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก พรีเจลาทีนซ์ทันทีด้วยเครื่องอบแห้งชนิดทรงกระบอก (drum dry) แบบลูกกลิ้งคู่ ที่มีความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว หมุนด้วยความเร็ว 12 รอบต่อนาที แล้วบดร่อนด้วยตะแกรงขนาดรูเปิด 1.0 มิลลิเมตร ใช้อัตราส่วนของแป้งพรีเจลร้อยละ 15 แป้งข้าวร้อยละ 85 และปริมาณน้ำร้อยละ 140 - 150 (ของน้ำหนักรวมแป้งพรีเจลและแป้งข้าว) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเพราะทำให้ส่วนผสมมีความชื้นพอดีที่จะโรยเป็นเส้นได้อย่างต่อเนื่อง การใช้แป้งข้าวพรีเจลาทีนซ์ต่ำกว่าร้อยละ 15 ส่วนผสมจะไม่ไหลเป็นเส้นได้อย่างต่อเนื่อง และการใช้ในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 15 ทำให้เส้นขนมจีนนิ่ม และขาดง่าย

อรอนงค์ และคณะ (2534) เปรียบเทียบความหนืดระหว่างข้าวหักที่ใช้ทำขนมจีนกับลักษณะขนมจีนที่ได้โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบราเวนเดอร์ (ตัวอย่าง 50 กรัม ที่ความชื้นร้อยละ 14) ปรากฏว่ากระบวนการทำขนมจีนมีผลต่อข้าวดิบที่กลายเป็นขนมจีนสุก ทำให้ขนมจีนเกิดเจลาทีนซ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าข้าวหักถึง 29 องศาเซลเซียส กล่าวคือ ข้าวหักจะเกิดเจลาทีนซ์ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส ส่วนขนมจีนเกิดเจลาทีนซ์ที่อุณหภูมิเพียง 45 องศาเซลเซียส เท่านั้น ความหนืดสูงสุดของขนมจีนต่ำกว่า (680 บียู) ของข้าวหัก (800 บียู) และความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส ของขนมจีน (600 บียู) ก็ยังต่ำกว่าของข้าวหัก (780 บียู) แต่ความหนืดของขนมจีนมีความคงตัวดีกว่าของข้าวหัก จึงทำให้ความหนืดลดลงไม่มากนัก (90 บียู) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหักมีค่ามากกว่าถึง 3 เท่า (250 บียู) ในขณะที่เย็นลงถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นหนืดของขนมจีนจะเพิ่มมากขึ้นใกล้เคียงกับข้าวหัก ทำให้ค่าเซตแบคใกล้เคียงกัน

ภักวิวัฒน์ และอรอนงค์ (2547) หากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และฟิสิกส์ของข้าวในระหว่างกระบวนการหมักของเส้นขนมจีน โดยเริ่มจากการหมักข้าวเหลือง 11 ในน้ำ นาน 2 วัน แล้วหมักแห้งในที่ร่มต่ออีก 3 วัน ไม่เปียก นอนน้ำแป้ง จากนั้นทับน้ำแป้งเพื่อเป็นแป้งหมักในการผลิตเป็นเส้นขนมจีนต่อไป ซึ่งผลของการหมักทำให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าลดลงจากร้อยละ 8.8, 0.63 และ 0.32 เป็นร้อยละ 2.1, 0.44 และ 0.24 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ ค่าเอมิโอสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.2 เป็น 35.6 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ขณะที่ค่าความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว แสดงค่าความหนืดสูงสุดลดลงจาก 3,098 เป็น 2,243 เซนติปัวส์ ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบคลดลงจาก 4,852 และ 2,484 เป็น 2,964 และ 1,141 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบการเกิดเจลาทีนซ์ในเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล -

สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้ผลของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทีไนเซชัน และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลาทีไนเซชัน คือ 69.2 องศาเซลเซียส และ 1.96 จูลต่อกรัมตามลำดับ แตกต่างจากแป้งหมักที่มีค่า 70.6 องศาเซลเซียส และ 4.43 จูลต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อตรวจสอบรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เม็ดสตาร์ชของแป้งหมักจะอยู่เป็นเม็ดเดี่ยว ๆ ที่บริเวณผิวหน้ามีรูพรุนซึ่งเกิดขึ้นจากเอนไซม์ในกระบวนการหมัก

5. ขนมหิน-น้ำยา

การรับประทานขนมหิน สามารถรับประทานได้ทั้งแบบราคน้ำยาแกลง ใส่ในส้มตำ เอาไปผัด ใส่ในแกง หรือใส่เป็นเครื่องปรุงในอาหารเวียดนามก็ได้ โดยการรับประทานขนมหินกับน้ำยาแกลงนิยมรับประทานคู่กับผัก และเครื่องเคียงต่าง ๆ ทั้งผักสด ผักดอง ผักถวัก ผักผัดน้ำมัน และผักชุบแป้งทอด เป็นต้น (นิรนาม, 2543) น้ำยาแกลงที่นิยมบริโภคในปัจจุบัน (ทวิศักดิ์, 2547) ได้แก่

5.1 ขนมหินน้ำยาปลา นิยมรับประทานกันมาก ผลิตจากการนำเครื่องแกงมาโขลกรวมกับเนื้อปลา ซึ่งส่วนมากนิยมใช้ปลาช่อน เนื่องจากเป็นปลาน้ำจืด ไขมันน้อย รสชาติไม่แพง ถ้าเป็นน้ำยาปลาปักษ์ใต้จะใช้ปลาทะเล เนื่องจากหาได้ง่าย คือ ปลาน้ำดอกไม้ ซึ่งเป็นปลาทะเล มีเนื้อนุ่ม และราคาถูกกว่าปลาช่อน มีการเติมขมิ้นในเครื่องแกงเพื่อดับกลิ่นคาว และให้มีสีเหลืองน่ารับประทาน ลักษณะน้ำยาต้องข้น หอมกลิ่นเครื่องแกง มีรสหวานมันกะทิ

5.2 ขนมหินน้ำยาป่า เป็นน้ำยาชนิดเดียวกับน้ำยาปลา แต่ไม่มีการเติมกะทิในน้ำยา อาจเติมพริกขี้หนูแห้งเพิ่มในส่วนผสมของน้ำยาทำให้น้ำยาป่ามีรสจัดกว่าน้ำยาปลาทั่วไป

5.3 ขนมหินน้ำพริก ผลิตจากการนำหอมแดง กระเทียม รากผักชีมาโขลกรวมกับเนื้อกุ้ง ใสลงในกะทิที่ต้มจนเดือด ปรุงรสด้วย น้ำมะขามเปียก น้ำตาลปีบ น้ำมะนาว จากนั้นเติมถั่วเขียว และถั่วลิสงป่น พริกทอดลงไป ต้มให้เดือดอีกครั้ง นิยมรับประทานคู่กับผักชุบแป้งทอด

5.4 ขนมหินน้ำเงี้ยว เป็นน้ำยาของทางภาคเหนือ รสชาติออกเปรี้ยวจากมะเขือเทศสีดา ใสดอกงิ้วเพื่อเพิ่มความหอม และความกรอบขณะรับประทาน

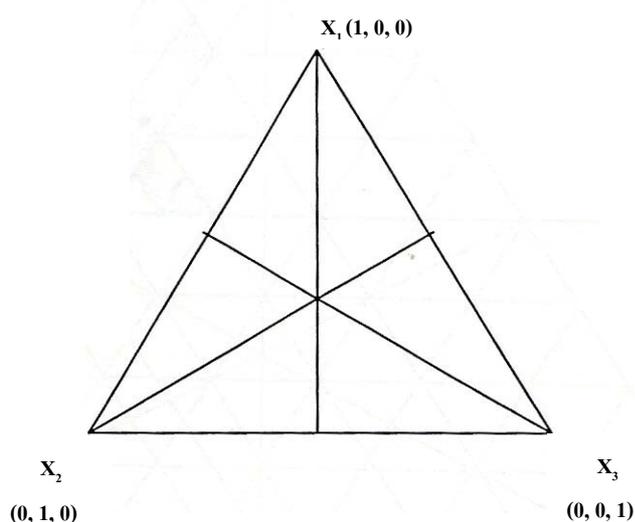
5.5 ขนมจีนแกงเขียวหวานไก่ เป็นแกงชนิดเดียวกับแกงเขียวหวานไก่ที่นิยมรับประทานกับข้าวสวย ได้จากการใส่เครื่องแกงเขียวหวาน ลงในน้ำกะทิที่ต้มจนเดือดแตกมัน พอเดือดอีกครั้งเติมไก่ มะเขือพวง ประุงรสด้วยน้ำปลา น้ำตาลปี๊บ

6. การวางแผนการทดลองแบบ Mixture design

การวางแผนการทดลองแบบ Mixture design เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบมากกว่า 1 ชนิด การวางแผนการทดลองเช่นนี้เป็นการทดลองหาส่วนผสมของสูตร ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของส่วนประกอบใด ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยที่ผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดรวมกันเท่ากับ 1.0 หรือ ร้อยละ 100 เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบ factorial ไม่เหมาะสมเมื่อมีส่วนประกอบ (ingredients) มากกว่า 1 ชนิด (ไพโรจน์, 2546)

ข้อจำกัดของการออกแบบการทดลองแบบ Mixture design

$i = 1, 2, 3$ โดยที่ $x_i =$ ส่วนประกอบที่ i และ $0 \leq x_i \leq 1$



ภาพที่ 9 รูปแบบการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design

ที่มา: ดัดแปลงจาก ไพโรจน์ (2546)

6.1 แผนการทดลองของ Mixture design สามารถสร้างได้จาก 2 วิธี คือ (อนุวัตร, 2545)

6.1.1 แผนอย่างง่าย โดยการพิจารณาข้อจำกัดในส่วนประกอบ ใช้หลักการพิจารณาปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ในการทดลองแบบ factorial และคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองได้ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.1.2 แผนการทดลองมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

7. การแปรรูปด้วยความร้อน

การใช้ความร้อนแปรรูปอาหาร หมายถึง การใช้อุณหภูมิสูง เพื่อช่วยถนอมรักษาอาหาร โดยความร้อนจะทำลายจุลินทรีย์ที่ให้โทษ และทำให้อาหารเสื่อมเสีย เอนไซม์ สารพิษ และแมลงต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทนต่อความร้อนได้ (ทนง, 2546)

การถนอมอาหารโดยความร้อนสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ การพาสเจอร์ไรซ์และการสเตอริไลซ์

7.1 การพาสเจอร์ไรซ์ คือ วิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงไม่มาก ซึ่งปกติใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้นานหลายวัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางอาหารน้อยที่สุด โดยการพาสเจอร์ไรซ์เป็นการทำลายแบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ รา ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ส่วนจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ทนความร้อนของการพาสเจอร์ไรซ์จะทำให้อาหารเสียได้ ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ต้องอาศัยความเย็นช่วยเก็บรักษาเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส (วิไล, 2545)

การถนอมอาหารแบบอื่นที่ใช้ควบคู่กับการพาสเจอร์ไรซ์ ได้แก่ การใช้ความเย็นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น การใช้น้ำตาลในนมข้นหวาน การใช้กรด หรือการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนองค์ประกอบใน

อาหาร เช่น การเปลี่ยนแกล็กโทสไปเป็นกรดแกล็กติก หรือการบรรจุหีบห่อ เช่น การรักษาสภาพไว้ อากาศในขวดเบียร์ จะช่วยให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น (วิไล, 2545)

7.2 การสเตอริไลซ์ คือ วิธีการถนอมอาหาร โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายสิ่งมีชีวิตทั้งหลายรวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ให้หมดไป แต่ในทางอุตสาหกรรมอาหารสามารถทำได้เพียงให้ความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และทำให้ผู้บริโภครอดภัยเมื่อบริโภคอาหารนั้นภายใต้สภาวะเก็บรักษา และขนถ่ายในสภาวะปกติ อาหารที่ได้จากการสเตอริไลซ์ ถือว่าเป็นอาหารปลอดเชื้อ สามารถเก็บรักษาได้ในอุณหภูมิปกติอย่างน้อย 6 เดือน (ทนง, 2546)

การให้ความร้อนที่รุนแรงระหว่างการสเตอริไลซ์อาหารในภาชนะบรรจุก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทางโภชนาการ และประสาทสัมผัสของอาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารในปัจจุบันจึงมีเป้าหมายหลักเพื่อลดความเสียหายที่เกิดต่อคุณภาพด้านโภชนาการ และประสาทสัมผัสของอาหารนี้ เช่น การลดเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารก่อนบรรจุอาหารในภาชนะบรรจุ (วิไล, 2545)

8. บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวทนความร้อนสูง

เนื่องจากกระป๋องเป็นภาชนะที่หนัก กินที่ และบวม หรือบวมในเวลาเก็บรักษา นักวิจัยจึงคิดค้นบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (pouch) ที่ทนความร้อนสูง (121 องศาเซลเซียส) เช่นเดียวกับกระป๋อง ให้ชื่อว่า บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูง (retort pouch) เพื่อให้บรรจุอาหารแทนกระป๋องหรือขวดแก้วได้เป็นอย่างดี ในปี ค.ศ. 1979 หน่วยงานทางทหารของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค (Meals-Ready-to-Eat, MRE) โดยใช้บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูง เพื่อเป็นเสบียงอาหารให้ทหารจำนวนมาก (ล้านๆ) ทำให้อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูงเป็นที่นิยมในการผลิตทางการค้าเพื่อประชาชนทั่วไปมากขึ้น โดยเฉพาะชาวญี่ปุ่นนิยมบริโภคอาหารในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูงเพิ่มขึ้นทุกปี (Luh and Liu, 1980)

ลักษณะของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนที่นิยมใช้มากที่สุด ประกอบด้วยพลาสติก 3 ชั้น เชื่อมประสานให้ติดกัน คือ พอลิเอสเตอร์ (polyester) อยู่ชั้นนอกสุดเป็นชั้นที่เหนียวทนต่อการขีดข่วน ชั้นกลาง คือ อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) เป็นชั้นที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน

แสงสว่าง และความชื้น และชั้นในสุด คือ โพลีโพรพิลีน (polypropylene) เป็นชั้นที่มีคุณสมบัติซึ่งปิดผนึกด้วยความร้อนได้ และสามารถสัมผัสอาหารได้โดยปลอดภัย นอกจากนั้น บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวทนความร้อน ยังมีน้ำหนักเบา สามารถใช้บรรจุอาหาร ทนความร้อน และความดันในระหว่างการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง และขวดแก้ว อีกทั้งสามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานตั้งแต่ 6 เดือนจนถึง 2 ปี เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ค่อนข้างใหม่ในเมืองไทย ซึ่งอาหารส่วนใหญ่เป็นอาหารประเภท แอง สตูว์เนื้อ และผัก ซุป ข้าว ข้าวต้ม อาหารทะเลสุก และซอสต่าง ๆ นอกจากนั้น บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวทนความร้อน ที่ใช้แล้วก็สามารถทำลายได้ง่ายกว่ากระป๋อง เนื่องจากรูปแบบที่เป็นซองสี่เหลี่ยมแบบปิดผนึกทั้ง 4 ด้าน มีความหนาของตะเข็บ 3/8 นิ้วขึ้นไป หรือเป็นแบบมีส่วนขยายที่ก้นถุง (gusset) เพื่อให้ตั้งได้ (standing pouch) (วราทิพย์, 2543)

8.1 หลักการในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูง (วราทิพย์, 2543)

8.1.1 อาหารต้องได้รับความร้อนเพียงพอ และนานพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

8.1.2 อาหารต้องบรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท (hermetically sealed container) ซึ่งไม่ได้จำกัดเฉพาะกระป๋อง และบรรจุภัณฑ์นั้นต้องสามารถป้องกันการปนเปื้อนหลังผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแล้ว

8.2 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูง สามารถผลิตแบบใดแบบหนึ่งจากวิธีการต่อไปนี้

8.2.1 อาหารบรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท และให้ความร้อน (canning)

8.2.2 อาหารได้รับความร้อน และบรรจุในขณะร้อน ปิดสนิท แล้วทำให้เย็น (hot fill and cool process)

8.2.3 อาหารได้รับความร้อน และทำให้เย็นก่อนบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดเชื้อภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ (aseptic process)

ดังนั้นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนจึงจำเป็นที่อาหารต้องได้รับความร้อนอย่างน้อยในระดับการค้า (commercial sterility) ซึ่งในบางผลิตภัณฑ์ก็เพียงพอที่จะทำให้อาหารสุกจนเป็นที่พอใจ หรือในบางผลิตภัณฑ์อาจทำให้คุณภาพเสียไปได้ (สายวรุฬ, 2543)

HisakaFood & Chemical Machinery Division (2001 a) ผลิตสปาเกตตีในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนชนิดใส น้ำหนักสุทธิ 170 กรัม ในบรรจุภัณฑ์ขนาด 120x130x20 มิลลิเมตร ปิดผนึกด้วยการบรรจุก๊าซใน โตรเจนแทนที่อากาศในบรรจุภัณฑ์ร้อยละ 50 ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องฆ่าเชื้อ (retort) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที

HisakaFood & Chemical Machinery Division (2001 b) ผลิตบะหมี่ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวชนิดโปร่งใส น้ำหนักสุทธิ 200 กรัม ในบรรจุภัณฑ์ขนาด 130x100x20 มิลลิเมตร ปิดผนึกโดยให้มีปริมาตรของอากาศเหนืออาหาร (headspace) ประมาณร้อยละ 5 ทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้เครื่องฆ่าเชื้อแบบจุ่มในน้ำร้อนที่มีการให้ความดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีค่า F_0 เท่ากับ 7.6 นาที

อรอนงค์ (2545) จดอนุสิทธิบัตรกรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำข้าวเหนียวมาต้มในน้ำเดือด นิดพ่นสารเคลือบ จากนั้นบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน ทำการไล่อากาศก่อนปิดผนึก ปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ให้สนิท ทำการฆ่าเชื้อด้วยระบบฆ่าเชื้อชนิดใช้น้ำในการให้ความร้อน ทำให้เย็นในสภาวะที่ควบคุมความดัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาได้นานอย่างน้อย 6 เดือน (เลขที่อนุสิทธิบัตร 867 วันที่ออกอนุ-สิทธิบัตร 19/11/2545 หมดอายุเมื่อครบกำหนด 5 ปี)

อรพรรณ (2547) ปรับปรุงคุณภาพถั่วเขียวพร้อมบริโภคน้ำในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทโดยการผสมโซเดียมไทรโพลิฟอสเฟตร้อยละ 2 และ โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ในน้ำแป้ง จากนั้นแช่น้ำแป้งเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง จึงนึ่งแผ่นน้ำแป้งด้วยไอน้ำแล้วบ่มแผ่นถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ตัดเป็นเส้นขนาด 1x10 เซนติเมตร อบให้แห้ง ปรับสภาพเส้นถั่วเขียวแห้งด้วยการแช่ในสารละลายกรดซิตริก ร้อยละ 0.4 จากนั้นบรรจุเส้นถั่วเขียวในถุงโพลีโพรพิลีนแบบหนาโดยการผสมน้ำในอัตราส่วนเส้นแห้งต่อน้ำ เป็น 1:1 แล้วปิดผนึกด้วยสุญญากาศระดับ 7 พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ได้นานอย่างน้อย 6 เดือน

9. อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ความสำคัญของการตรวจสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ผู้ผลิตสามารถกำหนดวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภคทราบ และเป็นการประกันว่าผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลานี้มีคุณภาพตรงกับที่แจ้งไว้ในฉลาก อายุการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อทั้งผู้ผลิต และผู้บริโภค ทั้งในด้านความปลอดภัยของผู้บริโภค และอาจนำมาสู่ปัญหาด้านกฎหมาย ความปลอดภัย และค่าเสียหายที่ต้องชดเชย (รุ่งนภา, 2540)

การทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยใช้สภาวะเร่ง (accelerated shelf life) เป็นการทดลองหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการ โดยเร่งสภาวะแวดล้อมหนึ่งที่ทราบค่าเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมเสียด้วยอัตราเร็วกว่าปกติ วิธีนี้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดมีอายุการเก็บรักษานาน โดยเป็นวิธีที่คล้ายการเก็บจริงแต่เร่งสภาวะการเสื่อมเสียให้เร็วขึ้น โดยเพิ่มอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ แต่อาจได้ผลที่ไม่แน่นอนเพราะการเพิ่มอุณหภูมิมีผลกระทบต่อปัจจัยอื่น เช่น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี นอกจากนั้นการเก็บที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ไขมันในอาหารเปลี่ยนแปลงสถานะกลายเป็นของเหลว เป็นการเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียที่มากเกินไปเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า เป็นต้น แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่ทราบผลรวดเร็วจึงนิยมใช้กันพอสมควร เทคนิคที่ใช้ คือ ใช้ค่า Q_{10} มาทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากอัตราเร็วของปฏิกิริยา หรือจากอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส ดังสมการ (1) หลักการดังกล่าวยังสามารถคำนวณอายุการเก็บที่อุณหภูมิอื่น ๆ ได้ดังสมการ (2) (Labuza and Schmidl, 1985)

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1 \text{ องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1 + 10 \text{ องศาเซลเซียส}} \quad (1)$$

$$Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1 \text{ องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_2 \text{ องศาเซลเซียส}} \quad (2)$$

เมื่อ Δ = ผลต่างของอุณหภูมิ T_1 และ T_2

10. มาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค

การกำหนดสุขลักษณะของอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค ตามมาตรฐานของกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งอาจมีในผลิตภัณฑ์ ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547) ดังนี้

10.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^6 โคโลนี/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

การตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบ่งบอกคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปัจจุบันส่วนมากยังคงใช้วิธี pour plate และ spread plate ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน โดยอาศัยการเจือจางผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เป็นตัวอย่างตรวจสอบให้ได้ปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่จะตรวจนับ (อดิศร, 2538)

10.2 โคลิฟอร์ม น้อยกว่า 500 เอ็มพีเอ็น/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

การตรวจหาปริมาณโคลิฟอร์มเป็นการแสดงถึงสุขลักษณะในกระบวนการผลิตอาหาร หากตรวจพบเชื้อกลุ่มนี้ในปริมาณสูง แสดงให้เห็นว่าสุขลักษณะในกระบวนการผลิตอาหารไม่เพียงพอ เช่น การให้ความร้อนไม่เพียงพอ วัตถุดิบมีเชื้อปนเปื้อนในปริมาณสูง หรืออาจมีการปนเปื้อนภายหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากแหล่งผลิตที่มีสุขลักษณะส่วนบุคคล และโรงงานไม่ดี เกิดการปนเปื้อนจากอุปกรณ์ที่ล้างไม่สะอาด หรือจากมือผู้สัมผัสอาหาร เป็นต้น (อดิศร, 2538)

10.3 อี.โคไล (*E.coli*) น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

การตรวจหาอี.โคไล ใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของอุจจาระ เนื่องจากมักพบเชื้ออี.โคไลจำนวนมากในลำไส้คน และสัตว์ การตรวจพบเชื้อนี้แสดงให้เห็นถึงสุขลักษณะการผลิตที่ไม่ดี และสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงโอกาสที่จะมีการปนเปื้อนของโรคทางเดินอาหารอื่น เช่น ซัลโมเนลลา ได้เช่นกัน (อดิศร, 2538)

10.4 สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม
(กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส เป็นแบคทีเรียกลุ่มแกรมบวก (gram positive) รูปร่างกลม (cocci) อยู่กันเป็นกลุ่ม ทนต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) พบมากตาม ผิวหนัง โพรงจมูก ลำคอของคน และสัตว์ การตรวจพบเชื้อมักกล่าวในผลิตภัณฑ์เป็นการบ่งชี้ถึง สุขลักษณะในการผลิตอาหาร (อดิศร, 2538)

10.5 บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

บาซิลลัส ซีเรียส เป็นแบคทีเรียกลุ่มแกรมบวก (gram positive) รูปร่างแท่ง (rod spore) สร้างสปอร์ เจริญได้ดีในที่ที่มีอากาศ แห้งการปนเปื้อนมักพบในวัตถุดิบพวกธัญพืช เช่น ข้าว ถั่ว แป้งที่มาจากเมล็ดธัญพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งการปนเปื้อนมักอยู่ในรูปของสปอร์ที่ติดมากับดิน และหาก ใช้ความร้อนไม่เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ให้หมดไปอาจทำให้สปอร์งอกมาเป็น vegetative cells และเพิ่มจำนวนมากขึ้นเมื่อสภาพการเก็บไม่เหมาะสม และความร้อนที่ใช้อุ่นอาหารไม่เพียงพอที่จะ ทำลายเชื้อให้หมดไป (อดิศร, 2538)

10.6 คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง
(กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ เป็นแบคทีเรียกลุ่มแกรมบวก (gram positive) รูปร่าง แท่ง (rod spore) สร้างสปอร์ เจริญได้ดีในที่ไร้อากาศ มักปนเปื้อนมากับวัตถุดิบจำพวกเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู เนื้อไก่ เป็นต้น โดยการปนเปื้อนอาจอยู่ในรูป vegetative cells หรือ สปอร์ ดังนั้นหากความ ร้อนที่ใช้ในการผลิต หรือปรุงอาหารไม่เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ ถึงแม้ vegetative cells จะถูก ทำลายหมดไป แต่สปอร์ที่เหลืออยู่สามารถเจริญเป็น vegetative cells ได้อีก เมื่ออุณหภูมิในการเก็บ ผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม (อดิศร, 2538)

10.7 vibrio พาราฮีโมไลติคัส (*V. parahaemolyticus*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

vibrio พาราฮีโมไลติคัส เจริญได้ดีในสภาพมีอากาศเล็กน้อย โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 35-39 องศาเซลเซียส ช่วงความเป็นกรด-เบส 7.6-8.6 โดยเซลล์ของ vibrio พาราฮีโมไลติคัส สามารถถูกยับยั้งหรือทำลายได้อย่างรวดเร็วด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใน 15 วินาที หรือในสภาพเป็นกรด (อดิสร, 2538)

10.8 ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

ซัลโมเนลลา เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative) รูปแท่ง (rod spore) ไม่สร้างสปอร์ ไม่ทนความร้อน ถูกทำลายได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 5-10 นาที พบได้ในวัตถุดิบจำพวกเนื้อสัตว์ (อดิสร, 2538)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 ข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 จากโรงสีกาฬสินธุ์รุ่งเรือง 3 จ.กาฬสินธุ์
- 1.2 บรรจุก้อนที่อ่อนตัวทนความร้อน ขนาด 90x145 มม. จากบริษัท Strongpack Public Co., Ltd.
- 1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไกมัน และเอมิโลส

2. อุปกรณ์ในการผลิตขนมจีน และแป่งตัดแปร

- 2.1 เครื่องโม่หินชนิดไฟฟ้า ประเทศไทย
- 2.2 เครื่องผสมอาหาร รุ่น KV-05 ผลิตโดยบริษัท Thaimixer ประเทศไทย
- 2.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Drum dryer) รุ่น VLC-4 ประเทศไทย
- 2.4 เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ผลิตโดยบริษัท Euraka ประเทศไทย
- 2.5 เครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง (Ultra-centrifugal mill) รุ่น ZM1 ผลิตโดยบริษัท Retch ประเทศเยอรมัน
- 2.6 เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า (Basket centrifuge) รุ่น H-130G ผลิตโดยบริษัท Kokusan ensinki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- 2.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB29 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน
- 2.8 ตะแกรงร่อน ผลิตโดยบริษัท Retch ประเทศเยอรมัน
- 2.9 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ ผลิตโดยบริษัท ยูโรแพค จำกัด
- 2.10 อุปกรณ์เครื่องครัว

3. อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพ

3.1 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

3.1.1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC Pyris 1 ผลิตโดยบริษัท Perkin-Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) รุ่น RVA 4 ผลิตโดยบริษัท Newport Scientific Instruments & Engineering ประเทศออสเตรเลีย

3.1.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น TA-X-plus ผลิตโดยบริษัท Stable Micro System ประเทศอังกฤษ

3.2 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

3.2.1 เครื่องชั่ง (Ohaus Analytical Plus Model) รุ่น AP210S ผลิตโดยบริษัท Ohaus Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2 เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer) รุ่น JDX-3530 ผลิตโดยบริษัท JOEL ประเทศญี่ปุ่น

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, เอสอีเอ็ม) รุ่น JSM-560LV ผลิตโดยบริษัท JOEL ประเทศญี่ปุ่น

3.2.4 เครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer) รุ่น CM3500d ผลิตโดยบริษัท Minolta Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.2.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter) รุ่น 410A ผลิตโดยบริษัท Orion Research, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.6 เครื่องวัดคอเตอร์แอกทิวิตี รุ่น Testo 650 ผลิตโดยบริษัท Testo GmbH&CO. ประเทศเยอรมัน

3.3 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางเคมี

3.3.1 เครื่องชั่ง (Ohaus Analytical Plus Model) รุ่น AP210S ผลิตโดยบริษัท Ohaus Crop. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.2 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi Kjeldahl System) ประกอบด้วยเครื่องย่อย (BUCHI 435 Digestion system) และเครื่องกลั่น (Buchi Digestion unit B-316) ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.3.3 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (1043 Soxtec System HT6) ผลิตโดยบริษัท Tecator AB ประเทศอังกฤษ

3.3.4 เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น FSE-621 Series ผลิตโดยบริษัท Sanyo Gallenkamo ประเทศอังกฤษ

3.3.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น Spectronic 22 ผลิตโดยบริษัท Milton Roy Co. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.6 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น 600 D06062 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.3.7 เครื่องแก้ว และสารเคมี

4. อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.2 อุปกรณ์ถ้วย ช้อน และแก้วน้ำ

5. อุปกรณ์ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

5.1 ตู้บ่ม รุ่น KBE ผลิตโดยบริษัท Binder ประเทศเยอรมัน

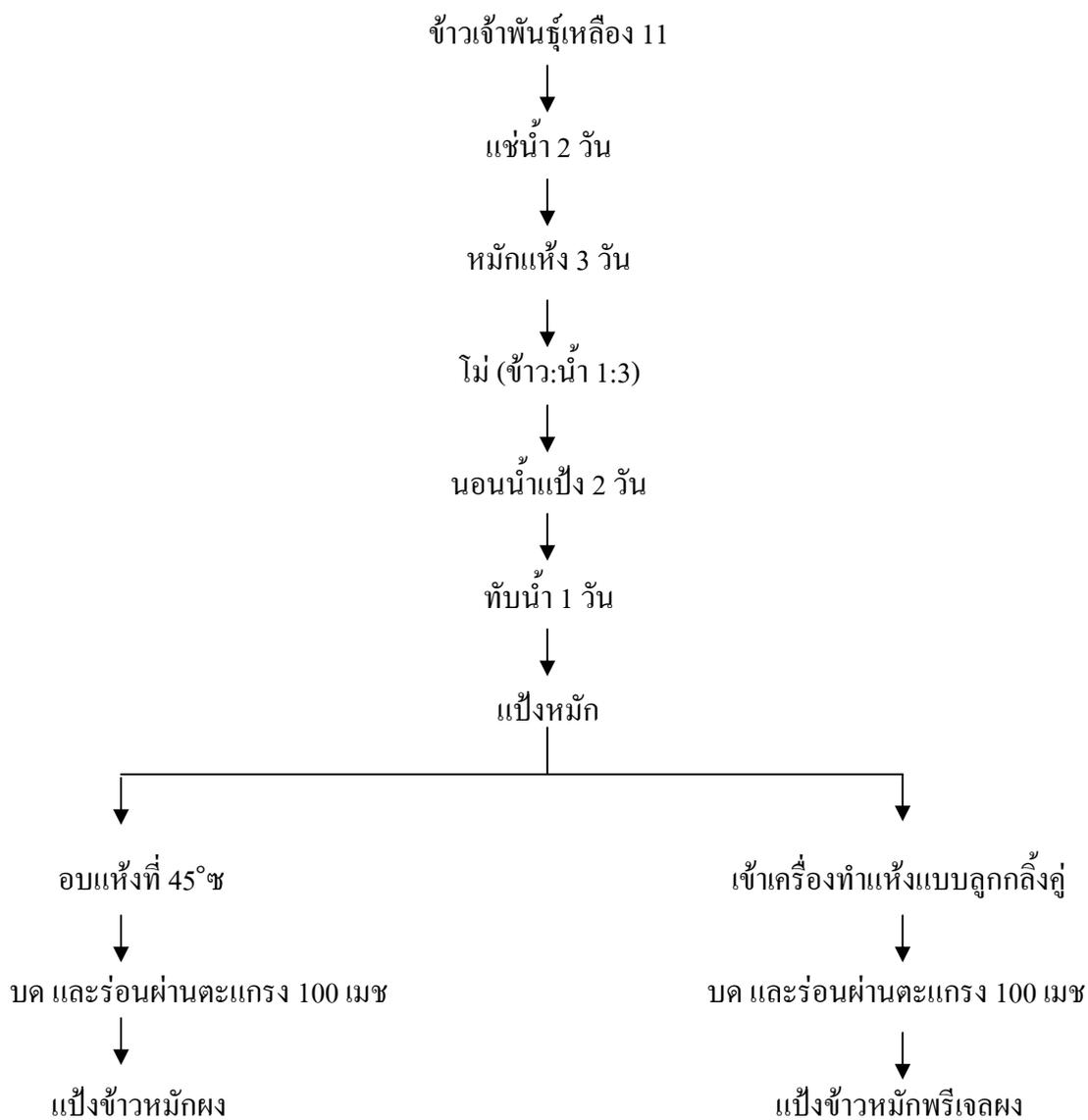
6. อุปกรณ์ประมวลผล และวิเคราะห์ผลทางสถิติ

6.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

6.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ



ภาพที่ 10 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวหมักผง และแป้งข้าวหมักพริเจลดผง

ที่มา: ดัดแปลงจากถัสนา (2532); ภควัฒน์ และอรอนงค์ (2547)

1.1 แป้งข้าวหมัก

นำข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 ล้างน้ำให้สะอาด หมักข้าวโดยการแช่ในน้ำด้วยอัตราส่วน ข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 2 วัน เปลี่ยนน้ำทุกวัน ตักข้าวที่ผ่านการหมักในน้ำใส่ตะกร้าที่มีตาข่ายรอง ปิดทับด้วยผ้าขาวบาง เพื่อทำการหมักแบบแห้งนานอีก 3 วัน ล้างข้าวทุกวัน โม่ข้าวที่ได้ด้วยเครื่อง โม่หินแบบไฟฟ้า ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เป็น 1:3 นอนน้ำแป้ง นาน 2 วัน เพื่อให้แป้งตกตะกอน เทน้ำส่วนบนทิ้ง ตักแป้งที่ตกตะกอนใส่ถุงผ้าดิบ ผูกปากถุงให้แน่น ทำการทับน้ำ 1 คืน เพื่อให้เป็น แป้งข้าวหมัก (ตามวิธีของ ภควัฒน์ และอรอนงค์, 2547)

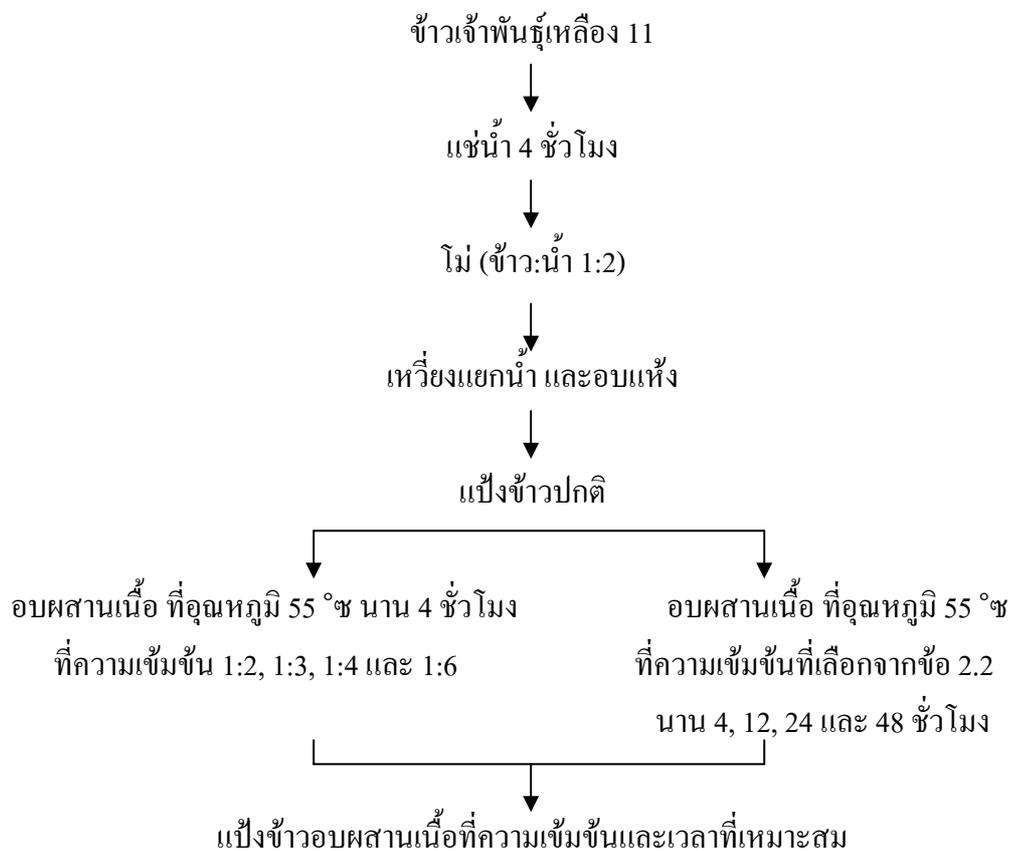
1.2 แป้งข้าวหมักผง

นำแป้งข้าวหมักที่ได้จากข้อ 1.1 มาเกลี่ยให้กระจายทั่วถาด อบแห้งด้วยเครื่องอบลม ร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแป้งข้าวที่อบแล้วมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง อาหารแห้ง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร (ดั่งภาพที่ 10) เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อผลิตเป็นเส้น ขนมจีนต่อไป (ตามวิธีของ ภควัฒน์ และอรอนงค์, 2547)

1.3 แป้งข้าวหมักพรีเจลผง

นำแป้งข้าวหมักที่ได้จากข้อ 1.1 มาละลายในน้ำในอัตราส่วนแป้งข้าวหมัก:น้ำ เป็น 40:60 ผ่านเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ที่มีความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะห่าง ระหว่างลูกกลิ้ง 0.004 นิ้ว หมุนด้วยความเร็ว 6.4 รอบต่อนาที อุณหภูมิผิวหน้าลูกกลิ้ง 137°C บด แป้งหมักพรีเจลที่ได้ด้วยเครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร (ดั่งภาพที่ 10) เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อผลิตเป็นเส้นขนมจีนต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ ถัลลนา, 2532)

2. การผลิตแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ



ภาพที่ 11 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวอบผานเนื้อ

ที่มา: ดัดแปลงจากวิธีของ Seow and Teo (1993); Chiang and Yeh (2002); Jacobs *et al.* (1995)

2.1 แป้งข้าวปกติ

นำข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 แช่น้ำ โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น 1:2.5 แช่ไว้ 4 ชั่วโมง ม่ด้วยเครื่องม่หินไฟฟ้า ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นำน้ำแป้งที่ได้ใส่ถุงผ้าดิบ ผูกปากถุงให้แน่น เหวี่ยงแยกน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า นำก้อนแป้งที่ได้เกลี่ยให้กระจายทั่วถาด อบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 45°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแป้งที่อบแล้วมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ดังภาพที่ 11) เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อผลิตเป็นแป้งตัดแปรต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ Chiang and Yeh, 2002)

2.2 ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวปกติ (จากข้อ 2.1) : น้ำ อัตราส่วน 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ในภาชนะปิดสนิท ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด เทใส่ถาดสเตนเลส อบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ดังภาพที่ 11) เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อตรวจสอบสมบัติต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ Seow and Teo, 1993)

2.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

เตรียมตัวอย่างแป้งข้าวปกติ (จากข้อ 2.1): น้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 ในภาชนะปิดสนิท ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด เทใส่ถาดสเตนเลส อบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (ดังภาพที่ 11) เก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อตรวจสอบสมบัติต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ Jacobs *et al.*, 1995)

3. การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ทางฟิสิกส์ และทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

3.1 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

3.1.1 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Seow and Teo (1993) (ภาคผนวก ก หน้า 148)

3.1.2 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืด ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ดัดแปลงจากวิธีของ Jacobs and Delcour (1998) (ภาคผนวก ก หน้า 148)

3.1.3 ตรวจสอบค่ากำลังการพองตัว และค่าการละลาย โดยดัดแปลงจากวิธีของ Doublier (1981) (ภาคผนวก ก หน้า 149)

3.1.4 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเจล ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ดัดแปลงจากวิธีของ Yuan and Thompson (1998) (ภาคผนวก ก หน้า 150)

3.2 การตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวดัดแปรด้วยวิธีการอบผลานเนื้อ

3.2.1 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช ด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer รุ่น JDX-3530) ดัดแปลงจากวิธีของ น้ำฝน (2548) (ภาคผนวก ก หน้า 151)

3.2.2 การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดสตาร์ช ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดัดแปลงจากวิธีของ น้ำฝน (2548) (ภาคผนวก ก หน้า 151)

3.2.3 วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM3500d) โดยนำตัวอย่างแป้งข้าวบรรจุในภาชนะใสทรงกระบอกสำหรับวัดสีของเครื่อง และบันทึกค่าสีในระบบของ Hunter เป็น L, a และ b (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hsu *et al.*, 2003)

3.3 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวดัดแปรด้วยวิธีการอบผลานเนื้อ

3.3.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A

3.3.2 ปริมาณโปรตีน ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 979.09

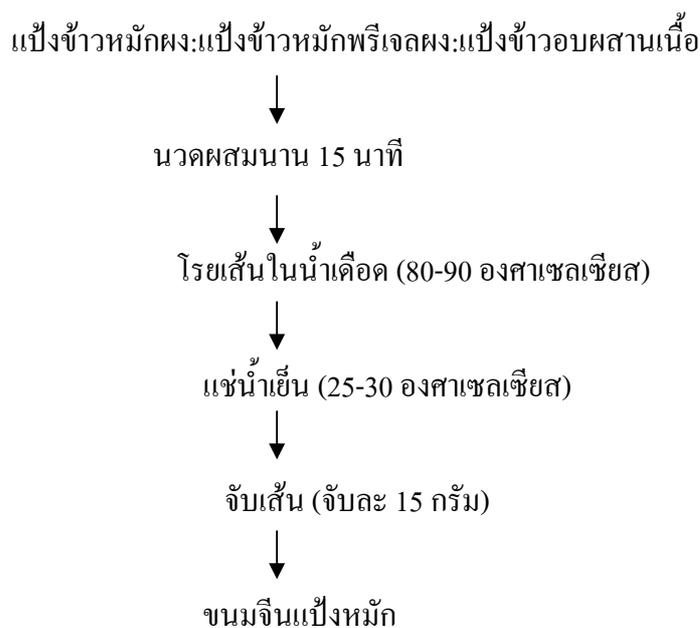
3.3.3 ปริมาณไขมัน ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 920.39

3.3.4 ปริมาณเถ้า ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 942.05

3.3.5 ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971) (ภาคผนวก ก หน้า 152)

4. การหาอัตราส่วนแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

4.1 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน



ภาพที่ 12 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน

ที่มา: ดัดแปลงจาก ลัลนา (2532)

นำแป้งข้าวหมกผง แป้งข้าวหมกปริเจลดผง และแป้งข้าวอบผสมเนื้อผสมให้เข้ากัน ด้วยเครื่องผสมอาหาร รุ่น KV-05 ของบริษัท Thai mixer ค่อย ๆ เติมน้ำให้ครบ 120 มล. ในระหว่างนวดผสม นวดผสมนาน 15 นาที ตักใส่กระบอกรอยเส้น โรยเส้นในน้ำเดือดอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นลอย ช้อนเส้นขึ้น แช่ในน้ำเย็น อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จับเส้นขนมจีนเป็นจับละประมาณ 15 กรัม (ดังภาพที่ 12) ดัดแปลงจากวิธีของ ลัลนา (2532)

เลือกความเข้มข้นของน้ำแป้ง และระยะเวลาที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผานเนื้อ จากข้อ 2.2 และ 2.3 มาผสมกับแป้งข้าวหมักผง และแป้งข้าวหมักพรีเจลผง โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ภาคผนวกที่ จ9 หน้า 172) ได้อัตราส่วนของส่วนผสมต่าง ๆ 5 สูตร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผานเนื้อในการผลิตเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

สูตร	ร้อยละ		
	แป้งข้าวหมักผง	แป้งข้าวหมักพรีเจลผง	แป้งข้าวอบผานเนื้อ
ก	85	: 15	: 0
ข	80	: 20	: 0
ค	78.5	: 17.5	: 4
ง	77	: 15	: 8
จ	72	: 20	: 8

ผลิตเส้นขนมจีนหมักด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผานเนื้อ ดังตารางที่ 3 ด้วยวิธีการดังภาพที่ 12 เมื่อได้เส้นขนมจีน นำเส้นขนมจีนทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมง

4.2 ตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเส้นขนมจีน

4.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A

4.2.2 ปริมาณโปรตีน คัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 979.09

4.2.3 ปริมาณไขมัน คัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 920.39

4.2.4 ปริมาณเถ้า คัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 942.05

4.2.5 ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971) (ภาคผนวก ก หน้า 152)

4.3 ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นขนมจีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เตรียมตัวอย่างเส้นขนมจีนเพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นขนมจีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตามวิธีการในภาคผนวก ข หน้า 156

4.4 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อเส้นขนมจีนด้วยความร้อน

ตารางที่ 4 อุณหภูมิ และเวลาในการฆ่าเชื้อขนมจีนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)
65	30
80	1
	2
	3
85	1
	2
	3
90	1
	2
	3

ผลิตเส้นขนมจีนหมักด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:น้ำ เป็น 85:15:120 ด้วยวิธีการดังภาพที่ 12 จากนั้นนำเส้นขนมจีนหมัก 30 กรัม บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน ปิดผนึก ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที, 80°ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที, 85°ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที และ 90°ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที ดังตารางที่ 4 หาสภาวะที่เหมาะสมโดยการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count), บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) และแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก (Lactic Acid Bacteria) ตามวิธีการของ AOAC (2000) ข้อ 966.23, 980.31 และ 967.27 ตามลำดับ

4.5 ปริมาณแป้งข้าวคัดแปรด้วยวิธีการอบผสานเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

ผลิตเส้นขนมจีนหมักด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าว-อบผสานเนื้อ ดังตารางที่ 3 ด้วยวิธีการดังภาพที่ 12 เมื่อได้เส้นขนมจีน นำเส้นขนมจีนทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมง จึงนำมาบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที และอุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 4.3 ทิ้งไว้ 1 คืน รอการตรวจสอบสมบัติต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ อรพรรณ, 2547)

4.6 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางประสาทสัมผัส ของเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

4.6.1 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ก. วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM3500d) โดยนำตัวอย่างเส้นขนมจีนวางบนช่องแสงผ่านของเครื่องวัดสี และบันทึกค่าสีในระบบของ Hunter เป็น L, a และ b (ดัดแปลงจากวิธีการของ Hsu *et al.*, 2003)

ข. ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัด A/LKB-F (ดัดแปลงจากวิธี AACC, 2000) ตามวิธีการในภาคผนวก ข หน้า 156

4.6.2 ตรวจสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ โดยให้คะแนนความเข้มในด้านต่าง ๆ คือ ด้านลักษณะปรากฏ (ความคงตัวของเส้น) สีเหลือง กลิ่นหมัก ความยืดหยุ่นของเส้น และความนิ่มของเส้น โดยทำเครื่องหมายลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ที่บริเวณห่างจากปลายทั้งสองข้างด้านละ 1 เซนติเมตร (แบบทดสอบที่ 1 ภาคผนวก ค หน้า 159)

5. สภาพภาวะในการผลิตน้ำยาป่าที่เหมาะสมเพื่อผลิตขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ อ่อนตัว

5.1 การผลิตน้ำยาป่าชนิดผง (ดัดแปลงจาก ทวีศักดิ์, 2547)

ปั่นผสมพริกแดง กระเทียม ตะไคร้ ขมิ้น กะปิ และน้ำ 500 มล. ให้เข้ากัน ในสัดส่วน
ดังตารางที่ 5 นาน 15 วินาที ใส่เนื้อปลาลงไปปั่นผสมนาน 15 วินาที เทเครื่องแกงลงหม้อที่มีน้ำต้ม
เดือด 500 มล. ต้มให้เดือด ปรงรสด้วยพริกไทยผง น้ำปลา น้ำตาล รสดีรสไก่ ส้มแขก พอเดือดอีก
ครึ่ง ปิดไฟ ตักน้ำยาใส่ในภาตสแตนเลส ออบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 45°ซ เป็น
เวลา 8 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เก็บใส่ภาชนะปิดสนิท

ตารางที่ 5 อัตราส่วนส่วนผสมในการผลิตน้ำยาป่าอบแห้งชนิดผง และชนิดเข้มข้น

เครื่องปรุง	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	น้ำยาป่าอบแห้งชนิดผง	น้ำยาป่าชนิดเข้มข้น
เนื้อปลาอ่อนต้ม	250 กรัม	250 กรัม
พริกแดง	25 เม็ด	25 เม็ด
กระเทียม	60 กรัม	60 กรัม
ตะไคร้	25 กรัม	25 กรัม
ขมิ้น	3 กรัม	3 กรัม
กะปิ	25 กรัม	25 กรัม
ส้มแขก	50 กรัม	50 กรัม
พริกไทยผง	5 กรัม	5 กรัม
น้ำปลา	20 กรัม	20 กรัม
น้ำตาล	8 กรัม	8 กรัม
รสดีรสไก่	20 กรัม	20 กรัม
น้ำ	1000 กรัม	500 กรัม

ที่มา: ดัดแปลงจาก ทวีศักดิ์ (2547)

5.2 การผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อเข้มข้น (ดัดแปลงจาก ทวีศักดิ์, 2547)

ปั่นผสมพริกแดง กระเทียม ตะไคร้ ขมิ้น กะปิ และน้ำ 200 มล. ให้เข้ากัน นาน 15 วินาที ใส่เนื้อปลาลงไปปั่นผสมนาน 15 วินาที เทเครื่องแกงลงหม้อที่มีน้ำต้มเดือด 300 มล. ต้มให้เดือด ปรุงรสด้วยพริกไทยผง น้ำปลา น้ำตาล รสดีรสไก่ ส้มแขก พอเดือดอีกครั้ง ปิดไฟ

5.3 หาปริมาณน้ำยาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรเซชัน

เติมน้ำยาฆ่าเชื้อประมาณ 30, 40, 50 และ 60 กรัม ลงในขนมจีน 30 กรัม หาปริมาณน้ำยาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมโดยการทดสอบการยอมรับลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยให้คะแนนความชอบ 1-9 (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา ลักษณะปรากฏของเส้น และความชอบโดยรวม (แบบทดสอบที่ 2 ภาคผนวก ค หน้า 160)

5.4 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำยาฆ่าเชื้อ และน้ำยาฆ่าเชื้อเข้มข้น

5.4.1 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

- ก. ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A
- ข. ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ตามวิธีการใน ภาคผนวก ข หน้า 159
- ค. ค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น 410A ตามวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 943.02

5.4.2 ตรวจสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบการยอมรับลักษณะผลิตภัณฑ์น้ำยาฆ่าเชื้อ และน้ำยาฆ่าเชื้อเข้มข้น โดยทดสอบการยอมรับลักษณะผลิตภัณฑ์ ด้วยการให้คะแนนความชอบ 1-9 (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา สี รสชาติ และความชอบโดยรวม (แบบทดสอบที่ 3 ภาคผนวก ค หน้า 161)

6. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

นำผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิที่เลือกจากข้อ 4 ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษาโดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ

6.1 ตรวจสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส ประเมินผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบจำนวน 12 คน ให้คะแนนในด้านต่าง ๆ คือ สีเครื่องแกง กลิ่นเครื่องแกง ความยืดหยุ่นของเส้น และรสชาติด้านความเปรี้ยว ทำเครื่องหมายลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ที่บริเวณห่างจากปลายทั้งสองข้างด้านละ 1 เซนติเมตร (แบบทดสอบที่ 4 ภาคผนวก ก หน้า 162)

6.2 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

6.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น 410A ตามวิธีของ AOAC (2000) หมายเลข 943.02

6.2.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ตามวิธีการใน ภาคผนวก ข หน้า 157

6.2.3 ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ใช้หัววัด A/LKB-F (ดัดแปลงจากวิธี AACC, 2000) ตามวิธีการใน ภาคผนวก ข หน้า 156

6.3 ตรวจสอบความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

6.3.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.23

6.3.2 โคลิฟอร์ม (Coliform) ตามวิธี Most Probable Number Technique (MPN) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.24

6.3.3 อี.โคไล (*E. Coli*) ตามวิธี Most Probable Number Technique (MPN) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.24

6.3.4 สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 975.55

6.3.5 บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 980.31

6.3.6 คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.30

6.3.7 วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*V. Parahaemolyticus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.25

6.3.8 ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.25 และ 967.27

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละ ทรีตเมนต์ ด้วยวิธีการหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของคั่นแคเน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

8. สถานที่ทำการวิจัย

8.1 ห้องปฏิบัติการ Rice and Starch ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา และ อาคารแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.2 โรงงานขนมจีนบ้านประ โดก จังหวัดนครราชสีมา

9. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนมีนาคม 2547 ถึง เดือนกันยายน 2548

ผลและวิจารณ์

1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ทางฟิสิกส์ และทางเคมี ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

1.1 ผลการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผานเนื้อ

นำแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อในอัตราส่วนแป้ง:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 นาน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ในด้านสมบัติเชิงความร้อน สมบัติด้านความหนืด ค่ากำลังการพองตัว และค่าการละลาย ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C และการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเจล ปรากฏผลดังนี้

1.1.1 สมบัติเชิงความร้อน

จากตารางที่ 6 อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset temperature, T_o) ในการเกิดเจลที่ในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า $69.78 \pm 0.06^\circ\text{C}$ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลที่ในเซชันในช่วง 70.98 - 71.82°C เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้ง:น้ำต่าง ๆ กัน ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลที่ในเซชันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 70.98 ± 0.51 , 71.36 ± 0.03 , 71.81 ± 0.42 และ $71.82 \pm 0.35^\circ\text{C}$ ที่อัตราส่วนแป้ง:น้ำต่อ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

อุณหภูมิสูงสุด (Peak temperature, T_p) ในการเกิดเจลที่ในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า $75.41 \pm 0.79^\circ\text{C}$ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผานเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลที่ในเซชันในช่วง 75.76 - 77.23°C

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วย อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ¹

ตัวอย่าง	ที่อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีในเซชัน (°ซ)				ΔH^3 (จูล/กรัม)
	To ²	Tp ²	Tc ²	Tc - To	
แป้งข้าวปกติ	69.78±0.06 b	75.41±0.79 a	81.53±0.01 a	11.75±0.92 a	10.85±0.13 b
แป้งข้าวอบผสานครึ่ง (อัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ)					
1:2	70.98±0.51 a	75.76±0.82 a	80.56±0.01 b	9.58±0.95 b	11.53±0.08 a
1:3	71.36±0.03 a	75.90±0.25 a	80.52±0.10 b	9.16±0.10 b	11.42±0.13 a
1:4	71.81±0.42 a	76.27±0.30 a	80.70±0.28 b	8.90±0.06 b	11.87±0.30 a
1:6	71.82±0.35 a	77.23±0.51 a	80.66±0.18 b	8.84±0.03 b	11.62±0.31 a

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² To, Tp และ Tc คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีในเซชัน ตามลำดับ

³ พลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาคีในเซชัน

อุณหภูมิสุดท้าย (Conclude temperature, Tc) ในการเกิดเจลลาคีในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 81.53±0.01°ซ สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งซึ่งมีค่าในช่วง 80.52-80.70°ซ โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำต่าง ๆ กัน อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาคีในเซชันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 80.56±0.01, 80.52±0.10, 80.70±0.28 และ 80.66±0.18°ซ ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีในเซชัน (Tc-To) ของแป้งข้าวปกติมีค่า 11.75±0.92°ซ สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่งเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าในช่วง 8.84-9.58°ซ เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำต่าง ๆ กัน ช่วงอุณหภูมิการเกิด

เจลาทีนเซชันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 9.58 ± 0.95 , 9.16 ± 0.10 , 8.90 ± 0.06 และ $8.84\pm 0.03^{\circ}\text{ซ}$ ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลาทีนเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 10.85 ± 0.13 จูลต่อกรัม น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าในช่วง 11.42-11.87 จูลต่อกรัม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนเซชันของแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือ มีค่า 11.53 ± 0.08 , 11.42 ± 0.13 , 11.87 ± 0.30 และ 11.62 ± 0.31 จูลต่อกรัม ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีนเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลาทีนเซชัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Seow and Teo (1993) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชข้าวอบผานเนื้อ ที่อุณหภูมิ 55°ซ นาน 4 ชั่วโมง อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ เป็น 1:2 และ 1:4 ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้น (68.4 และ 68.3°ซ ตามลำดับ) อุณหภูมิสูงสุด (78.5 และ 78.6°ซ ตามลำดับ) และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนเซชัน (14.70 และ 15.00 จูลต่อกรัม ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากที่ความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ 1:2 (ความชื้นร้อยละ 66.67) และ 1:4 (ความชื้นร้อยละ 80) เป็นปริมาณน้ำที่มากเพียงพอที่จะเกิดเจลาทีนเซชันได้ ทำให้โครงสร้างในส่วนอสัณฐานสามารถเคลื่อนไหวเพื่อจัดเรียงตัวให้มีความเป็นระเบียบมากขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งปกติ เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวได้เต็มที่เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนที่ระดับความชื้นมากกว่าร้อยละ 66.67 จึงมีค่าไม่แตกต่างกัน

1.1.2 สมบัติด้านความหนืด

จากตารางที่ 7 อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวปกติมีค่า $79.33\pm 0.49^{\circ}\text{ซ}$ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับกับแป้งข้าวอบผานเนื้อระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดในช่วง 81.58 - 82.68°ซ อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือ 82.68 ± 1.27 , 81.91 ± 1.17 , 82.36 ± 0.39

และ $81.58 \pm 1.54^{\circ}\text{ซ}$ ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ สอดคล้องกับอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันที่วัดได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ซึ่งพบว่าแป้งข้าวปกติมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันต่ำกว่าแป้งข้าวอบผสานเนื้อทุกความเข้มข้น ดังตารางที่ 6

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความร้อนตัวอย่างรวดเร็วมีอุณหภูมิสูงกว่า ($79.33-81.58^{\circ}\text{ซ}$) อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (ตารางที่ 6) มาก ($69.78-71.82^{\circ}\text{ซ}$) เนื่องจากปริมาณ โปรตีนในตัวอย่างแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อ ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์ทำให้เกิดลักษณะร่างแหของโปรตีน (protein matrix) ยึดเกาะกับสตาร์ชบริเวณรอบเม็ดสตาร์ชมีผลให้เม็ดสตาร์ชสามารถอุ้มน้ำไว้ใน โครงสร้างได้ลดลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเกิดได้น้อย ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อให้เม็ดสตาร์ชเริ่มมีความชื้นเหน็ดเกิดขึ้น (Lim *et al.*, 1999)

ความเหน็ดสูงสุดของแป้งข้าวปกติมีค่า 373.47 ± 4.66 อาร์วียู ซึ่งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่าความเหน็ดสูงสุดในช่วง $289.46-318.68$ อาร์วียู อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน ค่าความเหน็ดสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือมีค่า 289.46 ± 4.61 , 294.89 ± 4.76 , 304.33 ± 6.47 และ 318.68 ± 4.78 อาร์วียู ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ความเหน็ดต่ำสุด เป็นค่าความเหน็ดที่เกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อนแก่ของผสม ซึ่งเม็ดสตาร์ชบางส่วนที่พองตัวเต็มที่จากการเกิดเจลลาทีโนเซชันจะแตกออก ทำให้ความเหน็ดลดลง โดยแป้งข้าวปกติมีค่าความเหน็ดต่ำสุด คือ 159.81 ± 7.20 อาร์วียู ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่าความเหน็ดต่ำสุดในช่วง $148.14-153.59$ อาร์วียู และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน ค่าความเหน็ดต่ำสุดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือมีค่า 148.14 ± 3.97 , 149.09 ± 2.64 , 151.73 ± 8.55 และ 153.59 ± 16.76 อาร์วียู ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C¹

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (°ซ)	ค่าความหนืด สูงสุด (อาร์วียู)	ค่าความหนืด ต่ำสุด (อาร์วียู)	ค่าความหนืด สุดท้าย (อาร์วียู)	ค่าความหนืดลดลง (อาร์วียู)	เซตแบค (อาร์วียู)
แป้งข้าวปกติ	79.33±0.49b	373.47±4.66a	159.81±7.20 a	346.77±14.54 a	213.66±9.19 a	186.97±4.32 a
แป้งข้าวอบผสานเนื้อ (อัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ)						
1:2	82.68±1.27a	289.46±4.61b	148.14±3.97a	331.60±6.21 a	116.31±4.90c	183.45±1.78 a
1:3	81.91±1.17a	294.89±4.76b	149.09±2.64a	323.69±18.69 a	145.79±5.08 bc	174.59±17.10 a
1:4	82.36±0.39a	304.33±6.47b	151.73±8.55a	325.97±15.13 a	152.58±8.00 b	174.23±14.12 a
1:6	81.58±1.54a	318.68±4.78b	153.59±16.76a	327.24±30.45 a	165.08±4.39 b	173.65±15.59 a

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวปกติมีค่า 346.77 ± 14.54 อาร์วียู ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีค่าความหนืดสุดท้ายในช่วง $323.69 - 331.60$ อาร์วียู และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือ 331.60 ± 6.21 , 323.69 ± 18.69 , 325.97 ± 15.13 และ 327.24 ± 30.45 อาร์วียู ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ค่าความหนืดลดลงของแป้งข้าวปกติมีค่า 213.66 ± 9.19 อาร์วียู ซึ่งมีความมากที่สุดและแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีค่าความหนืดลดลงในช่วง $116.31 - 165.08$ อาร์วียู อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน อัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ 1:2 ให้ค่าความหนืดลดลง 116.31 ± 4.90 อาร์วียู น้อยกว่า และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ 1:3 ที่มีค่า 145.79 ± 5.08 อาร์วียู แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ 1:4 และ 1:6 ที่มีค่า 152.58 ± 8.00 และ 165.08 ± 4.39 อาร์วียู ตามลำดับ

เขตแบคของแป้งข้าวปกติมีค่า 186.97 ± 4.32 อาร์วียู ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีค่าเขตแบค อยู่ในช่วง $173.65 - 183.45$ อาร์วียู และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำแตกต่างกัน ค่าเขตแบคมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกความเข้มข้น คือ 183.45 ± 1.78 , 174.59 ± 17.10 , 174.23 ± 14.12 และ 173.65 ± 15.59 อาร์วียู ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

แป้งข้าวปกติมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดต่ำแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยที่ค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลงของแป้งข้าวปกติมีค่าสูงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นทั้ง 4 ระดับ ขณะที่ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และเขตแบค มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 ให้ค่าความหนืดลดลงน้อยที่สุดแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:4 และ 1:6 แสดงให้เห็นว่าเมล็ดสารขของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2 สามารถทนต่อความร้อนและแรงเฉือนระหว่างกระบวนการผลิตได้มากขึ้น

1.1.3 ค่ากำลังการพองตัว

จากตารางที่ 8 ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 2.35 ± 0.02 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 2.28-2.34 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสมเนื้อทุกความเข้มข้น มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 2.34 ± 0.03 , 2.34 ± 0.01 , 2.30 ± 0.10 และ 2.28 ± 0.09 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C¹

(หน่วย: กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)				
	55	65	75	85	95
แป้งข้าวปกติ	2.35 ± 0.02 a	2.71 ± 0.02 a	7.55 ± 0.10 a	10.27 ± 0.05 a	14.02 ± 1.99 a
แป้งข้าวอบผสมเนื้อ	(อัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ)				
1:2	2.34 ± 0.03 a	2.61 ± 0.05 b	7.34 ± 0.04 b	9.41 ± 0.27 b	10.74 ± 1.07 b
1:3	2.34 ± 0.01 a	2.61 ± 0.06 b	7.37 ± 0.01 b	8.79 ± 0.69 b	11.08 ± 0.12 b
1:4	2.30 ± 0.10 a	2.61 ± 0.02 b	7.37 ± 0.07 b	9.07 ± 0.17 b	11.27 ± 0.05 b
1:6	2.28 ± 0.09 a	2.60 ± 0.05 b	7.33 ± 0.03 b	8.84 ± 0.71 b	11.15 ± 1.04 b

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 2.71 ± 0.02 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งมีความมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 2.60-2.61 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสานเนื้อทุกความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 2.61 ± 0.05 , 2.61 ± 0.06 , 2.61 ± 0.02 และ 2.60 ± 0.05 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 7.55 ± 0.10 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งมีความมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 7.33-7.37 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสานเนื้อทุกความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 7.34 ± 0.04 , 7.37 ± 0.01 , 7.37 ± 0.07 และ 7.33 ± 0.03 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 10.27 ± 0.05 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 8.79-9.41 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสานเนื้อทุกความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 9.41 ± 0.27 , 8.79 ± 0.69 , 9.07 ± 0.17 และ 8.84 ± 0.71 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 14.02 ± 1.99 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งมีความมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 10.74-11.27 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสานเนื้อทุกความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ

10.74±1.07, 11.08±0.12, 11.27±0.05 และ 11.15±1.04 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

จากตารางที่ 8 ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75 และ 85°ซ (ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน) มีความสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งข้าวปกติเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (ตารางที่ 6) และอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (ตารางที่ 7) ซึ่งแป้งข้าวปกติที่มีอุณหภูมิจากการเกิดเจลลาทีโนเซชันต่ำกว่าแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้ง 4 ระดับ เนื่องจากเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อมีค่ากำลังการพองตัวลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อทำให้เกิดการเจลลาทีโนเซชัน และเริ่มมีความหนืดเกิดขึ้น นอกจากนี้ค่ากำลังการพองตัวที่ลดลง ที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°ซ ของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลง (ตารางที่ 7) ของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวปกติ ดังนั้นเม็ดสตาร์ชที่ผ่านการอบผสมเนื้อจึงสามารถคงสภาพเมื่อได้รับความร้อน และแรงเฉือน

ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติที่อุณหภูมิ 55°ซ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กันกับแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้ง 4 ระดับ ขณะที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65, 75, 85 และ 95°ซ ค่ากำลังการพองตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อ โดยที่แป้งข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวอบผสมเนื้อในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

1.1.4 ค่าการละลาย

จากตารางที่ 9 ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 55°ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 1.27±0.65 ของน้ำหนักแป้งแห้ง น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 1.74-1.87 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่าการ

ละลายที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือร้อยละ 1.85 ± 0.05 , 1.87 ± 0.08 , 1.77 ± 0.27 และ 1.74 ± 0.14 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 65°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 1.89 ± 0.34 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 1.89-2.35 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่าการละลายที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือร้อยละ 2.21 ± 0.14 , 1.89 ± 0.04 , 2.09 ± 0.48 และ 2.35 ± 0.46 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ¹

(หน่วย: ร้อยละของน้ำหนักแป้งแห้ง)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)				
	55	65	75	85	95
แป้งข้าวปกติ	1.27 ± 0.65 b	1.89 ± 0.34 a	2.32 ± 0.37 b	2.74 ± 0.34 c	3.95 ± 0.10 a
แป้งข้าวอบผสานเนื้อ (อัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ)					
1:2	1.85 ± 0.05 a	2.21 ± 0.14 a	2.46 ± 0.21 ab	2.85 ± 0.23 bc	3.98 ± 0.38 a
1:3	1.87 ± 0.08 a	1.89 ± 0.04 a	2.42 ± 0.09 ab	2.98 ± 0.30 b	4.12 ± 0.12 a
1:4	1.77 ± 0.27 a	2.09 ± 0.48 a	2.37 ± 0.08 b	2.86 ± 0.36 bc	4.08 ± 0.45 a
1:6	1.74 ± 0.14 a	2.35 ± 0.46 a	2.65 ± 0.11 a	3.32 ± 0.07 a	4.21 ± 0.23 a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 75°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 2.32 ± 0.37 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3 และ 1:4 ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 2.37-2.46 ของน้ำหนักแป้งแห้ง แต่มีค่าน้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับกับแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:6 ที่มีค่าการละลายร้อยละ

ละ 2.65 ± 0.11 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่าการละลายที่ความเข้มข้น 1:2 และ 1:3 ซึ่งมีค่าการละลายคือร้อยละ 2.46 ± 0.21 และ 2.42 ± 0.09 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:4 และ 1:6 ที่มีค่าการละลายร้อยละ 2.37 ± 0.08 และ 2.65 ± 0.11 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 1:4 ให้ค่าการละลายน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:6

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 85°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 2.74 ± 0.34 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2 และ 1:4 ที่มีค่าการละลายคือร้อยละ 2.85 ± 0.23 และ 2.86 ± 0.36 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ แต่น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อในอัตราส่วนความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:3 และ 1:6 ซึ่งมีค่าการละลายร้อยละ 2.98 ± 0.30 และ 3.32 ± 0.07 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่าการละลายที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:6

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 95°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 3.95 ± 0.10 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 3.98-4.21 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปรากฏว่าค่าการละลายที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือร้อยละ 3.98 ± 0.38 , 4.12 ± 0.12 , 4.08 ± 0.45 และ 4.21 ± 0.23 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ

ค่าการละลายของแป้งข้าวปกติที่อุณหภูมิ 55°C มีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้ง 4 ระดับ ขณะที่อุณหภูมิ 65 และ 95°C แป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 75 และ 85°C แป้งข้าวปกติมีค่าการละลายไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2 และ 1:4 แต่น้อย

กว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อในอัตราส่วนความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:3 และ 1:6

1.1.5 เนื้อสัมผัสของเจล

วัดเนื้อสัมผัสของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ความเข้มข้นของเจลอ้อยละ 10 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอก (cylinder probe) วัดค่าแรงสูงสุด (max force) และค่าความเหนียวติดกัน (adhesive force) ผลปรากฏดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 55°ซ¹

ตัวอย่าง	ความแข็งแรง (กรัม)	ความเหนียวติดกัน (กรัม/วินาที)
แป้งข้าวปกติ	224.18±41.28 b	55.27±5.61 a
แป้งข้าวอบผานเนื้อ (อัตราส่วนแป้ง:น้ำ)		
1:2	472.26±30.21 a	47.71±9.34 ab
1:3	488.33±40.08 a	48.89±11.71ab
1:4	465.94±47.61 a	46.71±5.72 ab
1:6	489.22±23.99 a	43.47±8.64 b

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 ความแข็งแรงของเจล วัดได้จากค่าแรงสูงสุด พบว่าเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่าความแข็งแรงของเจล คือ 224.18±41.28 กรัม น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าในช่วง 465.94-489.22 กรัม โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของแป้ง

ข้าวต่อน้ำต่าง ๆ กัน พบว่า ค่าความแข็งแรงของเจลมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่า 472.26 ± 30.21 , 488.33 ± 40.08 , 465.94 ± 47.61 และ 489.22 ± 23.99 กรัม ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ตามลำดับ

ทั้งนี้ลักษณะของเจลเกิดจากการสานตัวกันเป็นร่างแห (network) ของสายแอมิโลสที่ละลายออกมาก่อนการเกิดเจลที่โนเซชัน แล้วถูกทำให้เย็นตัวลง โดยเม็ดสตาร์ชที่พองตัว (swollen granule) ฝังตัวอยู่ระหว่างร่างแห ดังนั้นจากผลของค่ากำลังการพองตัว (ตารางที่ 8) ของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมนาน 4 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งข้าวปกติที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°C และการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดรวดเร็ว (ตารางที่ 7) ที่อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมนานนี้มีค่าสูงขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลงมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวปกติ เจลที่ได้จากการเตรียมด้วยแป้งข้าวอบผสมนานเนื้อจึงมีความแข็งแรงของเจลมากกว่าแป้งข้าวปกติ

ค่าความเหนียวติดกัน (adhesive force) ซึ่งวัดได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าแรงต่ำสุด พบว่า เจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 55.27 ± 5.61 กรัม/วินาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมนานเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 ที่มีค่า คือ 47.71 ± 9.34 , 48.89 ± 11.71 และ 46.71 ± 5.72 กรัม/วินาที ตามลำดับ โดยแป้งข้าวอบผสมนานเนื้อที่ความเข้มข้น 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าความเหนียวติดกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมนานเนื้อที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าความเหนียวติดกันสูงกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมนานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:6 ที่มีค่า คือ 43.47 ± 8.64 กรัม/วินาที

จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด (อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และ เซตแบค) ค่ากำลังการพองตัว และค่าความแข็งแรงของเจล พบว่า แป้งข้าวอบผสมนานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 ให้สมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมนาน 4 ชั่วโมง ด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 มีค่าการละลายที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กันกับแป้งข้าวปกติ รวมถึงมีค่าความหนืดลดลงน้อยที่สุดซึ่งแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

กันกับแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานครึ่งที่ความเข้มข้น 1:4 และ 1:6 ดังนั้น จึงเลือกความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 ในการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบผสานครึ่งต่อไป

1.2 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผสานครึ่ง

นำแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานครึ่งที่ความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:2 (ความชื้นร้อยละ 66.67) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ สมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางเคมี ปรากฏผลดังนี้

1.2.1 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

ก. สมบัติเชิงความร้อน

จากตารางที่ 11 อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset temperature, T_o) ในการเกิดเจล-ลาที่ในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า $69.72 \pm 0.56^\circ\text{C}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่งด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำเป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาที่ในเซชันในช่วง $70.93-74.00^\circ\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าการอบผสานครึ่งแป้งข้าว นาน 4 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาที่ในเซชัน $70.93 \pm 0.03^\circ\text{C}$ ต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่ง นาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าคือ 72.51 ± 0.42 , 73.26 ± 0.21 และ $74.00 \pm 0.43^\circ\text{C}$ ตามลำดับ โดยระยะเวลาในการอบผสานครึ่ง นาน 12 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาที่ในเซชันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 ชั่วโมง แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่ง นาน 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาที่ในเซชันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC)¹

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีในเซชัน (°C)				ΔH^3 (จูล/กรัม)
	To ²	Tp ²	Tc ²	Tc - To	
แป้งข้าวปกติ	69.72±0.56d	75.48±0.09c	80.86±0.11b	11.14±0.42a	10.85±0.13b
แป้งข้าวอบผสมเนื้อ (ชั่วโมง)					
4	70.93±0.03c	75.92±0.17b	81.52±0.24a	10.59±0.21b	11.54±0.07ab
12	72.51±0.42b	76.76±0.31a	81.03±0.49a	8.52±0.06c	11.90±0.73ab
24	73.26±0.21ab	77.44±0.23a	81.61±0.32a	8.35±0.03c	12.03±0.65a
48	74.00±0.43a	77.96±0.28a	81.97±0.40a	7.97±0.10c	12.47±0.36a

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² To, Tp และ Tc คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีในเซชัน ตามลำดับ

³ พลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาคีในเซชัน

อุณหภูมิสูงสุด (Peak temperature, Tp) ในการเกิดเจลลาคีในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 75.48±0.09°C ต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาคีในเซชันในช่วง 75.92-77.96°C เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าการอบผสมเนื้อแป้งข้าว นาน 4 ชั่วโมง มีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาคีในเซชัน คือ 75.92±0.17°C ซึ่งต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ นาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาคีในเซชัน คือ 76.76±0.31, 77.44±0.23 และ 77.96±0.28°C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวอบผสมเนื้อ นาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาคีในเซชันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (Conclude temperature, T_c) ของแป้งข้าวปกติ คือ $80.86 \pm 0.11^\circ\text{C}$ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีโนเซชันในช่วง 81.03 - 81.97°C เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่มีอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน 81.52 ± 0.24 , 81.03 ± 0.49 , 81.61 ± 0.32 และ $81.97 \pm 0.40^\circ\text{C}$ ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ดังนั้นช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ($T_c - T_o$) ของแป้งข้าวปกติจึงมีค่า $11.14 \pm 0.42^\circ\text{C}$ ซึ่งสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันในช่วง 7.97 - 10.59°C อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 4 ชั่วโมง มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน $10.59 \pm 0.21^\circ\text{C}$ สูงกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่า 8.52 ± 0.06 , 8.35 ± 0.03 และ $7.97 \pm 0.10^\circ\text{C}$ ตามลำดับ

ค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 10.85 ± 0.13 จูลต่อกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4 และ 12 ชั่วโมง ที่มีค่าพลังงานเอนทัลปี 11.54 ± 0.07 และ 11.90 ± 0.73 จูลต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าพลังงานเอนทัลปี 12.03 ± 0.65 และ 12.47 ± 0.36 จูลต่อกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าพลังงานเอนทัลปีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน สูงขึ้น และมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันลดลง เมื่อระยะเวลาในการอบผสมเนื้อนานขึ้น โดยแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 48 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนดังกล่าวมากที่สุด อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ นาน 24 ชั่วโมง

ผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับผลการทดลองของ Seow and Teo (1993) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของสตาร์ชข้าวปกติ และสตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อน้ำ เป็น 3:4 ที่อุณหภูมิ 55°ซ นาน 4, 12 และ 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า สตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในเซชัน และอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตีในเซชันเพิ่มขึ้นจากสตาร์ชข้าวปกติ คือ จาก 60.30 และ 79.60°ซ เป็น 68.00 และ 79.80°ซ เมื่ออบผานเนื้อนาน 4 ชั่วโมง เป็น 69.60 และ 80.60°ซ เมื่ออบผานเนื้อนาน 12 ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 70.40 และ 80.80°ซ เมื่ออบผานเนื้อนาน 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Jacobs *et al.*, (1995) ซึ่งทำการหาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนระหว่างสตาร์ชข้าวปกติ และสตาร์ชข้าวอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาร์ชข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในเซชัน อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตีในเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวปกติมีค่า 59.70, 67.80 °ซ และ 13.00 จูลต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อทำการอบผานเนื้อสตาร์ชข้าว พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 66.20, 70.00 °ซ และ 14.20 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวอบผานเนื้อ มีค่าลดลงจากสตาร์ชข้าวปกติ คือ จาก 22.90°ซ ลดลงเป็น 15.00 °ซ

รวมถึงสอดคล้องกับผลการทดลองของ Valentina *et al.*, (2005) เปรียบเทียบสมบัติเชิงความร้อนของสตาร์ชข้าวสาทิปกติ กับสตาร์ชข้าวสาทิอบผานเนื้อที่อุณหภูมิ 55°ซ นาน 10 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเอชเอสดีเอสซี (HSDSC) พบว่า สตาร์ชข้าวสาทิอบผานเนื้อ มีค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชันเพิ่มขึ้น จาก 2.8 จูลต่อกรัม เป็น 3.3 จูลต่อกรัม เมื่อสตาร์ชผ่านการอบผานเนื้อนาน 10 ชั่วโมง เนื่องจากสายเกลียวคู่แอมิโลเพกทินในส่วนโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบมีความยาวเพิ่มขึ้น จากการพันเกลียวด้วยพันธะไฮโดรเจนบริเวณปลายสายแอมิโลเพกทินสายเอ อย่างไรก็ตามเมื่อหาขนาดคลัสเตอร์ (cluster) ของแอมิโลเพกทินในโครงสร้างสตาร์ชอบผานเนื้อด้วยเครื่องเอกซเรย์ มุมแคบ (Small Angle X-ray Scattering) พบว่ามีขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสตาร์ชปกติ

สุภาวดี และปริศนา (2549) หาผลของการตัดแปรแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาทด้วยวิธีการอบผานเนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่อง ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ โดยกำหนดระดับอุณหภูมิในการตัดแปรอยู่สูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของสตาร์ชที่ 50 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนเซชัน (T_{gel}) ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย ของการเกิดเจลลาทีไนเซชัน และค่าพลังงานในการสลายพันธะ (ΔH) มีค่าเพิ่มขึ้น ช่วงการเกิดเจลลาทีไนเซชัน ($T_c - T_o$) มีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อนานขึ้น โดยมีค่าในช่วง 75.87-76.88, 78.64-80.15, 81.44-82.74 องศาเซลเซียส, 11.95-13.68 จูลต่อกรัม และ 5.18-5.74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ คล้ายคลึงกับผลการทดลองข้างต้น

ข. สมบัติด้านความหนืด

จากตารางที่ 12 อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวปกติมีค่า $79.36 \pm 0.40^\circ\text{C}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดอยู่ในช่วง $82.17 - 82.75^\circ\text{C}$ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ มีค่า 82.17 ± 0.57 , 82.19 ± 1.02 , 82.67 ± 0.59 และ $82.75 \pm 0.77^\circ\text{C}$ ที่การอบผานเนื้อ 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สอดคล้องกับอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนเซชัน เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (ตารางที่ 11) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวปกติมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีไนเซชันต่ำกว่าแป้งข้าวอบผานเนื้อ

ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวปกติมีค่า 371.72 ± 3.54 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดสูงสุดในช่วง 291.01-331.97 อาร์วียู เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านอบผานเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อ 4 ชั่วโมง มีค่าความหนืดสูงสุด 331.97 ± 2.53 อาร์วียู ซึ่งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อ 12 ชั่วโมง มีค่าความหนืดสูงสุด 316.90 ± 10.60 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดสูงสุด

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C¹

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (°ซ)	ค่าความหนืด สูงสุด (อาร์วียู)	ค่าความหนืด ต่ำสุด (อาร์วียู)	ค่าความหนืด สุดท้าย (อาร์วียู)	ความหนืดลดลง (อาร์วียู)	เซตแบค (อาร์วียู)
แป้งข้าวปกติ	79.36±0.40b	371.72±3.54a	148.85±4.66b	356.77±10.48a	208.66±10.19a	189.63±3.52a
แป้งข้าวอบผสานเนื้อ (ชั่วโมง)						
4	82.17±0.57a	331.97±2.53b	178.53±3.48a	359.13±5.83a	155.09±8.69b	180.59±5.21b
12	82.19±1.02a	316.90±10.60c	179.67±9.25a	357.76±11.35a	129.21±5.20c	170.08±3.73c
24	82.67±0.59a	298.95±6.10d	180.47±9.58a	342.34±7.73 b	118.98±9.88d	162.37±3.08d
48	82.75±0.77a	291.01±6.26d	181.45±5.63a	336.36±4.54 b	109.55±5.93d	160.98±1.04d

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

298.95±6.10 และ 291.01±6.26 อาร์วียู ตามลำดับ โดยที่แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 24 และ 48 ชั่วโมงมีค่าความหนืดสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวปกติมีค่า 148.85±4.66 อาร์วียู ซึ่งน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว: น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดต่ำสุดในช่วง 178.53-181.45 อาร์วียู เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านอบผสานเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความหนืดต่ำสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 178.53±3.48, 179.67±9.25, 180.47±9.58 และ 181.45±5.63 อาร์วียู ตามลำดับ

ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวปกติมีค่า 356.77±10.48 อาร์วียู ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว: น้ำ เป็น 1:2 นาน 4 และ 12 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดสุดท้าย 359.13±5.83 และ 357.76±11.35 อาร์วียู ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานเนื่อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดสุดท้าย คือ 342.34±7.73 และ 336.36±4.54 อาร์วียู ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวอบผสานเนื่อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความหนืดลดลงของแป้งข้าวปกติมีค่า 208.66±10.19 อาร์วียู โดยมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว: น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดลดลงในช่วง 109.55-155.09 อาร์วียู เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 4 ชั่วโมง มีค่าความหนืดลดลง 155.09±8.69 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่า 129.21±5.20, 118.98±9.88 และ 109.55±5.93 อาร์วียู ตามลำดับ โดยที่แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 12 ชั่วโมง มีค่าความหนืดลดลงมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 24 ชั่วโมง มีค่าความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื่อนาน 48 ชั่วโมง

ค่าเซตแบคของแป้งข้าวปกติมีค่า 189.63 ± 3.52 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าเซตแบคในช่วง 160.98-180.59 อาร์วียู เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านอบผสานครึ่งด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 4 ชั่วโมง มีค่าเซตแบค 180.59 ± 5.21 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่ง นาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 12 ชั่วโมง มีค่าเซตแบค คือ 170.08 ± 3.73 อาร์วียู มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าเซตแบค 162.37 \pm 3.08 และ 160.98 \pm 1.04 อาร์วียู ตามลำดับ เช่นกัน อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าเซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

อุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อน และค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวปกติมีค่าน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่งที่ความเข้มข้นเป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง และค่าเซตแบคของแป้งข้าวปกติมีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครึ่ง โดยค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยอัตราส่วนของแป้งต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 4 และ 12 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ให้สมบัติการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

โดยผลการทดลองที่ได้คล้ายคลึงกับ Yamamoto and Shirakawa (1999) เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวหนึ่งปกติ กับข้าวหนึ่งที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วย อุณหภูมิ 55°C นาน 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนข้าวหนึ่งต่อน้ำ เป็น 1:5 พบว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนของข้าวหนึ่งอบผสานครึ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากข้าวหนึ่งปกติ คือ จาก 61.30°C เป็น 66.40°C ค่าความหนืดต่ำสุดของข้าวหนึ่งปกติมีค่า 67.00 อาร์วียู เมื่อผ่านการอบผสานครึ่ง พบว่าค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 101.00 อาร์วียู และค่าความหนืดลดลงของข้าวหนึ่งปกติมีค่า 111.00 อาร์วียู เมื่ออบผสานครึ่งมีค่าลดลงเป็น 86.00 อาร์วียู

และสอดคล้องกับผลของ สุภาวดี และปริศนา (2549) เปรียบเทียบสมบัติ ด้านความหนืดของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อที่ระยะเวลา 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเวลาในการอบผานเนื้อมานานขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด (3668, 3085.5, 2802.5, 2809.5, 2699.5 และ 2617.5 เซนติปัวส์ ตามลำดับ) ค่าความหนืดลดลง (857, 494, 443.5, 437, 435 และ 365.5 เซนติปัวส์ ตามลำดับ) ความหนืดสุดท้าย (3857, 3580, 3445, 3350, 3129 และ 3027 เซนติปัวส์ ตามลำดับ) และเซตแบค (1046, 1068.5, 961.5, 901.5, 878.5 และ 840.5 เซนติปัวส์ ตามลำดับ) มีค่าน้อยลง

รวมทั้งสอดคล้องกับผลของ Adebawale *et al.*, (2005) ทำการตัดแปร สตาร์ชข้าวฟ่างด้วยการอบผานเนื้อในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง พบว่า สตาร์ชข้าวฟ่างอบผานเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว คือ อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และค่าความหนืดต่ำสุดมี ค่าเพิ่มขึ้นเป็น 64.50°ซ และ 212.33 อาร์วียู ตามลำดับ จากสตาร์ชข้าวฟ่างปกติที่มีค่า 64.35 °ซ และ 153.17 อาร์วียู ตามลำดับ ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซต แบค มีค่า 337.33, 125.0, 351.33 และ 139 อาร์วียู ตามลำดับ น้อยกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างปกติที่มีค่า 386.75, 225.5, 377.17 และ 184 อาร์วียู ตามลำดับ

ค. ค่ากำลังการพองตัว

จากตารางที่ 13 ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55°ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 2.33 ± 0.01 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กันกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบ ผานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ คือ 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลัง การพองตัวในช่วง 2.32-2.34 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผานเนื้อที่ ระยะเวลาการอบผานเนื้อต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังการพองตัวมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่า 2.33 ± 0.02 , 2.32 ± 0.02 , 2.33 ± 0.04 และ 2.34 ± 0.05 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ที่ระยะเวลา การอบผานเนื้อมานาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 13 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°ซ¹

(หน่วย: กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°ซ)				
	55	65	75	85	95
แป้งข้าวปกติ	2.33±0.01a	2.82±0.02a	7.53±0.12a	10.31±0.07a	13.92±0.78a
แป้งข้าวอบผสมเนื้อ (ชั่วโมง)					
4	2.33±0.02a	2.71±0.04b	7.48±0.05b	8.67±0.15b	12.37±0.19b
12	2.32±0.02a	2.61±0.06c	7.35±0.10b	8.28±0.10c	10.09±0.12c
24	2.33±0.04a	2.54±0.03d	7.12±0.10c	7.72±0.12d	8.77±0.06d
48	2.34±0.05a	2.52±0.01d	6.99±0.08c	7.61±0.10d	8.50±0.08d

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 2.82±0.02 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งมีความมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบ-ผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ คือ 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 2.52-2.71 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัว 2.71±0.04 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัว 2.61±0.06, 2.54±0.03 และ 2.52±0.01 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เช่นกัน อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 7.53 ± 0.12 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ คือ 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 6.99-7.48 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัว 7.48 ± 0.05 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัว 7.35 ± 0.10 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัว 7.12 ± 0.10 และ 6.99 ± 0.08 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ โดยที่เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวระหว่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 10.31 ± 0.07 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ คือ 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 7.61-8.67 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่า 8.67 ± 0.15 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัว 8.28 ± 0.10 , 7.72 ± 0.12 และ 7.61 ± 0.10 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 12 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวมาก และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง โดยแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 13.92 ± 0.78 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้งซึ่งมีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้ง:น้ำ คือ 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 8.50-12.37 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผลานเนื้อที่ระยะเวลาการอบผลานเนื้อต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวอบผลานเนื้อเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่า 12.37 ± 0.19 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อเป็นระยะเวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ขณะที่แป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อนาน 12 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัว 10.09 ± 0.12 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวระหว่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่ามีค่ากำลังการพองตัว คือ 8.77 ± 0.06 และ 8.50 ± 0.08 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 55°ซ แป้งข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผลานเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65, 75, 85 และ 95°ซ แป้งข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการอบผลานเนื้อต่างกัน พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อนาน 4 และ 12 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวสูงแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อ 24 และ 48 ชั่วโมง โดยที่แป้งข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

โดยผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hormdok and Noomhorm (2007) หาค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวปกติเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผลานเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ เป็น 1:3 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ พบว่า สตาร์ชข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัว 14.11 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้งที่อุณหภูมิ 92.5°ซ เมื่อผ่านการอบผลานเนื้อสตาร์ชข้าวมีค่ากำลังการพองตัวลดลงเป็น 10.15 กรัม/กรัมน้ำหนักแป้งแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชให้มีความเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้นในระหว่างการอบผลานเนื้อ

Waduge *et al.*, (2006) ออบผสมเนื้อสัตว์ข้าวบาร์เลย์ด้วยอัตราส่วนสัตว์ต่อ น้ำ คือ 1:3 ที่อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของสัตว์ข้าวบาร์เลย์ปกติมีค่า 0.5, 4, 10, 25 และ 42 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าสัตว์ข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่มีค่า คือ 0.2, 2, 8, 10 และ 25 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิฤทธิ์ระหว่างสายเอมิโลส กับเอมิโลสของสัตว์ที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างภายในเม็ดสัตว์มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นเม็ดสัตว์ที่ผ่านการอบผสมเนื้อเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ และได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจึงมีความสามารถในการดูดน้ำและพองตัว ได้น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ปกติ ซึ่งอาจคล้ายคลึงกับผลการทดลองข้างต้น

ง. ค่าการละลาย

จากตารางที่ 14 ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 55 °ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 1.24±0.35 ของน้ำหนักแห้งแห้ง ซึ่งมีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้น 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 1.92-3.44 ของน้ำหนักแห้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าค่าการละลายของแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าคือร้อยละ 1.92±0.57 ของน้ำหนักแห้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลาย คือ ร้อยละ 2.31±0.07 ของน้ำหนักแห้งแห้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกันกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า มีค่าการละลายน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือร้อยละ 3.44±0.18 และ 3.42±0.38 ของน้ำหนักแห้งแห้ง ตามลำดับ

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 65 °ซ ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 1.81±0.06 ของน้ำหนักแห้งแห้ง น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้น 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 2.10-3.95 ของน้ำหนักแห้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ให้ค่าการละลายแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือแป้ง

ข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเนียน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าการละลายร้อยละ 2.10 ± 0.03 , 2.75 ± 0.08 , 3.44 ± 0.03 และ 3.95 ± 0.12 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 14 การละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ¹

ตัวอย่าง	(หน่วย: ร้อยละของน้ำหนักแป้งแห้ง)				
	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)				
	55	65	75	85	95
แป้งข้าวปกติ	$1.24 \pm 0.35\text{c}$	$1.81 \pm 0.06\text{e}$	$1.42 \pm 0.36\text{c}$	$2.32 \pm 0.30\text{b}$	$4.01 \pm 0.11\text{b}$
แป้งข้าวอบผสมเนื้อ (ชั่วโมง)					
4	$1.92 \pm 0.57\text{b}$	$2.10 \pm 0.03\text{d}$	$2.72 \pm 0.22\text{b}$	$3.64 \pm 1.23\text{a}$	$4.55 \pm 0.23\text{a}$
12	$2.31 \pm 0.07\text{b}$	$2.75 \pm 0.08\text{c}$	$2.94 \pm 0.48\text{b}$	$3.60 \pm 0.23\text{a}$	$4.54 \pm 0.23\text{a}$
24	$3.44 \pm 0.18\text{a}$	$3.44 \pm 0.03\text{b}$	$3.68 \pm 0.30\text{a}$	$3.49 \pm 0.39\text{a}$	$4.40 \pm 0.31\text{a}$
48	$3.42 \pm 0.38\text{a}$	$3.95 \pm 0.12\text{a}$	$3.62 \pm 0.24\text{a}$	$4.45 \pm 0.06\text{a}$	$4.63 \pm 0.71\text{a}$

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 75°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 1.42 ± 0.36 ของน้ำหนักแป้งแห้ง น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้น 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 2.72-3.68 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าค่าการละลายของแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 2.72 ± 0.22 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายร้อยละ 2.94 ± 0.48 ของน้ำหนักแป้งแห้ง แต่น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเนียน 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการละลายร้อยละ 3.68 ± 0.30 และ 3.62 ± 0.24 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าการละลายของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 85°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 2.32±0.30 ของน้ำหนักแป้งแห้ง น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้น 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 3.49-4.45 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าค่าการละลายของแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 3.64±1.23, 3.60±0.23, 3.49±0.39 และ 4.45±0.06 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 95°C ของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 4.01±0.11 ของน้ำหนักแป้งแห้ง น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้น 1:2 เป็นระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 4.40-4.63 ของน้ำหนักแป้งแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าค่าการละลายของแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 4.55±0.23, 4.54±0.23, 4.40±0.31 และ 4.63±0.71 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C แป้งข้าวปกติมีค่าการละลายน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ให้ค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดลองข้างต้น สอดคล้องกับ Horndok and Noomhorm (2007) ค่าการละลายของสตาร์ชข้าวปกติเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ เป็น 1:3 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C พบว่า สตาร์ชข้าวปกติมีค่าการละลายร้อยละ 6.65 ซึ่งเมื่ออบผสมเนื้อสตาร์ชข้าวมีค่าการละลายเพิ่มเป็นร้อยละ 7.62

และคล้ายคลึงกับผลของ Adebowale *et al.*, (2005) ซึ่งเปรียบเทียบการอบผสมเนื้อสตาร์ชข้าวฟ่างปกติกับสตาร์ชข้าวฟ่างที่ผ่านการอบผสมเนื้อที่อุณหภูมิ 50°C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 48 ชั่วโมง พบว่า สตาร์ชข้าวฟ่างปกติ และสตาร์ชข้าวฟ่างที่ผ่านการอบผสมเนื้อ มีค่าการละลายสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนสามารถ

ทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันระหว่างโมเลกุลได้มากขึ้น ดังนั้นโมเลกุลแอมิโลส หรือแอมิโลเพกทินจะสามารถละลายออกมาจากเมล็ดสตาร์ชได้มากขึ้นเช่นกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าการละลายระหว่างสตาร์ชข้าวฟ่างปกติ กับสตาร์ชข้าวฟ่างที่ผ่านการอบผสมเนื้อ พบว่า สตาร์ชข้าวฟ่างปกติมีค่าการละลายร้อยละ 2, 3, 4.3, 8 และ 10.5 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95 °ซ ตามลำดับ เมื่อผ่านการอบผสมเนื้อแล้วสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3, 4, 7, 11 และ 15 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95 °ซ ตามลำดับ

รวมถึงคล้ายคลึงกับ Waduge *et al.*, (2006) หาปริมาณแอมิโลสที่ละลายออกมา (amylose leaching) ของสตาร์ชข้าวบาร์เลย์ปกติ และสตาร์ชข้าวบาร์เลย์อบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ คือ 1:3 ที่อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ สตาร์ชข้าวบาร์เลย์ปกติมีปริมาณแอมิโลสที่ละลายออกมา ร้อยละ 4, 7 และ 15 ตามลำดับ น้อยกว่าสตาร์ชข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการอบผสมเนื้อซึ่งมีค่าร้อยละ 6, 18 และ 22 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสายแอมิโลส และสายแอมิโลเพกทิน โดยสายแอมิโลสซึ่งมีลักษณะเป็นสายยาวเกิดการจับกับสายแอมิโลเพกทินสายสั้นบริเวณภายนอก (สาย เอ) อนุกรมใดก็ตามแรงในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโมเลกุลทั้งสองไม่แข็งแรง ดังนั้นแอมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เหล่านี้จึงหลุดออกมาในระบบเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง

จ. เนื้อสัมผัสของเจล

วัดเนื้อสัมผัสของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นของเจลอ้อยละ 10 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) โดยใช้หัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอก (cylinder probe) วัดค่าความแข็งแรง (max force) และค่าความเหนียวติดกัน (adhesive force) ผลปรากฏดังตารางที่ 15

จากตารางที่ 15 ความแข็งแรงของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 248.97 ± 62.25 กรัม ซึ่งมีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความแข็งแรงของเจลในช่วง 411.16-464.85 กรัม เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่า การอบผสมเนื้อแป้งข้าว นาน 4 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงของเจล 433.65 ± 48.46 กรัม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ระยะเวลาอื่น ๆ ขณะที่เจลจากแป้ง

ข้าวอบผสมเนื้อนาน 12 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงของเจล 411.16 ± 65.27 กรัม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กันกับเจลจากแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 4 ชั่วโมง แต่น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 460.93 ± 37.27 และ 464.85 ± 49.45 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติ และเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ¹

ตัวอย่าง	ความแข็งแรง (กรัม)	ความเหนียวติดกัน (กรัม/วินาที)
แป้งข้าวปกติ	248.97 ± 62.25 c	67.83 ± 12.49 a
แป้งข้าวอบผสมเนื้อ (ชั่วโมง)		
4	433.65 ± 48.46 ab	42.26 ± 9.46 b
12	411.16 ± 65.27 b	46.71 ± 3.14 b
24	460.93 ± 37.27 a	44.92 ± 4.66 b
48	464.85 ± 49.45 a	42.05 ± 5.39 b

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองข้างต้นคล้ายคลึงกับ Horndok and Noomhorm (2007) ทำการอบผสมเนื้อสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาทด้วยอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ เป็น 1:3 นาน 8, 16 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C พบว่า เจลจากสตาร์ชข้าวอบผสมเนื้อมีความแข็งแรงของเจลมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากสตาร์ชข้าวปกติ (49.82 กรัม) โดยระยะเวลาในการอบผสมเนื้อนานขึ้น เจลจากสตาร์ชข้าวอบผสมเนื้อมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น คือ 54.41, 57.72 และ 60.38 กรัม ที่ระยะเวลาในการอบผสมเนื้อ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการอบผสมเนื้อทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ และมีผลให้ค่ากำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชที่ผ่านการอบผสมเนื้อมีค่าลดลง การขยายปริมาตรเกิดขึ้นได้น้อยลง เม็ดสตาร์ชที่ผ่านการอบผสมเนื้อจึงมีค่าความแข็งแรงมากขึ้น

ความเหนียวติดกันของแป้งข้าวปกติมีค่า 67.83 ± 12.49 กรัม/วินาที โดยมีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยความเข้มข้นของแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความเหนียวติดกันในช่วง 42.05-46.71 กรัม/วินาที เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าการอบผสานครึ่งแป้งข้าว นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ให้ค่าความเหนียวติดกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ มีค่า 42.26 ± 9.46 , 46.71 ± 3.14 , 44.92 ± 4.66 และ 42.05 ± 5.39 กรัม/วินาที ตามลำดับ

ค่าความแข็งแรงของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ขณะที่ค่าความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยที่การอบผสานครึ่ง นาน 4, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงของเจล และค่าความเหนียวติดกันของเจลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

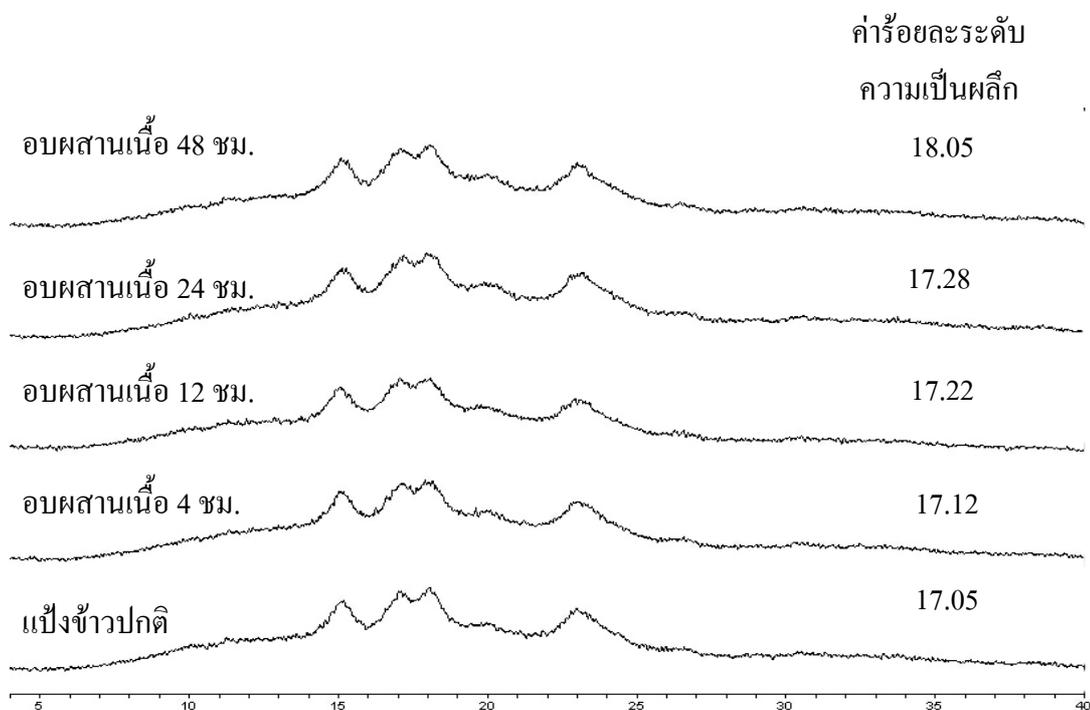
จากการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่งด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า แป้งข้าวปกติมี การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด ค่ากำลังการพองตัว ค่าการละลาย ค่าความแข็งแรง และค่าความเหนียวติดกันของเจล แตกต่างทางสถิติกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง โดยแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครึ่ง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ให้สมบัติต่าง ๆ ข้างต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

1.2.2 สมบัติทางฟิสิกส์

ก. โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช

เมื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสานครึ่งด้วยอัตราส่วนเป็นข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 ที่ระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ปรากฏพีคหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 พีค ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 พีค ที่เชื่อมต่อกัน และตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23 องศา

จำนวน 1 พีค ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผานเนื้อ เป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type) ผลปรากฏดัง ภาพที่ 13



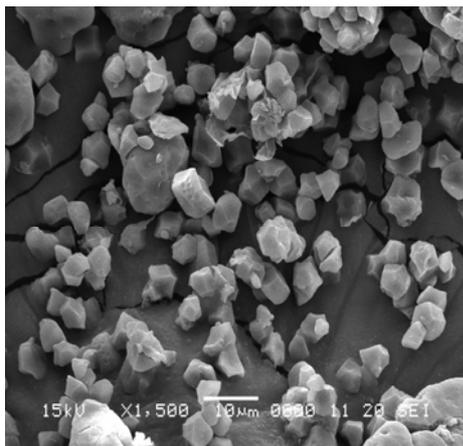
ภาพที่ 13 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ¹

เมื่อคำนวณค่าร้อยละระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) จากสัดส่วนของพื้นที่บริเวณใต้พีคตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15, 17-18 และ 23 ต่อพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัมที่วัดได้ พบว่า แป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกเท่ากับ 17.05 เมื่อระยะเวลาในการอบผสมเนื้อมานานขึ้นค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 17.12, 17.22, 17.28 และ 18.05 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อ 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สอดคล้องกับผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ที่พบว่า ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิโนเซชันของแป้งข้าวอบผสมเนื้อมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวปกติ และค่าพลังงานเอนทัลปีในการสลายพันธะการเกิดเจลาทิโนเซชันมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบผสมเนื้อมานานขึ้น ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้ค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นเมื่อแป้งข้าวผ่านการอบผสมเนื้อทำให้ความสามารถในการพองตัวของเม็ดสตาร์ชถูกจำกัด ดังนั้นค่ากำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวอบผสมเนื้อจึงมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวปกติที่อุณหภูมิเดียวกัน (ตารางที่ 13)

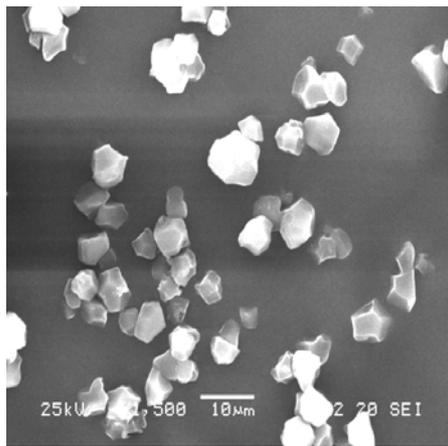
ข. รูปร่างของเม็ดสตาร์ช

ผลการตรวจสอบรูปร่างเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนเป็นข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,500, 3,500 และ 10,000 เท่า

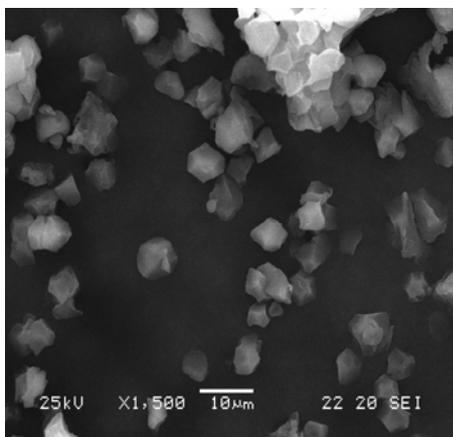
เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อมานานที่กำลังขยาย 1,500 เท่า มีขนาด และรูปร่างไม่แตกต่างกัน คือ ขนาด 3-5 ไมโครเมตร ลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมเห็นได้ชัดเจน โดยส่วนใหญ่เป็นรูปห้าเหลี่ยมที่มีเหลี่ยมคมชัด อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (starch compound) ทั้งกลุ่มเล็ก และกลุ่มใหญ่ ดังภาพที่ 14 เมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 3,500 เท่า พบว่าบริเวณผิวหน้าเม็ดสตาร์ชมีโปรตีน ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กอยู่บริเวณผิวหน้าของเม็ดสตาร์ช โดยไม่แตกต่างกันทั้งแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อมานานดังภาพที่ 15 และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 10,000 เท่า พบว่า ทั้งเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวปกติ และจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ มีบริเวณผิวหน้าของเม็ดสตาร์ชเรียบเนียน ไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 16



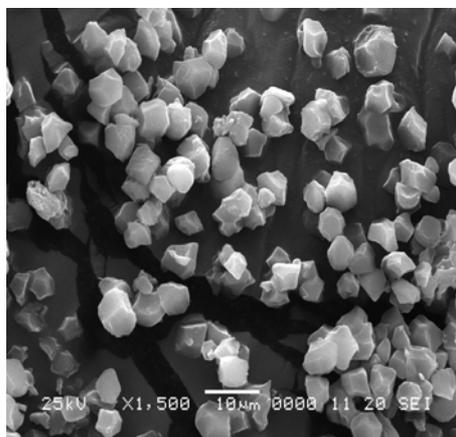
แป้งข้าวปกติ



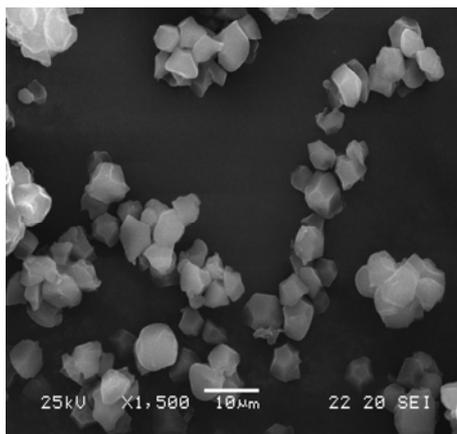
แป้งข้าวอบพาสานเนียนาน 4 ชั่วโมง



แป้งข้าวอบพาสานเนียนาน 12 ชั่วโมง

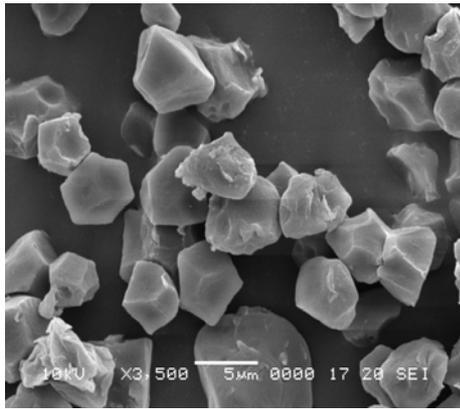


แป้งข้าวอบพาสานเนียนาน 24 ชั่วโมง

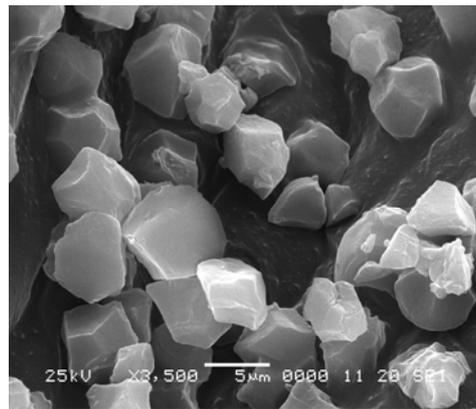


แป้งข้าวอบพาสานเนียนาน 48 ชั่วโมง

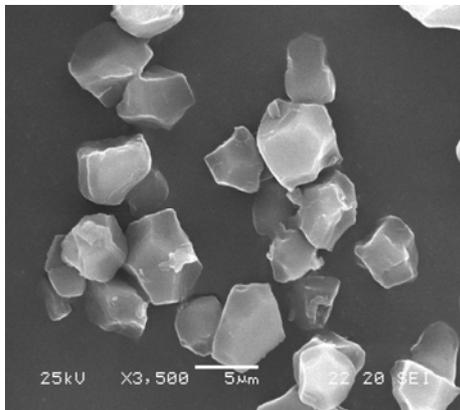
ภาพที่ 14 รูปร่างเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบพาสานเนื้อ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



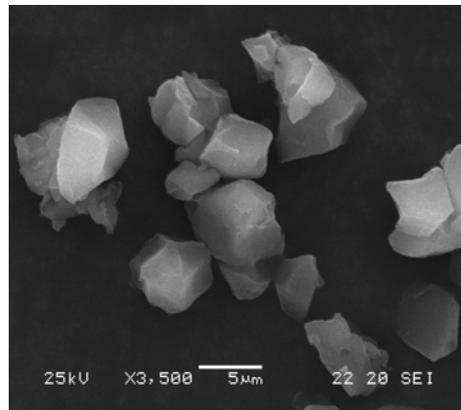
แป้งข้าวปกติ



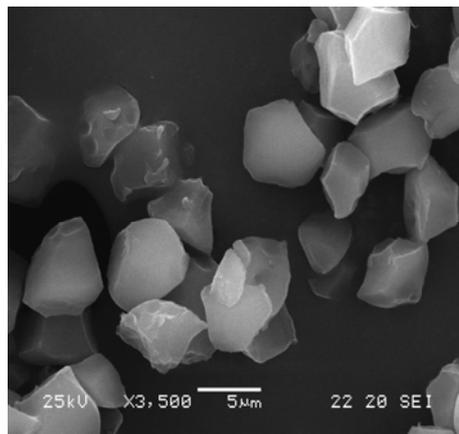
แป้งข้าวอบพसानเนื่อนาน 4 ชั่วโมง



แป้งข้าวอบพसानเนื่อนาน 12 ชั่วโมง

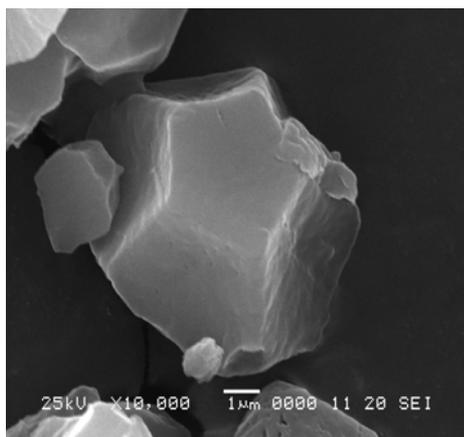


แป้งข้าวอบพसानเนื่อนาน 24 ชั่วโมง

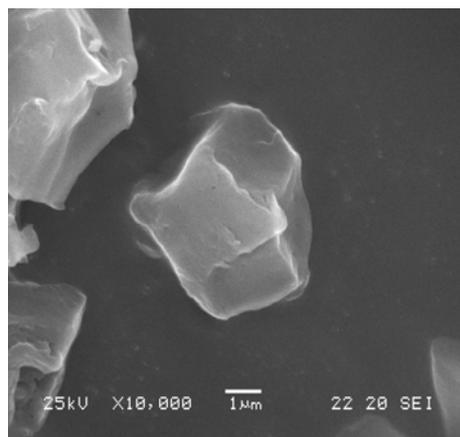


แป้งข้าวอบพसानเนื่อนาน 48 ชั่วโมง

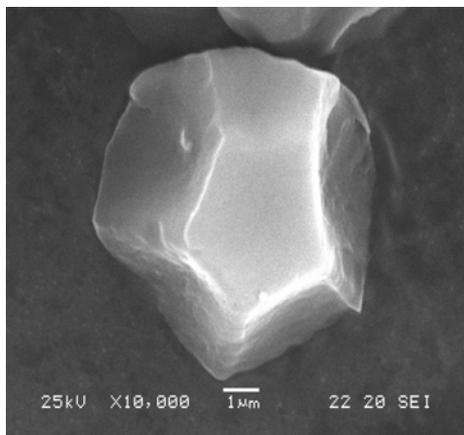
ภาพที่ 15 รูปร่างเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบพसानเนื้อ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



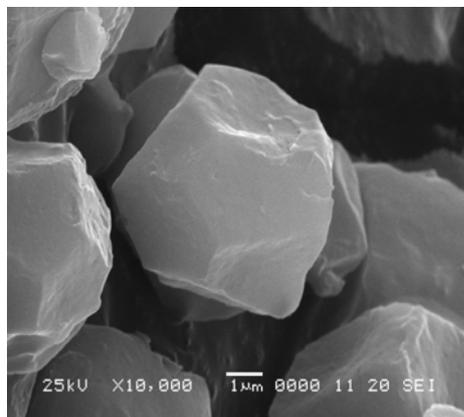
แป้งข้าวปกติ



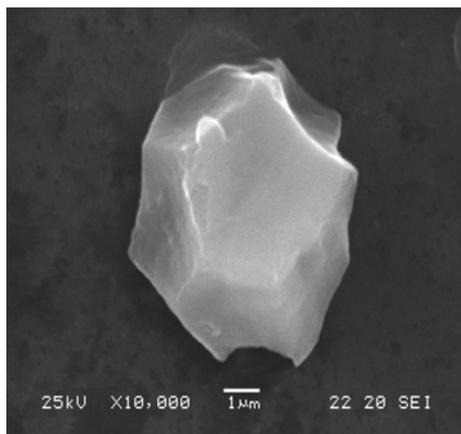
แป้งข้าวอบผสมน้ำเนื่อนาน 4 ชั่วโมง



แป้งข้าวอบผสมน้ำเนื่อนาน 12 ชั่วโมง



แป้งข้าวอบผสมน้ำเนื่อนาน 24 ชั่วโมง



แป้งข้าวอบผสมน้ำเนื่อนาน 48 ชั่วโมง

ภาพที่ 16 รูปร่างเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมน้ำ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

ก. ค่าสี

นำแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครือเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ตรวจสอบค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี minolta รุ่น 3500d ผลปรากฏดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าสีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครือด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C¹

ตัวอย่าง	ค่าสี ²		
	L	a	b
แป้งข้าวปกติ	97.06±0.04a	-0.11±0.01 a	2.92±0.01 b
แป้งข้าวอบผสานครือ (ชั่วโมง)			
4	96.67±0.04b	-0.13±0.01 a	2.98±0.01 a
12	96.64±0.06b	-0.10±0.03 a	2.98±0.02 a
24	96.64±0.02b	-0.13±0.05 a	3.01±0.03 a
48	95.39±0.04b	-0.12±0.04 a	3.05±0.03 a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 (0 คือ สีดำ, 100 คือ สีขาว)

ค่า a คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (-a คือ สีเขียว, +a คือ สีแดง)

ค่า b คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (-b คือ สีน้ำเงิน, +b คือ สีเหลือง)

จากตารางที่ 16 ค่า L คือ ค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง พบว่า แป้งข้าวปกติมีค่าความสว่าง คือ 97.06±0.04 มากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสานครือด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 95.39-96.67 โดยเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานครือด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กันพบว่าเมื่อระยะเวลาการอบผสานครือนานขึ้น ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 96.67±0.04, 96.64±0.06, 96.64±0.02 และ 95.39±0.04 ที่เวลาการอบผสานครือนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ค่า a ใช้กำหนดสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) พบว่า แป้งข้าวปกติมีค่าติดลบ คือ -0.11 ± 0.01 แสดงถึงความเป็นสีเขียว โดยไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าติดลบ แสดงถึงความเป็นสีเขียวเช่นเดียวกัน และมีค่าคือ -0.13 ± 0.01 , -0.10 ± 0.03 , -0.13 ± 0.05 และ -0.12 ± 0.04 ตามลำดับ

ค่า b ใช้กำหนดสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) พบว่า แป้งข้าวปกติ มีค่าเป็นบวก คือ 2.92 ± 0.01 แสดงถึงความเป็นสีเหลือง ซึ่งมีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีค่าความเป็นสีเหลืองอยู่ในช่วง 2.98-3.05 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการอบผสมเนื้อต่าง ๆ กัน พบว่า ค่าความเป็นสีเหลือง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ มีค่า 2.98 ± 0.01 , 2.98 ± 0.02 , 3.01 ± 0.03 และ 3.05 ± 0.03 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการอบผสมเนื้อสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้น (millard reaction) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซิง และกรดแอมิโนในแป้งข้าว (Lu *et al.*, 1996)

แป้งข้าวปกติมีค่าความสว่าง (L) มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ค่า a มีค่าติดลบ แสดงความเป็นสีเขียว มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ ขณะที่ค่า b เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง มีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ทั้งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลือง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

1.2.3 สมบัติทางเคมี

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ตามวิธีของ AOAC ปรากฏผลดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วย อัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°ซ¹

ตัวอย่าง	ความชื้น	คุณภาพทางเคมี (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)			
		โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	แอมิโลส
แป้งข้าวปกติ	10.93±0.01a	6.66±0.01a	0.12±0.03a	0.29±0.04a	32.53±0.03a
แป้งข้าวอบผานเนื้อ (ข้าวโม่)					
4	10.67±0.01a	6.66±0.01a	0.10±0.05a	0.30±0.03a	32.32±0.03a
12	8.76±0.03b	6.65±0.00a	0.15±0.03a	0.30±0.01a	32.41±0.05a
24	9.85±0.02b	6.68±0.03a	0.10±0.01a	0.27±0.03a	32.34±0.08a
48	9.93±0.03b	6.68±0.02a	0.12±0.03a	0.29±0.01a	32.28±0.05a

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 10.93±0.01 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 4 ชั่วโมง ที่มีค่าความชื้นร้อยละ 10.67±0.01 แต่มีค่าสูงกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อนาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าความชื้นร้อยละ 8.76±0.03, 9.85±0.02 และ 9.93±0.03 ตามลำดับ โดยที่แป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อนาน 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามทั้งแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน มีค่าความชื้น สอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดให้แป้งมีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 13 ซึ่งปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่แตกต่างกันอาจเกิดจากกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 6.66±0.01 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลา 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีค่าปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6.65-6.68 และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ปริมาณโปรตีนมีค่าไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 6.66 ± 0.01 , 6.65 ± 0.00 , 6.68 ± 0.03 และ 6.68 ± 0.02 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อมานาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปริมาณไขมันของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 0.12 ± 0.03 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีค่าไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.10-0.15 และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ปริมาณไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่าร้อยละ 0.10 ± 0.05 , 0.15 ± 0.03 , 0.10 ± 0.01 และ 0.12 ± 0.03 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อมานาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปริมาณเถ้าของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 0.29 ± 0.04 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีค่าปริมาณเถ้า คือ 0.30 ± 0.03 , 0.30 ± 0.01 , 0.27 ± 0.03 และ 0.29 ± 0.01 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อมานาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวปกติ มีค่าร้อยละ 32.53 ± 0.03 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีค่าแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 32.28-32.41 และเมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ปริมาณแอมิโลสมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่าร้อยละ 32.32 ± 0.03 , 32.41 ± 0.05 , 32.34 ± 0.08 และ 32.28 ± 0.05 ที่ระยะเวลาการอบผสมเนื้อมานาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทั้งแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยระยะเวลาต่าง ๆ จัดเป็นแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง จึงเหมาะกับการนำไปผลิตอาหารเส้น (งามชื่น, 2541)

ผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับการหาค่าประกอบทางเคมีแป้งข้าวพันธุ์เหลือง 11 ของกลุ่มนักวิจัยครั้งนี้ น้ำฝน (2547) พบมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.1 เถ้าร้อยละ 0.3 และแอมิโลสร้อยละ 35.9 อรพรรณ (2547) พบว่า ค่าความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณแอมิโลส มีค่าร้อยละ 11.22, 6.42, 0.10, 0.25 และ 33.60 ตามลำดับ และ ศันสนีย์ (2548) พบว่า แป้งข้าวเหลือง 11 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.84 ไขมันร้อยละ 0.16 เถ้าร้อยละ 0.20 และแอมิโลสร้อยละ 35.04

เนื่องจากแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ด้านการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด ค่ากำลังการพองตัว ค่าการละลาย ค่าความแข็งแรง และค่าความเหนียวติดกันของเจลของ แดกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ โดยที่สมบัติทางฟิสิกส์ด้านรูปแบบโครงสร้างผลึก รูปร่างของเม็ดสตาร์ช สมบัติทางเคมี คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ จึงนำแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อในสภาวะดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. การหาอัตราส่วนแป้งข้าวอบผสานเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

2.1 สมบัติทางเคมีของเส้นขนมจีนที่เดิม และไม่เดิมแป้งข้าวอบผสานเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต

นำเส้นขนมจีนที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อต่าง ๆ ที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ภาคผนวกที่ 9 หน้า 178) ตรวจสอบปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และแอมิโลส ผลปรากฏดังตารางที่ 18

ปริมาณความชื้นของเส้นขนมจีนในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ คือ 75:15:0) และ ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ คือ 80:20:0) ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสานเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต มีค่า 12.27 ± 0.10 และ 11.54 ± 0.15 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสานเนื้อในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ คือ 78.5:17.5:4), ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อ คือ 72:20:8) ที่มีความชื้นร้อยละ 12.76 ± 0.13 , 13.02 ± 0.08 และ 11.93 ± 0.08 ตามลำดับ โดยที่สูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสานเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตทั้ง 3 สูตร มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 18 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นขนมจัน¹

สูตรตัวอย่าง ²	ความชื้น	คุณภาพทางเคมี (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)			
		โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	แอมิโลส
ก	12.27±0.10a	3.96±0.09a	0.11±0.05a	0.33±0.03a	34.01±0.03a
ข	11.54±0.15a	3.92±0.07a	0.11±0.05a	0.27±0.03a	33.87±0.03a
ค	12.76±0.13a	3.79±0.08a	0.11±0.03a	0.30±0.01a	33.90±0.05a
ง	13.02±0.08a	3.89±0.07a	0.09±0.01a	0.31±0.03a	34.04±0.08a
จ	11.93±0.08a	3.94±0.07a	0.11±0.03a	0.30±0.01a	33.87±0.05a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² สูตร ก เส้นขนมจันพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก
พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0

สูตร ข เส้นขนมจันพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก
พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0

สูตร ค เส้นขนมจันพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วน แป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก
พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4

สูตร ง เส้นขนมจันพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก
พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8

สูตร จ เส้นขนมจันพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมัก
พรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8

ปริมาณโปรตีนของเส้นขนมจันในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต มีค่า 3.96 ± 0.09 และ 3.92 ± 0.07 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจันที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.79 ± 0.08 , 3.89 ± 0.07 และ 3.94 ± 0.07 ตามลำดับ โดยที่สูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตทั้ง 3 สูตร มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณไขมันของเส้นขนมจีนในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสม-
เนื้อระหว่างกระบวนการผลิต มีค่าร้อยละ 0.11 ± 0.05 และ 0.11 ± 0.03 ตามลำดับไม่แตกต่างทาง
สถิติ ($p > 0.05$) กันกับเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ ที่มีค่าไขมัน
อยู่ในช่วงร้อยละ 0.09-0.11 และเมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อใน
สูตร ต่าง ๆ พบว่า ปริมาณไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่าร้อยละ 0.11 ± 0.03 ,
 0.09 ± 0.01 และ 0.11 ± 0.03 ตามลำดับ

ปริมาณเถ้าของของเส้นขนมจีนในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสม-
เนื้อระหว่างกระบวนการผลิต มีค่าร้อยละ 0.33 ± 0.03 และ 0.27 ± 0.03 ตามลำดับไม่แตกต่างทางสถิติ
($p > 0.05$) กันกับเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ ที่มีปริมาณเถ้าอยู่
ในช่วงร้อยละ 0.30-0.31 และเมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร
ต่าง ๆ พบว่า ปริมาณเถ้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่าร้อยละ 0.31 ± 0.01 , 0.31 ± 0.03
และ 0.30 ± 0.01 ตามลำดับ

ปริมาณแอมิโลสของของเส้นขนมจีนในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบ-
ผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต มีค่าร้อยละ 34.01 ± 0.03 และ 33.87 ± 0.03 ตามลำดับไม่แตกต่าง
ทางสถิติ ($p > 0.05$) กันกับเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ ที่มี
ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 33.87-34.04 และเมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนที่มีการเติมแป้งข้าวอบ
ผสมเนื้อในสูตร ต่าง ๆ พบว่า ปริมาณเถ้ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่าร้อยละ
 33.96 ± 0.05 , 34.04 ± 0.08 และ 33.87 ± 0.05 ตามลำดับ

2.2 ตรวจสอบรูปร่างของเส้นขนมจีนที่เติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่าง
กระบวนการผลิต

นำเส้นขนมจีนที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าว
อบผสมเนื้อต่าง ๆ ที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ภาคผนวกที่ จ9 หน้า
172) ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นขนมจีนที่อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:
แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลปรากฏดัง
ภาพที่ 17



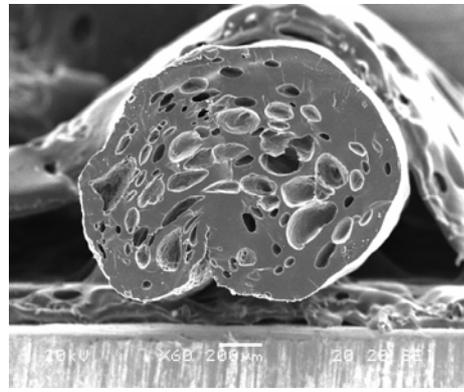
สูตร ก (85:15:0)¹



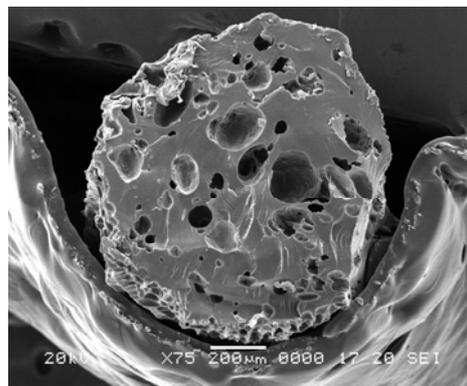
สูตร ข (80:20:0)¹



สูตร ค (77.5:17.5:4)¹



สูตร ง (77:15:8)¹



สูตร จ (72:20:8)¹

ภาพที่ 17 ลักษณะพื้นผิวของเส้นขนมจลินแบบตามขวาง ของเส้นขนมจลินแบบปกติ (สูตร ก และ ข) และแบบเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ (สูตร ค, ง และ จ)

¹ อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ

พื้นผิวของเส้นขนมจีนที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 75:15:0) และ ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) มีลักษณะพื้นผิวขรุขระ มีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4), ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) พื้นผิวของเส้นขนมจีนมีลักษณะเรียบเนียนมากขึ้น และมีรูพรุนน้อยลง เนื่องจากการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อมีผลให้ไปแทนที่แป้งข้าวหมักผงบางส่วน ดังนั้นจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อน (ตารางที่ 11) การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 12) ซึ่งให้ค่าความหนืดต่ำสุดมากขึ้น ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดลดลงต่ำกว่า และแตกต่างกับแป้งข้าวปกติ รวมทั้งค่ากำลังการพองตัวที่ลดลง เส้นขนมจีนที่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อจึงมีความแน่นเนื้อมากขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นจึงน้อยลง

นอกจากนี้ลักษณะรูพรุนที่พบในเส้นขนมจีนอาจเกิดได้จากขั้นตอนการนวดผสม ซึ่งมีการนวดผสมสัดส่วนแป้งทั้ง 3 ชนิด น้ำ และอากาศบริเวณรอบ ๆ การผลิต ทำให้พบฟองอากาศในน้ำแป้งก่อนโรยเส้นขนมจีน ดังนั้นเมื่อโรยเส้นขนมจีนในน้ำเดือดด้วยกระบอกรอยเส้นซึ่งมีการใช้แรงดันเพื่อให้ได้ลักษณะของเส้นขนมจีนที่ยาวเพียงพอจะจับเส้นขนมจีนเป็นจับได้ จึงพบว่าพื้นผิวของเส้นขนมจีนในทุกสูตรการผลิตมีรูพรุนเกิดขึ้น

2.3 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อเส้นขนมจีนด้วยความร้อน

นำเส้นขนมจีนหนัก 30 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อน ปิดผนึกให้สนิท พาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที 80°C นาน 1, 2 และ 3 นาที 85°C นาน 1, 2 และ 3 นาที และ 90°C นาน 1, 2 และ 3 นาที ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) และแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก (Lactic Acid Bacteria) ผลปรากฏดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด บาซิลลัส ซีเรียส และแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับต่าง ๆ กัน

อุณหภูมิ และเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	บาซิลลัส ซีเรียส (โคโลนี/กรัม)	แบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก (โคโลนี/กรัม)
65°ซ			
30 นาที	200	< 100	170
80°ซ			
1 นาที	175	< 100	< 100
2 นาที	150	< 100	< 100
3 นาที	125	< 100	< 100
85°ซ			
1 นาที	< 100	< 100	< 100
2 นาที	< 100	< 100	< 100
3 นาที	< 100	< 100	< 100
90°ซ			
1 นาที	< 100	< 100	< 100
2 นาที	< 100	< 100	< 100
3 นาที	< 100	< 100	< 100

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และบาซิลลัส ซีเรียสของขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที คือ 200 และ น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม สอดคล้องกับข้อกำหนดของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ตามมาตรฐานอาหารปรุงสุกแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค ที่กำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนี/กรัม และบาซิลลัส ซีเรียส น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติกซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการหมักข้าวจำนวน 170 โคโลนี/กรัม แสดงให้เห็นว่า ขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ยังคงกลืน และรสปกติของเส้นขนมจีนปกติ

ผลิตภัณฑ์ขนมจีนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 80, 85 และ 90 °ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที เป็นการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในระดับการค้า (commercial sterilization) ของอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH<4.6) โดยความร้อนระดับนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด (Jackson, 1992) จากผลการทดลอง พบว่า ระดับอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที ยังคงพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ 175, 150 และ 125 โคโลนี/กรัม ตามลำดับ ขณะที่ระดับอุณหภูมิ 85 และ 90 °ซ นาน 1, 2 และ 3 นาที พบ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด บาซิลลัส ซีเรียส และแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก ปริมาณน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม ดังนั้น ที่ระดับอุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ 85 °ซ นาน 1 นาที จึงเป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในระดับการค้า (commercial sterilization)

2.4 หาปริมาณแป้งข้าวคัดแปรด้วยวิธีการอบผสานเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

นำเส้นขนมจีนที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสานเนื้อต่าง ๆ ที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ภาคผนวกที่ จ9 หน้า 172) หนัก 30 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ปิดผนึก พาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส ปรากฏผลดังนี้

2.4.1 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ก. ค่าสี

วัดค่าสีของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ด้วยเครื่องวัดสี minolta รุ่น 3500d ผลปรากฏดังตารางที่ 20

จากตารางที่ 20 ค่าความสว่าง (L) ของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า 59.84 ± 0.44 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ในสูตรต่าง ๆ ซึ่งมีค่าความสว่างในช่วง 59.23-60.49 โดยเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ในสูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสานเนื้อในกระบวนการ

ผลิตเส้นขนมเงิน (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0 และ 80:20:0 ตามลำดับ) มีค่าความสว่าง (L) ของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 60.49 ± 2.56 และ 59.58 ± 0.71 ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ คือ 78.5:17.5:4, 77:15:8 และ 72:20:8 ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าความสว่างของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ คือ 59.60 ± 0.28 , 59.42 ± 2.02 และ 59.23 ± 2.13 ตามลำดับ

ค่า a ใช้กำหนดสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) ของเส้นขนมเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า -1.11 ± 0.25 โดยค่าติดลบ แสดงถึงความเป็นสีเขียว ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมเงินที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตรต่าง ๆ ซึ่งมีค่าสีเขียวในช่วง -0.94 ถึง -1.24 โดยเส้นขนมเงินที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) และ สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ -1.24 ± 0.12 และ -1.01 ± 0.46 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) , ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ที่มีค่าสีเขียว คือ -0.94 ± 0.28 , -1.14 ± 0.29 และ -0.99 ± 0.63 ตามลำดับ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 20 ค่าสีของเส้นขนมจิ้นที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่างๆ¹

สูตรขนมจิ้น ²	ค่าสี ³		
	L	a	b
ก	60.49±2.56 a	-1.24±0.12 a	6.35±0.32 a
ข	59.58±0.71 a	-1.01±0.46 a	6.41±0.26 a
ค	59.60±0.28 a	-0.94±0.28 a	5.77±0.28 b
ง	59.42±2.02 a	-1.14±0.29 a	5.74±0.26 b
จ	59.23±2.13 a	-0.99±0.63 a	5.92±0.23 b
ฉ	59.84±0.44 a	-1.11±0.25 a	6.27±0.21 ab

หมายเหตุ¹ เฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² สูตร ก เส้นขนมจิ้นพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0

สูตร ข เส้นขนมจิ้นพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0

สูตร ค เส้นขนมจิ้นพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วน แป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4

สูตร ง เส้นขนมจิ้นพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8

สูตร จ เส้นขนมจิ้นพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8

สูตร ฉ เส้นขนมจิ้นปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลมง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0

³ ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 (0 คือ สีดำ, 100 คือ สีขาว)

ค่า a คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (-a คือ สีเขียว, +a คือ สีแดง)

ค่า b คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (-b คือ สีนํ้าเงิน, +b คือ สีเหลือง)

ค่า b ใช้กำหนดสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) ของเส้นขนมจินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า 6.27 ± 0.21 โดยค่าเป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจินที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตรต่าง ๆ ซึ่งมีค่าความสีเหลืองในช่วง 5.74-6.41 โดยเส้นขนมจินพาสเจอร์ไรซ์อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจิน มีค่าสีเหลืองคือ 6.35 ± 0.32 และ 6.41 ± 0.26 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าสีเหลืองมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจินพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจิน ในสูตร ค, ง และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักฟรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4, 77:15:8 และ 72:20:8) ที่มีค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 0.77-0.92 อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อในระหว่างกระบวนการผลิต เส้นขนมจิน (สูตร ค, ง และ จ) พบว่า มีค่าความเป็นสีเหลือง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 5.77 ± 0.28 , 5.74 ± 0.26 และ 5.92 ± 0.23 ตามลำดับ

ค่าสีเหลืองที่พบในเส้นขนมจินปกติโดยทั่วไปเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมัก ดังนั้นในสูตร ก และ ข ซึ่งผลิตจากแป้งข้าวหมักผสมกับแป้งข้าวหมักฟรีเจลผง ขณะที่ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งมีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในปริมาณร้อยละ 4, 8 และ 8 ตามลำดับจึงอาจเป็นไปได้ว่าค่าสีเหลืองที่ลดลงในสูตร ค, ง และ จ เกิดจากการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อทดแทนแป้งข้าวหมักผงในปริมาณดังกล่าว

เส้นขนมจินที่ผลิตโดยไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ก และ ข เมื่อพาสเจอร์ไรซ์ด้วยระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลือง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ (สูตร ก และ ข) กับสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ (สูตร ค, ง และ จ) พบว่าค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเขียวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความเป็นสีเหลืองของเส้นขนมจินสูตร ก และ ข มีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร ค, ง และ จ อย่างไรก็ตามค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองระหว่างสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ (สูตร ค, ง และ จ) เมื่อพาสเจอร์ไรซ์แล้วพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข. เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) วัดค่าความแน่นเนื้อ ผลปรากฏดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ¹

สูตรขนมจีน ²	ความแน่นเนื้อ (กรัม)
ก	81.24±3.01c
ข	87.77±6.51b
ค	94.62±4.04 a
ง	83.74±5.59bc
จ	90.12±7.45 a
ฉ	98.22±6.76 a

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² เช่นเดียวกับตารางที่ 20

จากตารางที่ 21 ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และไม่มี การเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตขนมจีนในสูตร ฉ มีค่า 98.22±6.76 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข ที่ไม่มี การเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ คือ 81.24±3.01 และ 87.77±6.51 กรัม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ พบว่า เส้นขนมจีนในสูตร ฉ มีค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนสูงกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนในสูตร ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) ที่มีค่าความแน่นเนื้อ 83.74±5.59 กรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

กันกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมัก ผง: แป้งข้าวหมักพรีเจลผง: แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมัก ผง: แป้งข้าวหมักพรีเจลผง: แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ คือ 94.62 ± 4.04 และ 90.12 ± 7.45 กรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต (สูตร ก และ ข) มีค่าความแน่นเนื้อ แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p \leq 0.05$) กันกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ระหว่างกระบวนการผลิตในสูตร ค, ง และ จ สอดคล้องกับผลการตรวจสอบรูปร่างของเส้นขนมจีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เส้นขนมจีนที่ไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ มีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนที่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต (ภาพที่ 17) และจากลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล (ตารางที่ 15) พบว่า เจลจากแป้งข้าวอบผสมเนื้อ มีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเจลจากแป้งข้าวปกติ ดังนั้นเมื่อนำแป้งข้าวอบผสมเนื้อ มาผสมในกระบวนการผลิตขนมจีนพาสเจอไรซ์ เส้นขนมจีนจึงมีความแน่นเนื้อของเส้นเพิ่มขึ้น

คล้ายคลึงกับผลของ Hormdok and Noomhorm (2007) ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการผสมสตาร์ชข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนสตาร์ชข้าวต่อน้ำ คือ 1:3 อบผสมเนื้อนาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 °ซ ปริมาณ 50 กรัม ในน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ มีค่าความแน่นเนื้อของเส้นเพิ่มขึ้นเป็น 4,390.31 กรัม จากเส้นก๋วยเตี๋ยวปกติที่มีค่าความแน่นเนื้อคือ 2,837.27 กรัม โดยค่าความแน่นเนื้อของเส้นก๋วยเตี๋ยว มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความแข็งแรงของเจลสตาร์ช และอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความหนืดลดลงเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว

2.4.2 ตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบลักษณะปรากฏ (ความคงตัวของเส้น) สีเหลือง กลิ่นหมัก ความยืดหยุ่นของเส้น และความนิ่มของเส้นขนมจีนที่ผ่านการผ่านเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ผลปรากฏดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่างๆ¹

สูตรขนมจีน ²	ลักษณะปรากฏ	สีเหลือง	กลิ่นหมัก	ความยืดหยุ่นของเส้น	ความนุ่มของเส้น
ก	10.08±0.64 c	3.74±0.62 a	9.80±1.43 a	10.48±0.80 b	10.54±1.03 a
ข	10.32±0.67 c	3.77±0.68 a	9.98±1.00 a	10.58±0.51 b	10.37±1.12 a
ค	11.44±0.51 a	4.26±0.49 a	9.89±0.95 a	10.88±0.92 b	10.68±1.02 a
ง	10.97±0.69 b	4.14±0.66 a	9.77±0.72 a	10.72±0.58 b	10.65±1.26a
จ	10.91±0.60 b	4.04±0.50 a	9.97±1.06 a	10.79±0.66 b	10.68±1.26a
ฉ	11.22±0.72 a	4.11±0.45 a	10.08±0.21 a	12.14±0.68 a	10.51±0.66a

หมายเหตุ ¹ คะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย, 15 คือ มาก คำนวณจากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน

เฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² เช่นเดียวกับตารางที่ 20

จากตารางที่ 22 ลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 11.22±0.72 ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนปกติพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) สูตร ง อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ที่ได้รับคะแนนในช่วง 10.08-10.97 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) ที่ได้รับคะแนนด้านความคงตัวของเส้น 11.44±0.51

โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมนเงิน พบว่า ในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตได้รับ คะแนนด้านความคงตัวของเส้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 10.08 ± 0.64 และ 10.32 ± 0.67 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมนเงิน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับ คะแนนลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์อยู่ในช่วง 10.91-11.44 พบว่า แตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเส้นขนมนเงินที่ผลิตได้จากการเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อปริมาณร้อยละ 4 (สูตร ค) ได้รับคะแนนด้านความคงตัวของเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์สูงที่สุด คือ 11.44 ± 0.51 แตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กันกับเส้นขนมนเงินที่ผลิตได้จากการเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อปริมาณร้อยละ 8 (สูตร ง และ จ) ที่ได้รับคะแนน 10.97 ± 0.69 และ 10.91 ± 0.60 ตามลำดับ

สีเหลืองของเส้นขนมนเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ ได้รับ คะแนน 4.11 ± 0.45 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมนเงิน ที่ได้รับคะแนนสีของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 3.74 ± 0.62 และ 3.77 ± 0.68 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมนเงิน ในสูตร ค, ง และ จ (อัตราส่วน แป้งข้าวหมักผง: แป้งข้าวหมักฟรีเจลผง: แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4, 77:15:8 และ 72:20:8 ตามลำดับ) ที่ได้รับคะแนนด้านสีของเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ คือ 4.26 ± 0.49 , 4.14 ± 0.66 และ 4.04 ± 0.50 ตามลำดับ ทั้งนี้แม้ว่าค่าสีของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 24 ชั่วโมง จะมีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (+b) แตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กันกับแป้งข้าวปกติ (ดังตารางที่ 16) รวมถึงค่าสีเหลืองของเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์เมื่อ วดด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 20) ซึ่งพบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมนเงิน แต่เนื่องจากการใช้เพียงร้อยละ 4 หรือ 8 ในการผลิตเส้นขนมนเงินพาสเจอไรซ์ ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถบอกความแตกต่างของค่าสีที่เกิดขึ้นได้

กลิ่นหมักของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร จ ได้รับคะแนน 10.08 ± 0.21 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร ก, ข, ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนในช่วง 9.80-9.97 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต พบว่า เส้นขนมจีนในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต ได้รับคะแนนด้านกลิ่นหมักของเส้น 9.80 ± 1.43 และ 9.98 ± 1.00 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต เส้นขนมจีน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนด้านกลิ่นหมักของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ คือ 9.89 ± 0.95 , 9.77 ± 0.72 และ 9.97 ± 1.06 ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ทั้งนี้กลิ่นหมักที่ผู้ทดสอบตรวจพบในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพาสเจอไรซ์ทั้งที่ไม่เติม (สูตร ก และ ข) และเติมแป้งที่ผ่านการอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน (สูตร ค, ง และ จ) เกิดจากปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกซึ่งยังคงตรวจพบ (ตารางที่ 19) หลังจากการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิดังกล่าว

ความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร จ ได้รับคะแนน 12.14 ± 0.68 ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในทุกสูตรการทดลองซึ่งได้รับคะแนนในช่วง 10.48-10.88 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต พบว่า ในสูตรที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ สูตร ก และ สูตร ข ได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 10.48 ± 0.80 และ 10.58 ± 0.51 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ คือ 10.88 ± 0.92 , 10.72 ± 0.58 และ 10.79 ± 0.66 ตามลำดับ

ความนิ่มของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร จ ได้รับคะแนน 10.51 ± 0.66 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในทุกสูตร โดยในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลดผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) และ สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลดผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้น

ขนมจีน ได้รับคะแนนด้านความนุ่มของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 10.54 ± 1.03 และ 10.37 ± 1.12 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) , ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ซึ่งได้รับคะแนนด้านความนุ่มของเส้นของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ คือ 10.68 ± 1.02 , 10.65 ± 1.26 และ 10.68 ± 1.26 ตามลำดับ

เส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตในสูตร ก มีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ในสูตร ข เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตร ก และ ข กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตในสูตร ค, ง และ จ พบว่า คะแนนลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้น และความชอบโดยรวมของเส้นขนมจีนสูตร ก และ ข มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับสูตร ค, ง และ จ ขณะที่คะแนนด้านสีเหลือง กลิ่นหมัก ความยืดหยุ่นของเส้น และความนุ่มของเส้นขนมจีนสูตร ก และ ข มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมจีนสูตร ค, ง และ จ โดยที่เส้นขนมจีนในสูตร ค ซึ่งมีปริมาณแป้งข้าวอบผสมเนื้อร้อยละ 4 ได้รับคะแนนลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้น และความชอบโดยรวมของเส้นสูงแตกต่างกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ง และ จ

จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเมื่อผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ซึ่งมีผลให้เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวปกติ จากสมบัติเชิงความร้อน (ตารางที่ 11) สมบัติด้านความหนืด (ตารางที่ 12) ค่ากำลังการพองตัว (ตารางที่ 13) และเนื้อสัมผัสของเจล (ตารางที่ 15) ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวอบผสมเนื้อจึงสามารถทนความร้อนได้มากขึ้นกว่าแป้งข้าวปกติ ค่าความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 21) ลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมจีน (ตารางที่ 22) ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค และ จ เมื่อพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที จึงได้รับคะแนนสูงแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้น

ขนมจีนโดยการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในอัตราส่วนอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-เจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4 ในสูตร ค มีค่าความแน่นเนื้อ และลักษณะปรากฏด้านความคงตัว สูงที่สุด และไม่แตกต่างกับเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ

2.5 หาปริมาณแป้งข้าวคัดแปรด้วยวิธีการอบผสมเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

นำเส้นขนมจีนที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ ที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ภาคผนวกที่ จ9 หน้า 172) หนัก 30 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ปิดผนึก พาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที หากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส ปรากฏผลดังนี้

2.5.1 ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ก. ค่าสี

วัดค่าสีของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ด้วยเครื่องวัดสี minolta รุ่น 3500d ผลปรากฏดังตารางที่ 23

จากตารางที่ 23 ค่าความสว่าง (L) ของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า 59.84 ± 0.44 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในสูตรต่าง ๆ ที่มีค่าความสว่างในช่วง 48.24-49.07 โดยเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) และ สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) มีค่าความสว่าง (L) ของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 48.24 ± 1.05 และ 49.07 ± 1.57 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) , ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ

(อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ซึ่งมีค่าความสว่างของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ คือ 48.64 ± 3.00 , 48.53 ± 1.91 และ 48.44 ± 2.52 ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ค่าสีของเส้นขนมเงินที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่างๆ¹

สูตรขนมเงิน ²	ค่าสี ³		
	L	a	b
ก	48.24 ± 1.05 b	-1.21 ± 0.74 a	6.96 ± 0.35 a
ข	49.07 ± 1.57 b	-0.98 ± 0.26 a	7.44 ± 0.59 a
ค	48.64 ± 3.00 b	-0.91 ± 0.60 a	6.18 ± 0.64 b
ง	48.53 ± 1.91 b	-0.97 ± 0.26 a	5.99 ± 0.56 b
จ	48.44 ± 2.52 b	-0.89 ± 0.59 a	6.23 ± 0.63 b
	59.84 ± 0.44 a	-1.11 ± 0.25 a	6.27 ± 0.21 b

หมายเหตุ¹ เฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² เช่นเดียวกับตารางที่ 20

³ เช่นเดียวกับตารางที่ 20

ค่า a ใช้กำหนดสีสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) ของเส้นขนมเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า -1.11 ± 0.25 ซึ่งค่าติดลบ แสดงความเป็นสีแดง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน คือ -1.21 ± 0.74 และ -0.98 ± 0.26 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ในสูตร ค, ง และ จ ที่มีค่าสีเขียวของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ คือ -0.91 ± 0.60 , -0.97 ± 0.26 และ -0.89 ± 0.59 ตามลำดับ

ค่า b ใช้กำหนดสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) ของเส้นขนมเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า 6.27 ± 0.21 ค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง โดยมีค่าแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในสูตร ก

(อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) และ สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) ที่มีค่าสีเหลือง 6.96 ± 0.35 และ 7.44 ± 0.59 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนในสูตร ค, ง และ จ ที่มีค่าสีเหลือง คือ 6.18 ± 0.64 , 5.99 ± 0.56 และ 6.23 ± 0.63 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ผ่านการพาสเจอไรซ์พบว่า เส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 6.96 ± 0.35 และ 7.44 ± 0.59 ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค, ง และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4, 77:15:8 และ 72:20:8) ที่มีค่าสีเหลือง คือ 6.18 ± 0.64 , 5.99 ± 0.56 และ 6.23 ± 0.63 ตามลำดับ

เส้นขนมจีนที่ผลิตโดยไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ก และ ข เมื่อพาสเจอไรซ์ด้วยระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ (สูตร ก และ ข) กับสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ (สูตร ค, ง และ จ) พบว่าค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเขียวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความเป็นสีเหลืองของเส้นขนมจีนสูตร ก และ สูตร ข มีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตร ค, ง และ จ อย่างไรก็ตามค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองระหว่างสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ เมื่อพาสเจอไรซ์แล้วพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข. เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) วัดค่าความแน่นเนื้อ ผลปรากฏดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจลินปกติ และเส้นขนมจลินที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ ¹

สูตร ²	ความแน่นเนื้อ (กรัม)
ก	60.73±4.49d
ข	64.04±5.55c
ค	71.97±3.54b
ง	62.11±2.13d
จ	70.27±7.93b
ฉ	98.22±6.76a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

³ เช่นเดียวกับตารางที่ 20

จากตารางที่ 24 ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจลินในสูตร ฉ ที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ และไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตมีค่า 98.22±6.76 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจลินพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ใน สูตร ก, ข, ค, ง และ จ ที่มีค่าความแน่นเนื้อในช่วง 60.73-71.97 กรัม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นขนมจลินพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ในสูตรที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต (สูตร ก และ ข) กับเส้นขนมจลินที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในระหว่างกระบวนการผลิต (สูตร ค, ง และ จ) พบว่าเส้นขนมจลินในสูตร ก มีค่าความแน่นเนื้อ 60.73±4.49 กรัม สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจลินในสูตร ข ที่มีค่าความแน่นเนื้อ 64.04±5.55 กรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจลินพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) ที่มีค่าความแน่นเนื้อ 62.11±2.13 กรัม อย่างไรก็ตามเส้นขนมจลินพาสเจอร์ไรซ์ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อทั้งสูตร ก และ ข มีค่าความแน่นเนื้อแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจลินพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค และสูตร จ

(อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4 และ 72:20:8 ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ 71.97 ± 3.54 และ 70.27 ± 7.93 กรัม ตามลำดับ

2.5.2 ตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบลักษณะปรากฏ (ความคงตัวของเส้น) สีเหลือง กลิ่นหมัก ความยืดหยุ่นของเส้น และความนิ่มของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 1 นาที ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ผลปรากฏดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่างๆ¹

สูตรขนมจีน ²	ลักษณะปรากฏ	สีเหลือง	กลิ่นหมัก	ความยืดหยุ่นของเส้น	ความนิ่มของเส้น
ก	8.18±1.10 b	5.00±0.92 b	5.93±2.59 b	9.21±1.81 b	9.99±2.35 a
ข	8.42±1.09 b	5.13±0.70 b	5.67±2.62 b	9.12±1.44 b	9.84±1.82 a
ค	8.85±2.10 b	5.62±1.24 b	5.89±2.31 b	9.80±1.23 b	10.43±1.57 a
ง	8.67±1.14 b	5.41±1.07 b	5.41±2.46 b	9.24±1.42 b	9.96±1.88 a
จ	8.99±1.18 b	5.01±1.55 b	5.61±2.56 b	9.34±1.38 b	10.69±1.40 a
ฉ	11.22±0.72 a	4.11±0.45 a	10.08±0.21 a	12.14±0.68 a	10.51±0.66 a

หมายเหตุ¹ คะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย, 15 คือ มาก คำนวณจากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน

เฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² เช่นเดียวกับตารางที่ 20

จากตารางที่ 25 ลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 11.22 ± 0.72 ซึ่งสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในทุกสูตรซึ่งได้รับคะแนนในช่วง 8.18-8.99 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนมเงินพาสเจอไรซ์ในสูตรที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต พบว่าเส้นขนมเงินในสูตร ก (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 85:15:0) และ สูตร ข (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 80:20:0) ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ได้รับคะแนนด้านความคงตัวของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 8.18 ± 1.10 และ 8.42 ± 1.09 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) , ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ซึ่งได้รับคะแนนลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ คือ 8.85 ± 2.10 , 8.67 ± 1.14 และ 8.99 ± 1.18 ตามลำดับ

สีเหลืองของเส้นขนมเงินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 4.11 ± 0.45 ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในทุกสูตรซึ่งได้รับคะแนนในช่วง 5.00-5.62 โดยเส้นขนมเงินในสูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ได้รับคะแนนด้านสีของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 5.00 ± 0.92 และ 5.13 ± 0.70 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมเงิน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนด้านสีเหลืองของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ คือ 5.62 ± 1.24 , 5.41 ± 1.07 และ 5.01 ± 1.55 ตามลำดับ ทั้งนี้แม้ว่าค่าสีของเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 22) ซึ่งพบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในการผลิตเส้นขนมเงิน แต่เนื่องจากมีการใช้เพียงร้อยละ 4 หรือ 8 ในการผลิตเส้นขนมเงินพาสเจอไรซ์ ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถบอกความแตกต่างของค่าสีที่เกิดขึ้นได้

กลิ่นหมักของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 10.08 ± 0.21 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในทุกสูตรซึ่งได้รับคะแนนในช่วง 5.41-5.93 ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิต พบว่า คะแนนด้านกลิ่นหมักของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์สูตร ก และ สูตร ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 5.93 ± 2.59 และ 5.67 ± 2.62 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-เจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4) , ง (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-เจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 77:15:8) และ จ (อัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-เจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 72:20:8) ซึ่งได้รับคะแนนด้านกลิ่นหมักของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ คือ 5.89 ± 2.31 , 5.41 ± 2.46 และ 5.61 ± 2.56 ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยกลิ่นหมักที่ผู้ทดสอบตรวจพบในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ทั้งที่ไม่เติม และเติมแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนนั้นได้รับคะแนนน้อยมาก สอดคล้องกับการตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที (ตารางที่ 19)

ความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 12.14 ± 0.68 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์สูตร ก, ข, ค, ง และ จ โดยในสูตรซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน สูตร ก และ ข ได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 9.21 ± 1.81 และ 9.12 ± 1.44 ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ คือ 9.80 ± 1.23 , 9.24 ± 1.42 และ 9.34 ± 1.38 ตามลำดับ

ความนิ่มของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 10.51 ± 0.66 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในสูตร ก และ สูตร ข ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ได้รับคะแนนด้านความนิ่มของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 9.99 ± 2.35 และ

9.84±1.82 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งได้รับคะแนนด้านความนุ่มของเส้นของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ คือ 10.43±1.57, 9.96±1.88 และ 10.69±1.40 ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน

แม้ว่าสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของเม็คสตาร์ชในแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 °ซ สามารถทนความร้อนได้มากขึ้น จากค่ากำลัง สมบัติเชิงความร้อน (ตารางที่ 11) สมบัติด้านความหนืด (ตารางที่ 12) การพองตัวลดลง (ตารางที่ 13) และเนื้อสัมผัสของเจล (ตารางที่ 15) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ กับเส้นขนมจีนที่มีการเติม และไม่เติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ แล้วพาสเจอร์ไรซ์ด้วยระดับอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 1 นาที พบว่า เส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ให้ลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏด้านความคงตัว กลิ่นหมัก และความยืดหยุ่นของเส้นสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ในทุกสูตร ทั้งนี้การเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อระหว่างกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลดผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4 ในสูตร ค มีค่าความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่นของเส้น และความชอบรวมสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที และ 85 °ซ นาน 1 นาที พบว่า คะแนนด้านสีเหลืองของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที มีค่าต่ำกว่า (3.74-4.26) การพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 1 นาที (5.00-5.62) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (millard reaction) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซิง และกรดแอมิโนในแป้งข้าวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °ซ สามารถเกิดได้มากขึ้น (Lu *et al.*, 1996) ลักษณะปรากฏด้านความคงตัว กลิ่นหมัก และความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที (10.08-11.44, 9.77-9.98, 10.48-10.88 และ 8.68-9.86 ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 1 นาที (8.18-8.99, 5.41-5.93, 9.12-9.80 และ 8.44-9.07 ตามลำดับ) โดยผลของกลิ่นหมักที่ลดลงสอดคล้องกับผลการหาปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก (ตารางที่ 19) ที่พบปริมาณน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม

เนื่องจากเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในสูตร จ ให้ค่าความสว่าง ค่าสีเขียว และค่าสีเหลือง (ตารางที่ 20) ความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 21) ลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สีเหลือง กลิ่นหมัก และความนุ่มของเส้น (ตารางที่ 22) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมจีนที่ผลิตด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบ-ผสมเนื้อ คือ 78.5:17.5:4 ในสูตร ค เมื่อพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที แต่แตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร อื่น ๆ และเส้นขนมจีนพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ในทุกสูตร ดังนั้นจึงเลือกเส้นขนมจีนในสูตร ค พาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในการหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวต่อไป

3. หาสภาวะในการผลิตน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสมเพื่อผลิตขนมจีนน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

3.1 หาปริมาณน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรซ์

เติมน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ 30, 40, 50 และ 60 กรัม ลงบนเส้นขนมจีน 30 กรัม ทดสอบการยอมรับลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยให้คะแนนความชอบ 1-9 (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา ลักษณะปรากฏของเส้น และความชอบโดยรวม ผลปรากฏดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ที่ปริมาณน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ต่าง ๆ¹

ปริมาณน้ำยาพาสเจอร์ไรซ์ (กรัม)	ลักษณะปรากฏของน้ำยา	ลักษณะปรากฏของเส้น	ความชอบรวม
30	6.58±0.99 b	6.42±0.90 b	5.83±0.83 c
40	7.83±0.94 a	7.00±0.85 ab	6.25±0.62 c
50	8.16±0.83 a	7.00±0.95 ab	7.25±0.86 b
60	8.16±1.03 a	7.58±1.08 a	8.42±0.79 a

หมายเหตุ¹ คะแนนการทดสอบ 1-9 , 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, 9 คือ ชอบมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ก. ลักษณะปรากฏของน้ำยา

เมื่อเติมน้ำยาป่าปริมาณ 30 กรัม บนเส้นขนมจีน ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา 6.58 ± 0.99 ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเติมน้ำยาป่าปริมาณ 40, 50 และ 60 กรัม บนเส้นขนมจีน ซึ่งได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา คือ 7.83 ± 0.94 , 8.16 ± 0.83 และ 8.16 ± 1.03 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณน้ำยาป่า 40, 50 และ 60 กรัม ได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข. ลักษณะปรากฏของเส้น

เส้นขนมจีนที่มีการเติมน้ำยาป่าปริมาณ 30 กรัม ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเส้น 6.42 ± 0.90 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการเติมน้ำยาป่าปริมาณ 40 และ 50 กรัม ซึ่งได้รับคะแนน 7.00 ± 0.85 และ 7.00 ± 0.95 ตามลำดับ แต่ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเติมน้ำยาป่าปริมาณ 60 กรัม ที่ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเส้น 7.58 ± 1.08 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำยาป่าบนเส้นขนมจีน 40 และ 50 กรัม ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการเติมน้ำยาป่าปริมาณ 60 กรัม

ค. ความชอบรวม

การเติมน้ำยาป่าปริมาณ 30 และ 40 กรัม ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม คือ 5.83 ± 0.83 และ 6.25 ± 0.62 ตามลำดับ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณน้ำยาป่า 50 และ 60 กรัม อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำยาป่า 50 กรัม ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.25 ± 0.86 มีค่าต่ำแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณน้ำยาป่า 60 กรัม ซึ่งได้รับคะแนนความชอบรวม 8.42 ± 0.79

ดังนั้นจึงเลือกปริมาณน้ำยาป่า 60 กรัม เป็นปริมาณน้ำยาป่าที่เหมาะสมในการผลิตเป็นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ต่อไป เนื่องจากให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของน้ำยา ลักษณะปรากฏของเส้น และความชอบรวมสูงที่สุด

3.2 ชนิดของน้ำยาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรซ์

นำน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง และชนิดเข้มข้น มาตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางประสาทสัมผัส ผลปรากฏดังตารางที่ 27 และ 28

3.2.1 สมบัติทางฟิสิกส์

ตารางที่ 27 สมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง และน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น¹

ชนิดของน้ำยาฆ่าเชื้อ	ความชื้น (%)	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	ค่าความเป็นกรด-เบส
น้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง	6.85±0.24	0.42±0.01	4.01±0.14
น้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น	61.62±0.13	0.86±0.03	4.05±0.08

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง มีค่า 6.85±0.24 และ 0.42±0.01 ตามลำดับ ขณะที่น้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้นมีค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 61.62±0.13 และ 0.86±0.03 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียสามารถเจริญเติบโตได้ดีกับน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น แม้ว่าค่าความเป็นกรด-เบสของทั้งน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง และน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ลักษณะอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูง คือ มีค่า 4.01±0.14 และ 4.05±0.08 ตามลำดับ

3.2.2 สมบัติทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 28 สมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง และน้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น¹

ชนิดของน้ำยาฆ่าเชื้อ	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	ความชอบรวม
น้ำยาฆ่าเชื้อชนิดผง	7.68±0.92	7.88±0.32	8.01±0.34	7.73±0.28
น้ำยาฆ่าเชื้อชนิดเข้มข้น	6.12±0.64	4.16±1.58	7.69±0.54	5.92±0.61

หมายเหตุ ¹ คะแนนการทดสอบ 1-9, 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, 9 คือ ชอบมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ลักษณะปรากฏของน้ำยาป่าชนิดผงเมื่อปรับให้มีปริมาณเป็น 60 กรัม พบว่าได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของน้ำยาป่า 7.68 ± 0.92 ขณะที่น้ำยาป่าชนิดเข้มข้นเมื่อปรับให้มีปริมาณเป็น 60 กรัม ได้รับคะแนน คือ 6.12 ± 0.64

คะแนนความชอบด้านสีของน้ำยาป่าเมื่อปรับให้มีปริมาณ 60 กรัม ทั้งน้ำยาป่าชนิดผง และน้ำยาป่าชนิดเข้มข้น ได้รับคะแนน 7.88 ± 0.32 และ 4.16 ± 1.58 ตามลำดับ โดยสีของน้ำยาป่าชนิดเข้มข้นจะมีสีเหลืองคล้ำมาก

คะแนนความชอบด้านรสชาติของน้ำยาป่าชนิดผงเมื่อปรับให้มีปริมาณเป็น 60 กรัม ได้รับคะแนน 8.01 ± 0.34 ใกล้เคียงกับรสชาติของน้ำยาป่าชนิดเข้มข้นซึ่งได้รับคะแนน 7.69 ± 0.54

คะแนนความชอบรวมของน้ำยาป่าชนิดผงเมื่อปรับให้มีปริมาณเป็น 60 กรัม คือ 7.73 ± 0.28 ขณะที่น้ำยาป่าชนิดเข้มข้นเมื่อปรับให้มีปริมาณเป็น 60 กรัม ได้รับคะแนน 5.92 ± 0.61

จากคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของน้ำยาป่า สี รสชาติ และ ความชอบรวมของน้ำยาป่าชนิดผงได้รับคะแนนสูงกว่าน้ำยาป่าชนิดเข้มข้น จึงเลือกน้ำยาป่าชนิดผงในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ต่อไป

4. ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

นำผลิตภัณฑ์ขนมจินที่ผลิตจากสัดส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบปสานเนื้อ เป็น 78.5:17.5:4 น้หนัก 30 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว เติมน้ำยาป่าชนิดผง ปริมาณ 14 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ปิดผนึก พาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที จากนั้นเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัสทางฟิสิกส์ และความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ ผลปรากฏดังนี้

4.1 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการประเมินลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 12 คน ให้คะแนนด้าน สีเครื่องแกง กลิ่นเครื่องแกง ความยืดหยุ่นของเส้น และรสชาติด้านความเปรี้ยว โดยตรวจสอบทุก 2 วัน ในตัวอย่างขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ผลปรากฏดังนี้

ตารางที่ 29 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C¹

เวลา (วัน)	สีเครื่องแกง	กลิ่นเครื่องแกง	ความยืดหยุ่น ของเส้น	รสชาติ (ความเปรี้ยว)
0	9.56±1.33 a	9.87±0.77 a	10.00±2.26 a	9.90±1.14 b
1	9.10±1.23 a	9.83±0.43 a	9.26±0.36 a	10.80±1.34 ab
3	9.50±0.52 a	9.80±0.45 a	9.12±0.13 a	10.29±1.21 ab
5	9.07±0.59 a	9.33±0.25 ab	8.91±0.32 a	10.75±3.07 ab
7	9.35±0.26 a	9.00±0.69 ab	8.87±0.24 a	10.70±0.95 ab
9	9.07±0.19 a	9.15±0.67 ab	8.87±0.25 a	11.63±0.17 ab
11	9.10±0.10 a	9.30±0.17 ab	9.14±0.88 a	11.57±0.21 ab
13	9.20±0.21 a	9.25±0.58 ab	8.91±0.38 a	11.50±0.58 ab
15	9.00±0.17 a	5.01±1.55 b	9.10±0.76 a	13.60±0.39 a

หมายเหตุ¹ คะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย, 15 คือ มาก คำนวณจากผู้ทดสอบจำนวน 12 คน ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละวัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.1 สีเครื่องแกง

จากตารางที่ 29 และ 30 เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ด้วยระดับอุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่ 65°C นาน 30 นาที เป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ได้รับคะแนนด้านสีเครื่องแกง

อยู่ในช่วง 9.00-9.50 และ 9.53-10.12 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ที่ได้รับคะแนน 9.56±1.33

4.1.2 กลิ่นเครื่องแกง

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เป็นเวลานาน 15 วัน และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35 และ 45°ซ ได้รับคะแนนด้านกลิ่นเครื่องแกงน้อยลงเป็น 5.01±1.55 และ 5.57±0.45 ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ที่ได้รับคะแนน 9.87±0.77

4.1.3 ความยืดหยุ่นของเส้น

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เป็นระยะเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°ซ และนาน 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°ซ พบว่าได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นอยู่ในช่วง 8.87-9.26 และ 8.93-9.87 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ที่ได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้น 10.00±2.26

ตารางที่ 30 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ¹

เวลา (วัน)	สีเครื่องแกง	กลิ่นเครื่องแกง	ความยืดหยุ่น ของเส้น	รสชาติ (ความเปรี้ยว)
0	9.56±1.33 a	9.87±0.77 a	10.00±2.26 a	9.90±1.14 b
1	10.12±2.51 a	9.10±2.77 a	9.87±2.35 a	10.90±2.73 b
3	9.53±0.93 a	9.03±1.73 a	8.93±0.47 a	10.75±2.98 b
5	9.73±0.99 a	8.75±0.84 ab	9.07±1.00 a	11.25±0.96 ab
7	9.80±0.95 a	5.57±0.45 b	9.37±1.65 a	12.95±0.95 a

หมายเหตุ¹ คะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย, 15 คือ มาก คำนวณจากผู้ทดสอบจำนวน 12 คน

ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละตัว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

4.1.4 รสชาติด้านความเปรี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ที่อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ คือ 65°C นาน 30 นาที เมื่อเก็บรักษาที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 35°C นาน 15 วัน และอุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C นาน 7 วัน ได้รับคะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวมากขึ้น เป็น 13.60 ± 0.39 และ 12.95 ± 0.95 ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ที่ได้รับคะแนน 9.90 ± 1.14

ดังนั้นระยะเวลา 15 และ 7 วัน ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45°C ตามลำดับ ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย (ผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ในด้านกลิ่น และรสชาติด้านความเปรี้ยว) ดังนั้นอายุการเก็บรักษานาน 13 และ 5 วัน จึงเหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45°C ตามลำดับ

4.2 สมบัติทางฟิสิกส์

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ คือ ค่าความเป็นกรด-เบส วอเตอร์แอกทิวิตี และค่าความแน่นเนื้อ โดยตรวจสอบทุก 2 วัน ในตัวอย่างขมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ คือ 65°C นาน 30 นาที

4.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ขมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C ผลปรากฏดังตารางที่ 31

จากตารางที่ 31 พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ด้วยระดับอุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ 65°C นาน 30 นาที มีผลต่อค่าความเป็นกรด-เบส ของผลิตภัณฑ์ โดยค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งอยู่ในช่วง 2.81-4.02 และเมื่อเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 15 วัน พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสลดลงเป็น 2.81 ± 0.12 แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับค่าความเป็นกรด-เบสในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ที่มีค่า 4.02 ± 0.70 เมื่อเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าอยู่ในช่วง 3.04-4.02 โดยเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ค่าความเป็นกรด-

เบสมีค่าลดลงจาก 4.02 ± 0.70 ในวันเริ่มต้นเป็น 3.04 ± 0.04 เมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน เนื่องจากการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที จุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง

ตารางที่ 31 ค่าความเป็นกรด-เบส และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C ¹

เวลา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-เบส		ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	
	35°C	45°C	35°C	45°C
0	4.02 ± 0.70 a	4.02 ± 0.70 a	0.90 ± 0.01 a	0.90 ± 0.01 a
1	3.92 ± 0.11 a	4.10 ± 0.10 a	0.90 ± 0.02 a	0.91 ± 0.01 a
3	3.85 ± 0.50 a	3.95 ± 0.01 a	0.92 ± 0.01 a	0.90 ± 0.01 a
5	3.69 ± 0.05 a	3.82 ± 0.12 a	0.92 ± 0.01 a	0.90 ± 0.01 a
7	3.41 ± 0.02 ab	3.04 ± 0.04 b	0.92 ± 0.00 a	0.90 ± 0.00 a
9	3.43 ± 0.06 a		0.91 ± 0.01 a	
11	3.38 ± 0.63 ab		0.92 ± 0.01 a	
13	3.60 ± 0.20 a		0.91 ± 0.00 a	
15	2.81 ± 0.12 b		0.91 ± 0.00 a	

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สอดคล้องกับ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ดังตารางที่ 29 และ 30 เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 7 วัน ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C ตามลำดับ พบว่า รสชาติด้านความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น

4.2.2 ค่าวอเตอร์แอกทिवิตีของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C ผลปรากฏดังตารางที่ 31

จากตารางที่ 31 พบว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทिवิตี โดยค่าวอเตอร์แอกทिवิตีของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที มีค่าระหว่าง 0.90-0.92 ซึ่งจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดี (ไพศาล, 2546)

4.2.3 เนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส วิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ ปรากฏผลดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C¹

วันที่	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม)	
	35°C	45°C
0	105.23±2.01 bcd	105.23±20.01 c
1	101.71±27.01cd	111.14±29.40 a
3	112.34±30.42 ab	110.57±29.50 ab
5	102.24±18.79 cd	114.77±8.69 a
7	91.51±10.94 d	108.71±22.59 bc
9	112.27±26.54 ab	
11	110.40±20.99 abc	
13	117.61±28.31 a	
15	95.54±27.17 d	

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 32 พบว่า การเก็บรักษาเส้นขนมจีนนํ้ายาป่าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว พาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°ซ ไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีน โดยเส้นขนมจีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีค่าแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 91.51-117.61 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3 ผลการตรวจสอบความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์

ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในตัวอย่างขนมจีนนํ้ายาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ด้วยระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45°ซ นาน 13 และ 5 วันตามลำดับ ผลปรากฏดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนนํ้ายาป่าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์ที่สภาวะการเก็บรักษาต่าง ๆ

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	65°ซ นาน 30 นาที	
	วันที่ 5	วันที่ 13
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	<100	5×10^5
โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/กรัม)	<3	<3
อี.โคไล (เอ็มพีเอ็น/กรัม)	<3	<3
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
บาซิลลัส ซีเรียส (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
วibriโอ พาราฮีโมไลติคัส (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
ซัลโมเนลลา (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ง

จากตารางที่ 32 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน คือ 5×10^5 โคโลนี/กรัม และหลังเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน คือ น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดดังกล่าวไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนี/กรัม

ปริมาณโคลิฟอร์ม หลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน คือ น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/กรัม ซึ่งปริมาณโคลิฟอร์มดังกล่าวไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ปริมาณอี.โคไล หลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน คือ น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/กรัม โดยปริมาณอี.โคไล ดังกล่าวไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้

ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อสตาฟีโลคอกคัส ออเรียส หลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน โดยปริมาณสตาฟีโลคอกคัส ออเรียส ดังกล่าวไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อบาซิลลัส ซีเรียส หลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน โดยปริมาณบาซิลลัส ซีเรียส ดังกล่าว ไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อคลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ หลังการพาสเจอร์ไรซ์นมจืดนํ้ายาป่าที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ นาน 5 วัน โดยปริมาณปริมาณคลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ดังกล่าว ไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อไวรัสโพรพาร์อีโมไลติกัส หลังการพาสเจอไรซ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C นาน 5 วัน โดยปริมาณเชื้อไวรัสโพรพาร์อีโมไลติกัส ดังกล่าว ไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อซัลโมเนลลา หลังการพาสเจอไรซ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C นาน 5 วัน โดยปริมาณเชื้อซัลโมเนลลา ดังกล่าว ไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

4.4 ผลการคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาทีในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางฟิสิกส์ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเครื่องแกง รสชาติด้านความเปรี้ยว และค่าความเป็นกรด-เบส ในวันที่ 15 และ 7 ตามลำดับ มีคะแนนแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ในวันเริ่มต้น ขณะที่คุณสมบัติด้านสีของเครื่องแกง ความยืดหยุ่นของเส้นข้าวเดอร์แอกทิวิตี และค่าความแน่นเนื้อของเส้นนมจืดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตัวอย่างในวันเริ่มต้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 35°C และ 45°C มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 13 และ 5 วัน ตามลำดับ จากการคำนวณอายุการเก็บรักษาด้วยสมการ Labuza and Schmidl (1985) (ดังแสดงในภาคผนวก จ หน้า 173) พบว่า ผลิตภัณฑ์นมจืดน้ำยาฆ่าเชื้อพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ได้นานอย่างน้อย 251 วัน หรือ อย่างน้อย 8 เดือน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ทางฟิสิกส์ และทางเคมี ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวตัดแปรด้วยวิธีการอบผาสนเนื้อ

1.1 ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผาสนเนื้อ

การตัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผาสนเนื้อ ในอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 นาน 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ปรากฏผลดังนี้

ผลของสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้ค่า อุณหภูมิเริ่มต้น และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลลาทีนในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 69.78 ± 0.06 °ซ และ 10.85 ± 0.13 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผาสนเนื้อ ซึ่งมีค่าในช่วง $70.98-71.82$ °ซ และ $11.42-11.87$ จูลต่อกรัม ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาทีนในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 75.41 ± 0.79 °ซ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผาสนเนื้อ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาทีนในเซชันในช่วง $75.76-77.23$ °ซ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีนในเซชันของ และช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชันแป้งข้าวปกติมีค่า 81.53 ± 0.01 และ 11.75 ± 0.92 °ซ สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผาสนเนื้อซึ่งมีค่า $80.52-80.70$ และ $8.84-9.58$ °ซ อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผาสนเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 นาน 4 ชั่วโมง มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีนในเซชัน ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลลาทีนในเซชัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของสมบัติด้านความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว พบว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 79.33 ± 0.49 °ซ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผาสนเนื้อที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชันในช่วง $81.58-82.68$ °ซ ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลงของแป้งข้าวปกติมีค่า 373.47 ± 4.66 และ 213.66 ± 9.19

อาร์วียู ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่มีค่าในช่วง 289.46-318.68 และ 116.31-165.08 อาร์วียู ตามลำดับ ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และ เซตแบคของแป้งข้าวปกติมีค่า 159.81 ± 7.20 , 346.77 ± 14.54 และ 186.97 ± 4.32 อาร์วียู ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่มีค่าในช่วง 148.14-153.59, 323.69-331.60 และ 173.65-183.45 อาร์วียู ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:6 นาน 4 ชั่วโมง มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และเซตแบค ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นค่าความหนืดลดลงของแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:2 มีค่า 116.31 ± 4.90 อาร์วียู ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ คือ 1:3 ซึ่งมีค่า 145.79 ± 5.08

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55°C ของแป้งข้าวปกติมีค่า 2.35 ± 0.02 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่มีค่ากำลังการพองตัว ในช่วง 2.28-2.34 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ขณะที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°C แป้งข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัว 2.71 ± 0.02 , 7.55 ± 0.10 , 10.27 ± 0.05 และ 14.02 ± 1.99 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวในช่วง 2.60-2.61, 7.33-7.37, 8.79-9.41 และ 10.74-11.27 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ โดยทั้ง 4 ระดับความเข้มข้นมีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 55°C ของแป้งข้าวปกติมีค่าร้อยละ 1.27 ± 0.65 ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อซึ่งมีค่าการละลายในช่วงร้อยละ 1.74-1.87 ขณะที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°C แป้งข้าวปกติมีค่าการละลายร้อยละ 1.89 ± 0.34 , 2.32 ± 0.37 , 2.74 ± 0.34 และ 3.95 ± 0.10 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่มีค่าการละลาย คือ 2.21 ± 0.14 , 2.46 ± 0.21 , 2.85 ± 0.23 และ 3.98 ± 0.38 ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C ตามลำดับ

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า ค่าความแข็งแรงของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 224.18 ± 41.28 กรัม ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าในช่วง 465.94-489.22 กรัม โดยค่าความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 55.27 ± 5.61 กรัม/วินาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็น

ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ที่มีค่า คือ 47.71 ± 9.34 , 48.89 ± 11.71 และ 46.71 ± 5.72 กรัม/วินาที ตามลำดับ แต่สูงกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:6 ที่มีค่า คือ 43.47 ± 8.64 กรัม/วินาที

โดยสรุปเนื่องจากแป้งข้าวคัดแปรด้วยวิธีการอบผสมเนื้อที่อัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 4 ชั่วโมง มีค่าการละลายที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ และมีค่าความหนืดลดลง ต่ำที่สุด และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 และ 1:6 ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำ ที่อัตราส่วน 1:2 เพื่อทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผสมเนื้อต่อไป

1.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการคัดแปรแป้งข้าวด้วยวิธีการอบผสมเนื้อ

เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวปกติกับแป้งข้าวคัดแปรด้วยวิธีการอบผสมเนื้อนาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ฟิสิกส์ และเคมี แตกต่างจากแป้งข้าวปกติ ปรากฏผลดังนี้

1.2.1 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

ผลของสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ได้ค่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 69.72 ± 0.56 , 75.48 ± 0.09 และ $80.86 \pm 0.11^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดท้าย ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันในช่วง $70.93-74.00$, $75.92-77.96$ และ $81.03-81.97^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า $11.14 \pm 0.42^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าในช่วง $7.97-10.59^{\circ}\text{C}$ ขณะที่ค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งข้าวปกติมีค่า 10.85 ± 0.13 จูลต่อกรัม ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าในช่วง $11.54-12.47$ จูลต่อกรัม อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ช่วงอุณหภูมิการเกิด

เจลาทีโนเซชัน และค่าพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลาทีโนเซชัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของสมบัติด้านความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว พบว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวปกติมีค่า $79.36\pm 0.40^{\circ}\text{C}$ และ 148.85 ± 4.66 อาร์วียู ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และค่าความหนืดต่ำสุด $82.17-82.75^{\circ}\text{C}$ และ $178.53-181.45$ อาร์วียู ตามลำดับ ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง และเซตแบคของแป้งข้าวปกติมีค่า 371.72 ± 3.54 , 208.66 ± 10.19 และ 189.63 ± 3.52 อาร์วียู ตามลำดับ สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 24 ชั่วโมง ที่มีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง และเซตแบคในช่วง $291.01-331.97$, $109.55-155.09$ และ $160.98-180.59$ อาร์วียู ตามลำดับ

ผลของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55°C ของแป้งข้าวปกติมีค่า 2.33 ± 0.01 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ที่มีค่าในช่วง $2.32-2.34$ กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ขณะที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95°C แป้งข้าวปกติมีค่ากำลังการพองตัว 2.82 ± 0.02 , 7.53 ± 0.12 , 10.31 ± 0.07 และ 13.92 ± 0.78 กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวในช่วง $2.52-2.71$, $6.99-7.48$, $7.61-8.67$ และ $8.50-12.37$ กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาในการอบผสมเนื้อนาน 4 และ 12 ชั่วโมง มีค่ากำลังการพองตัวในทุกอุณหภูมิสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อนาน 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของค่าการละลายของแป้งข้าวปกติมีค่าร้อยละ 1.24 ± 0.35 , 1.81 ± 0.06 , 1.42 ± 0.36 , 2.32 ± 0.30 และ 4.01 ± 0.11 ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าการละลายในช่วงร้อยละ $1.92-3.44$, $2.10-3.95$, $2.72-3.68$, $3.49-4.45$ และ $4.40-4.63$ ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°C ตามลำดับ

ผลของเนื้อสัมผัสของเจลเมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้ค่าความแข็งแรงของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 248.97 ± 62.25 กรัม ซึ่งต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าในช่วง $311.16-364.85$ กรัม และมีค่าความเหนียวติดกันของเจลจากแป้งข้าวปกติมีค่า 67.83 ± 12.49 กรัม/วินาที สูงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่มีค่าในช่วง $42.05-46.71$ กรัม/วินาที

1.2 สมบัติทางฟิสิกส์

เมื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่องเอ็กซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ได้ค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกของแป้งข้าวปกติมีค่าต่ำ คือร้อยละ 17.05 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อนาน 24 ชั่วโมง ที่มีค่าร้อยละระดับความเป็นผลึกของแป้งข้าวปกติ คือ 17.28

ผลการตรวจสอบรูปร่างของเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วัดขนาดเม็ดสตาร์ชได้ระหว่าง 3-5 ไมโครเมตร เห็นรูปร่างเม็ดสตาร์ชเป็นรูปห้าเหลี่ยมอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ทั้งกลุ่มเล็ก และกลุ่มใหญ่ ที่บริเวณผิวหน้าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเรียบเนียน

ผลของค่าสีเมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี พบว่าค่าความสว่าง (L) ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 97.06 ± 0.04 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวอบผสมเนื้อ ซึ่งมีค่าความสว่างในช่วง $95.39-96.67$ โดยค่าสีเขียว (-a) ของแป้งข้าวปกติมีค่า -0.11 ± 0.01 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ ที่มีค่าสีเขียว -0.10 ถึง -0.13 อย่างไรก็ตาม ค่าสีเหลือง (+b) ของแป้งข้าวปกติ มีค่า 2.92 ± 0.01 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่มีค่าความเป็นสีเหลืองในช่วง $2.98-3.05$

1.3 สมบัติทางเคมี

ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และแอมิโลสของแป้งข้าวปกติมีค่าร้อยละ 6.66 ± 0.01 , 0.12 ± 0.03 , 0.29 ± 0.04 และ 32.53 ± 0.03 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวที่ผ่าน

การอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2 นาน 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และแอมิโลส ในช่วงร้อยละ 6.65-6.68, 0.10-0.15, 0.27-0.30 และ 32.28-32.41 ตามลำดับ

โดยสรุปการอบผสมเนื้อแป้งข้าวด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1:2 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ ขณะที่สมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางเคมีด้านรูปแบบโครงสร้างผลึก รูปร่างของเม็ดสตาร์ช ค่าความสว่าง และค่าสีแดง สมบัติทางเคมี คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวปกติ จึงนำแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อในสภาวะดังกล่าว ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. ผลการหาอัตราส่วนแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

เมื่อเปรียบเทียบสูตรการผลิตขนมจีนแป้งหมักพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อต่าง ๆ สูตร ก คือ 85:15:0 สูตร ข คือ 80:20:0 สูตร ค คือ 78.5:17.5:4 สูตร ง คือ 77:15:8 และสูตร จ คือ 72:20:8 กับเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ ด้านสมบัติทางฟิสิกส์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส ผลปรากฏดังนี้

2.1 สมบัติทางฟิสิกส์

ผลของค่าสีเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดสี ได้ค่าความสว่าง (L) ค่าสีเขียว (-a) และค่าสีเหลือง (+b) ของเส้นขนมจีนปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ มีค่า 59.84 ± 0.44 , -1.11 ± 0.12 และ 6.27 ± 0.21 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อซึ่งมีค่าความสว่าง ค่าสีเขียว และค่าสีแดงในช่วง 59.23-60.49 และ -0.94 ถึง -1.14 ขณะที่ค่าสีเหลือง (+b) ของเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ด้วยระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาทีในสูตร ก และ ข ซึ่งไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) 1.35 ± 0.32 และ 1.41 ± 0.26 ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นขนมจีนพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ค, ง และ จ ซึ่งมีค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 0.74-0.92 อย่างไรก็ดี

ตามเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อทั้ง 3 สูตร มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของเนื้อสัมผัสด้านค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ มีค่า 98.22 ± 6.76 กรัม สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อในสูตร ก และ ข ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ คือ 81.24 ± 3.01 และ 87.77 ± 6.51 กรัม ตามลำดับ และเส้นขนมจินที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อร้อยละ 8 ในสูตร ง ที่มีค่า 83.74 ± 5.59 กรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กันกับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ที่มีการเติมแป้งข้าวอบผสมเนื้อร้อยละ 4 และ 8 ในสูตร ค และ จ ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ คือ 94.62 ± 4.04 และ 90.12 ± 7.45 กรัม ตามลำดับ

2.2 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

ลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของเส้นขนมจินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 11.22 ± 0.72 ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร ก, ข, ง และ จ ที่ได้รับคะแนนในช่วง 10.08-10.97 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ในสูตร ค ที่ได้รับคะแนนด้านความคงตัวของเส้น 11.44 ± 0.51 ขณะที่สีเหลือง กลิ่นหมัก และความนุ่มของเส้นขนมจินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 4.11 \pm 0.45, 10.08 \pm 0.21 และ 10.51 \pm 0.66 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ในสูตร ก, ข, ค, ง และ จ ที่ได้รับคะแนนในช่วง 3.74-4.26, 9.80-9.97 และ 10.37-10.68 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความยืดหยุ่นของเส้นขนมจินปกติที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ในสูตร ฉ ได้รับคะแนน 12.14 \pm 0.68 ซึ่งมีค่าสูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ในสูตร ค ที่ได้รับคะแนนคือ 10.88 \pm 0.92

ดังนั้นเส้นขนมจินหมักที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักฟรีเจลดผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ เป็น 78.5:17.5:4 (สูตร ค) เมื่อพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ให้สมบัติทางฟิสิกส์ และทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากเส้นขนมจินที่ไม่พาสการพาสเจอไรซ์ (สูตร ฉ) จึงนำเส้นขนมจินพาสเจอไรซ์ที่ผลิตจากอัตราส่วนส่วนผสมดังกล่าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวต่อไป

3. ผลการหาสภาวะในการผลิตน้ำยาป่าที่เหมาะสมเพื่อผลิตขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

น้ำยาป่าชนิดผงที่ผลิตจากการปั่นผสมพริกแดง กระเทียม ตะไคร้ ขมิ้น กะปิ และน้ำ 500 มิลลิลิตร. ให้เข้ากัน นาน 15 วินาที ใส่เนื้อปลาลงไปปั่นผสมนาน 15 วินาที เทเครื่องแกงลงหม้อที่มีน้ำต้มเดือด 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด ปรงรสด้วยพริกไทยผง น้ำปลา น้ำตาล รสดีรสไก่ ส้มแขก พอเดือดอีกครั้ง ปิดไฟ ตักน้ำยาใส่ในถาดสเตนเลส อบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 45°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ให้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ ด้านค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 6.85 ± 0.24 และ 0.42 ± 0.01 ตามลำดับ และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวม คือ 7.68 ± 0.92 , 7.88 ± 0.32 , 8.01 ± 0.34 และ 7.73 ± 0.28 ตามลำดับ แตกต่างกันกับน้ำยาป่าชนิดเข้มข้นที่ผลิตได้จากการปั่นผสมพริกแดง กระเทียม ตะไคร้ ขมิ้น กะปิ และน้ำ 200 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน นาน 15 วินาที ใส่เนื้อปลาลงไปปั่นผสมนาน 15 วินาที เทเครื่องแกงลงหม้อที่มีน้ำต้มเดือด 300 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด ปรงรสด้วยพริกไทยผง น้ำปลา น้ำตาล รสดีรสไก่ ส้มแขก พอเดือดอีกครั้ง ปิดไฟ ซึ่งให้ลักษณะทางฟิสิกส์ ด้านค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 61.62 ± 0.13 และ 0.86 ± 0.03 ตามลำดับ และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวม คือ 6.12 ± 0.64 , 4.16 ± 1.58 , 7.69 ± 0.54 และ 5.92 ± 0.61 ตามลำดับ

ดังนั้นจึงเลือกน้ำยาป่าชนิดผง เพื่อมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ต่อไป

4. ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

ผลิตภัณฑ์ขนมจินน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ เป็น 78.5:17.5:4 หนัก 30 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวเติมน้ำยาป่าชนิดผงปริมาณ 14 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ปิดผนึก พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัส ทางฟิสิกส์ และความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ เมื่อการเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°ซ นาน 13 วัน และที่ 45°ซ นาน 5 วัน ดังนี้

4.1 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

สีของเครื่องแกง และความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีนในผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ได้รับคะแนน 9.56±1.33 และ 10.00±2.26 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ซึ่งได้รับคะแนนด้านสีของเครื่องแกง 9.00±0.17 และ 9.80±0.95 ตามลำดับ และได้รับคะแนนด้านความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีน 9.10±0.76 และ 9.37±1.65 ตามลำดับ กลิ่นของเครื่องแกงผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ได้รับคะแนน 9.87±0.77 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ซึ่งได้รับคะแนน 5.01±1.55 และ 5.57±0.45 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 13 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 5 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ที่ได้รับคะแนน 9.25±0.58 และ 8.75±0.84 ตามลำดับ รสชาติด้านความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) ได้รับคะแนน 9.90±1.14 ต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ซึ่งได้รับคะแนน 13.60±0.39 และ 12.95±0.95 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 13 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 5 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ที่ได้รับคะแนน 11.50±0.58 และ 11.25±0.96 ตามลำดับ

4.2 สมบัติทางฟิสิกส์

ผลของค่าความเป็นกรด-เบสในผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่า 4.02±0.70 สูงกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ซึ่งมีค่า 2.81±0.12 และ 3.04±0.04 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 13 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และ 5 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ที่มีค่าความเป็นกรด-เบส คือ 3.60±0.20 และ 3.82±0.12 ตามลำดับ

ผลของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่า 0.90 ± 0.01 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C โดยมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 0.91 ± 0.00 และเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี คือ 0.90 ± 0.00

ผลของเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสมีค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนในวันเริ่มต้น (วันที่ 0) คือ 105.23 ± 2.01 กรัม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 15 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 35°C และเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 45°C ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อ 95.54 ± 27.17 และ 108.71 ± 22.59 กรัม ตามลำดับ

4.3 ผลการตรวจสอบความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์

ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ขนมจีนน้ำยาป่าที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 13 วัน คือ 5×10^5 โคโลนี/กรัม และหลังเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C นาน 5 วัน คือ น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม และตรวจพบโคลิฟอร์ม และอี.โคไล ในผลิตภัณฑ์หลังการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 13 วัน และอุณหภูมิ 45°C นาน 5 วัน คือ น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/กรัม อย่างไรก็ตาม ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อสตาฟีโลคอกคัส ออเรียส, บาซิลลัส ซีเรียส, ครอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส และซัลโมเนลลา หลังการพาสเจอร์ไรซ์ขนมจีนน้ำยาป่า และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35°C นาน 13 วัน และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C นาน 5 วัน ซึ่งปริมาณเชื่อดังกล่าวไม่เกินปริมาณที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ดังนั้น อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส คือ 13 และ 5 วันตามลำดับ จากผลการคำนวณอายุการเก็บรักษา โดยเทคนิคการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากสภาวะเร่ง (Q10) สามารถคาดคะเนอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C องศาเซลเซียส ได้อย่างน้อยประมาณ 251 วัน หรืออย่างน้อย 8 เดือน

โดยสรุปการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมจีนน้ำยาป่าพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวสามารถผลิตได้จากการผสมแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรีเจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ ในอัตราส่วน 78.5:17.5:4 นวดผสมนาน 15 นาที โดยมีการเติมน้ำจำนวน 120 มล. ระหว่างการนวดผสม เมื่อครบเวลาที่กำหนด ตักใส่กระบอกรอยเส้น รอยเส้นในน้ำเดือดอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นลอยขึ้น ตักเส้นขนมจีนลงในน้ำเย็น จับเส้นขนมจีนเป็นจับ จับละ 15 กรัม ทิ้งไว้วัน 4 ชั่วโมงก่อนบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวจำนวน 30 กรัม เติมน้ำยาป่าชนิดจำนวน 14 กรัม น้ำหนักแห้งปิดผนึก พาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้อย่างน้อยประมาณ 251 วัน หรืออย่างน้อย 8 เดือน

ข้อเสนอแนะ

1. จากสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ฟิสิกส์ และทางเคมีของของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ พบว่า สามารถนำแป้งข้าวอบผสมเนื้อนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการทนความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาหารเส้นพาสเจอไรซ์อื่น ๆ เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ หรือบะหมี่
2. จากสมบัติด้านความเหนียว พบว่า ค่าเซตแบคของแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อ มีสมบัติในการคงทนต่อการแช่เยือกแข็งได้ ดังนั้นแป้งข้าวอบผสมเนื้อนี้อาจสามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งได้
3. ควรทดลองผลิตแป้งข้าวอบผสมเนื้อด้วยการนำน้ำแป้งหลังจากไม่ข้าวเข้ากับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการอบผสมเนื้อด้วยเครื่องโม่แบบเปียก แล้วจึงอบผสมเนื้อต่อทันทีโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมจากผลงานวิจัยนี้ ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตแป้งข้าวอบผสมเนื้อได้รวดเร็วยิ่งขึ้น
4. ผลิตภัณฑ์ขนมจีนหมักในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอไรซ์สามารถประยุกต์ใช้กับน้ำยาแกงชนิดอื่น ๆ ได้เช่นกัน คือ น้ำยากะปิ แกงเขียวหวานไก่ หรือน้ำเงี้ยว เป็นต้น อย่างไรก็ตามก่อนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอไรซ์ควรทำการปรับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำยาแกงต่าง ๆ ให้มีค่าต่ำกว่า 4.6

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2547. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร และภาชนะ และผู้สัมผัสอาหารของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.** แหล่งที่มา:
<http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/food/files/news/new45food.>, 13 มิถุนายน 2548
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** ครั้งที่ 3.
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ,
 น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและ
 ยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรม มารวย
 การ์เดน ถ. พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ
 โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย, กรุงเทพฯ
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. ขนมจีน. **วารสารอาหาร** 15 (3): 123-129.
- ทนง ภัครัชพันธุ์. 2546. การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน, น. 137-153. ใน คณาจารย์ภาควิชา
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, ผู้รวบรวม. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.**
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทวีศักดิ์ เกษปทุม. 2547. **ขนมจีน.** สำนักพิมพ์แม่บ้านจำกัด, กรุงเทพฯ.
- น้ำฝน ลำดับวงศ์. 2547. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวและกระบวนการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพ
 และเคมีของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว, น 371-378. ใน **การประชุม
 วิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
 บางเขน, กรุงเทพฯ.

น้ำฝน สีตะจิตต์. 2548. การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าว และข้าวหนึ่งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงหุงสุกแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรนาม. 2543. ขนมจีน น้ำแกงอ้อย . ครั้ว 6 (69).

พัชรี โสธนาสมบูรณ์, อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, มาลี สุวรรณอัคร์, ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์ และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของข้าวหักที่ใช้ในการทำขนมจีน, น. 357-364. ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กระทรวงวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี และการพลังงาน, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยาริ. 2546. การวางแผนการทดลองขั้นสูง. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ไพศาล วุฒิจำนง. 2546. โครงการอบรมหลักสูตรการประเมินการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภควัฒน์ เดชชีวะ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวในระหว่างกระบวนการหมักขนมจีน, น. 387-394. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2540. เอกสารคำสอน การประเมินอายุการเก็บของอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลลนา ยังประสิทธิ์พร. 2532. การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีนในขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ. 2543. วัสดุและรูปแบบของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว, น. ๗1-18. ใน เอกสาร
ประกอบการอบรมเรื่อง Retort pouch for low acid canned food . ณ โรงแรมมารวย
 การ์เดน ถ. พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 29-30 กรกฎาคม 2543. มหาวิทยาลัย
 เกษตรศาสตร์ และภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, กรุงเทพฯ.
- วิไล รังสาตทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล
 พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ศันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลลิตินในเซซันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแปงัดแปร
 สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. มอก. 1073-2535.
- สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2545. กรรมวิธีการผลิตขนมจีนแห้งกึ่งสำเร็จรูป. สิทธิบัตรไทย เลขที่อนุ-
 สิทธิบัตร 880
- สุภรัตน์ ชวนะ, พัชรี ตั้งตระกูล, อรอนงค์ นัยวิกุล, มาลี สุวรรณอัคร์, ลาวัณย์ ไกรเดช,
 ปราโมทย์ ศิริโรจน์ และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทาง
 เคมีของแป้งขนมจีนในกระบวนการผลิต, น. 417 – 425. ใน รายงานผลการวิจัยในการ
ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร).
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์,
 กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- สุภาวดี แซ่ม และปรีศนา สุวรรณภรณ์. 2549. ผลของการ Annealing ต่อสมบัติทางกายภาพของ
 แป้งข้าวแอมิโลสสูง, น. 249-256. ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย
 เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
 กรุงเทพฯ.

สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. 2543. วิธีการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว, น. จ1-11. ใน **Retort pouch for low acid canned food** . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, กรุงเทพฯ.

อดิสร เสวตวิวัฒน์. 2538. เอกสารประกอบการสอนวิชา **จุลชีววิทยาอาหาร เล่ม 2**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

อนุวัตร แจ่มชัด. 2545. เอกสารคำสอน **สถิติและการวางแผนการตลาด**สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพรรณ กัลปนาบุตร. 2547. **การปรับปรุงคุณภาพกัวยเตี่ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท**ผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. **เคมีทางสัตววิทยา**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ จิตนา แจ่มเมฆ, สีนินาถ จริยโชติเลิศ และลลิตา ยังประสิทธิ์พร. 2533. การผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น:ขนมจีน. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์**. 24: 502-509.

_____ สุภรัตน์ ชวนะ, พัชรี โสธนาสมบูรณ์, มาลี สุวรรณอัคร์, ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์ และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของขนมจีนในกระบวนการผลิต, น. 375-384. ใน **รายงานผลการวิจัยในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการพลังงาน, กรุงเทพฯ.

_____ 2545. **กรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวสำเร็จรูปในภาชนะชนิดอ่อนตัว**. สិทธิบัตรไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 867

- _____ 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Adebowale, K.O., T.A. Afolabi and B.I. Olu-Owolabi. 2005. Hydrothermal treatments of finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**. 19: 1-10.
- American Association of Cereal Chemists. 2000. **Approved methods of the AACC 10th ed** . The Association St. Pual, Mn.
- Association of Official Analytical Chemistry. 2000. **Official method of analysis**. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Biliaderis, C.G. 1998. Structure and phase transitions of starch polymers, pp. 57-141. *In* R.H. Walter, ed. **Polysaccharide Association in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Brautlecht, C.A. 1953. **Starch its Sources, Production and Used**. Reinhold publishing Corporation, New York.
- Chang, S.M. and L.C. Lui. 1991. Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugars, NaCl and lipid. **J. Food Sci**. 56: 564-570.
- Champagne, E.T. 1996. Rice starch composition and characteristics. **Cereal Food World**. 41 (11): 833-838.
- Chiang, P.Y. and A.I. Yeh. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. **J. of Cereal Sci**. 35: 85-94.
- Doublier, J.L. 1981. Rheology studies on starch-flow behavior of wheat starch paste. **Starch/Stärke**. 33: 415-420.

- Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects, pp. 431-503. *In* A.C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Godber, I.S. and B.O. Juliano. 2004. Rice lipid, pp 163-190. *In* E.T. Champagne, 3rd Ed. **Rice: Chemistry and Technology**. The American Association Cereal Chemists, Inc., St. Pual, Minnesota.
- Godet, M.C., V. Tran and M.M. Delagw. 1993. Molecular modeling of the specific interactions in amylose complexation by fatty acids. **Int. J. Biol. Macromolecules** 15: 11-16. Cited Z. Zhou, K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002. Review composition and functional properties of rice. **Int. J. Food. Sci. Tech.** 37: 849-868.
- Gunaratne, A. and R. Hoover. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**. 49: 425-437.
- Harwalker, V.R. and C.Y. Ma. 1990. **Thermal Analysis of Foods**. Elsevier Applied Science, London.
- HisakaFood & Chemical Machinery Division. 2001a. **Retort pouch**. Available Source: <http://www.hisaka.co.ap/english/empi-shokukao-10-3.html>, December 4, 2003.
- HisakaFood & Chemical Machinery Division. 2001b. **Pouch and flexible plastic**. Available Source: <http://www.hisaka.co.ap/english/empi-shokukao-10-5.html>, December 4, 2003.
- Hoover, R., G. Swamidas and T. Vasanthan. 1994. The flow properties of native, heat-moisture treatment, and annealed starches from wheat, oat, potato and lentil. **J. Food Biochem.** 18: 67-82.

- Horndok, R. and Noomhorm, A. 2007. Hydrothermal treatment of rice starch for improvement of rice noodle quality. **LWT-Food Science and Technology**. (xx):xx-xx
- Hoseney, R.C. 1998. Gelatinization phenomena of starch, pp. 45-110. *In* M.A. Rac and R.W. Hartel, eds. **Phase/State Transition in Foods**. Marcel Dekker. Inc., New York.
- Hsu, C.L., W. Chen, Y.M. Weng and C.Y. Tseng. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. **Food Chem**. 83: 85-92.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review . **J. Agr. Food Chem**. 46: 2895-2905.
- _____ R.C. Eerlingen., W. Clauwaert and J.A. Delcour. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chem**. 72 (5): 480-487.
- Jackson, E. 1992. **Recommendations for the production and distribution of juice in Canada: Heat treatment and pasteurization**. Available Source: [http:// www.fapc.okstate.edu](http://www.fapc.okstate.edu), Jan 15, 2005
- Jane E.J., Y.Y. Chen., L.F. Lee., A.E. McPherson., K.S. Wong., M. Radosavljevic and T. Kasemsuwan. 1999. Effect of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chem**. 76: 629-637.
- Juliano, B.O. 1985. **Rice: Chemistry and Technology**. 2nd ed. The American Association Cereal Chemists, Inc., St. Pual, Minnesota.
- _____ 1972. The rice caryopsis and it's composition, pp. 16 -72. *In* D. F. Houston, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. AACC, St. Paul, MN.

- _____ 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Sci. Today**. 16 (10): 334-360.
- Kerr, R.W. 1950. **Chemistry and Industry of Starch**. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Kitahara, K., T. Tanaka, T. Suganuma and T. Nagahama. 1997. Release of bound lipids in cereal starches upon hydrolysis by glucoamylase. **Cereal Chem.** 74: 1-6.
- Knigh, J.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press, London.
- Labuza, T.P. and M.K. Schmidl. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Tech.** 39 (9): 57-62.
- Larsson, I. and A.C. Eliasson. 1991. Annealing of starch at an intermediate water content. **Starch/Stärke**. 43: 227-231.
- Lii, C.Y., M.L. Tsai and K.H. Tseng. 1995. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal Chem.** 73: 415-420.
- Lim, S.T., J.H. Lee, D.H. Shin and H.S. Lim. 1999. Comparison of protein extraction solution for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. **Starch/Stärke**. 51: 120-125.
- Lu, S., L.N. Chen and C.Y. Lii. 1996. Gel-chromatography fraction and thermal characterization of rice starch affected by hydrothermal treatment. **Cereal Chem.** 73: 5-11.
- Luh, B.S. and Y.K. Liu. 1980. Canning, freezing and freeze-drying, pp. 1-31. *In* B.S. Luh, ed. **Commercial Vegetable Processing**. AVI, Van Nostrand Reinhold, New York.

- Marshall, W.E., F.L. Normand and W.R. Goynes. 1990. Effect of Lipid and protein removal on starch gelatinisation in whole grain milled rice. **Cereal Chem.** 67: 458-463.
- Seow, C.C and C.H. Teo. 1993. Annealing of granular rice starches-interpretation of the effect on phase transitions associated with gelatinization. **Starch/Stärke.** 43 (10): 345-351.
- Shih, F.F. 2004. Rice protein. pp 143-162. *In* E.T. Champagne, 3rd Ed. **Rice: Chemistry and Technology.** The American Association Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Stute, R. 1992. Hydrothermal modification of starch: The difference between annealing and heat-moisture treatment. **Starch/Stärke.** 44: 205-214.
- Tester, R. and S.J. Debon. 2002. Annealing of starch. **Int. J. of Biological Macromolecules.** 27: 1-12.
- Valentina, I. K., V. K. Alexei., F. Jozef., B. Wioletta., J. Tomasz and P.Y. Vladimir. 2005. Annealing of normal and mutant wheat starches LM, SEM, DSC, and SAXS studies. **Carbohydrate Research.** 340: 75-83.
- Waduge, R.N., R. Hoover., T. Vasanthan., J. Gao and J. Li. 2006. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylase content. **Food Research International.** 39: 59-77.
- Whistler, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.** 2nd ed. Eagan Press, Minnesota.
- _____ and J.R. Deniel. 1984. Molecular structure of starch, pp. 153-178. *In* R.L. Whistler., J.N. Bemiller and E.F. Phaschall, ed. **Starch: Chemistry and Technology 2nd.** Academic Press, Florida.

Yamamoto, A. and K. Shirakawa. 1999. Annealing of long-term stored rice grains improves gelatinization properties. **Cereal Chem.** 76(5): 646-649.

Yuan, R.C. and D.B. Thompson. 1998. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and calorimetry. **Cereal Chem.** 75 (4): 571-573

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ฟิสิกส์ และเคมี ของแป้งข้าว

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้ง

1. การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (ดัดแปลงจาก Seow and Teo, 1993)

ซึ่งตัวอย่าง 7 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง: ทศนิยม 5 ตำแหน่ง) ในถาดอะลูมิเนียมขนาดใหญ่ (aluminium pan) เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water) ให้ตัวอย่างมีความชื้นเป็นร้อยละ 70 ของน้ำหนัก ปิดฝาให้สนิท ปรับสมดุลโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จึงใส่ตัวอย่างในเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ด้านซ้ายมือ และใส่ถาดอะลูมิเนียมเปล่าทางด้านขวามือ ให้ความร้อนกับตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิ 30°C ถึง 150°C ด้วยอัตราเร็ว 10°C ต่อนาที ให้ความเย็นกับตัวอย่างเพื่อลดอุณหภูมิจาก 150°C ถึง 30°C ด้วยอัตราเร็ว 10°C ต่อนาทีเช่นกัน วัดค่าพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลลาทิไนซ์ของตัวอย่าง

2. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) (ดัดแปลงจาก Jacobs and Delcour, 1998)

ซึ่งตัวอย่างหนัก 3.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง: ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 25 มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำที่แท้จริงคำนวณจากตัวอย่าง) ใส่ลงในกระบอกอะลูมิเนียม (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 14) ใช้ใบพัดกวนให้ตัวอย่างกระจายอย่างรวดเร็ว นำเข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว

$$\text{ปริมาณแป้ง} \quad S = \frac{88 \times 3.5}{100-M}$$

$$\text{ปริมาณน้ำ} \quad W = 25 + (3.5-S)$$

โดย S = น้ำหนักตัวอย่างแป้งที่ความชื้นร้อยละ 14

W = น้ำหนักน้ำที่แท้จริง

M = ปริมาณความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่างแป้ง

สภาวะการตรวจสอบ

อุณหภูมิเริ่มต้น	50 องศาเซลเซียส	นาน 2.0 นาที
อุณหภูมิ	50-95 องศาเซลเซียส	นาน 3.0 นาที
อุณหภูมิ	95 องศาเซลเซียส	นาน 7.0 นาที
อุณหภูมิ	95-50 องศาเซลเซียส	นาน 3.0 นาที
อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	นาน 5.0 นาที
		<u>รวมเวลานาน 20.00 นาที</u>

บันทึกอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (though) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) และค่าเซตแบค (setback)

3. ค่ากำลังการพองตัว และค่าการละลาย (ตัดแปลงจาก Doublier, 1981)

ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 18 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95°ซ ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า นาน 30 นาที นำหลอดไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,200 รอบ/นาที นาน 10 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยอะลูมิเนียมอบแห้ง ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักส่วนที่ละลายออกมา และชั่งน้ำหนักตะกอนแป้งที่เหลือในหลอดทดลอง

$$\text{กำลังการพองตัว (กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแป้ง}}{\text{น้ำหนักแป้งแห้ง}}$$

$$\text{การละลาย (ร้อยละของน้ำหนักแป้งแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายออกมา}}{\text{น้ำหนักแป้งแห้ง}} \times 100$$

4. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเจล ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (ดัดแปลงจาก Yuan and Thompson, 1998)

เตรียมตัวอย่างเจลโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำ 90 กรัม คนให้เข้ากัน ให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 95°C นาน 40 นาที โดย 10 นาทีแรกทำการกวนตลอดเวลา แล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกาทิ้งไว้ นาน 30 นาที คูดตัวอย่างเจลขณะร้อน 30 มิลลิกรัม ลงในกระบอกฟิล์ม ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จึงนำตัวอย่างเจลไปวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยหัววัดทรงกระบอก (cylinder probe)

สภาวะการตรวจสอบ

Mode : Measure Force in Compression
 Option : Return to Start
 Pre-Test Speed : 0.5 mm/s
 Test : 0.5 mm/s
 Post : 10 mm/s
 Distance : 60%
 Trigger Type : Auto 3-g
 Data Acquisition Rate : 400 pps

บันทึกค่า ความแข็งแรง (max force) และ ค่าความเหนียวติดกัน

การตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

1. การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช ด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (ดัดแปลงจาก น้ำฝน, 2548)

นำตัวอย่างแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื่อ บรรจุลงในอุปกรณ์สำหรับบรรจุตัวอย่างโดยเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ นำเข้าเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ด้วยสภาวะทดสอบ คือ ความต่างศักย์ 30 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนที่มุมหักเหช่วง 3.00 ถึง 40.00 องศา ด้วยอัตราเร็ว 1.2 องศาต่อนาที บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และคำนวณค่าร้อยละของความเป็นผลึก (relative crystallinity)

$$\text{ค่าร้อยละความเป็นผลึก} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีค}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \times 100$$

2. การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดสตาร์ช ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ดัดแปลงจาก น้ำฝน, 2548)

นำตัวอย่างแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื่อ ที่ร้อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช อบแห้งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 วางกระจายบนเทปกาวสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่นวางตัวอย่าง นำแท่นวางเข้าเครื่องเคลือบทองเพื่อช่วยในการนำประจุอิเล็กตรอน ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยายที่ 1,500 3,500 และ 10,000 เท่า

การตรวจสอบปฏิกิริยาเคมี

1. ปริมาณแอมโมเนีย (Juliano, 1971)

สารเคมี

- เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์แมล
- กรดแอสติก 1 นอร์แมล
- สารละลายไอโอดีน (ละลายไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ใน น้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร)
- สตาร์ชข้าวโพดบริสุทธิ์

วิธีวิเคราะห์

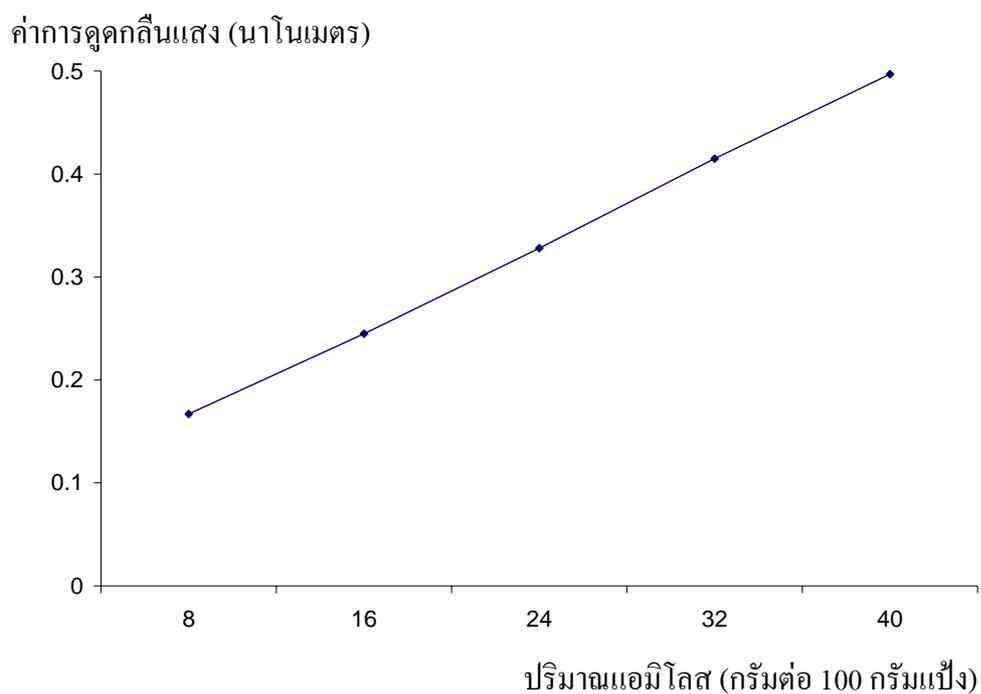
ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง: ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ในขวด (mask) ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อให้ตัวอย่างกระจาย ระวังอย่าให้ตัวอย่างขึ้นมาเกาะตามผนังขวด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 9 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90°ซ นาน 10 นาที ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายที่ได้ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติก 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบลนด์ วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบลนด์เท่ากับศูนย์

เตรียมกราฟมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยชั่งแอมโมเนียบริสุทธิ์ 0.04 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อให้ตัวอย่างกระจาย ระวังอย่าให้ตัวอย่างขึ้นมาเกาะตามผนังขวด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 9 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90°ซ นาน 10 นาที ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร

ใส่ในขวดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสซิติค 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณแอมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม หรือ แอมิโลสบริสุทธิ์ คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสง เปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเป็นปริมาณแอมิโลส โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.1 กรัม เทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของแอมิโลสต่อแป้งข้าว 100 กรัม

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส

ปริมาณสารละลายมาตรฐาน แอมิโลส (มิลลิลิตร)	น้ำหนักแอมิโลส กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 620 นาโนเมตร
1	8	0.167
2	16	0.245
3	24	0.328
4	32	0.415
5	40	0.497



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานปริมาณแอมิโลส

$$\text{สมการเส้นตรง } Y = 0.083X + 0.0814$$

$$R^2 = 0.9997$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

X = ปริมาณแอมิโลส (กรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าว)

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบสมบัติของเส้นขนนเงิน

การตรวจสอบสมบัติของเส้นขนมจีน

1. การตรวจสอบรูปร่างของเส้นขนมจีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ดัดแปลงจาก น้ำฝน, 2548)

นำตัวอย่างเส้นขนมจีนสดแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที ก่อนนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด (tray dry) ที่อุณหภูมิ 45°C นาน 8 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเส้นขนมจีนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 วางตัวอย่างเส้นขนมจีนยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตรบนเทปกาวสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่นวางตัวอย่าง นำแท่นวางเข้าเครื่องเคลื่อนที่เพื่อช่วยในการนำประจุอิเล็กตรอน ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 60 เท่า

2. ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

วัดเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) ซึ่งทำจากพลาสติก มีหน้าตัดแบน กว้าง 1 มิลลิเมตร วางตัวอย่างเส้นขนมจีนกลางแท่นวางตัวอย่างซึ่งเป็นพลาสติก ทำการวัดโดยให้หัววัดตัดลงบนตัวอย่างด้วยแรงคงที่ 10 นิวตัน เป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงตัวอย่าง มีการตั้งค่าวัดดังนี้

สภาวะการตรวจสอบ

Mode	: Measure Force in Compression
Option	: Return to Start
Pre-Test Speed	: 0.2 mm/s
Test	: 0.2 mm/s
Post	: 10.0 mm/s
Distance	: 40%
Trigger Type	: Auto (10g)
Data Acquisition Rate	: 400 pps.

บันทึกค่าแรงสูงสุด (maximum cutting force) เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการตัดตัวอย่างของหัววัดด้วยอัตราเร็ว 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีหน่วยเป็นกรัม

3. ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอกทिवิตี (ตามคู่มือการใช้เครื่อง)

3.1 เลียบปลั๊ก และกดปุ่มเปิดเครื่อง รอจนหน้าจอหลักปรากฏ ตั้งค่าเพื่อการวัด คือ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทिवิตี และเวลาที่ต้องการให้เครื่องอ่านค่า

3.2 ปรับเครื่องให้อยู่ในสภาพใช้งาน โดยนำตลับซิลิกาเจลมาวางลงในช่องวางตัวอย่างของเครื่องวัดวอเตอร์แอกทिवิตี รอจนเกิดสถานะสมดุล โดยค่าที่อ่านได้จากเครื่องไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.3 สุ่มตัวอย่างเส้นขนมจลิน 5 กรัม หักเป็นท่อนเล็ก ๆ ใส่ลงในภาชนะบรรจุสำหรับวัดค่าวอเตอร์แอกทिवิตีประมาณ 2 ใน 3 ของความสูงของตลับตัวอย่าง

3.4 เปิดฝาเครื่อง วางภาชนะบรรจุที่ใส่ตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่าง กดปุ่มเพื่อทำการวัดทำการวัดเป็นเวลาประมาณ 20-30 นาที จนเกิดสถานะสมดุลที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ คือ 25 องศาเซลเซียส สังเกตลูกศรจะชี้ขึ้นลงตามค่าวอเตอร์แอกทिवิตี รอจนกระทั่งค่าคงที่ แล้วอ่านค่าจากเครื่อง ซึ่งเป็นค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) นำไปคำนวณหาค่า วอเตอร์แอกทिवิตี ดังสมการ

$$\text{ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี} = \frac{\text{ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์}}{100}$$

100

3.5 นำตัวอย่างออกจากเครื่อง ก่อนทำการวัดครั้งต่อไป ควรใส่ตลับซิลิกาเจลทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้เกิดสถานะสมดุล

ภาคผนวก ค
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบที่ 1 ปริมาณแป้งข้าวคั่วแปรด้วยวิธีการอบสาคเนื้อที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนหมักพาสเจอร์ไรซ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาสั้นขนมจีนพร้อมบริโภคที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ชั้น
ชื่อ วันที่.....

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้ และประเมินปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ โดยทำเครื่องหมาย (I) ลงบนเส้นตามที่
ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวแทนลักษณะนั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

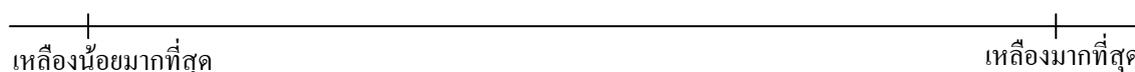
1. ลักษณะปรากฏ

ความคงตัว



2. สี

สีเหลือง



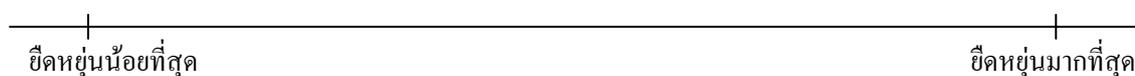
3. กลิ่น

กลิ่นหมัก

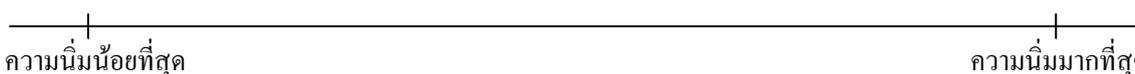


4. เนื้อสัมผัส

ความยืดหยุ่นของเส้น



ความนุ่มของเส้น



แบบทดสอบที่ 2 ปริมาณน้ำยาป่าที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมจีน

ผลิตภัณฑ์ ขนมหินน้ำยาป่า

ผู้ทดสอบ

วันที่

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบ

5 = เฉย ๆ

4 = ไม่ชอบ

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

1. ลักษณะปรากฏของน้ำยา

2. ลักษณะปรากฏของเส้น

3. ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ

แบบทดสอบที่ 3 ชนิดของน้ำยาป่าที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมจิ้นน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ใน
บรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

ผลิตภัณฑ์ น้ำยาป่า

ผู้ทดสอบ วันที่

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับ
ความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดย

9 = ชอบมากที่สุด	8 = ชอบมาก	7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบ	5 = เฉย ๆ	4 = ไม่ชอบ
3 = ไม่ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

- | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. ลักษณะปรากฏของน้ำยาป่า | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 2. สีของน้ำยาป่า | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 3. รสชาติของน้ำยาป่า | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 4. ความชอบโดยรวม | ..... | ..... | ..... | ..... |

ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ

ภาคผนวก ง
การตรวจสอบทางจูลินทรีย์

การตรวจสอบทางจุลินทรีย์

1. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.23 (C)

ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3} ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากความเข้มข้น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อความเข้มข้นละ 2 จาน เทตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count Agar ที่มีอุณหภูมิ ประมาณ 45 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 10-15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน (pour plate) ตั้งทิ้งไว้ให้แข็ง กลับจานเพาะเชื้อก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 32 หรือ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อ หากค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

2. โคลิฟอร์ม (Coliform) ตามวิธี Most Probable Number Technique (MPN) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.24

2.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3}

2.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงใน LSTB ซึ่งมีหลอดดักก๊าซ ความเข้มข้นละ 3 หลอด นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซเทียบกับตาราง MPN

2.3 นำหลอดที่ให้ก๊าซถ่ายเชื้อลงใน BGGBL ซึ่งมีหลอดดักก๊าซ บ่มต่อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นานอีก 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซเทียบกับตาราง MPN

3. อี.โคไล (*E. Coli*) ตามวิธี Most Probable Number Technique (MPN) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 966.24

3.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3}

3.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงใน LSTB ซึ่งมีหลอดดักก๊าซ ความเข้มข้นละ 3 หลอด นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซเทียบกับตาราง MPN

3.3 นำหลอดที่ให้ก๊าซถ่ายเชื้อลงใน EC broth บ่มที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซเทียบกับตาราง MPN

3.4 ถ่ายเชื้อจากหลอดที่ให้ก๊าซ โดยการเขี่ยเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ EMB บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หากเป็น อี.โคไล ลักษณะโคโลนีที่เกิดขึ้นจะเป็นสีม่วงเข้ม และผิวสีเขียวเป็นเงาโลหะมัน

4. สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 975.55

4.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} และ 10^{-2}

4.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ BP (Baird Paker Medium) แล้วทำการ Spread plate จนหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง กลับจานเพาะเชื้อก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 - องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

4.3 เลือกลโคโลนีสีดำ เป็นมันนูน รอบโคโลนีที่บ มีบริเวณใสรอบนอก ใส่งใน Brain Heart Infusion 0.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

4.4 เพาะเชื้อต่อใน Rabbit plasma บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

4.5 นับจำนวน โคโลนีที่เกิดขึ้น

5. บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 980.31

5.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} และ 10^{-2}

5.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MYP แล้วทำการ Spread plate จนหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง กลับจานเพาะเชื้อก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

5.3 นับจำนวนโคโลนีสีชมพู หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

6. ครอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.30

6.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1}

6.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSC + egg yolk แล้วทำการ Spread plate จนหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง กลับจานเพาะเชื้อก่อนบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ในสภาพไร้อากาศ

6.3 นับจำนวนโคโลนีสีเหลือง หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

7. วิบริโอ พาราฮีโมไลติกัส (*V. Parahaemolyticus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.25

7.1 ผสมตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม กับ PDW-salt 225 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3}

7.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงใน Salt Polymyxin Broth ความเข้มข้นละ 3 หลอด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

7.3 ถ่ายเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวก (มีความขุ่นเกิดขึ้น) ลงใน TCBS บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

7.4 นับจำนวนโคโลนีสีเขียว หรือสีน้ำเงิน หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

8. ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000) ข้อ 976.25 และ 967.27

8.1 เตรียมตัวอย่างอาหาร 25 กรัมใส่ลงในภาชนะปิดที่ปลอดเชื้อ เติม TSB 225 มิลลิลิตร เขย่าหรือปั่นให้ตัวอย่างอาหารกระจายในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8.2 ปิเปตเชื้อจาก TSB ลงในหลอดทดสอบที่มีอาหารเพาะเชื้อ TTB และ SCB หลอดละ 1 มิลลิลิตร นำหลอดทั้งหมดไปบ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8.3 เขี่ยเพาะเชื้อจากหลอด TTB และ SCB ลงบนอาหารแข็งเพาะเลี้ยงเชื้อ SS และ XLD agar คร่าว์งานและบ่มงานเพาะเชื้อทั้งหมดในตู้บ่มอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8.4 นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น หากค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

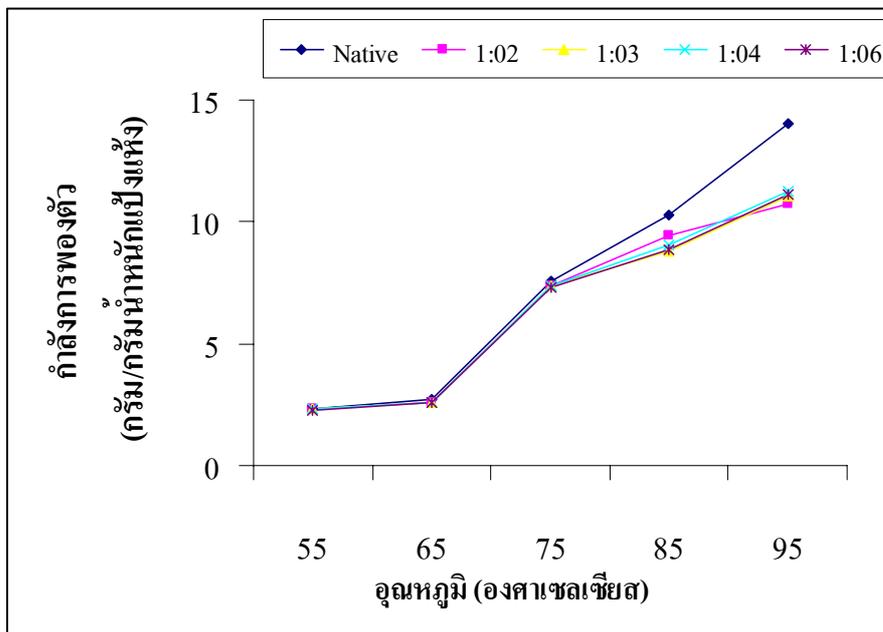
9. แบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก (*Lactic Acid Bacteria*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2000)

9.1 ผสมตัวอย่างนมจืด 25 กรัม กับ PBS 225 มิลลิลิตร เข็องางให้ได้เป็นความเข้มข้น 10^{-1} และ 10^{-2}

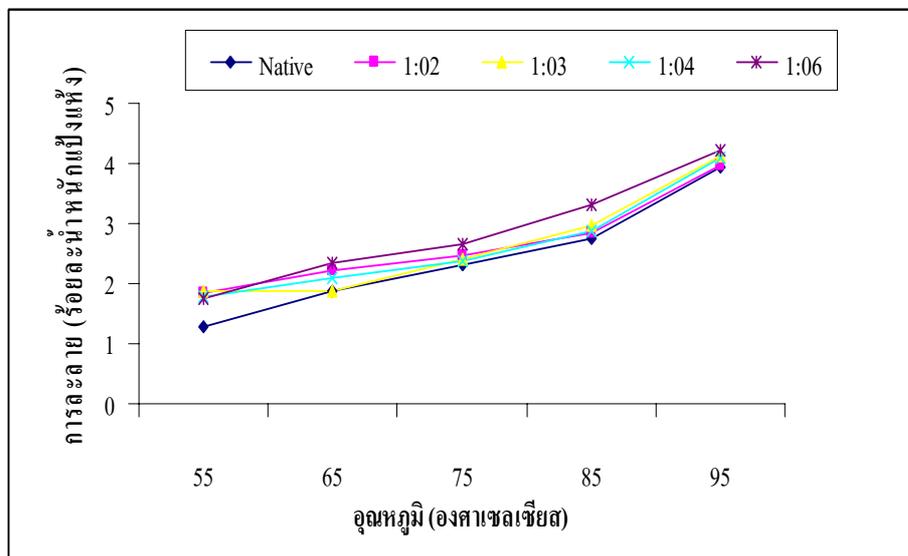
9.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงบนงานเพาะเชื้อ เททับด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร ทำการ pour plate ทิ้งให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว แล้วเท MRS ที่ผิวหน้าบาง ๆ อีกครั้ง บ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

9.3 นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น หากค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัม (colony forming unit/g, CFU/g)

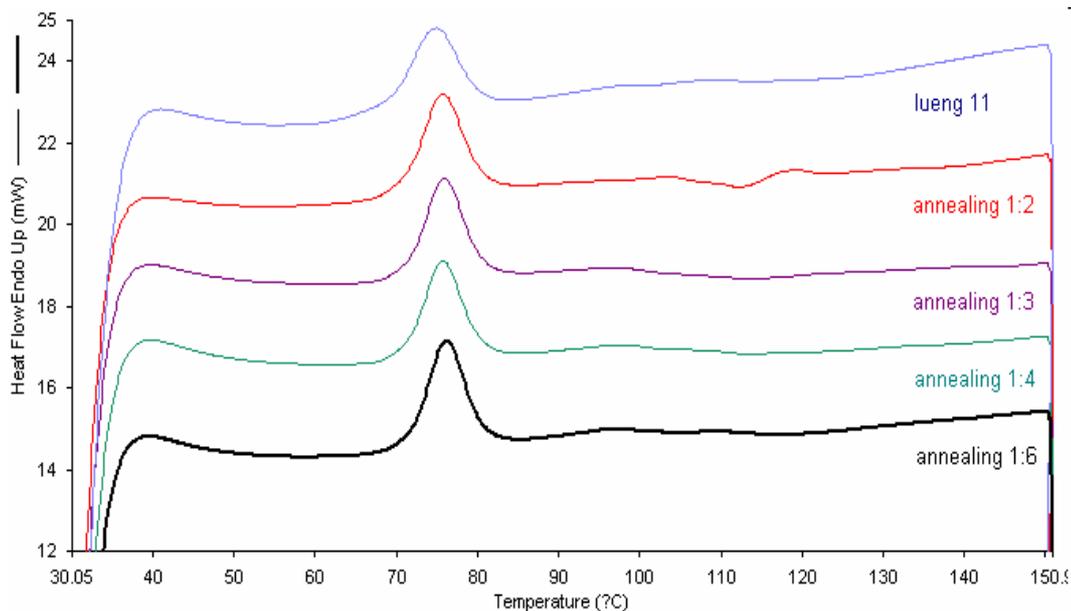
ภาคผนวก จ
ผลการทดลองเพิ่มเติม



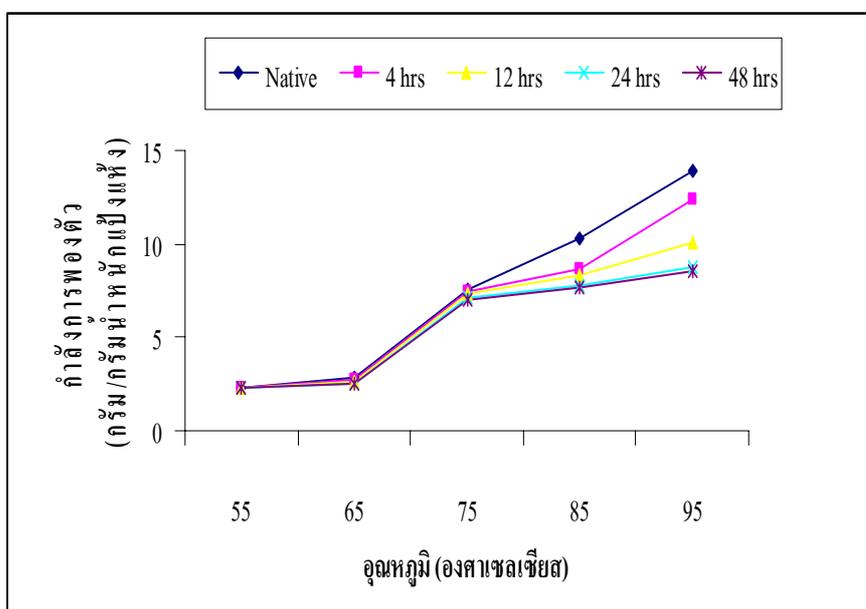
ภาพผนวกที่ จ1 กราฟกำลังการงอกตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ



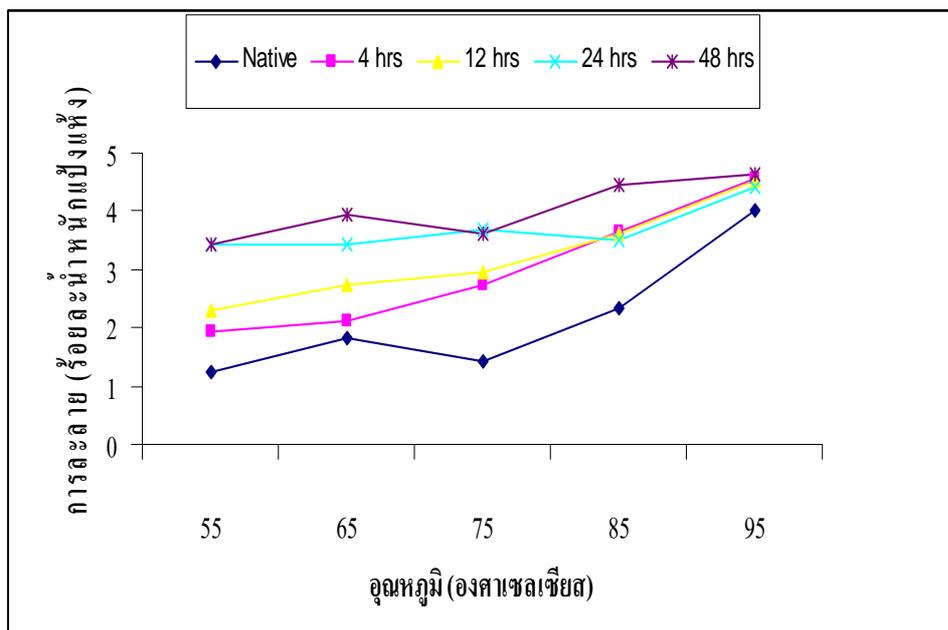
ภาพผนวกที่ จ2 กราฟการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°ซ



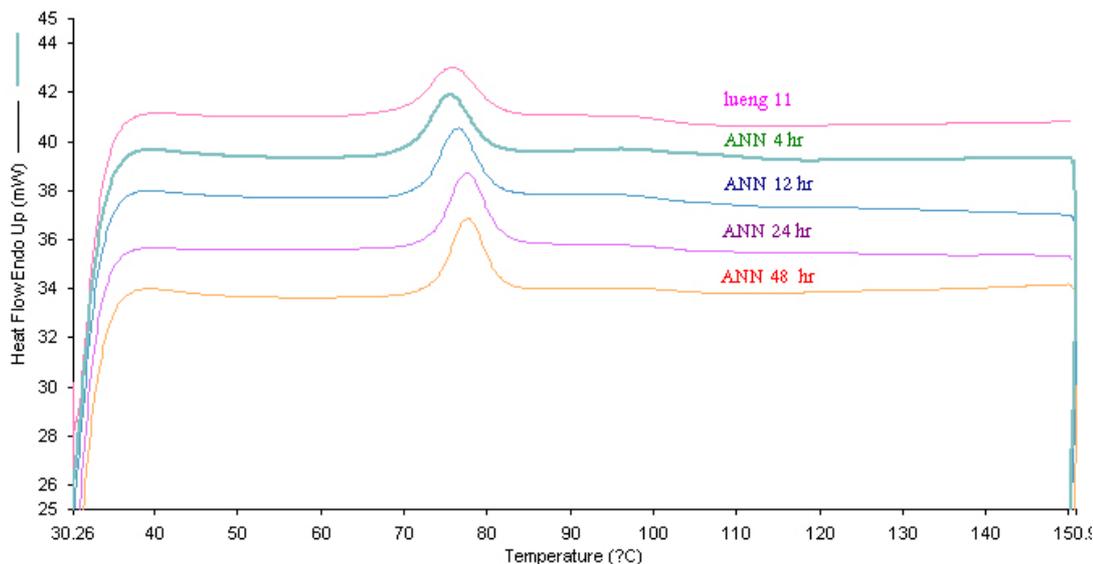
ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C



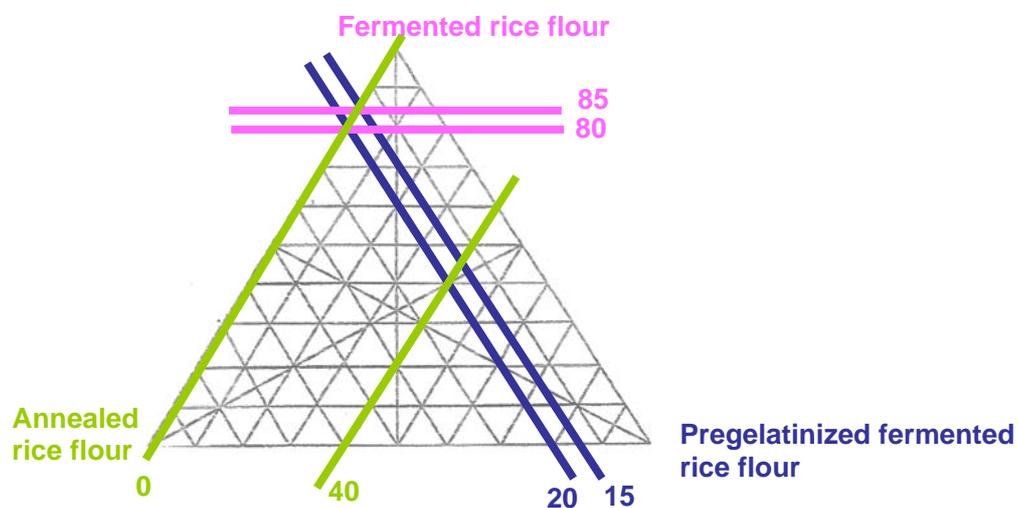
ภาพผนวกที่ 4 กราฟกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผานเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°C



ภาพผนวกที่ ๖5 กราฟการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°ซ



ภาพผนวกที่ ๖6 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ผ่านอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนแป้งข้าว:น้ำ เป็น 1:2 ที่อุณหภูมิ 55°ซ เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์



ภาพผนวกที่ ๗ การวางแผนการทดลองการหาอัตราส่วนแป้งข้าวหมักผง:แป้งข้าวหมักพรี-
 เจลผง:แป้งข้าวอบผสมเนื้อ โดยใช้ mixture design

การคำนวณค่า Q_{10} ผลิตภัณฑ์ขนมจึนน้ำยาป่าพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที

$$\begin{aligned}
 Q_{10} &= \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส}} \\
 &= \frac{13 \text{ วัน}}{5 \text{ วัน}} \\
 &= 2.6
 \end{aligned}$$

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

$$Q_{10}^{\Delta_{10}} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส}}$$

$$2.6^{(35-4)/10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส}}{13 \text{ วัน}}$$

$$\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส} = 251 \text{ วัน}$$

ภาคผนวก จ
ผลการทดลองทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วย เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และ แป้งข้าวอบผสานเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
Onset temperature					
Sample	4	5.669	1.417	10.605	0.021
Block	1	0.034	0.034	0.252	0.642
Error	4	0.535	0.134		
Total	9				
Peak temperature					
Sample	4	3.875	0.969	2.333	0.216
Block	1	0.048	0.048	0.115	0.752
Error	4	1.661	0.415		
Total	9				
Conclude temperature					
Sample	4	1.397	0.349	11.812	0.017
Block	1	0.006	0.006	0.195	0.682
Error	4	0.118	0.030		
Total	9				
Tc-To					
Sample	4	11.747	2.937	12.219	0.016
Block	1	0.795	0.795	3.309	0.143
Error	4	0.961	0.240		
Total	9				
ΔH					
Sample	4	1.461	0.365	21.069	0.006
Block	1	0.139	0.139	8.030	0.047
Error	4	0.069	0.017		
Total	9				

ตารางผนวกที่ ๒ การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด เมื่อวัดด้วย
เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
Peak viscosity					
Sample	4	27572.098	6893.024	11.456	0.000
Block	5	3510.451	702.090	1.167	0.360
Error	20	12034.150	601.708		
Total	29				
Through					
Sample	4	514.500	128.625	1.495	0.241
Block	5	423.637	84.727	0.985	0.451
Error	20	1721.001	86.050		
Total	29				
Breakdown					
Sample	4	30372.820	7593.205	11.147	0.000
Block	5	5415.628	1083.126	1.590	0.208
Error	20	13623.937	681.197		
Total	29				
Final viscosity					
Sample	4	2050.440	512.610	1.521	0.234
Block	5	1878.113	375.623	1.114	0.384
Error	20	6742.168	337.108		
Total	29				
Set back					
Sample	4	919.258	229.814	1.421	0.263
Block	5	549.945	109.981	0.680	0.644
Error	20	3235.292	161.765		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๒ การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด เมื่อวัดด้วย เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (ต่อ)

Gelatinization temperature					
Sample	4	40.320	10.080	9.050	0.000
Block	5	6.527	1.305	1.172	0.357
Error	20	22.275	1.114		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๓ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้ง ข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
55°ซ					
Sample	4	0.022	0.001	1.599	0.213
Block	5	0.036	0.007	2.036	0.117
Error	20	0.124	0.004		
Total	29				
65°ซ					
Sample	4	0.045	0.011	5.104	0.005
Block	5	0.005	0.001	0.469	0.795
Error	20	0.044	0.002		
Total	29				
75°ซ					
Sample	4	0.194	0.048	15.616	0.000
Block	5	0.012	0.002	0.765	0.586
Error	20	0.062	0.003		
Total	29				

85°ซ					
Sample	4	8.937	2.234	10.978	0.000
Block	5	1.431	0.286	1.406	0.265
Error	20	4.070	0.204		
Total	29				
95°ซ					
Sample	4	42.908	10.727	2.595	0.008
Block	5	30.732	6.146	1.487	0.238
Error	20	82.682	4.134		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๓ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบ
ผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
55°ซ					
Sample	4	1.441	0.360	3.242	0.033
Block	5	0.288	0.058	0.519	0.759
Error	20	0.222	0.111		
Total	29				
65°ซ					
Sample	4	0.985	0.246	1.954	0.141
Block	5	0.458	0.092	0.726	0.612
Error	20	2.520	0.126		
Total	29				
75°ซ					
Sample	4	0.712	0.178	3.686	0.021
Block	5	0.215	0.043	0.890	0.507
Error	20	0.966	0.048		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๓ ๔ (ต่อ)

85°ซ					
Sample	4	3.938	0.985	8.136	0.000
Block	5	0.784	0.157	1.295	0.308
Error	20	2.420	0.121		
Total	29				
95°ซ					
Sample	4	7.128	0.615	7.633	0.230
Block	5	0.273	0.431	1.435	0.108
Error	20	8.117	0.112		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๓ ๕ การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของ
 เจลจากแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา
 4 ชั่วโมง

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ค่าความแข็งแรง					
Sample	4	523266.103	130816.526	87.115	0.000
Block	9	9533.550	1059.283	0.705	0.700
Error	36	54059.556	1501.654		
Total	49				
ความเหนียวติดกัน					
Sample	4	750.430	187.607	2.309	0.077
Block	9	345.383	38.376	0.472	0.883
Error	36	2924.460	81.235		
Total	49				

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความร้อนเมื่อวัดด้วย เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ของแป้งข้าวปกติ และ แป้งข้าวอบผสานเนื้อเป็นเวลาต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
Onset temperature					
Sample	4	23.750	5.937	57.168	0.001
Block	1	0.006	0.006	0.055	0.825
Error	4	0.415	0.104		
Total	9				
Peak temperature					
Sample	4	9.361	2.346	11.508	0.018
Block	1	0.071	0.071	0.347	0.587
Error	4	0.813	0.203		
Total	9				
Conclude temperature					
Sample	4	2.548	0.637	4.505	0.007
Block	1	0.000	0.000	0.000	1.000
Error	4	0.566	0.141		
Total	9				
Tc-To					
Sample	4	18.671	4.668	33.425	0.002
Block	1	0.342	0.342	2.451	0.193
Error	4	0.559	0.140		
Total	9				
ΔH					
Sample	4	2.960	0.740	2.729	0.000
Block	1	0.030	0.030	0.112	0.755
Error	4	1.085	0.271		
Total	9				

ตารางผนวกที่ ๗ การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด เมื่อวัดด้วย
เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อ
เป็นเวลาต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
Peak viscosity					
Sample	4	25584.947	6396.237	133.703	0.000
Block	5	127.264	25.453	0.532	0.749
Error	20	956.782	47.839		
Total	29				
Throgh					
Sample	4	3058.753	764.688	12.342	0.000
Block	5	67.909	13.582	0.219	0.950
Error	20	1239.149	86.050		
Total	29				
Breakdown					
Sample	4	41985.890	10496.472	148.796	0.000
Block	5	188.187	37.637	0.534	0.748
Error	20	1410.849	70.542		
Total	29				
Final viscosity					
Sample	4	4256.524	1064.131	10.907	0.000
Block	5	321.970	64.394	0.660	0.658
Error	20	1951.192	97.560		
Total	29				
Set back					
Sample	4	6505.822	1626.456	105.364	0.000
Block	5	56.694	11.339	0.735	0.606
Error	20	308.732	15.437		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

Gelatinization temperature					
Sample	4	32.130	8.032	17.545	0.000
Block	5	3.669	0.734	1.603	0.205
Error	20	9.156	0.458		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๘ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นเวลาต่างๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
55°ซ					
Sample	4	0.052	0.013	15.307	0.236
Block	5	0.003	0.001	0.813	0.554
Error	20	0.017	0.001		
Total	29				
65°ซ					
Sample	4	0.339	0.085	66.545	0.000
Block	5	0.004	0.001	0.700	0.630
Error	20	0.025	0.001		
Total	29				
75°ซ					
Sample	4	2.258	0.564	68.812	0.000
Block	5	0.037	0.007	0.903	0.498
Error	20	0.164	0.008		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๘ (ต่อ)

85°ซ					
Sample	4	28.784	7.196	379.572	0.000
Block	5	0.043	0.009	0.450	0.808
Error	20	0.379	0.019		
Total	29				
95°ซ					
Sample	4	136.342	34.086	43.581	0.000
Block	5	4.478	0.896	1.145	0.370
Error	20	15.643	0.782		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๙ การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการละลายของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบ
ผสมเนื้อเป็นเวลาต่างๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
55°ซ					
Sample	4	21.640	5.410	25.078	0.000
Block	5	0.325	0.065	0.301	0.906
Error	20	4.315	0.216		
Total	29				
65°ซ					
Sample	4	18.214	4.553	194.244	0.000
Block	5	0.321	0.064	2.741	0.048
Error	20	0.469	0.023		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑ (ต่อ)

75°ซ					
Sample	4	7.934	1.983	18.129	0.000
Block	5	0.636	0.127	1.163	0.362
Error	20	2.188	0.109		
Total	29				
85°ซ					
Sample	4	8.292	2.073	5.984	0.002
Block	5	2.819	0.564	1.628	0.199
Error	20	6.928	0.346		
Total	29				
95°ซ					
Sample	4	1.795	0.449	2.670	0.012
Block	5	0.260	0.052	0.309	0.902
Error	20	3.361	0.168		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๐ การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรง และความเหนียวติดกันของ
เจลจากแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวอบผสมเนื้อเป็นเวลา ต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ค่าความแข็งแรง					
Sample	4	131266.732	32816.683	14.527	0.000
Block	9	28005.059	3111.673	1.377	0.234
Error	36	81321.778	2258.938		
Total	49				
ความเหนียวติดกัน					
Sample	4	1368.325	342.081	9.376	0.000
Block	9	323.458	35.940	0.985	0.469
Error	36	1313.419	36.484		
Total	49				

ตารางผนวกที่ ๑๑ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวปกติ และแป้งข้าวที่ผ่านการอบผสมเนื้อด้วยอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1:2

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
L					
Sample	4	581.233	145.308	231.931	0.000
Block	5	11.933	1.085	1.732	0.098
Error	20	27.567	0.627		
Total	29				
A					
Sample	4	7.767	9.442	4.980	0.000
Block	5	4.600	0.418	0.909	0.539
Error	20	0.233	0.460		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

b					
Sample	4	3.567	8.392	0.847	0.000
Block	5	2.850	0.259	0.748	0.687
Error	20	5.233	0.346		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๒ การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวปกติ และ แป้งข้าวที่ผ่านการอบผสานเนื้อด้วยอัตราส่วน แป้งข้าวค่อน้ำ เป็น 1:2

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความชื้น					
Sample	4	27.614	31.757	61.710	0.350
Block	5	4.533	0.235	1.000	0.162
Error	20	10.246	0.145		
Total	29				
โปรตีน					
Sample	4	8.267	2.067	7.237	0.066
Block	5	2.983	0.271	0.923	0.528
Error	20	2.933	0.294		
Total	29				
เถ้า					
Sample	4	0.657	1.917	1.708	0.108
Block	5	0.013	0.203	0.010	0.048
Error	20	0.323	0.035		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๒ (ต่อ)

ไวมัน					
Sample	4	37.100	9.275	6.050	0.468
Block	5	4.400	0.400	1.743	0.095
Error	20	0.100	0.230		
Total	29				
แอมิโลส					
Sample	4	27.667	31.917	61.710	0.098
Block	5	2.583	0.235	1.000	0.462
Error	20	10.333	0.235		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๓ การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเส้นขนมนเงินที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักฟรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
L					
Sample	4	93.839	23.460	12.161	0.108
Block	5	22.356	4.471	2.318	0.082
Error	20	38.582	1.929		
Total	29				
a					
Sample	4	0.522	0.131	7.320	0.001
Block	5	0.564	0.113	6.326	0.001
Error	20	0.357	0.018		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๓ (ต่อ)

b					
Sample	4	6.961	1.740	47.859	0.323
Block	5	0.477	0.095	2.625	0.056
Error	20	0.727	0.036		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑๔ การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเส้นขนมนมจืดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่างๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
L					
Sample	4	152.201	38.050	11.682	0.370
Block	5	48.083	9.617	2.952	0.037
Error	20	65.145	3.257		
Total	29				
a					
Sample	4	0.383	0.096	0.315	0.865
Block	5	0.882	0.176	0.580	0.715
Error	20	6.082	0.304		
Total	29				
b					
Sample	4	9.110	2.278	8.797	0.000
Block	5	2.809	0.562	2.170	0.099
Error	20	5.178	0.259		
Total	29				

ตารางผนวกที่ ๑ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°ซ นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ค่าความแน่นเนื้อ					
Sample	9	812.114	90.235	18.805	0.000
Block	5	2067.513	413.503	4.104	0.001
Error	45	989.487	21.989		
Total	59				

ตารางผนวกที่ ๑ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเส้นขนมจีนปกติ และเส้นขนมจีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°ซ นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้งหมักผง:แป้งหมักพรีเจลผง:แป้งอบผสมเนื้อต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ค่าความแน่นเนื้อ					
Sample	9	191.743	21.305	61.720	0.000
Block	5	9591.642	1918.328	0.685	0.718
Error	45	1398.657	31.081		
Total	59				

ตารางผนวกที่ ๑๗ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน
ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้ง
หมักผง:แป้งหมักฟรีเจลดผง:แป้งอบผสมานเนื้อต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ลักษณะปรากฏ					
Sample	4	12.181	3.045	12.666	0.000
Block	11	11.189	1.017	4.230	0.000
Error	44	10.579	0.240		
Total	59				
สี					
Sample	4	2.467	0.617	1.795	0.147
Block	11	4.326	0.393	1.145	0.352
Error	44	15.113	0.343		
Total	59				
กลิ่น					
Sample	4	2.470	0.618	1.280	0.289
Block	11	212.074	26.509	54.953	0.000
Error	44	15.442	0.484		
Total	59				
ความยืดหยุ่นของเส้น					
Sample	4	1.211	0.303	0.809	0.526
Block	11	11.326	1.030	2.753	0.008
Error	44	16.457	0.374		
Total	59				
ความนิ่มของเส้น					
Sample	4	0.877	0.219	0.196	0.939
Block	11	22.701	2.064	1.846	0.075
Error	44	49.179	1.118		
Total	59				

ตารางผนวกที่ จ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน
ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 85°C นาน 1 นาที ด้วยอัตราส่วนแป้ง
หมักผง:แป้งหมักพรีเจลดผง:แป้งอบผสมานเนื้อต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ลักษณะปรากฏ					
Sample	4	3.856	0.964	1.632	0.190
Block	11	57.042	7.130	12.072	0.000
Error	44	18.900	0.591		
Total	59				
กลิ่น					
Sample	4	3.706	0.926	0.898	0.477
Block	11	250.867	31.358	30.384	0.000
Error	44	33.026	1.032		
Total	59				
ความยืดหยุ่นของเส้น					
Sample	4	2.470	0.926	1.280	0.298
Block	11	212.074	31.358	54.935	0.000
Error	44	33.026	1.032		
Total	59				
สี					
Sample	4	2.670	0.667	1.092	0.377
Block	11	31.787	3.973	6.498	0.000
Error	44	19.566	0.611		
Total	59				
ความนิ่มของเส้น					
Sample	4	4.704	1.176	1.576	0.204
Block	11	110.835	13.854	18.570	0.000
Error	44	23.872	0.746		
Total	59				

ตารางผนวกที่ ๑๙ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
ขนมจีนน้ำยาป่าที่ปริมาณน้ำยาต่าง ๆ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ลักษณะปรากฏของน้ำยา					
Sample	3	20.396	6.799	10.036	0.000
Block	24	17.562	1.597	2.357	0.028
Error	72	22.354	0.677		
Total	99				
ลักษณะปรากฏของเส้น					
Sample	3	8.167	2.722	3.171	0.037
Block	24	11.500	1.045	1.218	0.314
Error	72	28.333	0.859		
Total	99				
ความชอบโดยรวม					
Sample	4	47.729	15.910	24.976	0.000
Block	24	6.062	0.551	0.865	0.581
Error	72	21.021	0.637		
Total	99				

ตารางผนวกที่ ๒๐ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน
พาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะเร่ง
อุณหภูมิ 35 °ซ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
สีเครื่องแกง					
Sample	8	16.581	0.290	0.04	0.885
Block	11	4.261	0.146	0.078	0.514
Error	88	5.831	0.015		
Total	107				

ตารางผนวกที่ ๒๐ (ต่อ)

กลิ่นเครื่องแกง					
Sample	8	2.538	0.363	0.424	0.000
Block	11	8.266	0.751	0.878	0.565
Error	88	65.873	0.855		
Total	107				
ความขี้ดหยุ่นของเส้น					
Sample	8	5.880	0.840	1.149	0.342
Block	11	5.751	0.523	0.715	0.720
Error	88	56.283	0.731		
Total	107				
รสชาติ					
Sample	8	181.193	25.885	34.394	0.000
Block	11	4.394	0.399	0.531	0.877
Error	88	57.950	0.753		
Total	107				

ตารางผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน
 ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาใน
 สภาวะเร่งอุณหภูมิ 45 °ซ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
สีเครื่องแกง					
Sample	4	9.491	2.373	0.474	0.755
Block	11	99.686	9.062	1.810	0.081
Error	44	220.337	5.008		
Total	59				
กลิ่นเครื่องแกง					
Sample	4	77.788	19.447	19.640	0.000
Block	11	2.963	0.269	0.272	0.988
Error	44	43.568	0.990		
Total	59				
ความยืดหยุ่นของเส้น					
Sample	4	4.755	1.189	0.821	0.519
Block	11	31.453	2.859	1.974	0.055
Error	44	63.745	1.449		
Total	59				
รสชาติ					
Sample	4	50.453	12.613	3.643	0.012
Block	11	57.386	5.217	1.507	0.163
Error	44	152.347	3.462		
Total	59				

ตารางผนวกที่ จ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นกรด-เบสของขนมจีนน้ำยาป่าใน
บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษา
ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
35 °ซ					
Sample	8	3.212	0.401	3.695	0.013
Block	2	0.190	0.095	0.876	0.435
Error	16	1.738	0.109		
Total	26				
45 °ซ					
Sample	4	2.241	0.560	4.808	0.028
Block	2	0.135	0.068	0.580	0.582
Error	8	0.932	0.117		
Total	14				

ตารางผนวกที่ จ 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าวอเตอร์แอกทีวิตีของขนมจีนน้ำยาป่าในบรรจุ
ภัณฑ์อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาใน
สภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
35 °ซ					
Sample	8	0.001	0.000	0.160	0.201
Block	2	0.000	0.000	0.128	0.305
Error	16	0.002	0.000		
Total	26				
45 °ซ					
Sample	4	0.000	0.000	1.306	0.346
Block	2	0.00001	6.6×10^{-6}	0.088	0.922
Error	8	0.001	8.16×10^{-5}		
Total	14				

ตารางผนวกที่ ๓ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแรงสูงสุดของขมจินน้ำยาป่าในบรรจุภัณฑ์
อ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 65 °ซ นาน 30 นาที เก็บรักษาในสภาวะ
เร่งอุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ

Source	Degree of Freedom (df)	Type III of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
35 °ซ					
Sample	8	7335.80	916.975	7.676	0.000
Block	9	38319.809	4257.757	35.642	0.000
Error	72	8600.984	119.458		
Total	89				
45 °ซ					
Sample	4	4003.937	1000.984	6.208	0.001
Block	9	18690.147	2076.683	12.879	0.000
Error	36	5804.638	161.240		
Total	49				

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกิตติญาณ์ เชี่ยวเชิงคำ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 18 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	ชัยนาท
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร (เกียรตินิยม) คณะวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	1. การเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เรื่อง การดัดแปรแป้ง ข้าวด้วยวิธีการอบผานเนื้อเพื่อพัฒนาในผลิตภัณฑ์ ขนมจีน ในการประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรม เกษตร ครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 2. การเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง Effect of Annealing on the Thermal Properties and Starch Granules Morphology of Rice Flour ใน Starch Update 2005: The 3 rd Conference on Starch Technology, November 4-5, 2005
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ปีงบประมาณ 49-50)