



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเตอริไลเซชันและการประยุกต์ใน
ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่

**DEVELOPMENT OF RICE NOODLES FOR STERILISATION
AND APPLICATION IN CHICKEN STIR-FIRED NOODLES**

นางสาวโสภิตา สืบวงษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเตอริไลเซชันและการประยุกต์ในก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่

Development of Rice Noodles for Sterilisation and Application in Chicken Stir-Fired Noodles

นามผู้วิจัย นางสาวโสภิตา สืบวงษา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์อนุกุล วัฒนสุข, Ph.D.)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเตอริไลเซชันและการประยุกต์ในก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่

Development of Rice Noodles for Sterilisation and Application in Chicken Stir-Fired Noodles

โดย

นางสาวโสภิตา สืบวงษา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การอาหาร)

พ.ศ. 2550

โสภิตา สืบวงษา 2550: การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเทอร์ไลเซชันและการประยุกต์ใน
ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์
การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ประชานกรรมการที่ปรึกษา:
อาจารย์อนุกุล วัฒนสุข, Ph.D. 165 หน้า

ก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋องและรีทอร์ทแพจ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการสเทอร์ไลเซชัน ซึ่งเส้น
ก๋วยเตี๋ยวที่ได้อาจมีเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในงานวิจัยนี้ จึงทดลองนำสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบ
พันธะข้าม (สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร หรือสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร) มาผสมลงในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพื่อ
ปรับปรุงเส้นให้ทนต่อสภาวะการสเทอร์ไลซ์ จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความ
หนืดแบบรวดเร็ว พบว่า สตาร์ชตัดแปรทนต่อความร้อนได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เมื่อตรวจสอบลักษณะ
เม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 95 °ซ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า เม็ดสตาร์ชตัดแปร ยังคงรูปร่างไว้ได้เป็น
ส่วนมาก ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าผสมสตาร์ชตัดแปร พบว่า ค่าความหนืดลดลง
มีค่าน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว แสดงว่า น้ำแป้งที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทนต่อความร้อนได้ดี
ขึ้น ในการศึกษาอิทธิพลของการลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวต่อค่าความแน่นแข็งของเส้นหลังการสเทอร์ไลซ์ที่อุณหภูมิ
121 °ซ นาน 15 นาที พบว่า การลวกเส้น 3 นาที และ 5 นาที ทำให้ความชื้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวก่อนการสเทอร์ไลซ์
มีค่าเพิ่มขึ้น และมากกว่าการลวกเส้น 1 นาที ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ค่าแรงกดของเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการ
สเทอร์ไลซ์มีค่าลดลง ส่วนผลการผสมสตาร์ชตัดแปรต่อความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า การผสมสตาร์ช
ตัดแปร ช่วยทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ยกเว้นการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณ
ร้อยละ 6 ที่มีความแน่นแข็งไม่ต่างจากเส้นจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว ($p > 0.05$) ส่วนการทดสอบ
ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา พบว่า เส้นที่ลวก 3 นาที และ 5 นาที มีคะแนนความขาว ความแน่นแข็ง
ความเหนียว และความยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิฆ่าเชื้อ พบว่า การสเทอร์ไลซ์ที่
อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 18 นาที ($F_0 = 8.44$ นาที) มีแนวโน้มค่าความแน่นแข็งมากกว่าที่ 116 °ซ นาน 30 นาที
($F_0 = 7.31$ นาที) เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส ปรากฏว่า เส้นหลังสเทอร์ไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 °ซ ทุกตัวอย่าง มี
คะแนนความขาว ความเหนียว และความยืดหยุ่นมากกว่าเส้นที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 หลังสเทอร์ไลซ์
ที่อุณหภูมิ 116 °ซ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ใน
ปริมาณร้อยละ 3 นำมาลวก 3 นาที เพื่อผลิตก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุในกระป๋อง และภาชนะบรรจุแบบแพจ แล้ว
สเทอร์ไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 °ซ พบว่า การให้ความร้อนแก่ภาชนะบรรจุแบบแพจ ใช้เวลาน้อยกว่าเป็นครั้งหนึ่ง
ของกระป๋อง เมื่อ F_0 มีค่าใกล้เคียงกัน ($F_0 = 7.6$ นาที และ 7.4 นาที ตามลำดับ) เมื่อทดสอบทางด้านจุลชีววิทยา
พบว่า ทุกตัวอย่างปลอดภัยต่อการบริโภค ส่วนผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง, 35 °ซ และ 45 °ซ
นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกตัวอย่างมีความชื้น ความแน่นแข็งสม่ำเสมอตลอดการเก็บรักษา และผู้ทดสอบชิม
ยังคงยอมรับทั้งก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่ที่บรรจุกระป๋อง และรีทอร์ทแพจ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยมีความชอบ
ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

Sopida Suebwongsa 2007: Development of Rice Noodles for Sterilisation and Application in Chicken Stir-Fired Noodles. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Mr. Anukul Wattanasuk, Ph.D. 165 pages.

Rice noodles in cans and retort pouches are sterilised products. The sterilisation process may cause texture quality changed. In this study, the modified starch (cross-linked rice starch or cross-linked tapioca starch) was added to Leuang 11 rice flour (L-11) to improve heat resistant quality of rice noodles during sterilisation. The pasting properties of rice flour and two type of cross-linked starch were determined by using Rapid Visco Analyzer (RVA), it was found that the cross-linked starch had more temperature resistance than L-11 rice flour. The photographs from light microscope at 95 °C indicated that the cross-linked starch had granules integrity more than L-11 rice flour. The pasting properties of rice flour and rice flour mixed with cross-linked starch were determined, the results showed that paste of rice flour mixed with cross-linked starch had breakdown value less than paste of L-11 rice flour alone. It is revealed that rice flour mixed with cross-linked starch had increased heat resistance property. Studying the effect of rehydration time on firmness quality of rice noodles after sterilised at 121 °C for 15 mins, the result showed that the noodles rehydrated in hot water for 3 mins and 5 mins had higher moisture content than the noodles rehydrated for 1 mins. The higher moisture content corresponded to the lower firmness quality of rice noodles. Studying the effect of adding modified starch on firmness quality of sterilised noodles, it was found that adding cross-linked starch displayed a tendency to increased the firmness, except the noodles prepared from L-11 mixing with 6% cross-linked tapioca starch, the firmness was similar to noodles prepared from L-11 alone ($p > 0.05$). The sensory evaluation determined by Quantitative Descriptive Analysis (QDA) revealed that rice noodles rehydrated for 3 mins had whiteness, firmness, stickiness and springiness similar to noodles which rehydrated for 5 mins. Studying the sterilised temperature, it was found that sterilisation at 121 °C for 18 mins ($F_0 = 8.44$ mins), the noodles had a higher firmness than sterilisation at 116 °C for 30 mins ($F_0 = 7.31$ mins). The sensory evaluation determined by QDA revealed that all noodles sterilised at 121 °C had higher whiteness, stickiness and springiness than noodles prepared from L-11 alone and sterilised at 116 °C ($p \leq 0.05$). Noodles prepared from L-11 mixed with 3% cross-linked tapioca starch was chosen to made chicken stir-fired noodles in cans and retort pouches. Noodles was rehydrated for 3 mins and sterilised at 121 °C, it was found that the sterilised time of pouches is less than cans about half time, when the F_0 value is 7.41 mins and 7.58 mins respectively. For microbial examination, all samples are safe. When study the product stability at room temperature, 35 °C and 45 °C for 12 weeks, the results were found that all samples had stable quality of moisture content and firmness. From the sensory evaluations determined by 9-point hedonic test, the consumers still liked the products which store at room temperature, as liked the appearance, color, taste and the overall preference at level of like slightly to like moderately.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากอาจารย์ ดร. อนุกุล วัฒนสุข ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการวางแผนการวิจัย ตลอดจนตลอดเวลาในการตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ศ.ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก อาจารย์ รศ.ดร. งามทิพย์ กุ้วโรตม กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. พิสิฏฐ์ ธรรมวิถิ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ในการสอบประมวลความรู้ และอาจารย์สุขเกษม สิริพิจน์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ในการสอบสัมภาษณ์ปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ และเจ้าหน้าที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณคุณรุจยา กิริยาพงษ์ บริษัท โฟเทค เซียล มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัดแปรรูปเค้กแบบพันธะขำ สำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งพี่ เพื่อน และน้อง ๆ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก ทั้งร่างกาย แรงใจตลอดระยะเวลาของการศึกษา และการทำวิจัย

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรัก คอยช่วยเหลือ ส่งเสริม และให้กำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้การศึกษารั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

โสภิตา สืบวงษา

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	94
สรุป	94
ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	99
ภาคผนวก	113
ภาคผนวก ก การตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์	114
ภาคผนวก ข การวัดคุณภาพเส้นก๊วยเตี๋ยว	129
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	133
ภาคผนวก ง ส่วนผสมในการผลิตก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่	136
ภาคผนวก จ ผลการทดลองเพิ่มเติม	139
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	146
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	165

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด	19
2	ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว (ร้อยละ)	33
3	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	39
4	การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	48
5	อุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	52
6	การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม	55
7	เนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม	59
8	การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มของเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง	61
9	ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวก่อนบรรจุกระป๋อง และเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังมาเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	64
10	คะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋องหลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	67
11	เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	คะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๊วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที	72
13	เนื้อสัมผัสของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	83
14	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	85
15	คะแนนความชอบด้านสีของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	87
16	คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	88
17	คะแนนความชอบด้านรสชาติของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	90
18	คะแนนความชอบโดยรวมของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	92
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน	120
ก2	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน	123
ง1	ส่วนผสมเพื่อใช้เตรียมน้ำปรุงรส	137
ง2	ส่วนผสมเพื่อใช้เตรียมไก่หมัก	138
จ1	สภาวะการฆ่าเชื้อของก๊วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 116 และ 121 องศาเซลเซียส	140

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ2	สภาวะการฆ่าเชื้อของถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส	141
จ3	การตรวจสอบทางด้านจุลชีววิทยาของถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส	143
จ4	ปริมาณความชื้นของถ้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	143
จ5	ค่าสีของถ้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	144
ฉ1	ความแปรปรวน (ANOVA) ขององค์ประกอบทางเคมีในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	147
ฉ2	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี t-test ของปริมาณฟอสเฟตในสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	148
ฉ3	ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านความหนืดในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	148
ฉ4	ความแปรปรวน (ANOVA) ของอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชัน ในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม	149
ฉ5	ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านความหนืดในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม	150
ฉ6	ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจล ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม	152
ฉ7	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพในการหุงต้มเส้นถ้วยเดี่ยวอบแห้ง	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฉ8	ความแปรปรวน (ANOVA) ของเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	153
ฉ9	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ เส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	153
ฉ10	ความแปรปรวน (ANOVA) ของเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที	154
ฉ11	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ เส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที	155
ฉ12	ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณความชื้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	156
ฉ13	ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	157
ฉ14	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว คั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	159
ฉ15	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของ ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	160
ฉ16	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านสีของก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่ สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	161
ฉ17	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของ เส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศา เซลเซียส	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฉ18	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านรสชาติของก๋วยเตี๋ยว คั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	163
ฉ19	ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบโดยรวมของก๋วยเตี๋ยว คั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	164

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดเงาที่ในเซชันของสตาร์ช	9
2	สมการการเกิดปฏิกิริยาพันธะข้ามของสารฟอสฟอรัสกลอไรด์กับสตาร์ช	12
3	ความทนทานต่อสภาวะกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเหนือนของสตาร์ชดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ	13
4	ตัวอย่างของรีทอร์ทเพาซ์	23
5	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า	44
6	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า	45
7	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า	46
8	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า	47
9	กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11) , สตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปรแบบพันธะข้าม (CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)	51
10	กราฟการดูดกลืนความร้อนในการเกิดเงาที่ในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11), สตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปรแบบพันธะข้าม (CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)	54
11	กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชดัดแปรแบบพันธะข้าม	58
12	ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	76
13	ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ค่า a^* ของเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่อสำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	80
15	ค่า b^* ของเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่อสำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	81
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส	121
ก2	กราฟมาตรฐานปริมาณแอมิโลส	124
ข1	ตัวอย่างกราฟ Texture Profile Analysis	131
จ1	กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และเส้นก้วยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 116 องศาเซลเซียส	140
จ2	กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และเส้นก้วยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส	141
จ3	กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และก้วยเดี่ยวคั่วไก่อบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส	142
จ4	กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และก้วยเดี่ยวคั่วไก่อบรรจุรีทอร์ทเพาช์ ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส	142

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

L-11	=	แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11
CR	=	สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม
CT	=	สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม
CONTROL	=	เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว โดยเตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40
L-11+CR3	=	เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม ในสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร เท่ากับ 37 ส่วนต่อ 3 ส่วน โดยเตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40
L-11+CR6	=	เส้นก๋วยเตี๋ยวแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามในสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร เท่ากับ 34 ส่วนต่อ 6 ส่วน โดยเตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40
L-11+CT3	=	เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม ในสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร เท่ากับ 37 ส่วนต่อ 3 ส่วน โดยเตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40
L-11+CT6	=	เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม ในสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร เท่ากับ 34 ส่วนต่อ 6 ส่วน โดยเตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40

การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเตอริไลเซชันและการประยุกต์ในก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่

Development of Rice Noodles for Sterilisation and Application in Chicken Stir-Fired Noodles

คำนำ

ก๋วยเตี๋ยว เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่แปรรูปจากข้าว ซึ่งชาวไทย และชาวเอเชียทั่วไปรู้จักกันเป็นอย่างดี และนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทุกมื้ออาหาร โดยตลาดของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหารเส้นแปรรูปจากข้าว มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งด้านการผลิตเพื่อบริโภคในประเทศ และเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศ (กมลวรรณ, 2548)

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความต้องการอาหารพร้อมบริโภคมากขึ้น อาหารสำเร็จรูปบรรจุในภาชนะปิดสนิท เช่น อาหารกระป๋อง และอาหารบรรจุรีทอร์ทพาช์ (retort pouches) จึงเป็นอาหารอีกประเภทหนึ่ง ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน เพราะมีความสะดวก และหาซื้อได้ง่าย ซึ่งสถิติการผลิตอาหารกระป๋อง และอาหารแปรรูปเพื่อการส่งออก ในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณการผลิตสูงถึง 497,525 ตัน และมีอัตราการขยายตัวเท่ากับร้อยละ 9.5 ของสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2549) โดยการผลิตอาหารสำเร็จรูปบรรจุในภาชนะปิดสนิทนั้น ต้องใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค เรียกว่า การสเตอริไลเซชันระดับการค้า (commercial sterilisation) จึงทำให้เก็บรักษาอาหารไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียที่อุณหภูมิเก็บรักษาปกติ (วิรัตน์, 2542)

จากการที่ผู้บริโภคทั่วโลก หันมานิยมบริโภคอาหารของชาวเอเชียมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากข้อมูลการส่งออกผลิตภัณฑ์เส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยวในปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่าการส่งออกรวมสูงถึง 1,601 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2549) ดังนั้น การผลิตก๋วยเตี๋ยวสำเร็จรูปซึ่งผ่านการสเตอริไลเซชัน จึงเป็นเรื่องที่ควรศึกษา เพราะนอกจากช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานเป็นปีแล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าว หรืออาจเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยได้อีกทางหนึ่งด้วย

อย่างไรก็ตาม เส้นก๊วยเตี๋ยวล้างผ่านกระบวนการสเตอริไลเซชัน อาจมีคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ เช่น หลังผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว อาหารเส้นจะมีลักษณะเป็นแป้ง (starchy) หรือมีลักษณะจับตัวจนเหนียวหนืด (gummy) (Downing, 1996) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการพัฒนาเส้นก๊วยเตี๋ยวล้างให้ทนต่อความร้อน โดยทดลองผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (cross-linked starch) ลงในแป้งข้าวเจ้า เพื่อผลิตเส้นก๊วยเตี๋ยวล้างแล้วนำไปผลิตเป็นก๊วยเตี๋ยวล้างสำเร็จรูปบรรจุในกระป๋อง และบรรจุในรีทอร์ทแพคเกจ โดยคาดว่า การผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม จะช่วยให้เส้นก๊วยเตี๋ยวยังคงลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีหลังผ่านการสเตอริไลซ์ ทั้งนี้เพราะ สตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม มีโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชที่แข็งแรง (Hullinger, 1967; Rutenberg and Solarek, 1984) สามารถทนต่อความร้อน สภาวะความเป็นกรด และสภาพที่มีแรงเฉือนได้ดีกว่าสตาร์ชปกติที่ไม่ผ่านการตัดแปร (กล้าณรงค์, 2542)

วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11, สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม
2. ทดสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม
3. ศึกษาผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามต่อการทนความร้อนในระดับสเทอร์ไลเซชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว
4. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ ในระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

เส้นก๋วยเตี๋ยว[†]

เส้นก๋วยเตี๋ยว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวเจ้าที่นำมาโม่ หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้น มีความหนาสม่ำเสมอไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร มีสีขาวนวล ไม่มีกลิ่นหืน นิ่ม และเหนียว ไม่เกาะติดกัน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [มอก.], 2533)

จากสภาวะการตลาดของอุตสาหกรรมเส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ประเทศไทย มีการผลิตประมาณ 300,000 ตันต่อปี เพื่อการบริโภคในประเทศ และส่งออกไปยังต่างประเทศ (พรพิศ, 2548) โดยนิยมส่งออกในรูปแบบของเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้งไปยังประเทศต่าง ๆ เช่น ฮองกง เกาหลี ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น (Luh, 1999) ซึ่งข้อมูลทางสถิติ ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทย ส่งออกเส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยว 42,244 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกสูงถึง 1,601 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2549)

1. ชนิดของเส้นก๋วยเตี๋ยว[†]

งามชื่น (2541) ได้จำแนกประเภทก๋วยเตี๋ยวดำเนินตามปริมาณความชื้นภายในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 เส้นก๋วยเตี๋ยวดก คือ ก๋วยเตี๋ยวที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 นิยมทาแผ่นก๋วยเตี๋ยวด้วยน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วลิสง เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวติดกัน จากนั้น จึงนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวดกมาตัดเป็นเส้น ซึ่งอาจเป็นเส้นใหญ่ที่มีขนาดกว้าง 1.5-2.5 เซนติเมตร หรือเส้นเล็กขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร เนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้ไม่ผ่านการทำแห้ง จึงมีอายุการเก็บเพียง 1-2 วัน

1.2 เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งแห้ง คือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำเส้นสดมาผึ่งลม จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 37 แล้วจึงตัดเป็นเส้น โดยปกติแล้ว เส้นก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้ มีอายุการเก็บรักษา 1-2 วัน เช่นเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวดก

1.3 เส้นก้วยเดี่ยวแห้ง คือ เส้นก้วยเดี่ยวที่ทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนหลังจากการตัดเป็นเส้นแล้ว ก้วยเดี่ยวชนิดนี้ มีความชื้นประมาณร้อยละ 13 หรือต่ำกว่า และในการผลิตนั้น จะไม่มีการทาน้ำมัน เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืน จึงสามารถเก็บรักษาได้นาน

2. กระบวนการผลิตเส้นก้วยเดี่ยว^{*}

2.1 การเตรียมข้าว

ข้าวที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเส้นก้วยเดี่ยว ควรเป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (มากกว่าร้อยละ 27) และเป็นข้าวที่เก็บไว้อย่างน้อย 4 เดือน (วิภา, 2541) เพราะหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และเย็นตัวลง แป้งสุกจะเกิดภาวะจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่น ซึ่งมีลักษณะเหนียว หยุน และไม่แฉะติดกัน (งามชื่น, 2541) สำหรับพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นเส้นก้วยเดี่ยว เช่น ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว นางพระยา ปิ่นแก้ว เหลืองใหญ่ ขาว-500 กข1 และ กข3 เป็นต้น (เสนอ, 2522) ขั้นตอนการเตรียมข้าว เป็นการนำข้าวมาล้าง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับข้าว ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตก้วยเดี่ยว นิยมทำความสะอาดขั้นต้นด้วยการใช้เครื่องแยกเศษของกระสอบ ฟัน ผง หิน แมลง และดอกหญ้าออกไป จากนั้น จึงนำข้าวมาล้างน้ำเพื่อชะล้างรำละเอียด และฟ่อนที่ไม่สามารถแยกได้ในขั้นตอนแรก หลังจากกำจัดสิ่งสกปรกแล้ว จึงแช่ข้าวในสัดส่วนข้าวต่อน้ำประมาณ 1 ต่อ 2.5 ส่วน นาน 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดข้าว เมื่อเมล็ดข้าวนิ่ม จะทำให้ไม่ข้าวได้ง่าย และทำให้เมล็ดสตาร์ชแตกมากขึ้นขณะไม่

2.2 การไม่ และการปรับความเข้มข้นของน้ำแป้ง

การไม่ข้าว เพื่อลดเมล็ดข้าวให้เป็นผงละเอียด ในอุตสาหกรรมการผลิตก้วยเดี่ยว จะใช้วิธีการไม่เปียกด้วยไม่หิน ซึ่งทำให้เมล็ดสตาร์ชถูกบดละเอียด และแตกได้มาก มีการเติมน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิขณะไม่ไม่ให้สูงเกินไป แป้งที่ไม่ได้จากการไม่เปียก จะมีคุณภาพดี ไม่บูดง่าย สำหรับปริมาณน้ำที่เติมขณะไม่ ควรมีส่วนของข้าวต่อน้ำ ประมาณ 2 ส่วนต่อ 1 ส่วน หากใช้น้ำมากเกินไป จะทำให้ข้าวผ่านหน้าไม่เร็ว ซึ่งจะได้แป้งที่หยาบ ในขั้นตอนของการไม่ ควรกรองน้ำแป้งผ่านตะแกรงขนาด 40-60 เมช เพื่อแยกอนุภาคแป้งที่ไม่ละเอียด หรือสิ่งปนเปื้อนออกไป

ความเข้มข้นของน้ำแป้ง มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของเส้นก้วยเดี่ยว ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ จะต้องพิจารณาจากชนิด และลักษณะของข้าวที่ใช้ ถ้าเป็นข้าวที่เก่ามาก และมี

ปริมาณแอมิโลสสูง จะใช้น้ำในการหุงสุกมากกว่าข้าวใหม่ และมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่า ปริมาณน้ำ จะเป็นตัวควบคุมความแข็งของก๋วยเตี๋ยว กล่าวคือ ถ้าปริมาณน้ำน้อยเกินไป จะส่งผลให้เส้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป จะทำให้เส้นที่ได้ นุ่ม และขาดได้ง่าย ซึ่งโดยทั่วไป ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวสด ควรจะมีปริมาณของแข็งร้อยละ 38-40 โดยน้ำหนัก ซึ่งการปรับความเข้มข้นของน้ำแป้ง สามารถคำนวณได้ดังสมการ (กมลวรรณ, 2548)

$$\text{น้ำหนักของน้ำแป้ง (กก.)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าว (กก.)} \times [100 - \text{ความชื้นของข้าว (ร้อยละ)}]}{[100 - \text{ความชื้นของน้ำแป้งที่ต้องการทำก๋วยเตี๋ยว (ร้อยละ)}]}$$

2.3 การนึ่ง

เมื่อปรับความเข้มข้นของน้ำแป้งตามที่ต้องการแล้ว จึงนำน้ำแป้งไปทำให้สุกด้วยไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบพื้นบ้านดั้งเดิม คล้ายกับการทำข้าวเหนียวปากหม้อ โดยใช้ผ้าขาวบางขึงบนกระทะที่ต้มน้ำจนเดือด ส่วนอีกแบบหนึ่ง เป็นการใช้เครื่องนึ่ง นิยมทำเป็นอุตสาหกรรม เริ่มจากการใช้เครื่องดูดน้ำแป้งขึ้นไปไว้ในถังที่มีเครื่องกวนตลอดเวลา เพื่อไม่ให้แป้งตกตะกอน ปลายถังมีท่อเปิด เพื่อปล่อยน้ำแป้งติดไปกับลูกกลิ้ง ซึ่งจะปลดน้ำแป้งลงบนสายพาน ผ่านเข้าไปในตู้หนึ่งที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์ยาว ให้ความร้อนจากท่อไอน้ำ ใช้เวลาในการนึ่งประมาณ 3 นาที ความร้อนจากการนึ่ง จะทำให้เม็ดสตาร์ชที่อยู่ในน้ำแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากที่ไม่เหนียว สีขาวขุ่น กลายเป็นใส เหนียว และเกาะกันเป็นแผ่นที่ดึงได้ ไม่ขาด

2.4 การผึ่งลม และตัดเส้น

การผึ่งลม เป็นการทำให้แป้งสุกเย็นตัวลง เกิดเป็นเจลที่มีความแข็งแรง และมีความเหนียวมากขึ้น จากนั้น จึงนำมาตัดเป็นเส้น จะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 ส่วนก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง ต้องนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวสดไปอบในตู้อบลมร้อนเพื่อลดความชื้น ซึ่งแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 30-40 นำมาวางเรียงซ้อนกัน และปมไว้ประมาณ 6-12 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายเท่ากันทั้งแผ่น แล้วจึงนำมาตัดเป็นเส้น สำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง ต้องนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวสดไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 45-48 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 11-13

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว และการนำไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น

ยุทธนา (2545) พัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันเทศ พบว่า สูตรการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เหมาะสม คือ การใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 70 ต่อแป้งมันเทศที่ไม่ผ่านการลวก ร้อยละ 30 ความเข้มข้นน้ำแป้งเท่ากับร้อยละ 40 และอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีปริมาณแคลโรทีน 306.5 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ใช้เวลาในการกินรูป 5.5 นาที

วิภา และคณะ (2550) ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์เส้นหมี่ราดหน้าแช่เยือกแข็ง โดยปรับความชื้นของเส้นหมี่อบแห้ง ให้มีค่าประมาณร้อยละ 50 ก่อนผสมกับน้ำมันพืช และซอสคั่วในสัดส่วน 500: 20: 20 โดยนำหนัก นำเส้นหมี่ น้ำราดหน้า ผักและเนื้อหมูไปแช่เยือกแข็งด้วยไอน้ำในโตรเจนเหลว การกินรูปเส้นหมี่ราดหน้าแช่เยือกแข็งทำโดยการละลายด้วยเครื่องไมโครเวฟ ที่มีขนาดกำลัง 900 วัตต์ นาน 2 นาที และ 5 นาที ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของเส้นหมี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลาย 1-5 รอบ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สามารถเก็บได้นานไม่น้อยกว่า 3 เดือน ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

Bhattacharya *et al.* (1999) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว 11 พันธุ์ ต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ปริมาณแอมิโลส เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวแต่ละสายพันธุ์ โดยปริมาณแอมิโลส มีความสัมพันธ์ทางลบกับกำลังการพองตัวของแป้ง แต่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความแข็ง (hardness) ความเหนียวยืดติด (gumminess) การทนต่อการเคี้ยว (chewiness) และความต้านแรงดึง (tensile strength) ซึ่งการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืด สามารถทำนายคุณภาพของแป้งข้าว เพื่อใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวได้

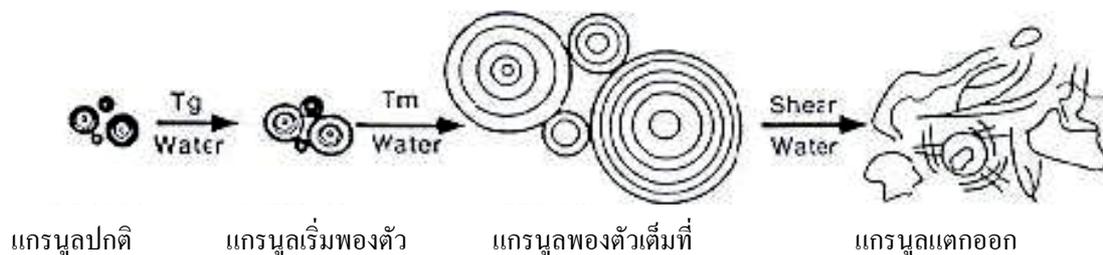
Zhang *et al.* (2001) ศึกษาการแปรรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุในรีทอร์ทแพช โดยเปรียบเทียบระดับการเกิดสุญญากาศในภาชนะบรรจุ ได้แก่ 200, 340, 500 และ 600 มิลลิเมตรปรอท ปรากฏว่าที่ระดับการเกิดสุญญากาศ 340 มิลลิเมตรปรอท ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุรีทอร์ทแพช มีคุณภาพดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเวลาในการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 10, 20, 25 และ 35 นาที โดยกำหนดการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส ความดัน 6.6 ปอนด์/ตารางนิ้ว และระดับการเกิดสุญญากาศเท่ากับ 340 มิลลิเมตรปรอท พบว่า การฆ่าเชื่อนาน 20-25 นาที เป็นเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมที่สุด

Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002) ศึกษาผลการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของเส้นหมี่จากแป้งข้าว พบว่า วิธีการโม่แห้ง และ โม่เปียกของแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง โดยเส้นหมี่ที่เตรียมจากแป้งโม่แห้ง มีปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มมากกว่า และมีเนื้อสัมผัสนุ่มกว่าเส้นหมี่ที่เตรียมจากแป้งโม่เปียก และเส้นหมี่จากการคั่ว นอกจากนี้ ขนาดอนุภาคของแป้งข้าว มีอิทธิพลต่อคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) และคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส (textural quality) ของเส้นหมี่ โดยเส้นหมี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวที่มีอนุภาคใหญ่ จะสูญเสียปริมาณเนื้อแป้งในระหว่างการต้มมากกว่า และเนื้อสัมผัสไม่ดีเท่ากับเส้นหมี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวที่มีอนุภาคเล็กกว่า

3. การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชข้าวในระหว่างการให้ความร้อน

3.1 การเกิดเจลาทีไนเซชัน (gelatinization)

การที่เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่ง โครงร่างผลึก (semi-crystalline) คือ มีส่วนที่เรียกว่า ออสันฐาน (amorphous region) และส่วน โครงร่างผลึก (crystalline region) (Kaletunc and Breslauer, 2003) จัดเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ มีลักษณะคล้ายวงอายุ (growth ring) ทุกวงอายุจะประกอบด้วย ส่วนอสันฐานสลับกับส่วน โครงร่างผลึก (Vandaputte *et al.*, 2003) และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุล จึงทำให้เม็ดสตาร์ชไม่ละลายในน้ำ แต่เมื่อผสมสตาร์ชลงในน้ำ และมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชใน ส่วนอสันฐานอ่อนแอลง โมเลกุลน้ำจึงสามารถแทรกเข้าไปในส่วนอสันฐานได้ (Kaletunc and Breslauer, 2003) เม็ดสตาร์ชเริ่มพองตัว จนทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโมเลกุลในส่วน โครงร่างผลึกอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลน้ำจึงแทรกเข้าไปในส่วน โครงร่างผลึก ทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำได้มากขึ้น จนเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible swelling) ดังภาพที่ 1 ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน (Whistler and BeMiller, 1999) และลักษณะของไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ในเม็ดสตาร์ชจะหายไป (Eliasson and Gudmundsson, 1996) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทีไนเซชัน ได้แก่ โครงสร้างของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน สัดส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทิน ปริมาณน้ำ และไขมัน (สันสนีย์, 2548)



ภาพที่ 1 การเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ช

ที่มา: Waniska and Gomez (1992)

3.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

การเกิดรีโทรเกรเดชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชหลังผ่านการเกิดเจลลาทีโนเซชันแล้ว โดยเกิดขึ้นหลังจากมีการลดอุณหภูมิลง และในช่วงการเก็บรักษา (Fredriksson *et al.*, 1998) ทั้งโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ (Jacobson *et al.*, 1997; Thygesen *et al.*, 2003) โดยการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชในช่วงเวลาสั้น ๆ หลังจากรลดอุณหภูมิลง จะเป็นลักษณะของการเกิดเจล (gelation) ซึ่งเกิดจากการเกาะเกี่ยวกันของส่วนแอมิโลส โดยแอมิโลสที่มีความยาวสายโซ่ปานกลาง จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็ว (Morrison and Karkalas, 1993) คือ มีความยาวสายโซ่มากกว่า 80 หน่วยกลูโคส (Edward *et al.*, 1987) ขณะที่แอมิโลสสายโซ่ยาว จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้า เพราะความยาวของสายโซ่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ช้า ส่วนแอมิโลสสายโซ่สั้น มีการเคลื่อนที่รวดเร็ว จึงยากต่อการจัดเรียงตัวใหม่ (Morrison and Karkalas, 1993) สำหรับการเกิดรีโทรเกรเดชันในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของส่วนแอมิโลเพกทิน เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอีกครั้ง (recrystalline) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และใช้เวลานานเป็นสัปดาห์ (Zhou *et al.*, 2002)

การที่โมเลกุลสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบนี้ มีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของระบบเทอร์โมไดนามิก (thermodynamic equilibrium) ซึ่งมีผลทำให้ความแน่นแข็ง (firmness) หรือความแข็ง (rigidity) เพิ่มขึ้น ทำให้สูญเสียความสามารถในการกักเก็บน้ำ แล้วเกิดสภาพที่เป็นโครงสร้างผลึกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งพบว่า แอมิโลสมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วกว่าแอมิโลเพกทินมาก (Miles *et al.*, 1985; Jacobson *et al.*, 1997) ทั้งนี้เพราะแอมิโลเพกทินมี

โครงสร้างที่เป็นกิ่งแขนง จึงจัดเรียงตัวได้ยากกว่าเอมิโลส (Jacobson *et al.*, 1997)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน เช่น แหล่งที่มาของแป้ง อัตราส่วนของเอมิโลส ต่อเอมิโลเพกทิน โครงสร้างของเอมิโลสและเอมิโลเพกทิน การเติมน้ำตาล เกลือ กรดอินทรีย์ และไขมัน ความเข้มข้นของสารละลายแป้ง และ อุณหภูมิการเก็บรักษา เป็นต้น (ประจวบ, 2549)

สตาร์ชดัดแปร

1. การแบ่งประเภทของสตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชดัดแปรมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับสารเคมี และวิธีการดัดแปร ซึ่งทำให้สตาร์ชดัดแปร แต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะตัว โดย BeMiller (1997) ได้แบ่งประเภทของสตาร์ชดัดแปร ไว้ดังนี้

1.1 การดัดแปรทางเคมี (chemical modification) เป็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสตาร์ชด้วยการ ทำปฏิกิริยากับสารเคมี แบ่งออกเป็น

1.1.1 การเกิดอนุพันธ์ (derivatization)

ก. การแทนที่สารเคมีในโมเลกุลเดี่ยวของสตาร์ช (monostarch substitution) สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ซึ่งเป็นการแทนที่โมเลกุลเดี่ยวของ สตาร์ชด้วยเอสเทอร์ เช่น สตาร์ชแอซิเตต (starch acetate) สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน (etherification) ซึ่งเป็นการแทนที่โมเลกุลเดี่ยว ของสตาร์ชด้วยอีเทอร์ เช่น ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) ไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch) เป็นต้น

ข. การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ คือ การดัดแปรทางเคมี แบบพันธะข้าม (cross-linked starch)

1.1.2 การลดขนาดของโมเลกุลสตาร์ชด้วยกรด (acid thinning / hydrolytic depolymerization)

1.1.3 เดกซ์ทรีไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาด หรือเปลี่ยนการจับเกาะ (depolymerization / transglycosylation) โดยใช้ความร้อน หรือใช้ความร้อนร่วมกับกรด เช่น มอลโทเดกซ์ทรีน (maltodextrin)

1.1.4 ออกซิเดชัน (oxidation) เป็นการทำให้เกิดการฟอกสี และลดขนาด โมเลกุลด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (bleaching และ depolymerization) เช่น ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch)

1.1.5 การย่อยสลาย (hydrolysis) เป็นการใช้น้ำย่อย เพื่อย่อยสตาร์ชให้เป็นน้ำตาล โมเลกุลเล็ก

1.2 การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification)

1.2.1 ปริเจลาทีไนซ์สตาร์ช (pregelatinized starch) เป็นการให้ความร้อนแก่สตาร์ช จนผ่านขั้นตอนเจลาทีไนเซชัน แล้วทำแห้งทันที

1.2.2 สตาร์ชละลายน้ำเย็น (granular-cold-water-soluble-starch: GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้สตาร์ชที่สามารถละลายในน้ำได้ โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเจลาทีไนเซชัน

1.2.3 การลดขนาดของเม็ดสตาร์ชด้วยแรงกล (ball milling treatment) เป็นการทำให้ เม็ดสตาร์ชแตกโดยใช้แรงกล เม็ดสตาร์ชที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าปกติ

1.2.4 การอบพसानื้อ (annealing) เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดสตาร์ชอยู่ใน สภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนเซชัน

1.2.5 การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (heat moisture treatment) เป็นการ ให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนเซชันในขณะที่เม็ดสตาร์ชมีความชื้นต่ำ

1.3 การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnological modification) เป็นการเปลี่ยน สมบัติของสตาร์ชโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

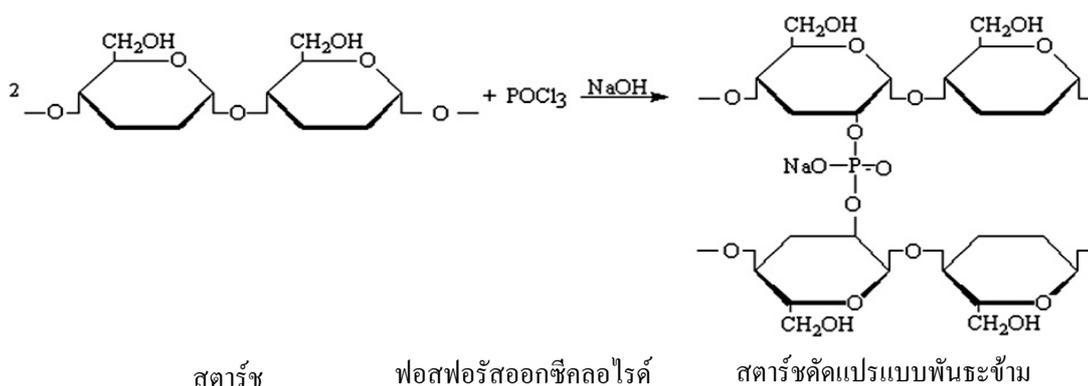
1.3.1 สตาร์ชที่มีเอมิโลสต่ำ หรือไม่มีเลย (waxy starch)

1.3.2 สตาร์ชที่มีเอมิโลสสูง (high-amylose starch)

2. การใช้สตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (cross- linked starch)

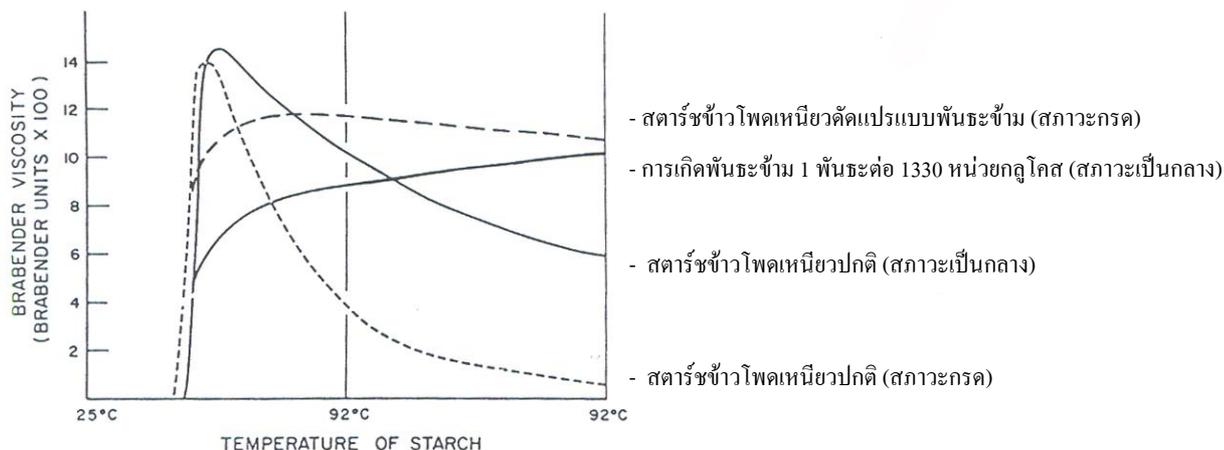
การตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้าม เป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ช โดยการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน หรืออีเทอร์ริฟิเคชันนั้น ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์เชื่อมขวางขึ้นระหว่างสายพอลิเมอร์ในสภาพแขวนลอย แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งพันธะดังกล่าวนี้ จะช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนที่ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชไว้ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Hullinger, 1967; Rutenberg and Solarek, 1984) ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง เม็ดสตาร์ชทนทานต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือน ได้มากขึ้น (Chabot *et al.*, 1976; Yook *et al.*, 1993) แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชปกติ และสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม เมื่อให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชจะถูกทำลาย แต่เม็ดสตาร์ชยังคงอยู่ในสภาพปกติ (กล้าณรงค์, 2542)

สารเคมีทางการค้าที่ใช้ในการตัดแปรสตาร์ช เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร คือ ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ (phosphorus oxichloride, POCl_3) และ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate, $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$) (มอก., 2535) สตาร์ชตัดแปรที่ได้ เรียกว่า ไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ซึ่งสารเคมีในการทำปฏิกิริยา จะใช้ในปริมาณน้อยมาก คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.05-0.3 โดยน้ำหนักสตาร์ชแห้ง (Wurzburg, 1986) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบสุ่ม (Rutledge *et al.*, 1974) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณออสันฐานของเม็ดสตาร์ช (Hood *et al.*, 1974)



ภาพที่ 2 สมการการเกิดปฏิกิริยาพันธะข้ามของสารฟอสฟอรัสคลอไรด์กับสตาร์ช

ที่มา: Miyazaki *et al.* (2006)



ภาพที่ 3 ความทนทานต่อสภาวะกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือนของสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ

ที่มา: Wurzburg (1972)

การตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม นิยมใช้กับสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวฟ่างเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดเหนียว (Knight, 1969) ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหาร มีเกณฑ์กำหนด และลักษณะซึ่งของสตาร์ชตัดแปรประเภทไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ว่า ปริมาณของฟอสเฟต (คำนวณเป็นฟอสฟอรัส) ต้องไม่เกินร้อยละ 0.14 สำหรับสตาร์ชตัดแปรที่มาจากมันฝรั่ง หรือจากข้าวสาลี และต้องไม่เกินร้อยละ 0.04 สำหรับสตาร์ชจากพืชชนิดอื่น ๆ (มอก., 2535) สำหรับการวิเคราะห์หระดับการพันธะข้ามในเม็ดสตาร์ช จะไม่สามารถวัดได้โดยตรง (Radley, 1976) แต่วัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การวัดความหนืด ความสามารถในการพองตัว ความสามารถในการละลาย เป็นต้น (Rutenberg and Solarek, 1984)

3. สมบัติของสตาร์ชหลังผ่านการตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม

3.1 ลักษณะของเม็ดสตาร์ช

เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ลักษณะของเม็ดสตาร์ชไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Wurzburg, 1986; Yeh and Yeh, 1993) สตาร์ชยังคงเกิดไปริฟรินเจนซ์ เมื่อให้

ความร้อนในสภาพที่มีน้ำ หรือในสภาวะที่สามารถทำลายเม็ดสตาร์ชได้ เช่น สภาวะที่มีแรงเฉือน สภาวะเป็นกรด เม็ดสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม จะสามารถทนต่อสภาวะดังกล่าว ได้ดีกว่า สตาร์ชปกติ

3.2 การเกิดเจลาทีนในเซชันของสตาร์ช

การตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้ามในระดับต่ำ พันธะเคมีที่เกิดขึ้นยังไม่มากพอ ที่จะยับยั้งการแตกของเม็ดสตาร์ช ดังนั้น เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานาน ความหนืดจะลดลง แต่ถ้ำระดับการเกิดพันธะข้ามเพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชจะแตกยากยิ่งขึ้น (Rutenberg and Solarek, 1984)

3.3 ความสามารถในการพองตัว การละลายของเม็ดสตาร์ช

การตัดแปรสตาร์ชที่มีระดับการเกิดพันธะข้ามสูง จะทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง และเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วจะแตกยาก มีผลทำให้เอมิโลสหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชลดลง (Chabot *et al.*, 1976) โดยปัจจัยที่ควบคุมการพองตัวของเม็ดสตาร์ช คือ ความแข็งแรง และลักษณะโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับ และชนิดของพันธะภายในเม็ดสตาร์ช

3.4 ความต้านทานต่อแรงเฉือน

สตาร์ชปกติ จะมีความหนืดลดลงเมื่อได้รับแรงเฉือน เช่น การกวน การเขย่า การผสมจากเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องบดตัวอย่าง เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) ซึ่งการตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้าม ทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากกว่า สตาร์ชปกติ เนื่องจากมีพันธะเคมีเกิดขึ้นในโมเลกุล จึงทนทานต่อแรงเฉือนได้มากขึ้น (Swinkels, 1985)

3.5 ความสามารถในการย่อย

Anderson (1973) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยสตาร์ชตัดแปรในสัตว์ทดลอง โดยใช้ลูกหมูหย่านมเมื่ออายุ 3 วัน จำนวน 8 ตัว และให้อาหารซึ่งมีสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร ร้อยละ 5.4 เปรียบเทียบกับอาหารที่มีไดสตาร์ชฟอสเฟตเป็นส่วนผสม ร้อยละ 5.6 เป็นเวลา 25 วัน พบว่า หมูทดลองมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ ตลอดระยะเวลาทดลอง ผลการตรวจเลือด และซีรัม น้ำหนัก

อวัยวะ และองค์ประกอบของซากสัตว์ทดลองที่ให้อาหารซึ่งมีสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปร และอาหารที่มีโคสตาซฟอสเฟตไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก การผลิตสตาร์ชตัดแปรเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารนั้น ใช้สารเคมีในปริมาณที่ต่ำมาก จึงไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยของผู้บริโภค (Wurzburg and Szymanski, 1970; Wurzburg, 1986)

4. การใช้สตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

อรอนงค์ และคณะ (2536) ปรับปรุงคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ให้สามารถผลิตในลักษณะกึ่งสำเร็จ โดยใช้แป้งข้าวเจ้าผสมกับสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามด้วยสารอิพิคลอโรไฮดรินในสัดส่วน 50:50 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้ มีสีเหลืองคล้ำ ใส เส้นงอ เส้นแห้งสม่ำเสมอ มีความเปราะปานกลาง เมื่อคืนรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง พบว่า เส้นอุ้มน้ำได้ 2.38 เท่าของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ส่วนผลการวัดเนื้อสัมผัส พบว่า เส้นมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร แสดงให้เห็นว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม มีความเหนียว และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

พรพิศ (2548) พัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องอบแห้งจากแป้งข้าวกล้องเหลืองประทิว 123 และชัณนาท 1 พบว่า สูตรที่เหมาะสมในการผลิต คือ การใช้น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 40 ความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 1 โดยมีการผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้ามร้อยละ 3 เพื่อช่วยให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวที่มีความทนทานต่อแรงกระทำในระหว่างการลวก ส่วนสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม คือ การอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1.5 ชั่วโมง ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการคืนรูป จะมีการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม 3.65 กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ร้อยละ 4.79

Kasemsuwan *et al.* (1998) ผลิตวุ้นเส้นจากสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามด้วยโซเดียมไทรเมตาฟอสเฟต ผสมกับสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 70) แล้วตรวจสอบคุณภาพของวุ้นเส้นที่ได้ด้วยการวัดความต้านแรงดึง ค่าการคูดน้ำ และการสูญเสียปริมาณเนื้อแป้งในระหว่างการต้ม เปรียบเทียบกับวุ้นเส้นถั่วเขียว ซึ่งผลการทดลอง พบว่า ค่าความต้านแรงดึง และการสูญเสียปริมาณเนื้อแป้งของวุ้นเส้นทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่วุ้นเส้นจากสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีผสมกับสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณแอมิโลสสูง มีความสามารถในการคูดซึมน้ำได้น้อยกว่า ซึ่งทำให้วุ้นเส้นมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งกว่าวุ้นเส้นถั่วเขียว

Wang *et al.* (2000) ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวที่มีการเติมสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งนิยมใช้เพื่อการดัดแปรสตรัทซ์แบบพ่นระข้าม ได้แก่ โซเดียมไทรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.2 หรือ โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิก (sodium phosphate dibasic) ร้อยละ 0.2 แล้วตรวจสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมโซเดียมไทรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 0.2 มีคะแนนความแข็ง และคะแนนความลื่น (slipperiness) ใกล้เคียงกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสารฟอสเฟต ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมโซเดียมฟอสเฟตไดเบสิก ร้อยละ 0.2 มีคะแนนความแข็งน้อยกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสารฟอสเฟตมาก แต่มีคะแนนความลื่นสูงที่สุด

การสเตอริไลเซชัน (sterilisation)

การสเตอริไลเซชัน (sterilisation) เป็นกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ รวมถึงสปอร์ของจุลินทรีย์ให้หมดไป ซึ่งความร้อนจะทำให้โปรตีนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เสื่อมสภาพ รวมทั้งเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ถูกทำลายลง (Frobisher *et al.*, 1974) แต่การให้ความร้อนเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร และคุณภาพการบริโภค เช่น สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสสูญเสียไป ดังนั้น จึงต้องให้ความร้อนที่เรียกว่า การสเตอริไลเซชันระดับการค้า (commercial sterilisation) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนมากที่สุด จุลินทรีย์ก่อโรคทุกชนิด จุลินทรีย์สร้างสารพิษ และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย รวมถึงสปอร์ของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่เก็บรักษา (รุ่งนภา, 2535; Hersom and Hulland, 1969) อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์ระดับการค้านี้ จะไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งที่ยังคงมีสปอร์และเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ต่อเมื่อมีการถ่ายอาหารนั้นลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารครบถ้วน จุลินทรีย์จึงเติบโตได้

จึงมีข้อกำหนดว่า การใช้ระดับความร้อนที่ทำให้อาหารมีความปลอดภัยต่อการบริโภคนั้น ต้องสามารถทำลายเชื้อและสปอร์ของ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่อันตรายที่สุดชนิดหนึ่ง เพราะสามารถเจริญเติบโต และผลิตสารพิษเอ็กโซทอกซิน (exotoxin) ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่มีออกซิเจนในภาชนะปิดสนิท และยังทนทานต่อความร้อนในสภาพอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำได้ (low-acid foods) คือ $\text{pH} > 4.5$ (รุ่งนภา, 2535)

1. ปัจจัยสำคัญในการผลิตอาหารที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

1.1 สภาพของอาหาร ซึ่งหมายถึงสภาพธรรมชาติของอาหารว่าเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรือต่ำ ถ้าอาหารนั้นมีสภาพความเป็นกรดค่อนข้างสูง แสดงว่า อาหารนั้นมี pH ที่ช่วยถนอมอาหารได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง จะทนทานต่อความร้อนได้น้อยกว่าจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ

1.2 ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ ถ้าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหาร มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ข่อมมีโอกาสเป็นไปได้สูงที่จะมีจุลินทรีย์เหลือรอดภายหลังจากการฆ่าเชื้อ ซึ่งอาจทำให้การฆ่าเชื้อไม่สมบูรณ์ได้

1.3 ความต้านทานความร้อนของเซลล์และสปอร์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้านทานความร้อนไม่เท่ากัน ในการกำหนดกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหาร จึงต้องคำนึงถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่ออาหารประเภทนั้น

1.4 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหาร โดยการถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ คือ การพาความร้อน การนำความร้อน และการถ่ายเทความร้อนแบบผสม ขึ้นอยู่กับลักษณะส่วนประกอบของอาหารว่าจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบใด

1.5 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ควรเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เหมาะสม ถ้าอุณหภูมิการเก็บสูงเกินไป อาจทำให้สปอร์ของจุลินทรีย์กลุ่มทนความร้อน (thermophile) ที่หลงเหลืออยู่ มีโอกาสเจริญเติบโต และทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ โดยเฉพาะการเสื่อมเสียในลักษณะของแฟลตซาวร์ (flat sour spoilage) ที่มีการสร้างกรด แต่ไม่สร้างก๊าซ

2. การกำหนดเวลาในการฆ่าเชื้อ

ทnung (2549) อธิบายถึงความร้อนกับการทำลายจุลินทรีย์ไว้ว่า การกำหนดเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ต้องทราบลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในอาหาร และต้องทราบความต้านทานความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย (heat resistance) ค่าที่จะต้องรู้เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ ได้แก่ ค่า D-value, Z-value และ F-value

ค่า D-value (Decimal Reduction Time) แสดงถึง ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ หมายถึง เวลาเป็นนาที ณ อุณหภูมิหนึ่ง ที่ทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ลงไปร้อยละ 90 หรือเส้นกราฟผ่าน 1 วงจรล็อก (log-cycle) (Karel and Lund, 2003) ทั้งนี้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความต้านทานความร้อน ได้ไม่เท่ากัน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้มาก จะมีค่า D มากกว่าจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้น้อย ณ อุณหภูมิเดียวกัน แสดงว่า ต้องใช้ระยะเวลาในการทำลายจุลินทรีย์นานกว่า

ค่า Z (Z-value) หมายถึง จำนวนอุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮต์ หรือองศาเซลเซียส ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 วงจรล็อก ค่า Z-value ได้จากการสร้างกราฟระหว่างค่า D-value ของจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง (บนแกนล็อก) กับอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ฆ่าเชื้อ (บนแกนธรรมดา)

ค่า F (F-value) หมายถึง จำนวนเวลาเป็นนาทีที่ทำลายจุลินทรีย์ได้ ณ อุณหภูมิกำหนด การใช้ค่า F ต้องระบุอุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อ และค่า Z ของจุลินทรีย์ที่เป็นเป้าหมายด้วย ถ้าการใช้อุณหภูมิ 121.1 องศาเซลเซียส และค่า Z เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส จะเขียนสัญลักษณ์ได้ว่า $F_{121.1}^{10}$ หรือ F_0 โดยค่า Z เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสนั้น เป็นค่า Z ของเชื้อ *Clostridium botulinum* (Holdsworth, 1997; Karel and Lund, 2003) ค่า F_0 จะขึ้นอยู่กับจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นก่อนการฆ่าเชื้อ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และอุณหภูมิของประเทศที่ผลิตภัณฑ์นั้นจะถูกส่ง ไปจำหน่าย ดังนั้นอาหารแต่ละชนิดจึงมีค่า F_0 ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด

ผลิตภัณฑ์อาหาร	ขนาดของกระป๋อง	ค่า F_0
ขนมเค้ก	202 × 308	3-5
ถั่วในซอสมะเขือเทศ	ทุกขนาด	4-6
ถั่วลันเตาในน้ำเกลือ	307 × 409 หรือเล็กกว่า	6
แครอท	ทุกขนาด	3-4
ถั่วแขกในน้ำเกลือ	307 × 409	4-6
เห็ดในน้ำเกลือ	300 × 410	8-10
เห็ดในน้ำเกรวี่	ทุกขนาด	12-15
ไส้กรอกในน้ำมัน	300 × 410 และเล็กกว่า	4-6
ไส้กรอกในน้ำเกลือ	300 × 410 และเล็กกว่า	3-4
แกงเนื้อใส่ผัก	300 × 410 และเล็กกว่า	8-12
ไก่หั่นชิ้นในน้ำเกลือ	401 × 411 ถึง 603 × 700	15-18
ปลาในซอสมะเขือเทศ	300 × 410 และเล็กกว่า	10
ซूपมะเขือเทศ	ทุกขนาด	3
อาหารสัตว์เลี้ยง	300 × 410 และเล็กกว่า	15-18
ซूपข้าวโพด	307 × 409	5-6
หน่อไม้ฝรั่ง	ทุกขนาด	2-4
ข้าวโพดอ่อนในน้ำเกลือ	307 × 409	9

ที่มา: วิไล (2546)

3. เครื่องฆ่าเชื้อ (retort)

เครื่องฆ่าเชื้อสำหรับอาหารกระป๋อง ได้แก่ เครื่องฆ่าเชื้อใช้ไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam retort) ซึ่งปกตินิยมใช้ในโรงงานผลิตอาหารกระป๋องทั่วไป (ธนະบูลย์, 2542) เครื่องฆ่าเชื้อประเภทนี้ ต้องสามารถควบคุมปริมาณไอน้ำ (สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และความดัน) ได้อย่างละเอียด แม่นยำ ไอน้ำอิ่มตัว จะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนแฝงไปยังอาหาร ถ้ามีอากาศอยู่ภายในเครื่องฆ่าเชื้อ อากาศจะขัดขวางการควบแน่นของไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งทำให้อาหารได้รับความร้อนไม่เพียงพอ ดังนั้น จึงต้องไล่อากาศออกจากเครื่องฆ่าเชื้อด้วยวิธีแทนที่ด้วยไอน้ำก่อน เครื่องฆ่าเชื้อสำหรับอาหารกระป๋อง จะไม่สามารถใช้ได้กับอาหารบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ เนื่องจาก รีทอร์ทเพาซ์ เป็นภาชนะที่มีความบอบบางมากกว่ากระป๋อง ความดันจากเครื่องฆ่าเชื้อประเภทนี้ จะทำให้รีทอร์ทเพาซ์ ปริ และแตก รวมถึงสูญเสียรูปร่างไปจากเดิม

เครื่องฆ่าเชื้อสำหรับอาหารบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ เช่น เครื่องฆ่าเชื้อใช้ไอน้ำผสมอากาศ (steam/air retort) เป็นเครื่องฆ่าเชื้อที่มีการออกแบบเฉพาะให้ใช้ไอน้ำ เพื่อทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนแฝงไปยังอาหาร ขณะเดียวกันก็มีการอัดอากาศเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อพร้อมกัน โดยอัตราส่วนของไอน้ำต่ออากาศ (steam-air mixture ratio) ที่นิยมใช้คือ ไอน้ำอิ่มตัว 75 ส่วนต่ออากาศ 25 ส่วนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนได้สูง และควบคุมความดันในช่วงทั่วไปสำหรับรีทอร์ทเพาซ์ได้ ลักษณะที่สำคัญของเครื่องฆ่าเชื้อประเภทนี้ ต้องออกแบบให้มีพัดลม หรือกลไกที่ทำให้ไอน้ำ และอากาศผสมกันอย่างสม่ำเสมอ และกระจายในเครื่องฆ่าเชื้ออย่างทั่วถึง (ธนະบูลย์, 2542) ซึ่งการอัดอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยรักษารูปร่าง และความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ไม่ให้ฉีกขาดในระหว่างการฆ่าเชื้อ เพราะบรรจุภัณฑ์มีข้อจำกัดทางด้านความแข็งแรงของรอยเชื่อม (Patel *et al.*, 1991) ในขณะที่มีการฆ่าเชื้อ ความดันภายในบรรจุภัณฑ์จะสูงกว่าความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิฆ่าเชื่อนั้น ๆ ดังนั้น การให้ความดันส่วนเกินกับเครื่องฆ่าเชื้อด้วยวิธีการอัดอากาศ เพื่อให้ความดันภายนอกบรรจุภัณฑ์มากกว่าความดันภายในบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์จึงไม่ปริ แตกในระหว่างการฆ่าเชื้อ

4. กระบวนการใช้เครื่องฆ่าเชื้อ (วิรัตน์, 2547)

4.1 การไล่อากาศ (Venting) เมื่อเริ่มเปิดไอน้ำอิ่มตัวเข้าภายในเครื่องฆ่าเชื้อในช่วงแรกจะมีไอน้ำควบแน่น และไหลลงส่วนล่างของเครื่องฆ่าเชื้อ เนื่องจากไอน้ำถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่

ให้แก่อากาศ จึงต้องเปิดทางระบายน้ำไว้ก่อน จนแน่ใจว่า ไอน้ำที่ควบแน่น ถูกระบายออกจาก เครื่องฆ่าเชื้อ ได้หมด

4.2 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด (come-up-time) เป็น ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ ผ่านขั้นตอนการไล่อากาศจนกระทั่งอุณหภูมิของ เครื่องฆ่าเชื้อสูงขึ้นถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด

4.3 ช่วงเวลาการฆ่าเชื้อ (process time) เมื่ออุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อสูงถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ที่กำหนด และคงที่สม่ำเสมอ จึงเริ่มทำการจับเวลาการฆ่าเชื้อด้วยนาฬิกาที่เที่ยงตรง ถูกต้อง

4.4 ช่วงเวลาการทำให้เย็น (cooling time) เมื่อครบกำหนดเวลาการฆ่าเชื้อแล้ว ต้องทำให้ อาหารเย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำสะอาดที่มีสารคลอรีน 0.5-1 ppm. ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิโดยเร็ว เพื่อยับยั้งการเสื่อมคุณภาพของอาหารจากความร้อนสะสม และเพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของ จุลินทรีย์ประเภท thermophile ได้ โดยทั่วไป อุณหภูมิของอาหารต้องถูกทำให้ลดลงต่ำกว่า 45 องศา เซลเซียส แล้วนำมาเป่าลมให้แห้ง เพื่อไม่ให้ภาชนะบรรจุเป็นสนิม และช่วยระบายความร้อน

ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุ หมายถึง ภาชนะหรือโครงสร้างใด ๆ ที่ใช้เพื่อบรรจุ ห่อหุ้ม และรวบรวม ผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วย เพื่อนำส่งผลิตภัณฑ์ถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ยังรวมถึง ฉลากและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการมัด หรือปิดภาชนะบรรจุด้วย (งามทิพย์, 2538)

1. ภาชนะโลหะ

ภาชนะโลหะ นิยมใช้ทั่วไปในการผลิตกระป๋อง โดยเฉพาะกระป๋องสำหรับบรรจุอาหาร นั้น นิยมใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tin plate) ในการผลิตมากที่สุด (Paine and Paine, 1992) ซึ่งแผ่น เหล็กเคลือบดีบุก ทำมาจากแผ่นเหล็กดำ (black plate หรือ black coil) ที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ แล้ว ผ่านการรีดเย็นจนเป็นแผ่นบาง ที่มีความหนาตั้งแต่ 0.15-0.5 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม แผ่นเหล็กดำ มักขึ้นสนิมได้ง่าย จึงต้องใช้ดีบุกเคลือบผิวเหล็กไว้ทั้ง 2 ด้าน สำหรับการเคลือบดีบุกบนผิวของ แผ่นเหล็กดำนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ การจุ่มร้อน (hot-dip coating) เป็นการจุ่มแผ่นเหล็กดำลงใน สารละลายดีบุก ดีบุกจะเคลือบผิวหน้าของแผ่นเหล็กได้เท่ากันทั้งสองหน้า แต่จะเกิดรูเข็ม (pin

hole) ได้ง่าย ส่วนวิธีที่ 2 เป็นการเคลือบด้วยไฟฟ้า โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายดีบุก ซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) วิธีนี้เป็นที่นิยมในปัจจุบัน สามารถเคลือบดีบุกได้บางกว่าวิธีแรก และไม่เกิดปัญหาการเชื่อม (งามทิพย์, 2538) ระหว่างชั้นของแผ่นเหล็กและชั้นของดีบุก จะเกิดโลหะผสมของเหล็กและดีบุก (FeSn_2 alloy) ส่วนผิวหน้าของชั้นดีบุก จะถูกเคลือบอีกชั้นด้วยฟิล์มออกไซด์ (oxide film) และฟิล์มน้ำมัน (oil film) ซึ่งชั้นฟิล์มทั้งสองนี้ มักจะถูกทำลายในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ หรือหลังกระบวนการให้ความร้อน แต่ชั้นโลหะผสมของเหล็กและดีบุก จะช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์ไม่ให้สัมผัสกับแผ่นเหล็กได้ (Board, 1973) กระจกป้องกันผลิตภัณฑ์จากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกแล้ว อาจเคลือบแล็กเกอร์ (lacquer) อีกชั้นหนึ่ง หรือไม่เคลือบก็ได้ สำหรับการเคลือบแล็กเกอร์ เพื่อช่วยให้กระจกมีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) อากาศ ไนเตรต (nitrate) รังควัตถุ (pigment) และสารประกอบซัลไฟด์ (sulfur compounds) (Greger and Baier, 1981)

2. รีทอร์ทแพช (retort pouch)

รีทอร์ทแพช (retort pouch) เป็นภาชนะบรรจุที่ผลิตจากฟิล์มพลาสติก หรือพลาสติก ลามิเนตกับอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) มีน้ำหนักเบา สามารถทนความร้อน และความดันในระหว่างการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ทั้งยังสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 1 ปีที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับกระป๋อง หรือขวดแก้ว (Bindu *et al.*, 2004)

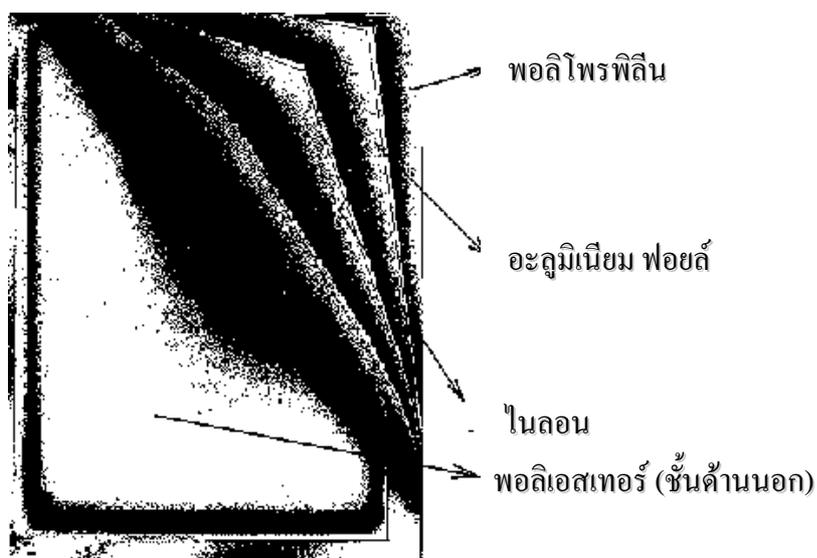
ข้อดีของรีทอร์ทแพช คือ มีความหนาแน่นน้อย จึงทำให้เวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนลดลง ซึ่งส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารดีขึ้น อีกทั้งลักษณะของรีทอร์ทแพชมีความแบน และบาง จึงมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่ากระป๋อง ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิต และยังประหยัดต้นทุนด้านค่าขนส่งด้วย (Mohan *et al.*, 2006) ส่วนข้อเสียของรีทอร์ทแพช คือ มีอัตราการผลิตของถุงต่ำกว่ากระป๋อง และยุ่งยากมากกว่า ต้องเน้นในการตรวจสอบ การควบคุมคุณภาพมากกว่ากระป๋อง มีอัตราการสูญเสียสูงกว่า เนื่องจากการกระทบกระแทกในระหว่างการขนส่ง เป็นต้น

สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นรีทอร์ทแพช โดยควรคำนึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สัมผัสกับอาหารได้อย่างปลอดภัย และได้รับการอนุมัติให้ใช้ได้โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

2. ป้องกันก๊าซออกซิเจน และไอน้ำได้ดีมาก
3. ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน หรือน้ำมัน และส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาหารได้
4. ทนต่ออุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่สูงถึง 145 องศาเซลเซียส
5. ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี และมีช่วงอุณหภูมิกว้าง
6. มีความแข็งแรงทางกายภาพ ไม่แตกทะลุ หรือฉีกขาดง่าย
7. สามารถใช้กับเครื่องขึ้นรูป และเครื่องบรรจุอัตโนมัติได้
8. สามารถพิมพ์ลวดลาย และข้อความต่าง ๆ ได้ง่าย ชัดเจนและทนทาน

โดยทั่วไปแล้ว วัสดุที่นำมาทำรีทอร์ทแพคเกจ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย วัสดุเชื่อมประสานกัน 4 ชั้น ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างของรีทอร์ทแพคเกจ

ที่มา: วิไล (2546)

Prakash *et al.* (2005) ได้ยกตัวอย่างวัสดุที่นำมาทำรีทอร์ทแพคเกจ เรียงลำดับจากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน เช่น

- พอลิเอสเทอร์ (polyester) เคลือบกับอะลูมิเนียม ออกไซด์ (aluminium oxide, Al_2O_3) / พอลิเอสเทอร์ / ไนลอน (nylon, Ny) / พอลิโพรพิลีน (cast polypropylene, CPP)

- พอลิเอสเทอร์เคลือบกับซิลิคอน ออกไซด์ (silicon oxide, SiO₂) / พอลิเอสเทอร์ / ไนลอน (nylon, Ny) / พอลิโพรพิลีน (cast polypropylene, CPP)

- พอลิเอสเทอร์ / อะลูมิเนียม ฟอยล์ (aluminium foil) / ไนลอน (nylon, Ny) / พอลิโพรพิลีน (cast polypropylene, CPP)

พอลิเอสเทอร์ (polyester)

พลาสติกกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่สำคัญ คือ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (polyethylene terephthalate, PET) และพอลิบิวทีรีน เทเรฟทาเลท (polybutylene terephthalate, PBT) ซึ่งค่าความหนาแน่น และอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพลาสติก สำหรับ PET มีสมบัติขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ สารให้กลิ่น และไขมันได้ดี แต่ขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำได้เพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม PET มีความแข็งแรง และมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้างตั้งแต่ -60 ถึง 200 องศาเซลเซียส จุดเด่นของ PET คือมีความใส และมีความแข็งแรง สามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลานาน (Brandsch and Piringer, 2000)

อะลูมิเนียม ฟอยล์ (aluminium foil)

อะลูมิเนียมฟอยล์ มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ไอน้ำ สารให้กลิ่น ป้องกันจุลินทรีย์ และป้องกันแสงได้ดี (Baker *et al.*, 1988; Gopal *et al.*, 2001) และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับบริทอร์ทเพาซ์ (Brown, 1992)

พอลิเอไมด์ (polyamide)

พอลิเอไมด์ที่สำคัญ คือ ไนลอน ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับบริทอร์ทเพาซ์ (Gopal *et al.*, 2001) มีสมบัติขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ และสารให้กลิ่นได้ดี แต่ขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดีนัก จึงต้องใช้ร่วมกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ (Brown, 1992) เช่น การลามิเนตกับพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) พอลิเอไมด์ มีช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้าง โดยมีอุณหภูมิหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 175-255 องศาเซลเซียส แต่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ตั้งแต่ -50 ถึง -70 องศาเซลเซียส (Brandsch and Piringer, 2000)

พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP)

เป็นฮอโมพอลิเมอร์ มีอุณหภูมิหลอมเหลว 160-170 องศาเซลเซียส พอลิโพรพิลีนจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก ที่มีความใสมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน ไวต่อการเกิดออกซิเดชัน จึงต้องมีการเติมสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) เสมอ (Brandsch and Piringer, 2000) พอลิโพรพิลีน มีสมบัติขัดขวางการซึมผ่านของการไอน้ำ หรือป้องกันความชื้นได้ดีมาก และขัดขวางการซึมผ่านของไขมันได้ดี แต่สมบัติการขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซไม่ดีนัก นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องเก็บรักษา ณ อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (frozen temperature) เพราะพอลิโพรพิลีน จะกรอบ และเปราะ (Selke, 1997) ซึ่งการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีน จะสามารถช่วยแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 ข้าวเจ้า พันธุ์เหลือง 11 จากห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟฟ้าพลังงานรุ่งเรือง 3 อ. กมลาไสย จ. กาฬสินธุ์

1.2 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (Crosslinked Rice Starch Batch No. 523180805) ด้วยสารฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ จากบริษัทโพเทนเซียล มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ราคาโดยประมาณ 40 บาท/กิโลกรัม) มีระดับการเกิดพันธะข้าม ร้อยละ 59.9 ซึ่งวัดตามวิธีการของ Chatakanonda *et al.* (2000)

1.3 สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (GELPRO L Batch No.3250625) ด้วยสารฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ จากบริษัทโพเทนเซียล มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ราคาโดยประมาณ 17 บาท/กิโลกรัม) มีระดับการเกิดพันธะข้าม ร้อยละ 43.3 ซึ่งวัดตามวิธีการของ Chatakanonda *et al.* (2000)

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอมิโลส

2.1.1 เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95

2.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.1.3 กรดแอสติก

2.1.4 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง

2.1.5 ไอโอดีน

2.1.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

- 2.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 95-97
- 2.2.2 คอปเปอร์ซัลเฟต
- 2.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2.2.4 กรดบอริก
- 2.2.5 โพแทสเซียมซัลเฟต
- 2.2.6 กรดไฮโดรคลอริก
- 2.2.7 เมทิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์

3. อุปกรณ์ในการผลิตแป้งข้าวเจ้า และเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋องและรีทอร์ทแพคเกจจิ้ง

- 3.1 เครื่องโม่หินไฟฟ้า (Double-disc stone mill)
- 3.2 เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า (Basket centrifuge) รุ่น H-130G ผลิตโดย บริษัท Kokusan Ensinki Co.,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- 3.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ผลิตโดย บริษัท รีไลอันซ์ เทคโนโลยี จำกัด ประเทศไทย
- 3.4 เครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง (Ultra-centrifugal mill type) รุ่น ZM 1 ผลิตโดย บริษัท Retch ประเทศเยอรมัน
- 3.5 เครื่องนึ่งอาหารไฟฟ้า รุ่น HS-639 ผลิตโดย บริษัท Freedom Development ประเทศไทย
- 3.6 เครื่องปิดผนึกกระป๋อง
- 3.7 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ
- 3.8 เครื่องฆ่าเชื้อความดันสูงชนิด Water Spray Retort รุ่น ASR – 100/20 ผลิตโดย บริษัท HISAKA WORKS จำกัด ประเทศญี่ปุ่น
- 3.9 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) พร้อมกับโปรแกรมสำเร็จรูป Presica 2002 จาก บริษัทอะควา แอร์ เทคโนโลยี จำกัด ประเทศไทย ใช้คำนวณค่าความร้อนที่อาหารได้รับ ณ อุณหภูมิอ้างอิง 121.1 องศาเซลเซียส ที่เรียกว่า F_0

4. ภาชนะบรรจุ

4.1 กระป๋องแบบ 2 ชั้น ขนาด 300 × 203 ผลิตโดย บริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ จำกัด ประเทศไทย

4.2 รีทอร์ทแพคเกจจิ้ง (standing pouch) ขนาด 140 × 190 × 35 มิลลิเมตร ประกอบด้วย PET 12 ไมครอน/ NY 15 ไมครอน / AI 19 ไมครอน / CPP 80 ไมครอน ผลิตโดย บริษัท รอยแอลแคน อินดัสทรี จำกัด ประเทศไทย

5. อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพ

5.1 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

5.1.1 กล้องจุลทรรศน์ชนิด light microscope รุ่น Axiolab re ผลิตโดย บริษัท Carl Zeiss, ประเทศเยอรมัน

5.1.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA, อาร์วีเอ) รุ่น RVA4 ผลิตโดยบริษัท Newport Scientific Instruments & Engineering ประเทศออสเตรเลีย

5.1.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น TA-XT2 ผลิตโดย บริษัท Stable Micro System ประเทศอังกฤษ

5.1.4 เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CM-3500d ประเทศญี่ปุ่น

5.1.5 อุปกรณ์วิเคราะห์การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้มและปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไปในระหว่างการต้มเส้นอบแห้ง

5.2 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางเคมี

5.2.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

5.2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น 600 D06062 ผลิตโดย บริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

5.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

5.2.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น Spectronic 22 ผลิตโดย บริษัท Milton Roy Co. ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

5.2.6 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Buchi kjeldahl system) ประกอบด้วยเครื่องย่อย (Buchi 435 digestion system) และเครื่องกลั่น (Buchi digestion unit B-316) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

5.2.7 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณไขมัน

5.2.8 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec system HT ผลิตโดยบริษัท Tecator ประเทศสวีเดน

5.2.9 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณเถ้า

5.2.10 เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น FSE-621 Series ผลิตโดย บริษัท Sanyo Gallenkamo ประเทศอังกฤษ

5.2.11 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

5.3 อุปกรณ์ตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC, ดีเอสซี) รุ่น Pyris1 ผลิตโดย บริษัท Perkin-Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.4 อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการ

1. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม

สำหรับการเตรียมแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ทำตามวิธีการของอรพรรณ (2547) คือ นำข้าวเจ้าเหลือง 11 มาคัดแยกตำหนิ และสิ่งเจือปนออกด้วยตาเปล่า ล้างข้าวให้สะอาด จนน้ำที่ใช้ล้างข้าวใส แช่ข้าวนาน 4 ชั่วโมง จากนั้น นำข้าวไปโม่เปียกด้วยเครื่องโม่หินไฟฟ้า 2 รอบ โดยใช้สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 ส่วนต่อ 2 ส่วน นำน้ำแป้งที่ได้จากการโม่ใส่ในถุงผ้าดิบ ผูกปากถุงผ้าดิบให้แน่น แล้วนำไปเหวี่ยงแยกน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า ลดก้อนแป้งหมาดให้มีขนาดเล็กกลง เกลี่ยก้อนแป้งบนถาด แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จากนั้น นำแป้งที่อบแห้งแล้ว ไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างอาหารแห้ง แล้วร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช หรือ 150 ไมโครเมตร เพื่อควบคุมให้แป้งข้าวมีขนาดสม่ำเสมอ กันบรรจุแป้งที่ได้ลงในถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของแป้งในระหว่างการศึกษา

ทำการตรวจสอบสมบัติของวัตถุดิบ ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1.1 การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม

1.1.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่

ก. ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.1)

ข. ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2000) หมายเลข 979.09 (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.2)

ค. ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2000) หมายเลข 920.39 (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.3)

ง. ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ Smith and Caruso (1964) (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.4)

จ. ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีการของ Juliano (1971) (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.5)

1.1.2 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ตามวิธีการของ Chatakanonda *et al.* (2000) (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 2.1)

1.1.3 การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และแป้งของสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว โดยตัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 61-02 (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 2.2)

ในการวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว จะเตรียมตัวอย่างแป้ง 3 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 25 กรัม ใส่ในถ้วยทรงกระบอก จากนั้น นำถ้วยทรงกระบอกที่มีใบพาย ประกอบเข้ากับที่ยึดใบพายของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว แล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยบันทึกค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดลดลง (breakdown) ความหนืดคืนตัว (setback) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature)

1.1.4 การวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ตามวิธีการของ Yoshimura *et al.* (1999) (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 3)

1.2 การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม

1.2.1 การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมและไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม โดยตัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 61-02

เตรียมตัวอย่าง 3 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 25 กรัม และปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1.1.3 อนึ่ง แป้งจำนวน 3 กรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด ถ้ามีการผสมสารสกัดแปรรูปแบบพันธะข้าม จะผสมในสัดส่วนเดียวกันกับที่ใช้ทำก้วยเดี่ยว กล่าวคือ สัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสารสกัดแปรรูปแบบพันธะข้าม ในปริมาณร้อยละ 3 ของส่วนผสมทั้งหมด จะใช้แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เท่ากับ 37 ส่วน และใช้สารสกัดแปรรูปเท่ากับ 3 ส่วน ดังนั้น หากต้องการชั่งแป้ง 3 กรัม เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด จะคำนวณการใช้แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ได้เท่ากับ 2.775 กรัม ผสมกับสารสกัดแปรรูป 0.225 กรัม สำหรับสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสารสกัดแปรรูปแบบพันธะข้าม ในปริมาณร้อยละ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด จะใช้แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เท่ากับ 34 ส่วน และใช้สารสกัดแปรรูปเท่ากับ 6 ส่วน ดังนั้น หากต้องการชั่งแป้ง 3 กรัม จะคำนวณการใช้แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ได้เท่ากับ 2.550 กรัม ผสมกับสารสกัดแปรรูป 0.450 กรัม

1.2.2 การวัดเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสารสกัดแปรรูปแบบพันธะข้าม ตามวิธีการของ Mohamed *et al.* (2006) (แสดงในภาคผนวก ข ข้อ 1)

นำเจลที่เตรียมได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดในข้อ 1.2.1 (ความเข้มข้นของน้ำแป้งเท่ากับร้อยละ 10.7) มาบรรจุลงในหลอดฉีดยา ซึ่งเป็นทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร เก็บเจลไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนตัดเจลให้มีความสูง 20 มิลลิเมตร แล้วนำไปวัดค่าค่าโค้งคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA)

2. การทดสอบคุณภาพของเส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสารสกัดแปรรูปทางเคมีแบบพันธะข้าม

การผลิตเส้นก้วยเดี่ยวอบแห้ง

เนื่องจากการผสมสารสกัดแปรรูปแบบพันธะข้าม ลงในส่วนผสมอาหาร มีข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 ว่าด้วยเรื่องวัตถุเจือปนอาหาร ที่อนุญาตให้ใช้ โดสสารฟอสเฟตในรายการอาหารต่าง ๆ สูงสุด 60 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 6 ของน้ำหนักอาหาร

ในงานวิจัยนี้ จึงเตรียมเส้นก๋วยเตี๋ยวจากน้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 40 ตามวิธีการของ อรพรรณ (2547) และทดลองผสมสารซัดแปรแบบพันธะข้ามลงในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ใน ปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 ของส่วนผสมน้ำแป้งทั้งหมด (แสดงส่วนผสมของน้ำแป้ง ดังตาราง ที่ 2) ซึ่งน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 จะประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เท่ากับ 40 ส่วน และน้ำ 60 ส่วน ถ้ามีการผสมสารซัดแปรแบบพันธะข้าม ในปริมาณร้อยละ 3 ของส่วนผสม ทั้งหมด จะใช้แป้งข้าวเจ้า 37 ส่วน ใช้สารซัดแปร 3 ส่วน และน้ำ 60 ส่วน แต่ถ้ามีการผสม สารซัดแปรแบบพันธะข้ามในปริมาณร้อยละ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด จะใช้แป้งข้าวเจ้า 34 ส่วน ใช้สารซัดแปร 6 ส่วน และน้ำ 60 ส่วน

ตารางที่ 2 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว (ร้อยละ)

รหัสตัวอย่างเส้น ก๋วยเตี๋ยว	แป้งข้าวเจ้า เหลือง 11	น้ำกรอง	สารซัดแปรแบบพันธะข้าม		ส่วนผสม ทั้งหมด
			ข้าวเจ้า	มันสำปะหลัง	
CONTROL	40	60	-	-	100
L-11+CR3	37	60	3	-	100
L-11+CR6	34	60	6	-	100
L-11+CT3	37	60	-	3	100
L-11+CT6	34	60	-	6	100

วิธีการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เริ่มจากการเตรียมส่วนผสมน้ำแป้งทั้งหมด กวนส่วนผสมเข้ากัน นาน 3 นาที ตั้งน้ำแป้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จากนั้น ชั่งน้ำแป้ง จำนวน 50 กรัม เทลงบนถาดอะลูมิเนียม ขนาด 20 × 30 เซนติเมตร นำไปนึ่งด้วยเครื่องนึ่งไฟฟ้า นาน 5 นาที แล้วเป่าให้เย็นด้วยพัดลม นาน 15-20 นาที ลอกแผ่นแป้งสุกที่ได้ออกจากถาด วางทับซ้อนกันบนถุงพลาสติก บ่มแผ่นแป้งที่ อุณหภูมิตู้เย็น (2-4 องศาเซลเซียส) นาน 6 ชั่วโมง นำแผ่นแป้งมาตัดเป็นเส้นให้กว้าง 10 มิลลิเมตร เรียงเส้นบนตะแกรง แล้วนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง วัดคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง ดังนี้

21 การวัดการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม ตามวิธีการของ Lee *et al.* (2005) (ดังแสดงในภาคผนวก ข ข้อ 3)

22 การวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ตามวิธีการของ Lii and Chang (1981) (ดังแสดงในภาคผนวก ข ข้อ 4)

3. การศึกษาผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามต่อการทนความร้อนในระดับสเทอร์ไลเซชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

3.1 การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวยวบรรจุกระป๋อง

3.1.1 การศึกษาระยะเวลาของการลวกเส้นอบแห้ง

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวยวอบแห้ง มาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เส้นอ่อนตัว จากนั้น ลวกเส้นในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที ซึ่งตัดแปลงจากวิธีการของ มอก. (2533) แล้วทำให้เย็นทันที ด้วยการแช่ในน้ำ 1 นาที และ สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 5 นาที ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังผ่านการลวก

จากนั้น นำเส้นคืนรูป มาบรรจุลงในกระป๋องที่มีขนาด 300×203 ให้น้ำหนักสุทธิเท่ากับ 100 กรัม หนึ่งโถ่อากาศนาน 3 นาที ปิดผนึกกระป๋อง แล้วนำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อความดันสูงชนิด Water Spray Retort ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อเท่ากับ 121 องศาเซลเซียส จึงเริ่มจับเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที ภายหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อ ต้องเก็บรักษา ก๋วยเตี๋ยวยวบรรจุกระป๋อง ไว้อย่างน้อย 14 วัน เพื่อสังเกตความผิดปกติของกระป๋อง ซึ่งเป็นข้อปฏิบัติ ตาม มอก. (2523) ถ้าไม่พบความผิดปกติ จึงนำตัวอย่างไปอุ่นให้ร้อน ด้วยการเทเส้นก๋วยเตี๋ยวลงใน ภาชนะสำหรับใช้กับเครื่องไมโครเวฟ (ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องไมโครเวฟ ที่มีขนาดกำลัง 1300 วัตต์) ใช้ระดับความร้อนปานกลาง นาน 1 นาที ก่อนนำไปคุณภาพ ดังนี้

ก. การวัดความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
ตัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 66-50 (ดังแสดงในภาคผนวก ข ข้อ 2)

ข. การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) ตามวิธีการของ Meilgaard *et al.* (1999) จากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน โดยประเมินปัจจัยด้านสี ความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นของเส้น กำหนดระดับความเข้มของปัจจัยที่ศึกษาเท่ากับ 1-15, 1 คือ น้อย และ 15 คือ มาก (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 1)

เลือกระยะเวลาของการลวกเส้นอบแห้งที่ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวยวบรรจุกระป๋อง มีคุณภาพดีที่สุด ทั้งนี้ เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.1.2 การศึกษาอุณหภูมิการฆ่าเชื้อต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุ กระป๋อง

เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง นำมาลวกตามระยะเวลา ที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.1.1 จากนั้น บรรจุเส้นคืนรูปลงในกระป๋องขนาด 300×203 ให้น้ำหนักสุทธิเท่ากับ 100 กรัม หนึ่งใล่ อากาศนาน 3 นาที ก่อนการปิดผนึกกระป๋อง แล้วนำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อความดันสูงชนิด Water Spray Retort ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส กำหนดค่า F_0 ให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.0-8.0 นาที ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในกระป๋อง ณ บริเวณจุดที่ได้รับความร้อน ซ้ำที่สุด โดยนำสายเทอร์มอคัปเปิลที่ต่ออยู่กับเครื่องบันทึกข้อมูลมาเสียบกับเจล แป้งสุกที่มีขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร ซึ่งใช้จำลองแทนอุณหภูมิของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่บรรจุอยู่ในกระป๋อง แล้ว บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที เมื่ออุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด จึงเริ่มจับเวลา การฆ่าเชื้อ ภายหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อ ต้องเก็บรักษาถ้วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋องไว้อย่างน้อย 14 วัน เพื่อสังเกตความผิดปกติของกระป๋อง ซึ่งเป็นข้อปฏิบัติตาม มอก. (2523) ถ้าไม่พบความผิดปกติ จึง นำตัวอย่างไปอุ่นให้ร้อน ด้วยการเทเส้นก๋วยเตี๋ยวลงในภาชนะสำหรับใช้กับเครื่องไมโครเวฟ (ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องไมโครเวฟ ที่มีขนาดกำลัง 1300 วัตต์) ใช้ระดับความร้อนปานกลาง นาน 1 นาที ก่อนนำไปคุณภาพ ดังนี้

ก. การวัดความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
ดัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 66-50 (ดังแสดงในภาคผนวก ข ข้อ 2)

ข. การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) ตามวิธีการของ Meilgaard *et al.* (1999) จากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน โดยประเมินปัจจัยด้าน สี ความแน่นแข็งของเส้น ความเหนียว และความยืดหยุ่น กำหนดระดับความเข้มของปัจจัยที่ศึกษาเท่ากับ 1-15, 1 คือ น้อย และ 15 คือ มาก (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 1)

เลือกอุณหภูมิการฆ่าเชื้อ และเลือกปริมาณการผสมสตาร์ชดัดแปรแบบ พันธะข้าม ที่ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวหลังฆ่าเชื้อมีคุณภาพดีที่สุด เพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารสำเร็จรูป ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุกระป๋อง และก๋วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ

4. การผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุกระป๋อง และรีทอร์ทเพาซ์

4.1 การผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุกระป๋อง

ผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่ ซึ่งคัดแปลงจากสูตรจากสมุล (2545) ซึ่งส่วนผสมในการผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่ (ดังแสดงในภาคผนวก ง) วิธีการผลิตเริ่มจากนำเส้นถ้วยเตี้ยที่ได้จากผลการศึกษาใน ข้อ 3.1.2 นำมาคั้นรูปตามระยะเวลาการลวกเส้นที่ได้จากผลการศึกษาในข้อ 3.1.1 แล้วคลุกเส้นกับน้ำปรุงรสที่เตรียมไว้ ในสัดส่วนเส้นคั้นรูป 4 ส่วน ต่อน้ำปรุงรส 1 ส่วน จากนั้น บรรจุเส้นถ้วยเตี้ยปรุงรส 70 กรัม ไข่ฝัดจนสุก 10 กรัม ใก่หมักฝัดจนสุก 10 กรัม ผักลวกขิงลวก 3 กรัม ตังนำยลวก 1 กรัม และแครอทลวก 6 กรัม ลงในกระป๋อง ซึ่งถ้วยเตี้ยแก้วใก่ที่ได้ จะมีน้ำหนักสุทธิ 100 กรัม นำไปนึ่งไต่อาภาศนาน 3 นาที ปิดผนึกกระป๋อง แล้วนำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อความดันสูงชนิด Water Spray Retort ใช้อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ ซึ่งได้จากการศึกษาในข้อ 3.1.2 กำหนดค่า F_0 ให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.0-8.0 นาที ซึ่งเป็นเวลาการสเทอร์ไลซ์ของเนื้อใก่ (Alstrand and Ecklund, 1952) ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในกระป๋องบริเวณจุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุด โดยนำสายเทอร์มอคัปเปิลที่ตั้งอยู่กับเครื่องบันทึกข้อมูลเทียบกับเนื้อใก่สุก ซึ่งใช้จำลองแทนอุณหภูมิอาหารภายในกระป๋อง บันทึกอุณหภูมิ ทุก ๆ 1 นาที เมื่ออุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด จึงเริ่มจับเวลาการฆ่าเชื้อ

4.2 การผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์

ผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่ เช่นเดียวกับวิธีการในข้อ 4.1 แล้วบรรจุเส้นลงในรีทอร์ทเพาซ์ ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ จากนั้น นำถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์เข้าเครื่องฆ่าเชื้อความดันสูงชนิด Water Spray Retort ใช้อุณหภูมิการฆ่าเชื้อเช่นเดียวกับการผลิตถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุกระป๋อง กำหนดค่า F_0 มีค่าอยู่ในช่วง 6.0-8.0 นาที ทำการบันทึกอุณหภูมิอาหารภายในรีทอร์ทเพาซ์ ในบริเวณจุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุด โดยนำสายเทอร์มอคัปเปิลที่ตั้งอยู่กับเครื่องบันทึกข้อมูลเทียบกับเนื้อใก่สุก ซึ่งใช้จำลองแทนอุณหภูมิอาหารในรีทอร์ทเพาซ์ บันทึกอุณหภูมิ ทุก ๆ 1 นาที เมื่ออุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด จึงเริ่มจับเวลาการฆ่าเชื้อ

ภายหลังจากการสเทอร์ไลซ์ จึงตรวจสอบทางด้านจุลชีววิทยาของถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุกระป๋อง และถ้วยเตี้ยแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ในระหว่างเก็บรักษา

5. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของก้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุกระป๋อง และก้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทแพช ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยตรวจสอบคุณภาพ ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ดังนี้

5.1 การวัดปริมาณความชื้นของเส้นก้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป ตามวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A (ดังแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 1.1)

5.2 การวัดสีของเส้นก้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป

5.3 การวัดความแน่นแข็งของเส้นก้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส คัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 66-50 (ดังแสดงในภาคผนวก ข ข้อ 2)

5.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 จุด (9-point hedonic scaling) ซึ่งเป็นทดสอบการยอมรับ (acceptance test) จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ตามวิธีการของไพโรจน์ (2545) (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 2)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomize Design, CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติ จึงนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's Multiple Range Test (DMRT) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) นำข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติ จึงนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's Multiple Range Test (DMRT) สำหรับข้อมูล 2 กลุ่ม เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test

7. สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการ และอาคารแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาคารแปรรูปของสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ระยะเวลาการทดลอง

ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2547 ถึงเดือนธันวาคม 2549

ผลและการวิจารณ์

1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของวัตถุดิบ

1.1 การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรแบบพันธะข้าม

1.1.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรแบบพันธะข้าม ปรากฏว่าทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชคัดแปร มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรแบบพันธะข้าม

ตัวอย่าง ¹	ความชื้น**	โปรตีน**	ไขมัน**	ฟอสเฟต**	แอมิโลส*
L-11	8.76 ± 0.86 c	7.79 ± 0.12 a	0.13 ± 0.05 a	-	33.58 ± 1.10 a
CR	11.41 ± 0.11 b	0.28 ± 0.05 b	0.07 ± 0.02 b	0.034 ± 0.00 a	25.25 ± 1.14 b
CT	12.77 ± 0.19 a	0.12 ± 0.05 c	0.05 ± 0.00 b	0.027 ± 0.00 b	27.38 ± 1.07 b

หมายเหตุ ¹L-11 = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11, CR = สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรแบบพันธะข้าม, CT = สตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรแบบพันธะข้าม

* ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ปริมาณความชื้น จะบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษา หรือความปลอดภัยในการเก็บรักษาข้าว หรือแป้งข้าวให้มีคุณภาพที่ดี (อรอนงค์, 2547) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นปรากฏว่า แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ความชื้นของแป้งข้าว และสตาร์ชตัดแปร ยังคงมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 14 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณความชื้นที่ มอก. (2535) กำหนดไว้ โดยปริมาณความชื้นของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ 8.76) แตกต่างกับการวิเคราะห์แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ของอรพรรณ (2547) (ร้อยละ 11.22) กมลวรรณ (2548) (ร้อยละ 9.41) ซึ่งอาจเกิดจากเวลาในการอบแห้ง หรือกระบวนการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในแป้ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากข้าว (Baxter *et al.*, 2004) คือ พันธะไคซัลไฟด์ของโปรตีนในแป้งข้าว ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชถูกจำกัดในระหว่างการเจลาทิไนเซชัน (Hamaker and Griffin, 1993) ซึ่งโดยทั่วไป ข้าวมีปริมาณโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 7 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดสตาร์ช ต้องนำแป้งไปผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่อื่น ๆ ก่อนที่จะนำสตาร์ชมาตัดแปรแบบพันธะข้าม ซึ่ง Shih (2004) กล่าวว่า โปรตีนจะถูกกำจัดออกไปโดยอาศัยความสามารถในการละลายของโปรตีนในตัวทำละลายที่ต่างกัน ได้แก่ แอลบูมิน เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โกลบูลิน เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือ กลูเตลิน เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายกรด หรือเบสเจือจาง และโพรลามิน เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายเอทานอล โดย มอก. (2535) ได้กำหนดมาตรฐานของสตาร์ชตัดแปรไว้ว่า ต้องมีปริมาณโปรตีนไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ถือว่า ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ มอก. (2535) กำหนดไว้

ปริมาณไขมันที่มีในแป้ง จะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของพันธุ์ข้าว และระดับการขัดสีเนื่องจากไขมันส่วนใหญ่สะสมอยู่บริเวณคัพพะ และเยื่อหุ้มชั้นนอก เมื่อข้าวผ่านการขัดสีมากทำให้สูญเสียไขมันออกไป ซึ่ง Marshall *et al.* (1990) พบว่า การกำจัดไขมันออกจากเมล็ดข้าว จะทำให้อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาทิไนเซชันลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์เร็วขึ้น จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ปรากฏว่า แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีปริมาณไขมันมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร โดยปริมาณไขมันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ 0.13) มีค่าใกล้เคียงกับ

การวิเคราะห์แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ของอรพรรณ (2547) (ร้อยละ 0.10) กมลวรรณ (2548) (ร้อยละ 0.16) และคันสนีย์ (2548) (ร้อยละ 0.16)

ปริมาณฟอสเฟตของสตาร์ชตัดแปรแบบพันระข้ามที่ มอก. (2535) กำหนดไว้ คือ สตาร์ชตัดแปรประเภทไดสตาร์ชฟอสเฟต ต้องมีปริมาณฟอสเฟต (คำนวณเป็นฟอสฟอรัส) ไม่เกิน ร้อยละ 0.04 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีปริมาณฟอสเฟตร้อยละ 0.034 และ 0.027 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ มอก. (2535) กำหนด

ส่วนปริมาณแอมิโลสที่มีในแป้งข้าว เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดลักษณะเป็นแผ่นกาวยืดหยุ่นได้ (Mestres *et al.*, 1988) ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดไขมันอิสระ และการเกิดเป็นเกลียวกับแอมิโลเพกทิน จะมีส่วนช่วยให้เกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรง (Jane and Chen, 1992) จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีปริมาณแอมิโลสมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร โดยปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ 33.58) มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ของอรพรรณ (2547) (ร้อยละ 33.60) กมลวรรณ (2548) (ร้อยละ 34.42) และคันสนีย์ (2548) (ร้อยละ 35.04)

1.1.2 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และการเกิดเจลทาโทในเซชัน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้า และเม็ดสตาร์ชตัดแปรแบบพันระข้าม ตรวจสอบได้จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (light microscope) ซึ่งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Heat Stage เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 25, 60, 75 และ 95 องศาเซลเซียส ส่วนการเกิดเจลทาโทในเซชันของเม็ดสตาร์ช ตรวจสอบด้วยการใช้เลนซ์จัดแสงโพลาไรซ์ (polarized light len) เมื่อแสงโพลาไรซ์ส่องผ่านเม็ดสตาร์ช จะเห็นไบรีฟรินเจนซ์ในเม็ดสตาร์ช (Whistler and BeMiller, 1999) โดยสมบัติดังกล่าวนี้ บ่งชี้ว่า เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึก ซึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อสตาร์ชเกิดเจลทาโทในเซชันที่สมบูรณ์ จะสูญเสียสมบัตินี้ไป (Eliasson and Gudmundsson, 1996; Bergman *et al.*, 2004)

ผลการสังเกตลักษณะของเม็ดสตาร์ช เริ่มต้นจากอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) หรือยังไม่มีการให้ความร้อน ดังภาพที่ 5 จะเห็นว่า ทั้งเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้า

เหลือง 11 (L-11) สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม (CT) ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเม็ดสตาร์ช กล่าวคือ เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร มีรูปร่างหลายเหลี่ยม มีขนาดใกล้เคียงกัน มีทั้งจับตัวกันเป็นกลุ่ม และกระจายเป็นเม็ดเดี่ยว จากรายงานของอนุกุล และ โสภิตา (2549) ระบุว่า เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีขนาดประมาณ 3-5 ไมโครเมตร จะเห็นว่า ลักษณะเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ทำให้ทราบว่า การตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้าม ไม่ทำให้ขนาด และรูปร่างของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป (Wurzburg, 1986) สำหรับสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีรูปร่างกลมคล้ายไข่ที่มีรอยตัด จากรายงานของอนุกุล และ โสภิตา (2549) ระบุว่า เม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีขนาดประมาณ 5-35 ไมโครเมตร ส่วนการตรวจสอบสมบัติไบรีฟรินเจนต์ ปรากฏว่า ทั้งเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้าตัดแปร และเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร เกิดไบรีฟรินเจนต์ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยังไม่มีการให้ความร้อน โครงสร้างส่วนผลึกที่มีการจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

ผลการสังเกตลักษณะของเม็ดสตาร์ช ขณะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 6 พบว่า เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร จะค่อย ๆ เพิ่มขนาดขึ้น หรือเกิดการพองตัวขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนลง น้ำจึงเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ช แต่เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีขนาดเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อเทียบกับลักษณะเม็ดสตาร์ชที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะ สตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้ามมีพันธะโคเวเลนต์ที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดสตาร์ช จึงทำให้พองตัวได้น้อยลง (Reddy and Seib, 1999; Taggart, 2000) ส่วนการตรวจสอบสมบัติไบรีฟรินเจนต์ ปรากฏว่า ทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ยังคงเกิดไบรีฟรินเจนต์

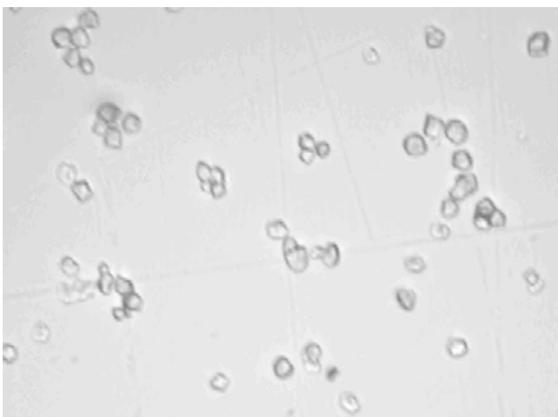
ผลการสังเกตลักษณะของเม็ดสตาร์ช ขณะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 7 พบว่า เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะมีการพองตัวมากขึ้น จนกระทั่ง เม็ดสตาร์ชบางส่วนเริ่มแตกออก เนื่องจากเกิดเจลลิตินซ์ ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน แต่ทั้งสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีการแตกของเม็ดสตาร์ชน้อยมาก ซึ่งเป็นการยืนยันว่า สตาร์ชที่ตัดแปรแบบพันธะข้าม จะมีความแข็งแรง จึงรักษาความสมบูรณ์ของรูปร่างเม็ดสตาร์ชได้ดีกว่าสตาร์ชปกติ (Wattanachant *et al.*, 2003) เมื่อตรวจสอบสมบัติไบรีฟรินเจนต์ พบว่า มีเม็ดสตาร์ชบางส่วน

สูญเสียสมบัติไบรฟรินเจนซ์ โดยเฉพาะเมื่อดสตาร์ซมันลำปะหลังตัดแปร จะปรากฏไบรฟรินเจนซ์ น้อยลงเมื่อเทียบกับลักษณะเมื่อดสตาร์ซที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะเมื่อดสตาร์ซมีการเกิดการเจลาทีไนซ์ แต่จะสังเกตได้ว่า แม้เมื่อดสตาร์ซตัดแปรแบบพันธะข้ามจะเกิดการเจลาทีไนซ์ แต่ลักษณะของเมื่อดสตาร์ซเมื่อได้รับความร้อน ยังคงมีสภาพสมบูรณ์ และแตกยากกว่าแป้งข้าวเจ้า เหลือง 11

ผลการสังเกตลักษณะของเมื่อดสตาร์ซ ขณะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 8 พบว่า เมื่อดสตาร์ซของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ทั้งหมด เกิดการแตกออก และสูญเสียรูปร่างเดิมไป ส่วนเมื่อดสตาร์ซข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ซมันลำปะหลังตัดแปร มีการแตกเช่นเดียวกัน แต่ยังคงมีบางส่วนที่หลงเหลือรูปร่างเดิมอยู่ ซึ่งเป็นการยืนยันว่า เมื่อดสตาร์ซที่ผ่านการตัดแปรแบบพันธะข้าม สามารถทนความร้อนได้ดีสตาร์ซของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เมื่อตรวจสอบสมบัติไบรฟรินเจนต์ ปรากฏว่า ทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ซข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ซมันลำปะหลังตัดแปร สูญเสียสมบัติไบรฟรินเจนต์ทั้งหมด หรือเกิดการเจลาทีไนซ์อย่างสมบูรณ์ ซึ่งบ่งชี้ว่า โครงสร้างส่วนที่ผลึกทั้งหมดสูญเสียความเป็นระเบียบไป

จากผลตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเมื่อดสตาร์ซ ณ อุณหภูมิต่างๆ และการเกิดเจลาทีไนเซชัน จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อดสตาร์ซจะมีการพองตัวขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ซตัดแปรทั้ง 2 ชนิด จะเกิดการเจลาทีไนซ์ทั้งหมด แต่เมื่อดสตาร์ซที่ตัดแปรแบบพันธะข้าม มีความแข็งแรง จึงรักษารูปร่างของเมื่อดสตาร์ซไว้ได้ดีกว่าเมื่อดสตาร์ซของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ดังนั้น ถ้านำสตาร์ซตัดแปรแบบพันธะข้ามไปผสมกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จะทำให้แป้งผสมสตาร์ซ มีความทนทานต่อความร้อนเพิ่มขึ้นได้

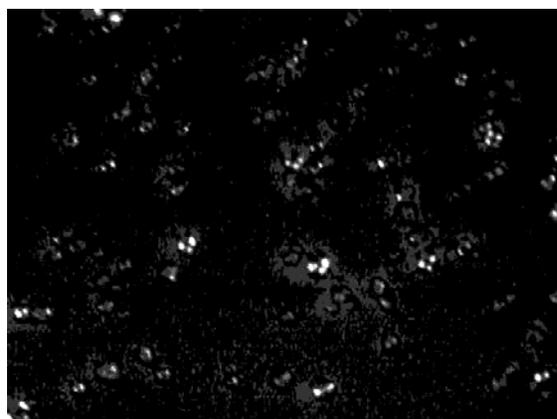
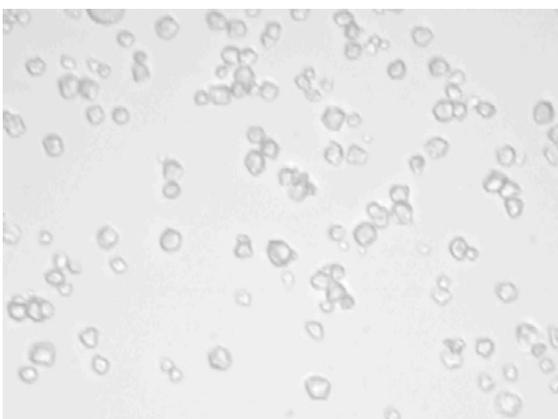
มองผ่านแสงแบบธรรมดา



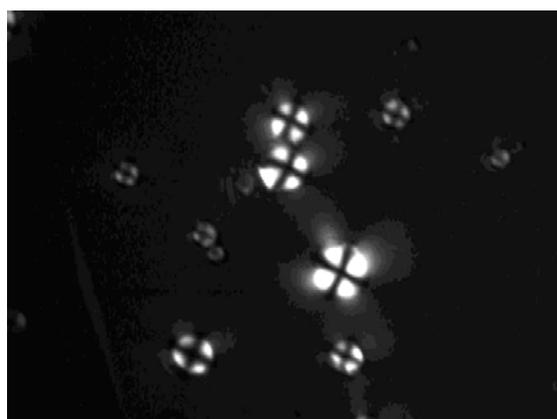
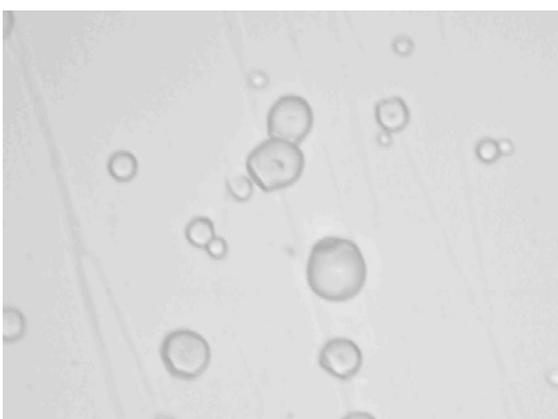
มองผ่านแสงแบบโพลาไรซ์



(ก) แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11)



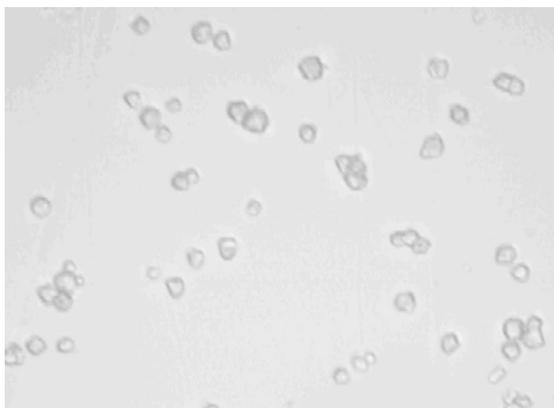
(ข) สตาร์ข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันระข้าม (CR)



(ค) สตาร์มันสำปะหลังตัดแปรแบบพันระข้าม (CT)

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า

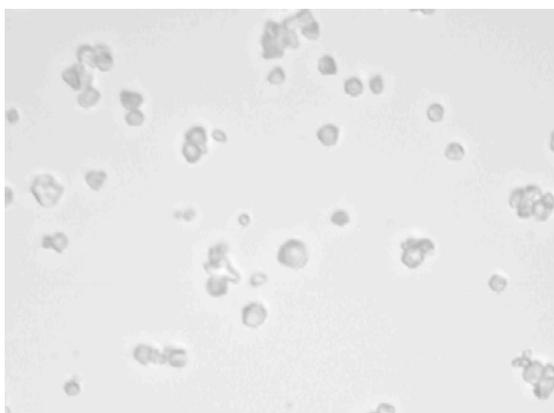
มองผ่านแสงแบบธรรมดา



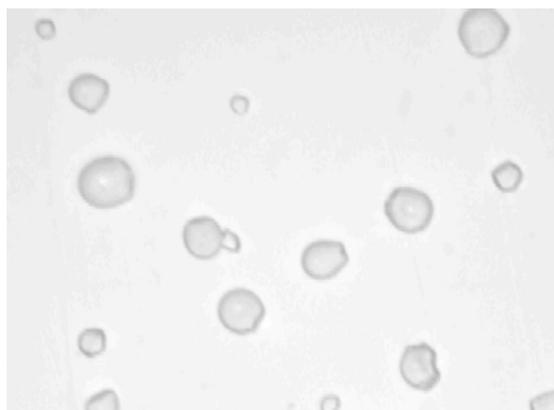
มองผ่านแสงแบบโพลาไรซ์



(ก) แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11)



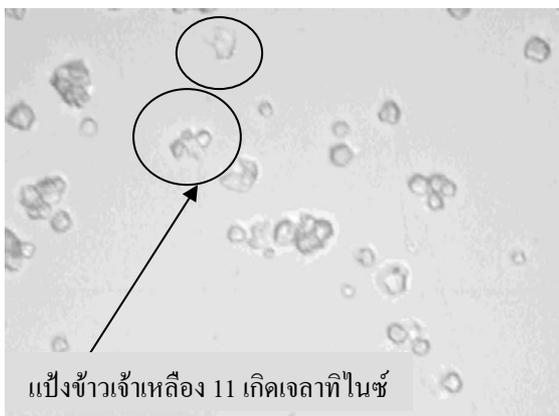
(ข) สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR)



(ค) สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)

ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า

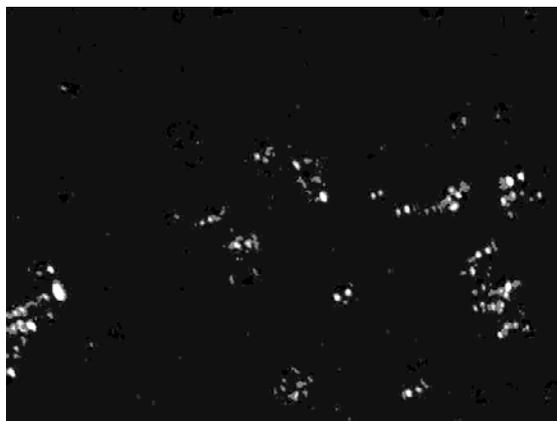
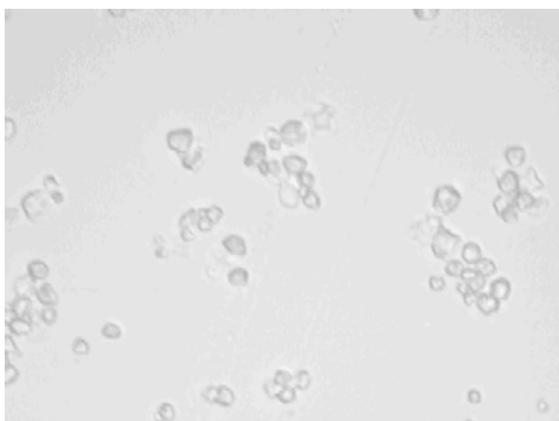
มองผ่านแสงแบบธรรมดา



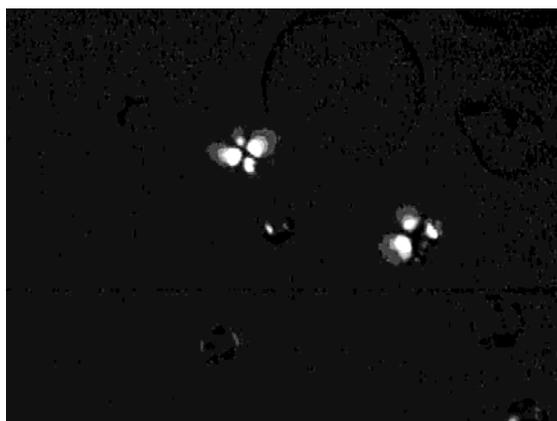
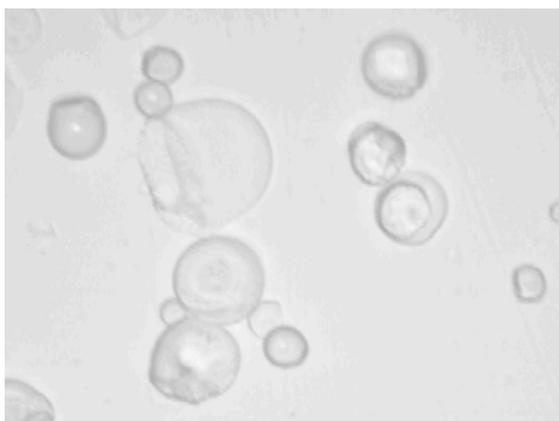
มองผ่านแสงแบบโพลาไรซ์



(ก) แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11)



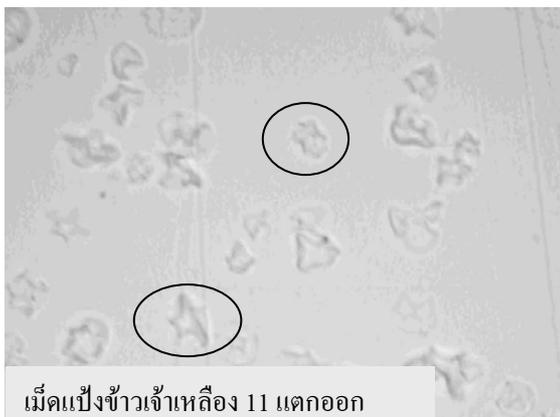
(ข) สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR)



(ค) สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)

ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วย
กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า

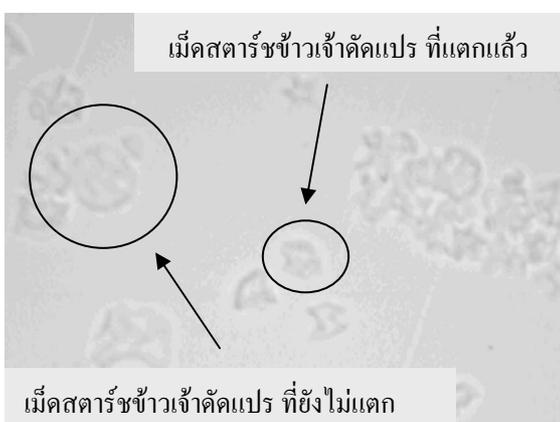
มองผ่านแสงแบบธรรมดา



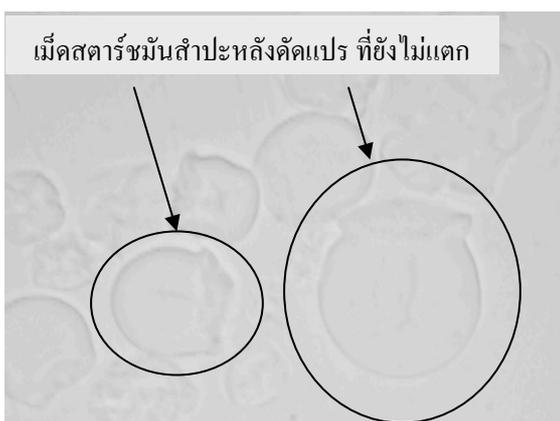
มองผ่านแสงแบบโพลาไรซ์



(ก) แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11)



(ข) สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR)



(ค) สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)

ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง กำลังขยาย 100 เท่า

1.1.3 การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดพืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และพืดของสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม

เนื่องจากความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้ง โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิด และองค์ประกอบของแป้ง วิธีการตัดแปรสตาร์ช ความเข้มข้นของน้ำแป้ง เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ ต้องการผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้ามกับแป้งข้าวเจ้าปกติสำหรับผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เพื่อพัฒนาเส้นให้ทนต่อความร้อน ดังนั้น จึงวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของวัตถุดิบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว ซึ่งสามารถทำนายคุณภาพของแป้งข้าว เพื่อใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวได้ (Bhattacharya *et.al.*, 1999) ผลการทดลองดังตาราง ที่ 4

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม

ตัวอย่าง ¹	ความหนืด (อาร์วียู) ²					อุณหภูมิ ที่เริ่มเกิด
	ความหนืด สูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืด ลดลง	ความหนืด สุดท้าย	ความหนืด คืนตัว	ความหนืด (° ซ)
L-11	313.72 ±4.22 b	258.61 ±9.70 b	55.11 ±5.83 a	387.25 ±5.39 b	73.53 ±2.69 b	76.44 ±6.83 a
CR	132.76 ±2.42 c	98.42 ±3.80 c	34.35 ±1.94 b	127.81 ±2.10 c	-4.95 ±0.94 c	78.55 ±11.36 a
CT	420.58 ±14.09 a	412.68 ±11.60 a	7.90 ±4.76 c	661.29 ±26.88 a	240.71 ±13.18 a	71.46 ±5.92 a

หมายเหตุ ¹L-11 = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11, CR = สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม,

CT = สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม

² ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ความหนืดสูงสุด คือ ความหนืดสูงสุดของน้ำแป้ง เมื่อเปลี่ยนเป็นลักษณะชั้นหนืดในช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 95 องศาเซลเซียส ซึ่งพิมพ์เพ็ญ (2533) รายงานว่า ค่าความหนืดสูงสุดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้คาดคะเนลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ คือ ถ้าแป้ง (paste) มีความหนืดสูงมาก เกิดจากเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมาก จะทำให้ได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เหนียว จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และภาพที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรแบบพันธุ์ข้าม พบว่า แป้งของสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรมีความหนืดสูงน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ทั้งนี้เพราะสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร จะพองตัวได้น้อยกว่าสตาร์ชปกติ จึงมีความหนืดสูงสุดต่ำ สำหรับแป้งของสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรแบบพันธุ์ข้าม มีความหนืดสูงมากที่สุด ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสตาร์ชจากพืชหัวที่แตกต่างกับสตาร์ชจากธัญพืช โดยสตาร์ชมันสำปะหลัง จะมีการพองตัวสูง (Schoch and Maywald, 1968) ซึ่งผลการวัดความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชที่อุณหภูมิ 75 และ 95 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 7 และ 8) ที่พบว่า เม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมอย่างชัดเจน และมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดสตาร์ชจากข้าวหลายเท่า

ความหนืดต่ำสุด เป็นค่าความหนืดที่เกิดหลังจากที่สตาร์ชเกิดการพองตัวเต็มที่เมื่อให้ความร้อน และในขณะเดียวกันมีการให้แรงเฉือนอย่างต่อเนื่อง เม็ดสตาร์ชที่พองตัวเกิดเจลลาตินในเซชัน และแตกออก ทำให้โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชกระจายออกมา และแขวนลอยอยู่ในส่วนผสม ความหนืดจึงมีค่าลดลง จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และภาพที่ 9 พบว่า แป้งของสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร มีความหนืดต่ำสุดน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรมีการพองตัวน้อย และเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรง ดังนั้น โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ช กระจายออกมานอกเม็ดสตาร์ชเพียงเล็กน้อย ค่าความหนืดต่ำสุดจึงมีค่าน้อย

ความหนืดลดลง เป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด ซึ่งบ่งบอกถึง ความทนทานของเม็ดสตาร์ช ถ้าความหนืดลดลงมีค่าน้อย แสดงว่า เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อน และแรงเฉือนได้ดี จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และภาพที่ 9 พบว่า แป้งของสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร และแป้งของสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร มีความหนืดลดลงน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ผลการทดลองดังกล่าว ยืนยันได้ว่า เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร มีความแข็งแรงมากกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เนื่องจากสตาร์ชคัดแปรแบบพันธุ์ข้าม มีพันธะโคเวเลนต์เชื่อมระหว่าง

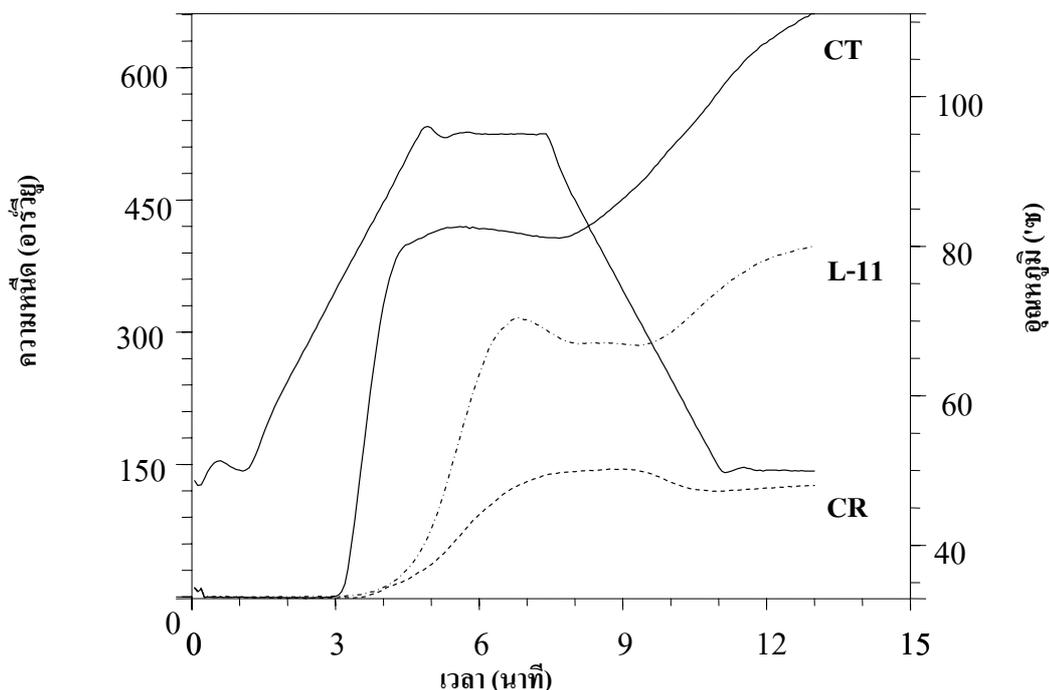
โมเลกุลสตาร์ช ซึ่งเสริมพันธะไฮโดรเจนในการทำหน้าที่ยึดโครงสร้างเม็ดสตาร์ชให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Kasemsuwan and Jane, 1994)

ความหนืดสุดท้าย เป็นค่าความหนืดเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และภาพที่ 9 พบว่า เพสต์ของสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร มีความหนืดสุดท้ายต่ำกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด คาดว่า หลังจากลดอุณหภูมิลง เม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรที่ยังไม่แตก จะสามารถเพิ่มปริมาตรได้อีก ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Liu and Corke (1999) ที่พบว่า สตาร์ชข้าวที่ผ่านการตัดแปรแบบพันธะข้าม จะมีความหนืดสุดท้ายสูงขึ้นจาก 155 RVU เป็น 312 RVU

ความหนืดคืนตัว เป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด ค่าดังกล่าว เป็นดัชนีบ่งชี้ลักษณะของแป้งได้ว่า แป้งเกิดเจลได้มากหรือน้อย ถ้าค่าความหนืดคืนตัวเป็นบวก แสดงว่า แป้งนั้นเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี และมีแนวโน้มเกิดเจลที่แข็งแรง (Beta and Corke, 2001) จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และภาพที่ 9 พบว่า เพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีความหนืด คืนตัวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ทั้งนี้ เกิดจากโมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กที่กระจายออกมาจากเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ ที่สามารถอุ้มน้ำได้ ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดขึ้นอีกครั้ง ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลัง ซึ่งโดยปกติ จะมีความหนืดคืนตัวต่ำ เพราะมีขนาดโมเลกุลของแอมิโลสใหญ่กว่าสตาร์ชจากธัญพืช ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวยาก (กล้าณรงค์, 2542) แต่จากผลในตารางที่ 4 พบว่า ความหนืดคืนตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีค่าสูง ทั้งนี้เพราะ พันธะทางเคมีภายในเม็ดสตาร์ชตัดแปร ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วมีการแตกน้อยลง เม็ดสตาร์ชจะสามารถขยายปริมาตรได้อีก ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wattanachant *et al.* (2002) ที่นำไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ชสาธู มาตัดแปรแบบพันธะข้ามด้วยสารฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ หรืออพิคลอโรไฮดริน หรือสารผสมของโซเดียมไทรเมตาฟอสเฟต และโซเดียมไทรโพลีฟอสเฟต พบว่า ความหนืดคืนตัวของสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติกับสตาร์ชที่ไม่ตัดแปร โดย Wattanachant *et al.* (2002) ได้อธิบายว่า สตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้ามมีความเสถียร ทนต่อความร้อนและแรงกวน ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดความหนืดสูงขึ้นได้อีกในระหว่างการทำให้อุ่น นอกจากนี้ คาดว่าเม็ดสตาร์ชบางส่วนที่แตกออก โมเลกุลที่กระจายออกมาจะจัดเรียงตัวกันใหม่ ทำให้เกิดความหนืดขึ้นได้เช่นกัน

สำหรับอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีแนวโน้มเริ่มเกิดความหนืดเร็วกว่าทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด สรุปได้ว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม มีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และความหนืดคืนตัว น้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ซึ่งเป็นผลมาจากการตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้าม ทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรง จึงพองตัวได้น้อย สามารถทนทานต่อความร้อนและแรงเฉือนได้ดี ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ซึ่งสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง อย่างไรก็ตาม พบว่า ทั้งสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร จะสามารถรักษาความหนืดเอาไว้ได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11



ภาพที่ 9 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11), สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม (CT)

1.1.4 การวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีในเซชัน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์

การวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีในเซชัน เพื่อต้องการทราบอุณหภูมิแท้จริงที่ทำให้แข็งสุด ซึ่งแบ่งแต่ละชนิด มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชันแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลลาทีในเซชัน ได้แก่ โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช สัดส่วนแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ปริมาณน้ำ และปริมาณไขมัน (สันศนีย์, 2548) ผลการวัดสมบัติการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม แสดงดังตารางที่ 5 และภาพที่ 10

ตารางที่ 5 อุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม

ตัวอย่าง ¹	อุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชัน ²			Tc-To	ΔH (จูล/กรัม น้ำหนักแห้ง) ²
	To	Tp	Tc		
L-11	70.8 ± 0.11 a	76.0 ± 0.24 a	80.7 ± 0.56 a	9.9 ± 0.67 b	16.2 ± 0.83 a
CR	72.1 ± 0.61 a	77.8 ± 0.24 a	82.3 ± 0.21 a	10.2 ± 0.80 b	15.8 ± 4.26 a
CT	64.5 ± 0.45 b	70.5 ± 1.31 b	78.7 ± 2.22 a	14.2 ± 1.77 a	18.4 ± 0.17 a

หมายเหตุ ¹L-11 = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11, CR = สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม,

CT = สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้าม

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

² To, Tp และ Tc คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาทีในเซชัน ตามลำดับ, ΔH คือ พลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีในเซชัน ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาทีในเซชัน พบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาทีในเซชันสูงกว่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาทีในเซชัน

ต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้ง ข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ตามลำดับ แสดงว่า สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร จะสุกได้เร็ว ทั้งนี้เพราะ โครงสร้างในบริเวณผลึกของสตาร์ชจากพืชหัว จะมีการจัดเรียงตัวกันของแอมิโลเพกทิน ไม่หนาแน่นเท่ากับสตาร์ชจากธัญพืช จึงเกิดการเจลาทิไนซ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า (กล้าณรงค์, 2542)

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน พบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชันสูงกว่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชันต่ำกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทิไนเซชันของทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร พบว่า ทั้งสามตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

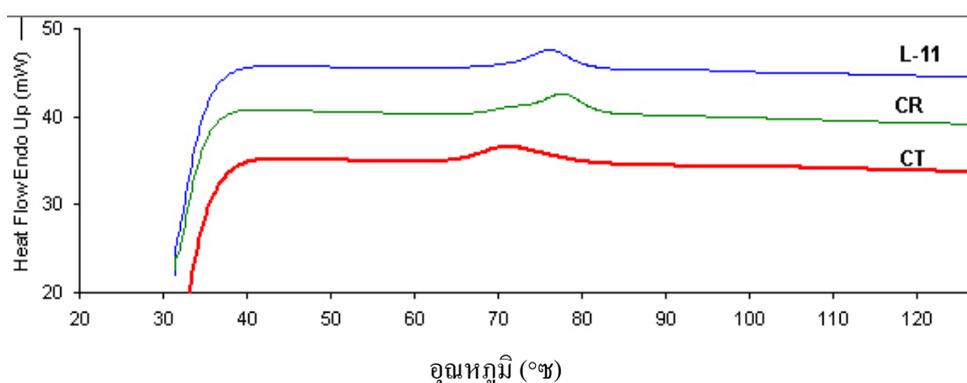
ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน ($T_c - T_o$) ของสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร มีค่าสูงกว่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันกว้างกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลาทิไนเซชันของทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร พบว่า ทั้งสามตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลาทิไนเซชัน จะเห็นได้ว่า สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรเกิดเจลาทิไนซ์ได้เร็วกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนของสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ที่มีแนวโน้มต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร (ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 4) นอกจากนี้ สตาร์ชมันสำปะหลัง ยังมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ที่กว้าง อาจเนื่องมาจากสตาร์ชมันสำปะหลัง มีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ ซึ่งรายงานของวันเพ็ญ (2545) พบว่า ขนาดโมเลกุลของสตาร์ชมันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 5 และ เกษตรศาสตร์ 50 มีจำนวนกลูโคสต่อกัน

2090 และ 2080 หน่วย ตามลำดับ สมบัติการเกิดเจลาทีนซ์ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่แตกต่างกับ สตาร์ชข้าวเจ้านี้ อาจเกิดจากโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน คือ สตาร์ชมันสำปะหลังมีรูปแบบ โครงสร้างผลึกชนิดเอ และซี (A and C type) (Moorthy, 2004) ส่วนสตาร์ชข้าวมีรูปแบบโครงสร้าง ผลึกชนิดเอ (A type) (Hibi *et al.*, 1990)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการเกิดเจลาทีนซ์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 กับ สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร จะเห็นว่า สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรมีแนวโน้มของอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิ สูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทีนซ์ในเซชันค่อนข้างสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร จะสุกได้ช้ากว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จากงานวิจัยของ Chatakanonda *et al.* (2000) ได้ทดลองตัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าด้วยสาร โซเดียมไทรเมตาฟอสเฟต ร่วมกับโซเดียมไทรโพลิฟอสเฟต มีระดับการเกิดพันธะข้ามร้อยละ 9.2, 26.2 และ 29.2 เมื่อวัด สมบัติการเกิดเจลาทีนซ์ในเซชัน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ปรากฏว่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทีนซ์ในเซชัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ระดับของการเกิดพันธะข้ามที่สูงขึ้น ส่วนพลังงานเอนทัลปีไม่มีผลมาจากการเกิดพันธะข้ามใน โมเลกุลสตาร์ช ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การตัดแปรสตาร์ชแบบพันธะข้าม มีแนวโน้มทำให้เม็ดสตาร์ช สามารถทนต่อความร้อนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 8) และสอดคล้องกับการวัดค่าความหนืดลดลง (ดังตารางที่ 4)



ภาพที่ 10 กราฟการดูดกลืนความร้อนในการเกิดเจลาทีนซ์ในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 (L-11), สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม (CR) และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบ พันธะข้าม (CT)

การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสารสกัดแปรแบบพันธะข้าม

1.2.1 การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสารสกัดแปรแบบพันธะข้าม

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสารสกัดแปรแบบพันธะข้าม

ตัวอย่าง	สัดส่วนของแป้งผสมสารสกัดแปร	ความหนืด (อาร์วียู)					อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (° ซ)
		ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดลดลง	ความหนืดสุดท้าย	ความหนืดคืนตัว	
A	L-11 (3 กรัม)	313.43 ± 1.88 a	258.35 ± 5.01 a	55.08 ± 4.67 a	392.14 ± 7.94 a	78.71 ± 7.63 b	75.81 ± 8.74 a
B	L-11 : CR (2.775 : 0.225 กรัม)	292.32 ± 4.73 c	241.12 ± 9.37 b	51.20 ± 9.81 ab	375.58 ± 10.36 b	83.26 ± 12.60 b	82.76 ± 1.01 a
C	L-11 : CR (2.550 : 0.450 กรัม)	273.57 ± 3.46 d	230.56 ± 6.86 c	43.01 ± 6.72 bc	361.22 ± 8.40 c	87.65 ± 8.76 ab	77.08 ± 13.30 a
D	L-11 : CT (2.775 : 0.225 กรัม)	304.38 ± 3.19 b	253.53 ± 7.82 a	50.85 ± 5.34 ab	384.36 ± 7.60 ab	79.99 ± 4.78 b	81.06 ± 3.92 a
E	L-11 : CT (2.550 : 0.450 กรัม)	295.57 ± 7.07 c	258.14 ± 9.06 a	37.43 ± 4.80 c	392.12 ± 8.34 a	96.56 ± 4.84 a	80.35 ± 0.86 a

หมายเหตุ A = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 3 กรัม , B = แป้งข้าวเจ้า 2.775 กรัม ผสมสารสกัดข้าวเจ้าตัดแปร 0.225 กรัม, C = แป้งข้าวเจ้า 2.550 กรัม ผสมสารสกัดข้าวเจ้าตัดแปร 0.450 กรัม, D = แป้งข้าวเจ้า 2.775 กรัม ผสมสารสกัดมันสำปะหลังตัดแปร 0.225 กรัม, E = แป้งข้าวเจ้าจำนวน 2.550 กรัม ผสมสารสกัดมันสำปะหลังตัดแปร 0.450 กรัม
ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

การผสมแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 กับสตาร์ชตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (แป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร 2.775 : 0.225 กรัม) หรือการผสมแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 กับสตาร์ชตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (แป้งข้าวเจ้าต่อสตาร์ชตัดแปร 2.550 : 0.450 กรัม) แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำกลั่น 25 กรัม จะคำนวณส่วนที่เป็นของแข็งได้เท่ากับร้อยละ 10.7 (คำนวณจาก $3 \times 100/28$) ทำการวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 11

ความหนืดสูงสุดของเพสต์แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่มีการผสมสตาร์ช ตัดแปรทุกตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบความหนืดสูงสุดของแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร พบว่า แป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง C) มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง B) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร มีความหนืดสูงสุดค่อนข้างต่ำ (ผลการทดลองในตารางที่ 4) ดังนั้น เมื่อนำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งผสมน้อยลงไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบความหนืดสูงสุดของแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ปรากฏว่า แป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง D) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในระหว่างให้ความร้อน สตาร์ชมันสำปะหลังที่มีในส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 6 จะพองตัวได้เร็ว ทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในส่วนผสมเหลือน้อยลง ดังนั้น แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จะพองตัวได้น้อยกว่าเดิม แป้งผสมที่ได้จึงมีความหนืดสูงสุดน้อยกว่าการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3

ความหนืดลดลงของเพสต์แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) มีค่ามากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเพสต์ของแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง C) และเพสต์ของแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ในปริมาณร้อยละ 6 จะช่วยปรับปรุงเพสต์ของแป้งผสม ให้สามารถทนทานต่อความร้อน และแรงเฉือนได้ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นอิทธิพลของพันธะเคมีภายในเม็ดสตาร์ชตัดแปร ที่ช่วยให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชแข็งแรง เมื่อนำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้า จึงทำให้เพสต์ของแป้งผสมสตาร์ชมีความหนืดลดลงต่ำกว่าเพสต์จากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบความหนืดลดลงของแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ปรากฏว่า แป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง B)

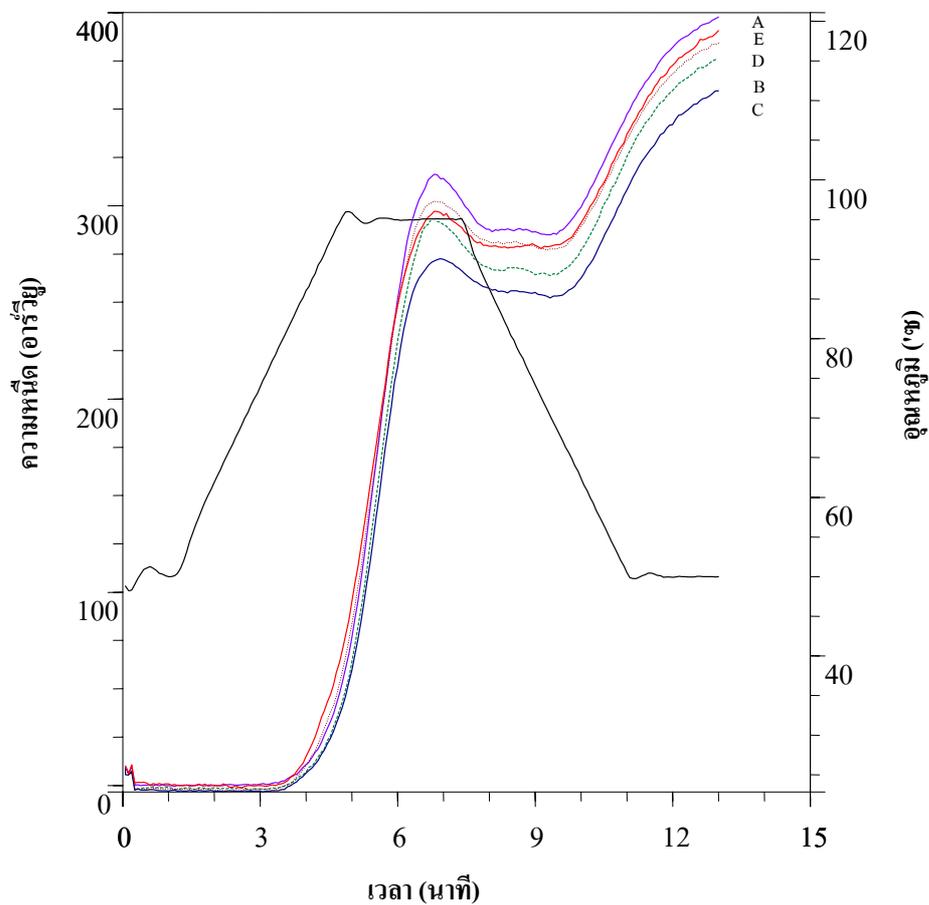
มีความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ใน ปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง C) และเมื่อเปรียบเทียบความหนืดลดลงของแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ปรากฏว่า แป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) มีความหนืดลดลงน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง D)

ความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) มีค่ามากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งของแป้งที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (ตัวอย่าง B และ C) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งของแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (ตัวอย่าง D และ E) ซึ่ง Mua and Jackson (1997) รายงานว่า เจลของแป้งที่ความหนืดสุดท้าย และความหนืดคงตัว (setback from trough) มีค่ามาก จะมีแนวโน้มด้านเนื้อสัมผัสแข็งกว่าเจลของแป้งที่ความหนืดสุดท้าย และความหนืดคงตัวมีค่าน้อย แต่จากการทดลองของ Bhattacharya (1999) กลับพบว่า ความหนืดสุดท้ายไม่มีความสัมพันธ์กับความแข็งของเจล

ความหนืดคืนตัวของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) มีค่าน้อยกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งของแป้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความหนืดคืนตัวของสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในตารางที่ 4 ที่พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรมีความหนืดคืนตัวสูง ดังนั้น เมื่อนำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จึงมีส่วนช่วยให้แป้งของแป้งผสม มีค่าความหนืดคืนตัวสูงขึ้น

จากผลการวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ช ตัดแปร และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม จะเห็นว่า เมื่อมีการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 แป้งผสมจะทนต่อความร้อนได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยแป้งผสม มีค่าความหนืดลดลง น้อยกว่าแป้งที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร ซึ่งการวัดความสามารถในการทนความร้อนของเมล็ดสตาร์ชนี้ วิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ถึงแม้ไม่ใช่อุณหภูมิในระดับสเทอร์ไลซ์ แต่สามารถนำมาพิจารณาเป็นแนวโน้มได้ว่า แป้งข้าวที่ผสมสตาร์ชตัดแปร มีส่วนช่วยในการทนต่อความร้อนได้ในระดับหนึ่ง ที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง คือ แป้งของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 มีค่าความหนืดคืนตัวมากกว่า

เพศ์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว สื่อให้เห็นว่า แป้งผสมหลังเย็นตัวลง มีการจัดเรียงตัวกันของ โมเลกุล ได้ดี จึงอาจเหมาะที่จะนำไปทำเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทนต่อความร้อนสูงได้



A = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 3 กรัม

B = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 2.775 กรัม ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร 0.225 กรัม

C = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 2.550 กรัม ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร 0.450 กรัม

D = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 2.775 กรัม ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร 0.225 กรัม

E = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 2.550 กรัม ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร 0.450 กรัม

ภาพที่ 11 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม

1.2.2 การวัดเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสม สตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม

สตาร์ชที่ผ่านการเจลาทิไนซ์แล้ว เมื่อทำให้เพสต์เย็นลง เพสต์จะกลายสภาพเป็นเจล เนื่องจากระบบสูญเสียพลังงานในระหว่างการลดอุณหภูมิ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ช้าลง และสร้างพันธะระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความสมบูรณ์ และเมื่อสตาร์ชที่เหลืออยู่ จะติดอยู่ในโครงสร้างร่างแห โดยน้ำเป็นเฟสกระจายตัว (dispersed phase) และโครงสร้างร่างแหเป็นเฟสต่อเนื่อง ทำให้สมบัติการไหลของเจลลดลง (McWilliam, 2001) สำหรับงานวิจัยนี้ ได้วัดเนื้อสัมผัสของเจลจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมและไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร โดยเตรียมเจลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร แล้วนำไปวัดค่าค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม

ตัวอย่าง	เจลของแป้งผสม ที่ได้จากเครื่อง RVA	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น	ความเกาะติดกัน
A	L-11 (3 กรัม)	59.18 ± 6.52 a	0.99 ± 0.87 a	0.61 ± 0.01 b
B	L-11 : CR (2.775 : 0.225 กรัม)	63.38 ± 5.31 a	0.97 ± 0.03 a	0.62 ± 0.00 a
C	L-11 : CR (2.550 : 0.450 กรัม)	58.76 ± 9.36 a	0.98 ± 0.03 a	0.62 ± 0.00 a
D	L-11 : CT (2.775 : 0.225 กรัม)	62.60 ± 10.54 a	1.02 ± 0.11 a	0.62 ± 0.01 a
E	L-11 : CT (2.550 : 0.450 กรัม)	64.57 ± 7.19 a	0.97 ± 0.04 a	0.62 ± 0.00 a

หมายเหตุ A = แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จำนวน 3 กรัม , B = แป้งข้าวเจ้า 2.775 กรัม ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร 0.225 กรัม, C = แป้งข้าวเจ้า 2.550 กรัม ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร 0.450 กรัม, D = แป้งข้าวเจ้า 2.775 กรัม ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร 0.225 กรัม, E = แป้งข้าวเจ้าจำนวน 2.550 กรัม ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร 0.450 กรัม
ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากการวัดค่าเค้าโครงคุณลักษณะของเจลแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) พบว่า มีความแข็ง และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทุกตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง B) กับการผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง C) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีความแข็ง และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง D) กับการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างให้ผลเช่นเดียวกัน คือ มีความแข็ง และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เจลแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (ตัวอย่าง A) มีความเกาะติดกันน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทุกตัวอย่าง ซึ่งความเกาะติดกันนี้ จะบ่งบอกถึงความทนต่อการเสีรูปร่างของเจล (Bourne, 1978) จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ช่วยให้เจลของแป้งผสมทนทานต่อการเสีรูปร่างได้ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu and Corke (1999) ซึ่งเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของเจลของสตาร์ชข้าวเจ้าที่ไม่ตัดแปร และตัดแปรแบบพันธะข้าม พบว่า เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าที่ตัดแปรแบบพันธะข้าม มีความเกาะติดกันสูงกว่าเจลสตาร์ชข้าวเจ้าที่ไม่ตัดแปร ทั้งนี้เนื่องมาจากสายพอลิเมอร์ของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินเกิดพันธะระหว่างกัน และผลการเกิดพันธะเคมีของสตาร์ชตัดแปร จะช่วยทำให้เจลมีความแข็ง และมีความเกาะติดกันดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง B) กับการผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง C) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีความเกาะติดกันไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับผลการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 (ตัวอย่าง D) และการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (ตัวอย่าง E) ที่พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีความเกาะติดกันไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ผลการทดสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสม สตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม

2.1 การวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง

การวัดการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และการวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) ของก๋วยเตี๋ยว (Bhattacharya *et al.*, 1999) ซึ่งผลการวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม
ของเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง

ตัวอย่าง	การพองตัวของเส้น ในระหว่างการต้ม (กรัม /กรัม น้ำหนักเส้นแห้ง)	ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสีย ในระหว่างการต้ม (ร้อยละ)
CONTROL	3.79 ± 0.17 a	2.31 ± 0.15 b
L-11+CR3	3.65 ± 0.27 a	2.34 ± 0.49 b
L-11+CR6	3.50 ± 0.46 a	3.81 ± 1.66 a
L-11+CT3	3.57 ± 0.17 a	1.91 ± 0.69 b
L-11+CT6	3.50 ± 2.72 a	2.94 ± 0.34 ab

หมายเหตุ CONTROL = เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว,
L-11+CR3 = เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 ของ
ส่วนผสมทั้งหมด, L-11+CR6 = เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณ
ร้อยละ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด, L-11+CT3 = เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง
ตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 ของส่วนผสมทั้งหมด และ L-11+CR6 = เส้นก๋วยเตี๋ยวที่
ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด
ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม จะมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส คือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุ้มน้ำไม่เพียงพอ จะมีเนื้อสัมผัสแข็ง (hard) และหยาบ (coarse) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุ้มน้ำมากเกินไป จะมีเนื้อสัมผัสนิ่มเกินไป และเหนียวติดกัน (Lee *et al.*, 2005) จากผลการวัดการพองตัวของเส้นในตารางที่ 8 ปรากฏว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรจะมีการพองตัวของเส้นมากกว่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทุกตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 พบว่า ทั้งสองตัวอย่าง มีการพองตัวของเส้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 ที่พบว่า ทั้งสองตัวอย่าง มีการพองตัวของเส้นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) การทดลองนี้ ให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Muhammad *et al.* (1999) ซึ่งผลิตวุ้นเส้นจากสตาร์ชมันฝรั่งผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้ามจากการค้าในปริมาณร้อยละ 17 และร้อยละ 35 จะมีการพองตัวของเส้นไม่แตกต่างกับวุ้นเส้นจากถั่วเขียว

ส่วนผลการวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้ม พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร มีปริมาณเนื้อแป้งสูญเสียน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร พบว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 สูญเสียเนื้อแป้งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ เส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 มีแนวโน้มสูญเสียเนื้อแป้งมากกว่าเส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีเนื้อแป้งที่สูญเสียไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) การทดลองนี้ ให้ผลไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muhammad *et al.* (1999) ซึ่งพบว่า วุ้นเส้นที่เตรียมจากสตาร์ชมันฝรั่งผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันธะข้ามในปริมาณร้อยละ 17 และร้อยละ 35 มีการสูญเสียในระหว่างการต้มน้อยกว่าวุ้นเส้นจากถั่วเขียว

จากผลการทดสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชตัดแปร และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม กล่าวได้ว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปร จะมีแนวโน้มอุ้มน้ำได้น้อยลง ซึ่งแปรผันตามปริมาณของสตาร์ชตัดแปรที่ใช้ในส่วนผสม อย่างไรก็ตาม เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ ยังคงมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้ไม่แตกต่างกับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร สำหรับปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม จะสังเกตเห็นว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่

ผสมสสารซ์ดัดแปร จะมีแนวโน้มสูญเสียเนื้อเป็งมากขึ้น ซึ่งแปรผันตามปริมาณของสสารซ์ดัดแปรที่ใช้ในส่วนผสม แต่ Yeh (2004) กล่าวว่า ปริมาณเนื้อเป็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ที่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ถือว่า เส้นที่ได้ มีคุณภาพที่ดี

3. ผลการศึกษาผลของการผสมสสารซ์ดัดแปรทางเคมีแบบพ่นระฆำต่อกรทนความร้อนในระดับสเทอร์ไลเซชันของเส้นก้วยเดี่ยว

3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาของการลวกเส้นอบแห้ง

ทำการเปรียบเทียบผลของการผสมสสารซ์ดัดแปรทางเคมีแบบพ่นระฆำต่อกรทนความร้อนของเส้นก้วยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที โดยลวกเส้น เป็นเวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเส้นหลังการลวก ก่อนนำเส้น ไปบรรจุกระป๋อง และฆ่าเชื้อ หลังจากนั้น จึงวัดเนื้อสัมผัสของเส้นหลังการฆ่าเชื้อ

ในการวัดเนื้อสัมผัส จะให้ความสนใจกับความแน่นแข็ง ซึ่งสื่อถึงลักษณะของเส้นก้วยเดี่ยวที่ต้องการภายหลังผ่านการฆ่าเชื้อ โดยการวัดความแน่นแข็งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส จะรายงานเป็นค่าแรงกดสูงสุด ซึ่งเส้นก้วยเดี่ยวที่ใช้แรงกดสูงสุดมาก หมายถึง เส้นมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งมาก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเส้นก้วยเดี่ยวหลังการลวก และการวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก้วยเดี่ยวหลังการฆ่าเชื้อ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวก่อนบรรจุกระป๋อง และเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว	เวลาในการลวกเส้น (นาที)	ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว	แรงกดสูงสุด (กรัม) ²
		ก่อนบรรจุกระป๋อง (ร้อยละ) ¹	อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 121 °ซ นาน 15 นาที
CONTROL-1	1	60.02 ± 1.83 f	205.51 ± 23.58 c
L-11+CR3-1		67.24 ± 1.18 e	279.69 ± 39.57 a
L-11+CR6-1		69.48 ± 0.59 cde	253.82 ± 36.41 b
L-11+CT3-1		62.21 ± 1.06 f	289.85 ± 13.51 a
L-11+CT6-1		67.96 ± 3.59de	241.22 ± 19.14 b
CONTROL-3	3	73.18 ± 0.45 ab	149.80 ± 27.79 de
L-11+CR3-3		72.27 ± 1.06 bc	210.21 ± 39.96 c
L-11+CR6-3		70.18 ± 1.91 cd	199.27 ± 26.28 c
L-11+CT3-3		74.42 ± 2.51 ab	203.59 ± 20.39 c
L-11+CT6-3		75.80 ± 1.06 a	130.00 ± 12.66 e
CONTROL-5	5	71.84 ± 1.87 bc	134.18 ± 12.54 e
L-11+CR3-5		73.90 ± 1.62 ab	166.65 ± 11.59 d
L-11+CR6-5		75.93 ± 0.95 a	147.81 ± 7.97 de
L-11+CT3-5		74.39 ± 0.57 ab	154.86 ± 12.84 de
L-11+CT6-5		76.06 ± 0.89 a	106.32 ± 9.50 f

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ยของความชื้น จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

²ค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุด จากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากผลการวัดปริมาณความชื้นของเส้นในตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสารซัดดแปร ปรากฏว่า เส้นที่ลวกนาน 1 นาที (CONTROL-1) มีความชื้นน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ลวกนาน 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) แต่เส้นที่ลวกนาน 3 นาที และ 5 นาที มีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนผลการวัด

ค่าแรงกดสูงสุดของเส้น เมื่อเปรียบเทียบเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร ปรากฏว่า เส้นที่ลวกนาน 1 นาที (CONTROL-1) มีแรงกดสูงสุดมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ลวกนาน 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) แต่เส้นที่ลวกนาน 3 นาที และ 5 นาที มีแรงกดสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จะเห็นว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่มีปริมาณความชื้นต่ำ จะมีความแน่นแข็งมากกว่าเส้นที่มีปริมาณความชื้นสูง จึงทำให้ค่าแรงกดสูงสุดมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Irie *et al.* (2004) ที่กล่าวว่า ปริมาณความชื้น จะมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของเส้นสปาเกตตี้ คือ เส้นสปาเกตตี้ที่มีความชื้นต่ำ จะมีเนื้อสัมผัสแข็ง เพราะยังมีส่วนใจกลางของที่ยังคิรูปได้ไม่สมบูรณ์

เมื่อเปรียบเทียบผลของสตาร์ชตัดแปรต่อความแน่นแข็งของเส้นที่ลวก 1 นาที พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทุกตัวอย่าง มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-1) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ เส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร จะนิ่มกว่าเส้นที่ผสมสตาร์ชตัดแปร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร พบว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CR3-1) มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CR6-1) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๊วยเตี๋ยวที่สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ เส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CT3-1) มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CT6-1)

เมื่อเปรียบเทียบผลของสตาร์ชตัดแปรต่อความแน่นแข็งของเส้นที่ลวก 3 นาที พบว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 และเส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CR3-3, L-11+CR6-3 และ L-11+CT3-3 ตามลำดับ) มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-3) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (L-11+CR3-3 และ L-11+CR6-3) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๊วยเตี๋ยวที่มีการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร พบว่า เส้นผสมสตาร์ชมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CT3-3) มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CT6-3)

เมื่อเปรียบเทียบผลของสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปต่อความแน่นแข็งของเส้นที่ลวก 5 นาที พบว่า มีเพียงเส้นที่ผสมสตาบิลิซเซอร์ข้าวเจ้าตัดแปรรูป ในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CR3-5) เท่านั้น ที่มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูป (CONTROL-5) เมื่อเปรียบเทียบเส้นที่ผสมสตาบิลิซเซอร์ข้าวเจ้าตัดแปรรูปในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (L-11+CR3-5 และ L-11+CR6-5) พบว่า ทั้งสองตัวอย่างมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังตัดแปรรูป พบว่า เส้นผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 3 (L-11+CT3-5) มีความแน่นแข็งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังตัดแปรรูปในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CT6-5) จะสังเกตเห็นว่า ผลของสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปต่อความแน่นแข็งของเส้นที่ลวก 5 นาที ให้ผลเช่นเดียวกับเส้นที่ลวก 3 นาที

จากผลการศึกษาระยะเวลาของการลวกเส้นอบแห้งซึ่งวัดคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า การลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้เส้นนิ่มขึ้น หรือมีความแน่นแข็งลดลง และเมื่อพิจารณาผลการผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้เวลาลวกต่างกัน พบว่า การผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูป ช่วยทำให้เส้นมีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น หรือทนต่อความร้อนได้ดีกว่าเส้นที่ไม่ผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูป สอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืด (ความหนืดลดลง) การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาบิลิซเซอร์ การวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชัน ซึ่งพบว่า เม็ดสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปแบบพันธะข้าม มีความแข็งแรง และทนต่อความร้อนได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 จึงอาจมีส่วนทำให้เส้นมีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้นได้ ผลการวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของอรพรธณ (2547) ที่ทดลองการผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังตัดแปรรูปแบบพันธะข้าม ในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปร้อยละ 10 มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ของค่าแรงกดสูงสุดมากที่สุด มีคะแนนความยากในการขาด ความแข็ง และความเหนียวมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของพรพิศ (2548) ซึ่งทดลองผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังตัดแปรรูปแบบพันธะข้ามลงในแป้งข้าวกล้อง เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านความคงทนต่อการต้มเส้นก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องสด พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวข้าวกล้องสดที่ได้จากการผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูปในปริมาณ ร้อยละ 3 และร้อยละ 5 สามารถทนต่อการต้ม ไม่ขาด และมีลักษณะคล้ายกับเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ทำจากแป้งข้าวในท้องตลาด นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Muhammad *et al.* (1999) ซึ่งทดลองผลิตเส้นจากสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังผสมสตาบิลิซเซอร์มันสำปะหลังตัดแปรรูปแบบพันธะข้าม พบว่า การผสมสตาบิลิซเซอร์ที่ตัดแปรรูป ในปริมาณร้อยละ 35 ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของเส้นอบแห้งไม่ให้แตกหักง่าย โดยมีค่าแรงด้านการตัด (cutting stress) มากกว่า

วุ้นเส้นจากถั่วเขียว ช่วยลดความเหนียวติดกันของเส้น ลดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม และผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุด

ตารางที่ 10 คะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตัวอย่าง	เวลาการลวกเส้น (นาที)	คุณลักษณะ ¹			
		สี (ความขาว)	ความ แน่นแข็ง	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น
CONTROL-1		4.9 ± 1.25 g	11.0 ± 1.25 a	8.8 ± 3.04 a	8.1 ± 2.77 de
L-11+CR3-1		7.2 ± 2.56 ef	10.5 ± 1.62 ab	8.5 ± 1.06 a	8.3 ± 1.84 de
L-11+CR6-1	1	8.7 ± 2.91 de	9.0 ± 1.21 bcd	9.1 ± 1.93 a	10.1 ± 1.58 abc
L-11+CT3-1		6.7 ± 1.92 f	11.4 ± 0.82 a	8.4 ± 1.70 a	8.4 ± 1.92 cde
L-11+CT6-1		8.9 ± 1.91 d	9.1 ± 1.00 bc	8.8 ± 2.01 a	10.5 ± 2.16 a
CONTROL-3		8.7 ± 1.75 de	8.0 ± 1.88 cde	10.0 ± 1.88 a	8.8 ± 1.95 abcde
L-11+CR3-3		9.2 ± 1.18 cd	9.0 ± 1.60 bcd	9.0 ± 1.45 a	7.9 ± 0.82 e
L-11+CR6-3	3	9.8 ± 0.8 abcd	8.2 ± 1.76 cde	8.8 ± 2.03 a	8.6 ± 1.59 bcde
L-11+CT3-3		11.6 ± 1.17 a	8.7 ± 1.37 cde	10.3 ± 1.41 a	9.8 ± 1.54 abcd
L-11+CT6-3		11.0 ± 0.62 ab	7.3 ± 1.70 cde	9.3 ± 2.35 a	8.5 ± 1.97 cde
CONTROL-5		9.3 ± 1.15 bcd	7.3 ± 2.07cde	9.1 ± 1.11 a	8.5 ± 0.97 cde
L-11+CR3-5		10.8 ± 1.50 abc	8.3 ± 1.54cde	8.8 ± 1.44 a	8.5 ± 1.22 cde
L-11+CR6-5	5	11.6 ± 1.15 a	7.0 ± 2.50 e	10.0 ± 0.79 a	10.2 ± 0.59 abc
L-11+CT3-5		10.2 ± 1.19 abcd	8.1 ± 1.63cde	8.7 ± 2.01 a	10.3 ± 2.10 ab
L-11+CT6-5		10.6 ± 1.19 abc	7.2 ± 2.04 de	8.0 ± 1.66 a	9.8 ± 1.82 abcd

หมายเหตุ ¹ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา มีคะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย 15 คือ มาก

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากผู้ทดสอบ 8 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน เพื่อวัดระดับความเข้มของปัจจัยที่ต้องการศึกษา ได้แก่ สี (ความขาว) ความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ในตารางที่ 10 เมื่อพิจารณาเฉพาะเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร พบว่า เส้นที่ลวกนาน 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) มีความขาวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ลวกนาน 1 นาที (CONTROL-1) อย่างไรก็ตาม เส้นที่ลวก 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) กลับมีความขาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซ์ตัดแปร ในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 1 นาที ปรากฏว่า เส้นที่ผสมสตาโรซ์ตัดแปรทุกตัวอย่าง มีความขาวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร (CONTROL-1) ผลของการผสมสตาโรซ์ตัดแปรในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 3 นาที ปรากฏว่า เส้นที่ผสมสตาโรซ์มันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (L-11+CT3-3 และ L-11+CT6-3) มีความขาวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร (CONTROL-3) ส่วนผลของการผสมสตาโรซ์ตัดแปรในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 5 นาที ปรากฏว่า มีเพียงเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผสมสตาโรซ์ข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CR6-5) เท่านั้น ที่มีความขาวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร (CONTROL-5) จากผลการทดลองนี้ จะเห็นว่า เวลาในการลวกเส้นก๊วยเตี๋ยว มีผลต่อลักษณะปรากฏด้านสี คือ เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น เส้นจะมีแนวโน้มขาวมากกว่าการใช้เวลาลวกไม่นาน โดยการผสมสตาโรซ์ตัดแปร มีส่วนให้เส้นมีความขาวมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ในส่วนผสม เพราะโดยทั่วไปแล้ว เจลของสตาโรซ์ที่ตัดแปรแบบพันธะข้าม จะมีความใสลดลง หรือมีความขุ่นมากขึ้น (Wu and Seib, 1990; Lim and Seib, 1993) เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความขุ่นขาวเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแน่นแข็ง พบว่า เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น เส้นก๊วยเตี๋ยวมักมีแนวโน้มว่า มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร พบว่า เส้นที่ลวกนาน 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) มีความแน่นแข็งน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ลวกนาน 1 นาที (CONTROL-1) แต่เส้นที่ลวก 3 นาที (CONTROL-3) และ 5 นาที (CONTROL-5) มีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ผลการทดลองดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ในตารางที่ 9 ซึ่งพบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวก 3 นาที และ 5 นาที มีค่าแรงกดน้อยกว่าเส้นที่ลวกนาน 1 นาที เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซ์ตัดแปรแบบพันธะข้าม ในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 3 นาที จะสังเกตเห็นว่า เส้นที่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร มีคะแนนความแน่นแข็งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซ์ตัดแปร (CONTROL-3) และเมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซ์ตัดแปร ในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 5 นาที ปรากฏว่า ให้ผลเช่นเดียวกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวัด

เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ผู้ทดสอบ ไม่อาจแยกความแตกต่างด้านความแน่นแข็งได้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว ปรากฏว่า ทั้งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที มีความเหนียวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความยืดหยุ่น เมื่อพิจารณาเฉพาะเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร พบว่า เส้นที่ลวกนาน 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที (CONTROL-1, CONTROL-3 และ CONTROL-5) มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 1 นาที ปรากฏว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 และเส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 (L-11+CR6-1 และ L-11+CT6-1) มีความยืดหยุ่นมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-1) ผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 3 นาที ปรากฏว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทุกตัวอย่าง มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-3) ส่วนผลการผสมสตาร์ชตัดแปรในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 5 นาที พบว่า เส้นที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 มีความยืดหยุ่นมากกว่า และแตกต่างทางสถิติกับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-5) อย่างไรก็ตาม การวัดความยืดหยุ่นจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่สอดคล้องกับผลการวัดค่าเก้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสเจลแข็ง ที่พบว่า การผสมสตาร์ชตัดแปรลงในแป้งข้าวเจ้าไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นของเจลแข็ง

จากผลการศึกษาระยะเวลาของการลวกเส้นอบแห้ง ซึ่งวัดคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรซึ่งลวกนาน 3 นาที และ 5 นาที มีลักษณะปรากฏด้านสี ความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีลักษณะปรากฏด้านสีดีกว่าเส้นที่ลวกนาน 1 นาที เมื่อพิจารณาผลการผสมสตาร์ชตัดแปรต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้เวลาลวกต่างกัน ปรากฏว่า ในการลวกเส้นนาน 3 นาที ผู้ทดสอบไม่อาจแยกความแตกต่างด้านความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรกับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรได้ ส่วนการลวกเส้นนาน 5 นาที ผู้ทดสอบไม่อาจแยกความแตกต่างด้านความแน่นแข็ง และความเหนียวระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรกับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรได้

เมื่อพิจารณาผลจากการวัดเนื้อสัมผัสในตารางที่ 9 จะเห็นว่า การลวกเส้นนาน 3 นาที มีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งมากกว่าการลวกเส้นนาน 5 นาที ถึงแม้ว่าผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 10 จะไม่สามารถแยกความแตกต่างด้านความแน่นแข็งระหว่างการลวกเส้นนาน 3 นาที และ 5 นาทีได้ ดังนั้น เพื่อประหยัดพลังงานและประหยัดเวลาในการผลิต จึงเลือกใช้เวลาในการลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวนาน 3 นาที เพื่อทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิการฆ่าเชื้อต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง

จากการนำเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง มาคืนรูปด้วยการลวกนาน 3 นาที บรรจุเส้นลงในกระป๋อง แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ 30 นาที ค่าอุณหภูมิ F_0 ได้เท่ากับ 7.31 นาที ส่วนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนาน 18 นาที ค่าอุณหภูมิ F_0 ได้เท่ากับ 8.44 นาที โดยสภาวะการฆ่าเชื้อ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ1

เมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวล้างการฆ่าเชื้อ มาวัดค่าแรงกดสูงสุดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส แสดงผลการทดลองในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ (° ซ)	แรงกดสูงสุด (กรัม)
CONTROL-116		160.15 ± 18.39 c
L-11+CR3-116		188.72 ± 13.51 ab
L-11+CR6-116	116	162.41 ± 8.70 c
L-11+CT3-116		163.81 ± 12.08 c
L-11+CT6-116		111.38 ± 10.85 d
CONTROL-121		155.43 ± 21.18 c
L-11+CR3-121		203.57 ± 28.98 a
L-11+CR6-121	121	185.95 ± 11.44 b
L-11+CT3-121		185.55 ± 17.73 b
L-11+CT6-121		149.71 ± 6.80 c

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร ปรากฏว่า เส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส (CONTROL-116) และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (CONTROL-121) มีความแน่นแข็งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อมีการผสมสตาร์ชตัดแปร ปรากฏว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการฆ่าเชื้อมีแนวโน้มแน่นแข็งขึ้น โดยเส้นผสมสตาร์ชตัดแปรหลังการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส มีความแน่นแข็งค่อนข้างมากกว่าเส้นผสมสตาร์ชตัดแปรหลังฆ่าเชื้อที่ 116 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรต่อความแน่นแข็งของเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-121) มีเนื้อสัมผัสนิ่มกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการผสมสตาร์ชตัดแปร แต่เมื่อมีการผสมสตาร์ชตัดแปร จะช่วยทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยว มีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ยกเว้นการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปร ในปริมาณ

ร้อยละ 6 (L-11+CT6-121) ที่มีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร (CONTROL-121)

หลังจากวัดความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋องหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกันด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแล้ว จึงทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที และ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ การฆ่าเชื้อ (° ซ)	คุณลักษณะ ¹			
		สี (ความขาว)	ความ แน่นแข็ง	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น
CONTROL-116		6.4 ± 1.75 f	7.7 ± 2.52 a	4.2 ± 1.07 e	5.5 ± 0.82 d
L-11+CR3-116		6.8 ± 0.77 ef	8.1 ± 2.44 a	7.7 ± 2.47 bc	7.4 ± 1.49 bc
L-11+CR6-116	116	6.8 ± 2.51 ef	8.2 ± 1.45 a	5.9 ± 1.36 de	5.9 ± 2.17 cd
L-11+CT3-116		6.2 ± 0.97 f	7.1 ± 2.01 a	8.3 ± 2.80 abc	5.6 ± 1.93 d
L-11+CT6-116		7.5 ± 1.78 def	6.7 ± 2.14 a	7.0 ± 2.12 cd	6.3 ± 1.14 cd
CONTROL-121		8.3 ± 1.75 cde	7.6 ± 1.88 a	9.5 ± 1.88 ab	8.4 ± 1.95 ab
L-11+CR3-121		8.8 ± 1.18 cd	8.6 ± 1.60 a	8.6 ± 1.45 abc	7.5 ± 0.82 bc
L-11+CR6-121	121	9.4 ± 0.83 bc	7.8 ± 1.76 a	8.4 ± 2.03 abc	8.2 ± 1.59 ab
L-11+CT3-121		11.2 ± 1.18 a	8.3 ± 1.37 a	9.9 ± 1.41 a	9.4 ± 1.54 a
L-11+CT6-121		10.6 ± 0.62 ab	6.9 ± 1.70 a	8.9 ± 2.35 abc	8.1 ± 1.97 ab

หมายเหตุ ¹ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา มีคะแนนความเข้ม 1-15, 1 คือ น้อย และ 15 คือ มาก

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากผู้ทดสอบ 8 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 12 เมื่อพิจารณาความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเฉพาะเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปร ปรากฏว่า เส้นหลังฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส

(CONTROL-121) มีความขาวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส (CONTROL-116) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน (121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที) จะมีลักษณะปรากฏด้านสีดีกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน (116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซัดแปรต่อความขาวของเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่า การผสมสตาโรซัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (L-11+CR3-121 และ L-11+CR6-121) มีความขาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปร (CONTROL-121) ส่วนการผสมสตาโรซัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 (L-11+CT3-121 และ L-11+CT6-121) มีความขาวมากกว่า และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปร (CONTROL-121) แสดงว่า สตาโรซัดแปรที่มีในส่วนผสม มีส่วนช่วยทำให้ลักษณะปรากฏด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยดีกว่าสตาโรซัดแปรที่อื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสตาโรซัดแปรที่มีลักษณะเจดที่ใสกว่าเจดแป้งข้าว (Kasemsuwan *et al.*, 1998) เมื่อนำมาผสมในเส้นก๊วยเตี๋ย อาจทำให้เส้นมีความสว่าง มีความใส หรือเลื่อมมันขึ้น ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนด้านสีมากกว่าเส้นก๊วยเตี๋ยที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปร

เมื่อพิจารณาความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ผู้ทดสอบไม่อาจแยกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของเส้นก๊วยเตี๋ยได้ ดังจะเห็นได้จาก คะแนนความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส และที่ 121 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาความเหนียวของเส้นก๊วยเตี๋ยหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเฉพาะเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปร ปรากฏว่า เส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (CONTROL-121) มีความเหนียวมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส (CONTROL-116) เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซัดแปรต่อความเหนียวของเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า การผสมสตาโรซัดแปรทุกตัวอย่าง มีความเหนียวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปร (CONTROL-121)

เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของเส้นก๊วยเตี๋ยหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน เส้นที่ไม่ผสมสตาโรซัดแปรหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (CONTROL-121) มีความยืดหยุ่นมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส (CONTROL-116) เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาโรซัดแปรต่อความยืดหยุ่นของเส้นหลัง

ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า การผสมสตาบิลิซัดแปรทุกตัวอย่าง มีความยืดหยุ่น ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาบิลิซัดแปร (CONTROL-121)

จากผลการศึกษาอุณหภูมิการฆ่าเชื้อต่อการทนความร้อนของเส้นก๊วยเตี๋ยวบรรจุ ครอบป้อง โดยวัดคุณภาพของเส้นก๊วยเตี๋ยวด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ไม่ผสมสตาบิลิซัดแปรหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีลักษณะปรากฏด้านสี ความเหนียว และความยืดหยุ่นมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาบิลิซัดแปร หลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาผลการผสมสตาบิลิซัดแปรต่อการทนความร้อนของเส้นก๊วยเตี๋ยวหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผสม สตาบิลิซัดแปรทุกตัวอย่าง มีความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาบิลิซัดแปร อย่างไรก็ตาม การผสมสตาบิลิซัดแปรใน ปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 ช่วยให้เส้นมีความขาวขึ้น

ดังนั้น จึงเลือกการฆ่าเชื้อเส้นก๊วยเตี๋ยวบรรจุครอบป้องที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เพื่อทดลองในขั้นตอนต่อไป

สำหรับการเลือกชนิด และปริมาณของการผสมสตาบิลิซัดแปรแบบพ่นระข้าม จะพิจารณา จากการวัดเนื้อสัมผัสในตารางที่ 11 และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 12 ซึ่งผล การวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๊วยเตี๋ยวบรรจุครอบป้องหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที จะเห็นว่า การผสมสตาบิลิซัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 ช่วยทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยว มีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้เส้นมีลักษณะปรากฏด้านสีดีกว่าการไม่ผสมสตาบิลิซัดแปร

ดังนั้น จึงเลือกใช้สตาบิลิซัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 เพื่อทดลองในขั้นตอนต่อไป

4. ผลการผลิตก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงระป่อง และรืทอ์ทเพาซ์

ในการผลิตก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงระป่อง และบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ สามารถสรุปการผลิตได้ ดังนี้ คือ เลือกใช้เส้นก้วยเตี่ยวอบแห้งซึ่งเตรียมจากแป้งข้าวเจ้าผสมสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 ลวกเส้นนาน 3 นาที ปรงรสแล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

การฆ่าเชื้อก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงระป่องที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาการฆ่าเชื่อนาน 30 นาที ค่า F_0 ได้เท่ากับ 7.41 นาที ส่วนการฆ่าเชื้อก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาการฆ่าเชื่อนาน 15 นาที ค่า F_0 ได้เท่ากับ 7.58 นาที (สภาวะการฆ่าเชื้อ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ๒) จะสังเกตว่า อาหารบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ ใช้เวลาในการฆ่าเชื่อน้อยกว่าอาหารบรจุงระป่องถึงร้อยละ 50 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Mermelstien (1978) ที่กล่าวว่า รืทอ์ทเพาซ์ เป็นภาชนะบรรจุที่มีความหนาน้อยกว่ากระป๋องและขวดแก้ว สามารถถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็ว จึงช่วยลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อลงได้ประมาณ ร้อยละ 30-50 จึงทำให้อาหารบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ มีคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัสด้านความแน่นแข็ง กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าอาหารบรจุงระป่อง

เมื่อตรวจสอบทางด้านจุลชีววิทยา (แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ๓) ปรากฏว่า ทั้งก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงระป่อง และก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ ไม่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นข้อกำหนดของมาตรฐานอาหารบรจุงระป่อง จึงยืนยันได้ว่า สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย จึงมีปลอดภัยต่อผู้บริโภค

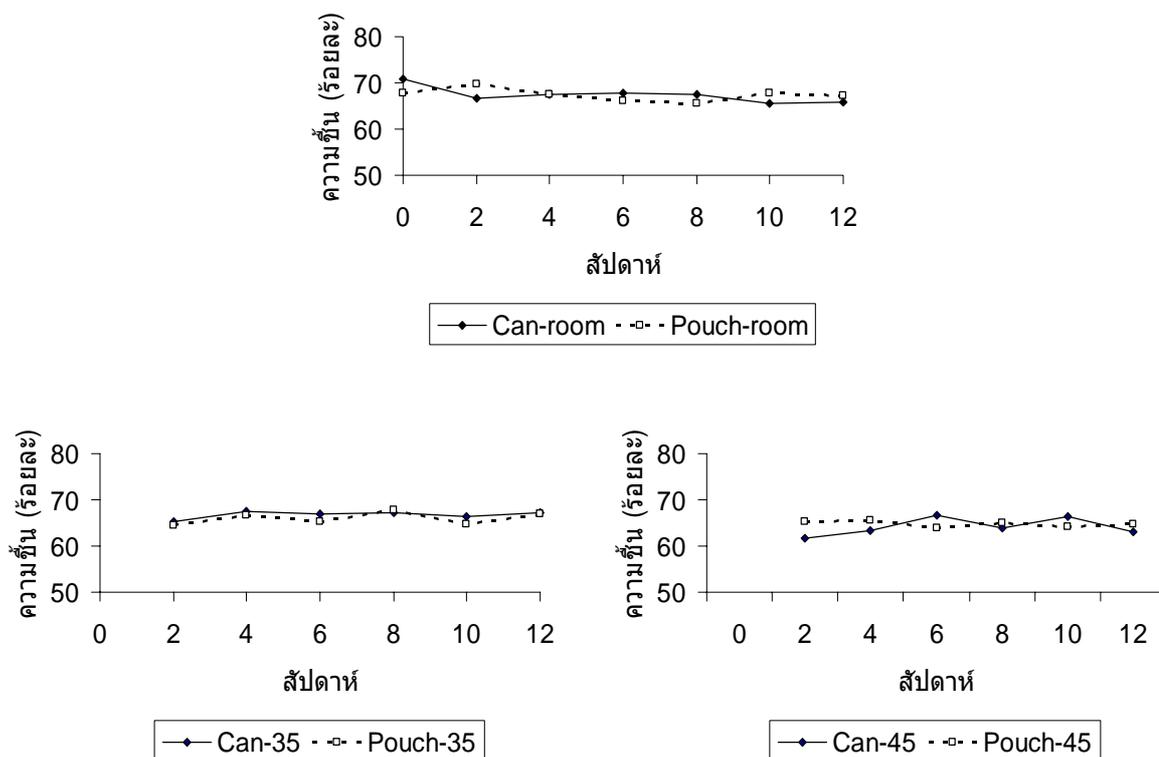
5. ผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงระป่อง และก้วยเตี่ยวคั่วไก่อบรจุงรืทอ์ทเพาซ์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทั้งนี้ อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในการทำปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็ว หรือช้า รวมทั้งการประยุกต์ในการประเมินอายุการเก็บในสภาวะเร่งคั่ว (รุ่งนภา, 2546) ในงานวิจัยนี้ จะสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพ ทุก 2 สัปดาห์ โดยกำหนดให้

Can-room	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิห้อง
Pouch-room	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุริทออร์ทเพาซ์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง
Can-35	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
Pouch-35	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุริทออร์ทเพาซ์ เก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
Can-45	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส
Pouch-45	คือ กว๊ายเตี่ยวคั่วไก่บรจจุริทออร์ทเพาซ์ เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ แสดงดังนี้

5.1 ผลการวัดปริมาณความชื้นของเส้นก๊วยเตี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูป



ภาพที่ 12 ปริมาณความชื้นของเส้นก๊วยเตี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ความชื้น เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหารมากที่สุด ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และกลิ่นรสได้ (รุ่งนภา, 2546) ซึ่งผลการวัดปริมาณความชื้น แสดงดังภาพที่ 12

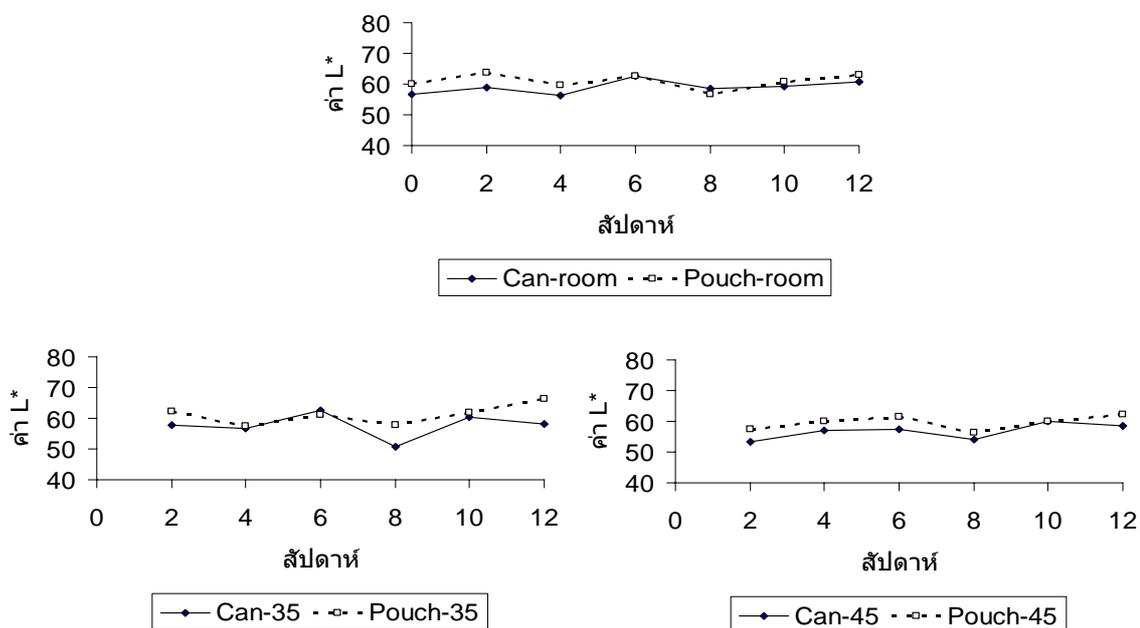
ผลการวัดปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความชื้นน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ4)

ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ4)

ความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ4)

จะสังเกตเห็นว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แต่ภาชนะบรรจุมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ซึ่งผลการทดลองนี้ จะเห็นว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ มีความชื้นคงที่มากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความชื้นของอาหารจะเกิดสมดุลกับความชื้นภายในภาชนะบรรจุ จึงทำให้อาหารมีความชื้นค่อนข้างคงที่

5.2 ผลการวัดสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป



ภาพที่ 13 ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

การวัดสี เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้นๆ การวัดค่าความสว่าง (L*) มีสเกลตั้งแต่ 0 ถึง 100 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่า L* สูงกว่า 60 ถือว่าเป็นค่าความสว่างที่พึงปรารถนา ส่วนค่า L* เท่ากับ 50 ถือว่าผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ และค่า L* ต่ำกว่า 50 ถือว่าผลิตภัณฑ์มีสีค่อนข้างดำ (Charles *et al.*, 2007) ผลการวัดค่าความสว่าง แสดงดังภาพที่ 13

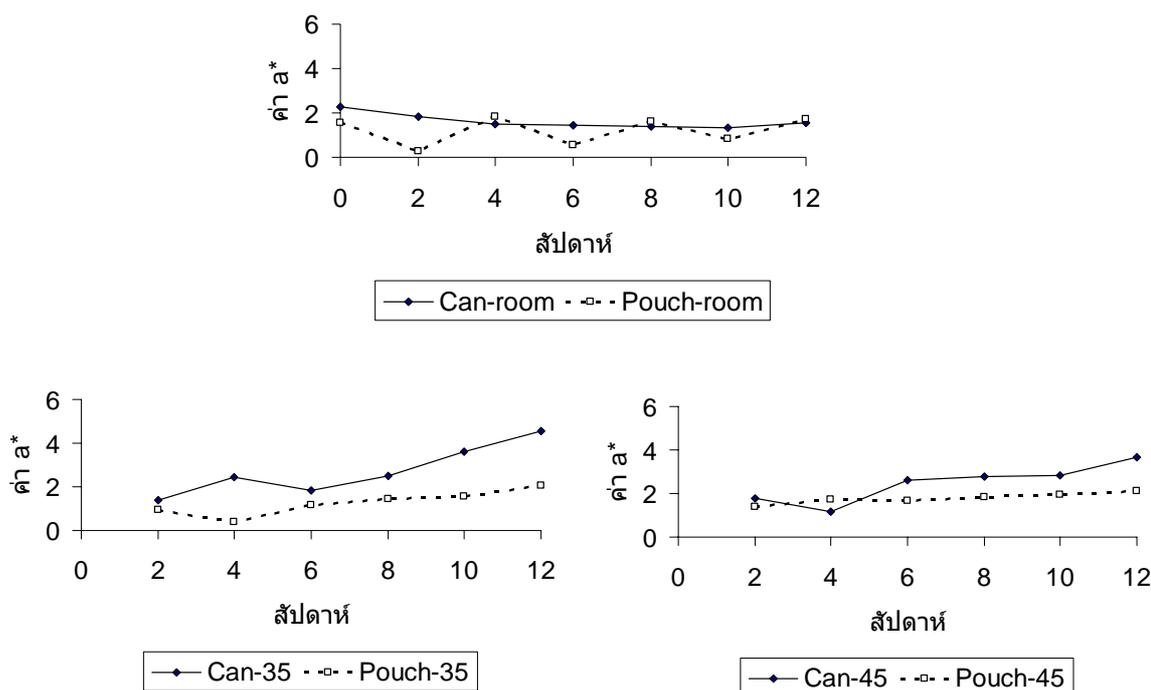
ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เส้นมีแนวโน้มว่า มีความสว่างสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังจะเห็นได้จาก ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพจ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ๖5)

ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า เส้นมีความสว่างที่ไม่คงที่ อย่างไรก็ตาม ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพจ

มีความสว่างไม่คงที่เช่นเดียวกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นถ้วยเตี้ยคว่ำไก่อบรมจุระป้อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เส้นมีแนวโน้มว่า มีความสว่างสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังจะเห็นได้จาก ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นถ้วยเตี้ยคว่ำไก่อบรมจूरिथอร์ทเพาช์ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความสว่างมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

จากการทดลองนี้ จะเห็นว่า เส้นถ้วยเตี้ยคว่ำไก่อบรมจूरिथอร์ทเพาช์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างที่ไม่คงที่ แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ ถ้วยเตี้ยคว่ำไก่อบรมจूरिथอร์ทเพาช์ มีแนวโน้มว่า มีความสว่างมากกว่าถ้วยเตี้ยคว่ำไก่อบรมจุระป้อง ทั้งนี้เนื่องจาก อาหารบรมจूरिथอร์ทเพาช์ ใช้เวลาฆ่าเชื้อน้อยกว่าอาหารบรมจุระป้อง จึงมีลักษณะปรากฏทางด้านสีดีกว่าอาหารบรมจุระป้อง



ภาพที่ 14 ค่า a^* ของเส้นกัวยเดี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

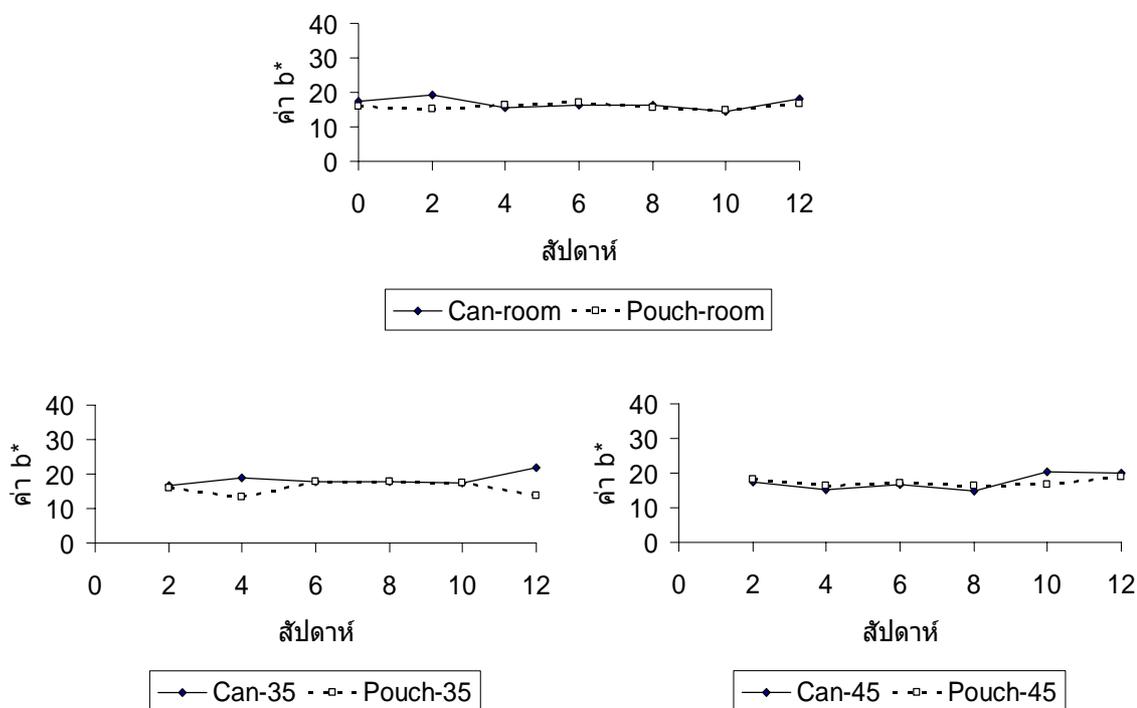
การวัดค่า a^* ของเส้นกัวยเดี่ยว ซึ่งมีสเกลตั้งแต่ -60 ถึง 60 โดยค่า a^* เป็นบวก หมายถึง สีแดง ($+a^*$) ค่า a^* เป็นลบ หมายถึง สีเขียว ($-a^*$) ผลการวัดค่า a^* แสดงดังภาพที่ 14

ค่าสีแดง ($+a^*$) ของเส้นกัวยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นกัวยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพจ มีสีแดงไม่คงที่ แต่ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 5)

ค่าสีแดง ($+a^*$) ของเส้นกัวยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เส้นมีแนวโน้มว่า มีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังจะเห็นได้จาก ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นกัวยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพจ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 5)

ค่าสีแดง (+a*) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เส้นมีแนวโน้มว่า มีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีแดงมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

จากการทดลองนี้ เส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น แสดงว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่อะมิโน ได้เป็น ไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง และผันแปรตามระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ (DeMan, 1990) อย่างไรก็ตาม จะสังเกตว่า ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ มีสีแดงค่อนข้างน้อยกว่าก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง



ภาพที่ 15 ค่า b* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

การวัดค่า b^* ของเส้นก้วยเดี่ยว ซึ่งมีสเกลตั้งแต่ -60 ถึง 60 โดยค่า b^* เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง ($+b^*$) ค่า a^* เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ($-b^*$) ผลการวัดค่า b^* แสดงดังภาพที่ 15

ค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจระป้อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่า มีสีเหลืองไม่คงที่ แต่ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ เส้นในสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจริทอร์ทเพาซ์ ให้ผลเช่นเดียวกัน (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

ค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจระป้อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 10 เส้นมีสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ใน สัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ถึง สัปดาห์ที่ 10 ส่วนเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจริทอร์ทเพาซ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีเหลืองลดลง และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

ค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจระป้อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า เส้นมีสีเหลืองไม่คงที่ แต่ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีเหลืองมากกว่า และแตกต่าง ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก้วยเดี่ยวคิ้วไก่บรจจริทอร์ทเพาซ์ ปรากฏว่า ใน สัปดาห์ที่ 12 เส้นมีสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 (ค่าทางสถิติ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ5)

5.3 ผลการวัดความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่สำเร็จรูป ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ตารางที่ 13 เนื้อสัมผัสของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ ที่	แรงกดสูงสุด (กรัม)					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 ° ซ		อุณหภูมิ 45 ° ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทแพซ	กระป๋อง	รีทอร์ทแพซ	กระป๋อง	รีทอร์ทแพซ
0	112.14 ±10.47a	122.53 ±8.65a	-	-	-	-
2	112.83 ±1.79a	111.03 ±14.68a	94.01 ±11.52abc	110.01 ±18.87a	117.89 ±18.62a	110.13 ±9.40a
4	111.14 ±17.59a	107.61 ±16.50a	89.28 ±7.89bc	110.79 ±15.39a	116.43 ±11.82a	116.34 ±16.49a
6	110.18 ±17.65a	102.09 ±10.16a	95.99 ±11.39ab	116.79 ±16.68a	96.64 ±6.60b	112.16 ±16.23a
8	109.08 ±16.48a	110.94 ±16.42a	84.28 ±6.86c	116.85 ±12.52a	110.24 ±8.16ab	101.56 ±1.6a
10	109.70 ±24.10a	112.78 ±17.56a	99.80 ±10.39ab	112.35 ±20.97a	98.99 ±20.48b	104.96 ±23.13a
12	103.45 ±18.38a	108.75 ±20.60a	103.95 ±12.54a	116.66 ±18.44a	112.10 ±17.08ab	113.75 ±30.29a

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 13 ปรากฏว่า ในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพซ ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูรีทอร์ทเพาซ์ ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูรีทอร์ทเพาซ์ ในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เส้นมีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

จากการทดลอง จะสังเกตเห็นว่า ก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูกระป๋องและก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูรีทอร์ทเพาซ์ มีความแน่นแข็งค่อนข้างคงที่ ดังจะเห็นได้จากค่าแรงกดสูงสุดค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูรีทอร์ทเพาซ์มีความแน่นแข็งสม่ำเสมอว่าก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจูกระป๋อง

5.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 จุด (9-point hedonic scaling)

ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 จุด ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 °ซ		อุณหภูมิ 45 °ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทแพคเกจ	กระป๋อง	รีทอร์ทแพคเกจ	กระป๋อง	รีทอร์ทแพคเกจ
0	6.1 ±1.58a	7.0 ±0.74a	-	-	-	-
2	6.0 ±1.34a	6.5 ±0.97ab	6.0 ±1.49a	5.6 ±1.73b	6.2 ±1.64a	6.2 ±1.76a
4	6.0 ±1.51a	6.1 ±1.01b	6.1 ±1.45a	6.2 ±0.86ab	5.8 ±1.30a	6.5 ±1.04a
6	6.7 ±1.08a	6.1 ±1.48b	5.9 ±1.80a	6.3 ±1.31ab	6.4 ±1.73a	6.5 ±1.01a
8	6.4 ±0.86a	6.8 ±1.19a	6.4 ±1.43a	6.4 ±1.22a	6.2 ±0.92a	6.4 ±1.69a
10	6.8 ±0.63a	6.8 ±0.66a	6.4 ±1.04a	6.1 ±0.97ab	6.0 ±1.54a	6.7 ±0.70a
12	6.2 ±2.02a	6.6 ±1.13ab	6.2 ±1.63a	6.8 ±1.50a	6.8 ±0.88a	5.9 ±1.79a

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

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 14 พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 6 น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0 ไร่ก็ตาม ใน

สัปดาห์ที่ 12 ผู้ทดสอบชิมยังคงมีความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 0

คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุนิรทอร์ทเพาซ์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นในสัปดาห์ที่ 2

คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุนิรทอร์ทเพาซ์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบลักษณะปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน

จากการทดลอง จะสังเกตว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง และก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุนิรทอร์ทเพาซ์ ใกล้เคียงกันทุกสภาวะการเก็บรักษา (อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส) และมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรจุกระป๋อง และนิรทอร์ทเพาซ์ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เท่ากับ 6.2 และ 6.6 ตามลำดับ หรือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 15 คะแนนความชอบด้านสีของถ้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ ที่	คะแนนความชอบด้านสี					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 ° ซ		อุณหภูมิ 45 ° ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ท แพช	กระป๋อง	รีทอร์ทแพช	กระป๋อง	รีทอร์ทแพช
0	6.7 ±1.14a	6.6 ±1.10a	-	-	-	-
2	5.9 ±1.11a	5.8 ±1.45a	5.9 ±1.36a	5.9 ±1.23a	5.7 ±1.73c	6.0 ±1.65a
4	6.7 ±1.24a	6.0 ±0.85a	6.6 ±1.57a	6.0 ±0.96a	6.4 ±1.77abc	6.5 ±1.25a
6	6.5 ±1.38a	6.1 ±1.50a	6.2 ±1.80a	6.4 ±1.03a	6.7 ±1.34ab	6.3 ±1.53a
8	6.1 ±1.17a	6.3 ±1.47a	6.7 ±1.41a	6.4 ±1.27a	6.2 ±1.87abc	6.5 ±1.74a
10	6.2 ±0.63a	6.0 ±1.22a	6.4 ±0.67a	6.2 ±0.79a	5.9 ±1.49bc	6.5 ±1.33a
12	6.5 ±1.04a	6.2 ±1.27a	6.7 ±0.79a	6.6 ±1.13a	6.8 ±1.10a	6.6 ±1.04a

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

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านสีของเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุกระป๋อง เก็บที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 15 พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านสีของเส้นถ้วยเดี่ยวในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทแพช ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านสีของเส้นในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านสีของเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านสีของเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่บรรจุรีทอร์ทแพช ให้ผลเช่นเดียวกัน

คะแนนความชอบด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มชอบสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังจะเห็นได้จาก คะแนนความชอบด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วในสัปดาห์ที่ 12 มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวกั่วในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดลอง จะเห็นว่า คะแนนความชอบด้านสีของก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุกระป๋อง และก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่บรรจุกระป๋อง และรีทอร์ทเพาซ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบด้านสี เท่ากับ 6.5 และ 6.2 ตามลำดับ หรือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 16 คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของก๊วยเตี๋ยวกั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็ง					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 °ซ		อุณหภูมิ 45 °ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์
0	6.1 ±1.41a	5.4 ±1.54a	-	-	-	-
2	4.3 ±1.78c	5.5 ±1.50a	4.5 ±1.80c	4.8 ±2.10bc	5.4 ±1.61a	5.1 ±1.85a
4	6.1 ±1.23a	6.2 ±1.65a	5.7 ±1.37ab	5.6 ±1.75ab	5.6 ±1.72a	5.9 ±1.22a
6	6.7 ±1.73a	5.5 ±1.96a	5.0 ±2.04bc	4.5 ±1.76c	4.9 ±1.66a	5.7 ±2.09a
8	5.1 ±2.06b	5.9 ±1.64a	5.8 ±2.01b	5.6 ±1.88ab	5.2 ±1.78a	5.2 ±1.71a
10	5.9 ±0.74a	5.6 ±1.77a	5.7 ±1.73ab	5.2 ±2.13bc	4.5 ±1.17a	6.0 ±1.22a
12	6.2 ±1.69a	5.6 ±1.22a	6.1 ±1.16a	6.4 ±1.71a	5.3 ±1.29a	5.1 ±1.79a

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

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง เก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 16 พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบไม่คงที่ อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งในสัปดาห์ที่ 12 ยังคงไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านความแน่นแข็งในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มชอบความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยคะแนนความชอบในสัปดาห์ที่ 12 มากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มชอบความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

จากการทดลอง คะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง และก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่อบรมจุระป้อง และริทอร์ทเพาซ์ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบด้านความแน่นแข็ง เท่ากับ 6.2 และ 5.6 ตามลำดับ หรือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และมีความชอบอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย ตามลำดับ

ตารางที่ 17 คะแนนความชอบด้านรสชาติของก้วยเตี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	คะแนนความชอบด้านรสชาติ					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 ° ซ		อุณหภูมิ 45 ° ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์
0	7.6 ±0.72a	6.8 ±0.87a	-	-	-	-
2	6.3 ±1.37bc	6.1 ±0.97a	6.2 ±1.25a	6.0 ±1.71a	6.0 ±1.25a	5.9 ±1.44a
4	6.7 ±0.84bc	6.3 ±1.73a	6.4 ±1.25a	6.1 ±1.52a	6.1 ±1.59a	6.4 ±1.43a
6	7.0 ±1.14b	6.4 ±1.40a	6.0 ±1.66a	6.1 ±1.61a	6.3 ±1.32a	6.3 ±1.47a
8	6.3 ±2.07c	6.1 ±1.46a	6.0 ±1.58a	6.1 ±1.64a	4.7 ±2.26b	6.3 ±1.81a
10	6.7 ±0.94bc	6.1 ±1.41a	6.1 ±1.56a	4.8 ±1.42b	4.9 ±1.67b	6.2 ±1.35a
12	6.8 ±1.00bc	6.7 ±0.92a	6.4 ±1.22a	6.6 ±0.81a	6.3 ±0.79a	6.6 ±0.81a

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

ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านรสชาติของเส้นก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 17 พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบไม่คงที่ โดยความชอบด้านรสชาติ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เห็นได้จาก คะแนนความชอบในสัปดาห์ที่ 12 น้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติของเส้นในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านรสชาติของเส้นก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติของเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ พบว่า

ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติของเส้นในสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2

คะแนนความชอบด้านรสชาติของเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบไม่คงที่ แต่คะแนนความชอบด้านรสชาติในสัปดาห์ที่ 12 ยังคงไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ มีคะแนนความชอบค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดการเก็บรักษา โดยผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดลอง จะเห็นว่า ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และรีทอร์ทแพคเกจ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบด้านรสชาติเท่ากับ 6.8 และ 6.7 ตามลำดับ หรือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 18 คะแนนความชอบโดยรวมของก้วยเดี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	คะแนนความชอบโดยรวม					
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 ° ซ		อุณหภูมิ 45 ° ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทแพช	กระป๋อง	รีทอร์ทแพช	กระป๋อง	รีทอร์ทแพช
0	6.8 ±0.97a	6.3 ±1.11a	-	-	-	-
2	5.6 ±1.16c	5.9 ±1.09a	5.4 ±1.22a	5.7 ±1.20ab	5.8 ±1.51a	5.6 ±1.57a
4	6.4 ±0.82ab	6.2 ±1.62a	5.8 ±1.25a	5.8 ±1.52ab	5.7 ±1.66a	6.5 ±0.97a
6	6.5 ±1.09ab	6.3 ±1.49a	5.5 ±1.96a	6.5 ±1.25a	5.6 ±1.59a	5.9 ±1.40ab
8	6.9 ±1.56ab	6.0 ±1.66a	5.8 ±1.67a	4.7 ±1.01c	4.1 ±1.98b	5.9 ±1.66ab
10	5.7 ±1.16c	5.9 ±1.40a	5.8 ±1.92a	5.7 ±1.99ab	4.2 ±1.43b	6.1 ±1.25ab
12	6.0 ±1.29bc	6.2 ±1.35a	5.7 ±1.51a	5.6 ±1.22b	5.6 ±1.30a	5.4 ±1.59a

หมายเหตุ คะแนนการทดสอบ 1-9, 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด
 ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์
 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในตารางที่ 18 พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบไม่คงที่ โดยความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังจะเห็นได้จาก คะแนนความชอบในสัปดาห์ที่ 12 น้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 0 ส่วนเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพช กลับพบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังจะเห็นได้จาก คะแนนความชอบในสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติของเส้นในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นก้วยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพช มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบชิมยังคงมีความชอบเส้นก้วยเดี่ยวในสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2

คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วไก่อบรมจุระป้อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบไม่คงที่ แต่คะแนนความชอบโดยรวมในสัปดาห์ที่ 12 ยังคงไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสัปดาห์ที่ 2 ส่วนเส้นถ้วยเดี่ยวแก้วไก่อบรมจุนิรทเพาซ์ มีคะแนนความชอบค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดการเก็บรักษา โดยผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติในสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 12 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดลอง จะเห็นว่า ถ้วยเดี่ยวแก้วไก่อบรมจุระป้อง และริทเพาซ์ ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสัปดาห์ที่ 12 มีคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.0 และ 6.2 ตามลำดับ หรือมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา นาน 12 สัปดาห์ สรุปได้ว่า ทั้งถ้วยเดี่ยวแก้วไก่อบรมจุระป้อง และถ้วยเดี่ยวแก้วไก่อบรมจุนิรทเพาซ์ มีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกันทุกสภาวะการเก็บรักษา และผู้บริโภคยังคงยอมรับในผลิตภัณฑ์ โดยมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความแน่นแข็ง รสชาติ และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11, สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม

แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 มีปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณแอมิโลสมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสตาร์ชคัดแปรแบบพันธะข้าม เมื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และการเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า ทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชคัดแปรแบบพันธะข้าม จะมีการพองตัวขึ้น หรือมีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่ขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ทั้งแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชคัดแปรทั้งสองชนิด จะเกิดการเจลลิตีในเซชันทั้งหมด แต่เม็ดสตาร์ชที่คัดแปรแบบพันธะข้าม มีความแข็งแรง จึงรักษารูปร่างของเม็ดสตาร์ชไว้ได้ดีกว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เมื่อวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และเพสต์ของสตาร์ชคัดแปรแบบพันธะข้าม พบว่า ทั้งสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร มีความทนทานต่อความร้อนและแรงเฉือนได้ดี จึงสามารถรักษาความหนืดเอาไว้ได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ดังจะเห็นได้จากค่าความหนืดลดลงของเพสต์สตาร์ชคัดแปร มีค่าน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 สำหรับการวัดอุณหภูมิ และพลังงานเอนทัลปีที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร เกิดเจลลิตีในเซชันได้เร็วกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว ที่พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปร เกิดความหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 และสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร แต่เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 กับสตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร ปรากฏว่า สตาร์ชข้าวเจ้าคัดแปร มีแนวโน้มสุกช้ากว่าแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11

เมื่อนำสตาร์ชคัดแปรแบบพันธะข้าม มาผสมกับแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชคัดแปรแบบพันธะข้าม ปรากฏว่า เพสต์ของแป้งข้าวเจ้าที่มีการผสมสตาร์ชคัดแปร มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว ซึ่งการผสมสตาร์ชคัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 จะมีความหนืดสูงสุดน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

กับการผสมสตาร์ชตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 อย่างไรก็ตาม การผสมสตาร์ชตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 จะช่วยปรับปรุงเพศของแป้งผสม ให้ยังคงความหนืดในระหว่างให้ความร้อน และมีแรงเนียนได้ดีกว่า เพสค์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ พบว่า การผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 จะมีค่าความหนืดคืนตัวมากที่สุด และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเพสค์ของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการวัดเนื้อสัมผัสของเจล ซึ่งเตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ปรากฏว่า การผสมสตาร์ชตัดแปร ไม่มีผลต่อความแข็ง และความยืดหยุ่นของเจล แต่ทำให้เจลของแป้งผสมมีความเกาะติดกันดีขึ้น

2. การทดสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม

ในงานวิจัยนี้ ทำการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 โดยใช้แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว, แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชตัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 ของส่วนผสมทั้งหมด (แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เท่ากับ 37 ส่วน สตาร์ชตัดแปร 3 ส่วน และน้ำกรอง 60 ส่วน) และแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสมสตาร์ชตัดแปรในปริมาณร้อยละ 6 ของส่วนผสมทั้งหมด (แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เท่ากับ 34 ส่วน สตาร์ชตัดแปร 6 ส่วน และน้ำกรอง 60 ส่วน) เมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งมาทดสอบคุณภาพด้วยการวัดการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม พบว่า การผสมสตาร์ชตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 3 และร้อยละ 6 ของส่วนผสมน้ำแป้งทั้งหมด ไม่มีผลต่อการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ยกเว้นการผสมสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร ในปริมาณร้อยละ 6 จะสูญเสียเนื้อแป้งมากกว่า และแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 เพียงอย่างเดียว

3. การศึกษาผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามต่อการทนความร้อนในระดับสเทอร์ไรไลเซชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

จากการเปรียบเทียบผลของการผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง มาเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที โดยศึกษาเวลาในการลวกเส้นนาน 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที ก่อนนำเส้นไปบรรจุกระป๋อง พบว่า การลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวนานขึ้น มีแนวโน้มทำให้เส้นนิ่มขึ้น หรือมีความแน่นแข็งลดลง เมื่อเปรียบเทียบผล

ของการผสมสตาร์ชตัดแปดต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้เวลาในการลวกเท่ากัน พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปด มักมีความแน่นแข็งมากกว่าเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปด หรือสามารถทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น เพราะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสไม่นิ่มลง อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความแน่นแข็งและความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกนาน 3 นาที ใกล้เคียงกับเส้นที่ลวกนาน 5 นาที ดังนั้น เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และประหยัดเวลาในการผลิต จึงเลือกใช้เวลาในการลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวนาน 3 นาที สำหรับการทดลองนี้

จากการเปรียบเทียบผลของการผสมสตาร์ชตัดแปดทางเคมีแบบพ่นระข้ามต่อการทนความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวยุโรป โดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวยอบแห้ง มาคืนรูปด้วยการลวกนาน 3 นาที บรรจุเส้นลงในกระป๋อง แล้วศึกษาอุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่ 116 องศาเซลเซียสและ 121 องศาเซลเซียส พบว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาฆ่าเชื้อมานาน 30 นาที ค่า F_0 ได้เท่ากับ 7.31 นาที ส่วนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาฆ่าเชื้อมานาน 18 นาที ค่า F_0 ได้เท่ากับ 8.44 นาที โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวหลังการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มด้านความแน่นแข็งมากกว่าที่ 116 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสตาร์ชตัดแปดต่อการทนความร้อนของเส้นหลังฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่า การผสมสตาร์ชตัดแปดทำให้เส้นมีความแน่นแข็งมากขึ้น ยกเว้นการผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปด ในปริมาณร้อยละ 6 ที่มีความแน่นแข็งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปด เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส ปรากฏว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปดทุกตัวอย่าง มีความแน่นแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเส้นที่ไม่ผสมสตาร์ชตัดแปด จึงเลือกอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองนี้

การเลือกชนิด และปริมาณของการผสมสตาร์ชตัดแปดแบบพ่นระข้าม พิจารณาจากผลการวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวยุโรปหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที พบว่า การผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปด ในปริมาณร้อยละ 3 ช่วยให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมี่ความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น และเส้นมีลักษณะปรากฏด้านสีดีกว่าการไม่ผสมสตาร์ชตัดแปด จึงเลือกที่จะผสมสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปด ในปริมาณร้อยละ 3 เพื่อผลิตเป็นก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทแพซ

4. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ในระหว่างการเก็บรักษา

ในการฆ่าเชื้อก้วยเตี่ยวก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่า ต้องใช้เวลานาน 30 นาที ($F_0 = 7.41$ นาที) ส่วนก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ต้องใช้เวลานาน 15 นาที ($F_0 = 7.58$ นาที) ซึ่งเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย จึงปลอดภัยต่อการนำมารับประทาน

ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยตรวจสอบปริมาณความชื้น และสีของเส้นก้วยเตี่ยว วัดความแน่นแข็งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 จุด ผลการทดลอง พบว่า ทั้งก้วยเตี่ยวคั่วไก่ที่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ มีปริมาณความชื้น และความแน่นแข็งสม่ำเสมอทุกสภาวะการเก็บรักษา ส่วนสีของเส้นก้วยเตี่ยวมีแนวโน้มคล้ำเข้มขึ้นตามระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ มีแนวโน้มด้านที่ดีกว่าก้วยเตี่ยวบรรจุกระป๋อง สำหรับผลการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 จุด พบว่า ภายหลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 สัปดาห์ แต่ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ยังคงยอมรับทั้งก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และก้วยเตี่ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ โดยมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นที่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ้วยเดี่ยวแก้วใก่ ดังนั้น จึงขาดการทดลองหลายด้านที่พิสูจน์ว่า เส้นถ้วยเดี่ยวที่ผสมสตาร์ชตัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้ามสูตรใด จึงเหมาะสำหรับนำมาพัฒนาเป็นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่ ซึ่งเส้นถ้วยเดี่ยว ต้องผ่านขั้นตอนตั้งแต่การlovakเส้นเพื่อเพิ่มความชื้น การคลุกเส้นกับน้ำปรุงรส การเติมส่วนผสมที่เป็นเนื้อสัตว์ และผัก ก่อนนำไปสเทอร์ไรส์ในสถานะที่เหมาะสม

ดังนั้น ถ้ามีผู้ประสงค์ที่จะทำการทดลองเพิ่มเติม ควรทำการศึกษาตัวแปรด้านความชื้นในเส้นถ้วยเดี่ยว การผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันธะข้าม ในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 6 ของส่วนผสมน้ำแป้งทั้งหมด อิทธิพลของส่วนผสมที่เป็นน้ำปรุงรส หรือสัดส่วนของเนื้อสัตว์ และผักที่ใช้ในการทำเป็นถ้วยเดี่ยวแก้วใก่ รวมถึงการทดลองใช้วัตถุดิบอื่น ที่ทนต่อความร้อน เช่น แป้งจากหัวบุก ซึ่งสามารถผสมลงในแป้งข้าวเจ้าได้ในปริมาณมาก โดยไม่ขัดต่อข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวัดค่าแรงกดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเส้นถ้วยเดี่ยวควบคู่กับการทดสอบทางประสาทสัมผัส แต่การวัดค่าแรงกด ตรวจสอบได้เฉพาะความแน่นแข็งของเส้นถ้วยเดี่ยวเท่านั้น แต่ไม่ได้วัดความต้านแรงดึง ซึ่งตรวจสอบความเหนียว และความยืดหยุ่นของเส้นได้ เนื่องจากเส้นถ้วยเดี่ยวที่บรรจุกระป๋องหรือรีทอร์ทแพคเกจ มีลักษณะม้วน งอ จึงไม่อาจยึดเส้นให้ตรง เพื่อนำมาพันกับหัววัด A/SPR สำหรับวัดความต้านแรงดึงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ อิศราคาร. 2548. ผลของการเติมสารฆ่าตัดแปรและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของ กว๊วยเดี่ยวแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมส่งเสริมการส่งออก. 2549. การส่งออกสินค้าสำคัญของไทย ปี 2545-2549 (มกราคม- พฤศจิกายน). แหล่งที่มา: <http://www.ops2.moc.go.th/meeting/bb.xls>, 26 ธันวาคม 2549.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. เทคโนโลยีของแปง. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2541.. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๊วยเดี่ยวและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมเรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๊วยเดี่ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามทิพย์ กุ้วโรคม. 2538. เอกสารประกอบการสอนหลักการบรรจุ. ภาควิชาเทคโนโลยี การบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทนง ภัครษ์พันธุ์. 2549. การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน, น. 137-153. ใน คณาจารย์ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บรรณาธิการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล. 2542. Retort system for pouch processing, น. 23-33. ใน เอกสาร ประกอบการฝึกอบรม เรื่อง Retort Pouch for Low Acid Canned Food. สถาบันอาหาร ร่วมกับ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์ พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

- ประจเวท สาตมาลี. 2549. การเร่งกระบวนการบ่มแผ่นแป้งกล้วยเดี่ยวจันทน์ด้วยการใช้อุณหภูมิ
ต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรพิศ โปธิสุข. 2548. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตกล้วยเดี่ยวข้าวกล้องอบแห้ง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์เพ็ญ ธิพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นกล้วยเดี่ยว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ วิริยาริ. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ยุทธนา พิมพ์ศิริผล. 2545. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นกล้วยเดี่ยวอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้ง
มันเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. โอเดียนสโตร์,
กรุงเทพฯ.
- _____. 2546. โครงการอบรมหลักสูตร การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ สำหรับ
สถาบันอาหาร ระหว่างวันที่ 29-30 พฤษภาคม 2546. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วันเพ็ญ รัตนชน. 2545. การเปรียบเทียบพันธุกรรม และสมบัติทางเคมีกายภาพของมันสำปะหลัง
(*Manihot esculenta* Crantz) ชนิดขมและชนิดหวาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2541. คุณสมบัติของข้าวและการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิต
กล้วยเดี่ยวและเส้นหมี่, น. 33-51. ใน เอกสารประกอบการบรรยายโครงการฝึกอบรมเรื่อง
การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมกล้วยเดี่ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด.
สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- วิภา สุโรจนะเมธากุล, วารุณี วารัญญานนท์ และ พัชรี ตั้งตระกูล. 2550. สมบัติของผลิตภัณฑ์
ก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง: เส้นหมี่ราดหน้า, น. 531-538. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ
ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิรัตน์ ปฐมโยธิน. 2542. หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องและในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว, น. 61-74. ใน
เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง Retort Pouch for Low Acid Canned Food. สถาบัน
อาหาร ร่วมกับ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- _____. 2547. เครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋อง, น. 95-110. ใน สถาบันอาหาร,
บรรณาธิการ. หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน.
ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภารณภัทรสิน, กรุงเทพฯ.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล
พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ศันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลลาทีนในแซนชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2523. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์
อาหารทางจุลชีววิทยา เล่ม 1 อาหารกระป๋อง. มอก. 335 เล่ม 1-2533.
- _____. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว. มอก. 959-2533.
- _____. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.
มอก. 1073-2535.
- เสนอ ร่วมจิต. 2522. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ
ที่มีผลต่อลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ศุภมล ว่องวงศ์ศรี. 2541. **อาหารเส้นนานาชาติ: ครัว Health & Cuisine**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ครัวบ้านและสวน, กรุงเทพฯ.
- อรพรรณ กัลปนายุทธ. 2547. **การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- _____. จิตธนา แจ่มเมฆ, สินีนาถ จริยโชติเลิศ, นุชฤดี ศิริบุญ, ณรงค์ เอื้อวัฒนะชาคร และ นรินทร์ ชินสุนทรากร. 2536. **ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่กึ่งสำเร็จรูป**. **วิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์** 27 (1): 74-78.
- อนุกุล วัฒนสุข และ โสภิตา สืบวงษา. 2549. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับ เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน กรุงเทพฯ.
- AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Alstrand, D.V. and O.F. Ecklund. 1952. The mechanics and Interpretation of heat penetration tests in canned foods. **Food Tech.** 6(5): 185-189.
- Anderson, T.A. 1973. Toxicological evaluation of some Food additives including anticaking agents, antimicrobials, antioxidants, emulsifier and thickening agents. **WHO Food Additives Series No. 5.**, Geneva.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

- Baker, R.C., P.W. Hahn and K.R. Robbins. 1988. **Fundamentals of New Food Product Development**. Elsevier Science Publishing Company, Inc., Newyork.
- Baxter, G., C. Blanchard and J. Zhao. 2004. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch. **J. Cereal Sci.** 40: 205-211.
- BeMiller, J.N. 1997. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/starke.** 49: 127-131.
- Bergman, C.J., K.R. Bhattacharya and K. Ohtsubo. 2004. Rice end-use quality analysis, pp. 415-472. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as relate to sorghum starch properties. **Cereal Chem.** 78 (4): 417-420.
- Bhattacharya, M., S.Y. Zee and H. Corke. 1999. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chem.** 76 (6): 861-867.
- Bindu, J., T. K. Srinivasa Gopal and T.S.U.Unnikrishnan Nair. 2004. Ready to eat mussel meat processed in retort pouches for retail and export market. **Packaging Technology and Science.** 17:113–117.
- Board, P.W. 1973. The chemistry of nitrate-induced corrosion of tinplate. **Food Tech. Aust.** 25 (1): 15-16.
- Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. **Food Technol.** 32: 62-66.
- Brandsch, J. and O. Piringer. 2000. Characteristics of plastic materials, pp. 9-45. *In* O.-G. Piringer and A.L. Baner, eds. **Plastic Packaging Materials for Food**. Wiley-Vch, Germany.

- Brown, E.W. 1992. **Plastic in Food Packaging**. Marcel Dekker, Inc., Newyork.
- Chabot, J.F., L.F. Hood and J.E. Allen. 1976. Effect of chemical modification on the ultrastructure of corn, waxy maize and tapioca starches. **Cereal Chem.** 53 (1): 85-91.
- Champagne, E.T., B.G. Lyon, B.K. Min, B.T. Vinyard, K.L. Bett, F.E. Barton II, B.D. Webb, A.N. McClung, K.A. Moldenhauer, S. Linscombe, K.S. McKenzie and D.E. Kohlwey. 1998. Effect of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. **Cereal Chem.** 75 (2): 181-186.
- Charles, A.L., T.C. Huang, P.Y. Lai, C.C. Chen, P.P. Lee and Y.H. Chang. 2007. Study of wheat flour-cassava starch composite mix and the function of cassava mucilage in Chinese noodles. **Food Hydrocolloids.** 21:368-378.
- Chatakanonda, P., S. Varavinit and P. Chinachoti. 2000. Effect of crosslinking on thermal and microscopic transitions of rice starch. **Lebensm.-Wiss. u. Technol.** 33: 276-284.
- DeMan, J.M. 1990. **Principles of food chemistry**. 2nd es. Van Nostrand Reinhold, Newyork.
- Downing, D.K. 1996. **A Complete Course In Canning III: Processing Procedures for canned Food Products**. 13th ed. CTI Publications, Inc., USA.
- Edward, S.F., P.J. Lillford and J.M.V. Blanshard. 1987. Gels and networks in practice and theory, pp. 1-12. In J.M.V. Blanshard and P. Lillford, eds. **Food Structure and Behaviour**. Academic Press, Inc., Florida.
- Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and function aspects, pp. 431-503. In A.C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., Newyork.

- Fredriksson, H., J. Silverio, R. Andersson, A.C. Eliasson and P. Åman. 1998. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydr. Polym.** 35: 119-134.
- Frobisher, M., R.D. Hinsdill, K.T. Crabtree and C.R. Goodheart. 1974. **Fundamentals of Microbiology.** W.B. Saunders company. Philadelphia.
- Gopal, T.K.S., P.K. Vijayan, K.K. balachandran, P. Madhavan and T.S.G. Iyer. 2001. Traditional kerala style fish curry in indigenous retort pouch. **Food Control.** 12: 523-527.
- Greger, J.L. and M. Baier. 1981. Tin and iron content of canned and bottled foods. **J. Food Sci.** 46: 1751-1754, 1765.
- Hamaker, B.R. and V.K. Griffin. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70 (4): 377-380.
- Hersom, A.C. and E.D. Hulland. 1969. **Canned Foods.** 6th ed. J&A Churchill Ltd., London.
- Hibi, Y., S. Kitamura and T. Kuge. 1990. Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice. **Cereal Chem.** 67 (1):7-10.
- Holdsworth, S.D. 1997. **Thermal Processing of packaged foods.** Blackie Academic and Professional, London.
- Hood, L.F., A.S. Seifried and R. Meyer. 1974. Microstructure of modified tapioca starch milk gels. **J. Food Sci.** 39: 117-120.

- Hullinger, C.H. 1967. Production and use of cross-linked starch, pp. 445-450. *In* R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. Bemiller and H.J. Roberts, eds. **Starch : Chemistry and Technology**. Academic Press, Inc., New York.
- Irie, K., A.K. Horigane, S. Naito, H. Motoi and M. Yoshida. 2004. Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti. **Cereal Chem.** 81(3): 350-355.
- Jacopson, M.R., M. Obanni and J.N. BeMiller. 1997. Retrogradation of starches from different botanical sources. **Cereal Chem.** 74: 511-518.
- Jane, J. and J.F. Chen. 1992. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chem.** 69: 60-65.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Sci. Today** 16(10) : 334-338, 340, 360.
- Kaletunc, G. and K.J. Breslauer. 2003. **Characterization of Cereals and Flour**. Marcel Dekker, Inc., Newyork.
- Karel M. and D.B. Lund. 2003. **Physical Principles of Food Preservation**. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., USA.
- Kasemsuwan, T. and J. Jane. 1994. Location of amylose in normal starch granules II : locations of phosphodiester cross-linking revealed by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. **Cereal Chem.** 71: 282-287.
- _____, T. Bailey and J. Jane. 1998. Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches. **Carbohydr. Polym.** 32: 301-312.
- Knight, F.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press Ltd., Oxford.

- Lee, S.Y., K.S. Woo, J.K. Lim, H.I. Kim and S.T. Lim. 2005. Effect of processing variables on texture of sweet potato starch noodles prepared in a nonfreezing process. **Cereal Chem.** 82(4):475-478.
- Lii, C.H. and S.H. Chang. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. *Aurea*) starch and its noodle quality. **J. Food Sci.** 46: 78-80.
- Lim, S. and P.A. Seib. 1993. Preparation and pasting properties of wheat and waxy corn starch phosphates. **Cereal Chem.** 70: 137-144.
- Liu, H. and H. Corke. 1999. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. **Starch/Stärke.** 51: 249-252.
- Luh, B.S. 1999. Rice products, pp. 5-42. In C.Y.W. Ang, K. Liu and Y-W. Huang, eds. **Asian Food: Science and Technology.** A Technomic publishing company, Inc., USA.
- Marshall, W.E., F.L. Normand and W.R. Goynes. 1990. Effect of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. **Cereal Chem.** 67 (5): 458-463.
- McWilliams, M. 2001. Starch. In M. McWilliams ed. **Foods: Experimental Perspectives.** Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Meilgaard, M., G.V. Civille and B.T. Carr. 1999. **Sensory Evaluation Techniques.** 3rd ed. CRC Press. Inc., Washington D.C.
- Mermelstein, N.H. 1978. Retort pouch earns: food technology industrial achievement award. **Food Technol.** 32 (6): 22-33.
- Mestres, C., P.Colonna and A. Buleon. 1988. Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mungbean starch vermicelli. **J. Food Sci.** 53: 1809-1812.

- Miles, M.J., V.J. Morris, P.D. Orford and S.G. Ring. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydr. Res.** 135: 271–281.
- Miyazaki, M., P.V. Hung, T. Maeda and N. Morita. 2006. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. **Trends in Food Sci & Tech.** 17: 591-599.
- Mohamed, A., S.C. Peterson, L.A. Grant, and P.R.-Duarte. 2006. Effect of jet-cooked wheat gluten/lecithin blends on maize and rice starch retrogradation. **J. Cereal Sci.** 43 : 293-300.
- Mohan, C.O., C.N. Ravishankar, J. Bindu, V. Geethalakshmi and T.K. Srinivasa Gopal. 2006. Effect of thermal process time on quality of “Shrimp Kuruma” in retortable pouches and aluminium cans. **J. Food Sci.** 71 (6): 496-500.
- Moorthy, S.N. 2004. Tropical sources of starch, pp. 321-359. In A.C. Eliasson, ed. **Starch in Food: Structure, Function and Applications.** Woodhead Publishing Limited, England.
- Morrison, W.R. and J. Karkalas. 1993. Starch. *In* P.M. Dey and J.B. Harborne eds. **Methods in Plant Biochemistry.** Academic Press. London.
- Mua, J.P. and D.S. Jackson. 1997. Relationships between functional attributes and molecular structures of amylose and amylopectin fractions from corn starch. **J. Agric. Food Chem.** 45: 3848-3854.
- Muhammad, K., F. Kusnandar, D.M. Hashim and R.A. Rahman. 1999. Application of native and phosphorylated tapioca starches in potato starch noodle. **Int. J. Food Sci. and Tech.** 34: 275-280.
- Paine, F.A. and H.Y. Paine. **Handbook of Food Packaging.** 2nd ed. University Press, Cambridge.

- Patel, P.N., D.I. Chandarana and A. Gavin. 1991. Internal pressure profile in semi-rigid food packages during thermal processing in steam/air. **J. Food Sci.** 56 (31): 831-834.
- Prakash, M., R. Ravi, H.S. Sathish, J.C. Shyamala, M.A. Shwetha and G.C.P. Rangarao. 2005. Sensory and instrumental texture measurement of thermally processed rice. **J. Sensory Stud.** 20: 410-420.
- Radley, J.A. 1976. **Starch Production Technology**. Applied Science Publishers Ltd., London.
- Reddy, I. and P.A. Seib. 1999. Paste properties of modified starches from partial waxy wheats. **Cereal Chem.** 76: 341-349.
- Rutenberg, M.W. and D. Solarek. 1984. Starch derivatives : production and uses, pp. 311-388. *In* R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall, eds. **Starch: Chemistry and Technology**. 2nd ed. Academic Press Inc., Newyork.
- Rutledge, J.E., M.N. Islam and W.H. James. 1974. Improved canning stability of parboiled rice through cross-linking. **Cereal Chem.** 51 (1): 46-51.
- Schoch, T.J. and F.C. Maywald. 1968. Preparation and properties of various legume starch. **Cereal Chem.** 45: 564-573.
- Selke, S.E.M. 1997. **Understanding Plastics Packaging Technology**. Hanser Gardner Publications, Inc., Ohio, U.S.A.
- Shih, F.F. 2004. Rice proteins, pp. 143-162. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA.
- Smith, R.J. and J.L. Caruso. 1964. Determination of phosphorus, pp. 42-46. *In* R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller, eds. **Methods in Carbohydrate Chemistry Vol. IV**. Academic Press, Inc., New York.

- Swinkels, J.J.M. 1985. Sources of starch: its chemistry and physics, pp. 15-46. *In* G.M.A. Beynum and J.A. Roels, eds. **Starch Conversion Technology**. Merceel Dekker, Inc., Newyork.
- Taggart, P. 2000. Starch as an ingredient: manufacture and applications, pp.363-392. *In* A.C. Eliasson, ed. **Starch in Food : Structure, Function and Applications**. Woodhead Publishing Limited, England.
- Thygesen, L.G., A. Blennow and S.B. Engelsen. 2003. The effect of amylase and starch phosphate on starch gel retrogradation studied by low-field ¹H NMR relaxometry. **Starch/Stärke**. 55: 241-249.
- Vandaputte, G.E., R. Vermeulen, J. Geeroms and J.A. Delcour. 2003. Rice starches. I. structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behaviour of granular starch. **J. Cereal Sci.** 38: 43-52.
- Wang, H.H., D.W. Sun, Q. Zeng and Y. Lu. 2000. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. **J. Food Eng.** 46: 133-138.
- Waniska, R.D. and M.H. Gomez. 1992. Dispersion behavior of starch. **Food Tech** : 110-118.
- Wattanachant, S., K. Muhammad, D.M. Hashim and R.A. Rahman. 2003. Effect of crosslinking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. **Food Chem.** 80: 463-471.
- Whistler, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. American association of cereal chemists, Inc., Minnesota.
- Wu, Y. and P.A. Seib. 1990. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze-thaw stability. **Cereal Chem.** 67: 202-208.

- Wurzburg, O.B. 1972. Starch in the food industry, pp. 361-395. *In* T.E. Furia, ed. **Handbook of Food Additives**. 2nd ed. CRC Press, Inc., Ohio.
- _____. 1986. Cross-linked starches, pp. 41-52. *In* O.B. Wurzburg, ed. **Modified Starches : Properties and Uses**. CRC Press, Inc., Florida.
- _____. and C.D. Szymanski. 1970. Modified starches for the food industry. **J. Agri. Food Chem.** 18 (6): 997-1001.
- Yeh, A.I. 2004. Preparation and applications of rice flour, pp. 495-539. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA.
- _____. and S.L. Yeh. 1993. Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch. **Cereal Chem.** 70 (5): 596-601.
- Yoenyongbuddhagal, S. and A. Noomhorm. 2002. Effect of raw material preparation on rice vermicelli quality. **Starch/Stärke**. 54: 534-539.
- Yook, C., U.H. Pek and K.H. Park. 1993. Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rices. **J. Food Sci.** 58 (2): 405-407
- Yoshimura, M., T. Takaya and K. Nishinari. 1999. Effects of xyloglucan on the gelatinization and retrogradation of corn starch as studied by rheology and differential scanning calorimetry. **Food Hydrocolloids**. 13: 101-111.
- Zhang, F., W. Chen, Y. Chen, A. Huang, H. Liu and M. Luo. 2001. Processing technology of retort pouched rice noodle. **China. Shipin Gongye Keji** 22(5): 30-31. Scifinder Database. Accession no. 2001: 844324

Zhou, Z.K., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002. Composition and functional properties of rice. **Int. J. Food Sci. and Tech.** 37: 849-868.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์

1. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี

1.1 การหาปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 44-15A

เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน
- ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอะลูมิเนียม
- เชสิกเคเตอร์

วิธีการวิเคราะห์

อบแห้งภาชนะใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเชสิกเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (เทคนิค 4 ตำแหน่ง)

ชั่งตัวอย่างแบ่งในภาชนะใส่ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) นำไปใส่ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเปิดฝาภาชนะไว้ เมื่อครบเวลาแล้ว จึงนำออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะและนำมาใส่ในเชสิกเคเตอร์ทันที ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง (ปกติ 45-60 นาที) แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมภาชนะหลังการอบ คำนวณปริมาณความชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = (\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{หลังอบ}) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$$

1.2 การหาปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2000) หมายเลข 979.09

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องย่อย Buchi
- เครื่องกลั่น Buchi
- หลอด Kjeldahl สำหรับใส่ตัวอย่าง

สารเคมี

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ร้อยละ 95-98
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 32
- คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- สารละลายกรดบอริกเข้มข้น ร้อยละ 2 เตรียมโดยละลายสารในน้ำร้อน
- สารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล
- อินดิเคเตอร์ (สารผสมระหว่างเมทิลเรด 0.02 กรัม กับโบรโมคริสซอลกรีน 0.1 กรัม ละลายสารในเอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ตัวอย่างติดข้างหลอด
2. ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม รวมทั้งใส่เม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2-3 เม็ด แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร
3. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อย ทำการย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร หรือเติมเป็น 3 เท่าของปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น
4. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 32 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
5. รองสิ่งที่กลั่นได้ด้วยขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้น ร้อยละ 2 จำนวน 25 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด โดยกลั่นนาน 3 นาที
6. นำไปไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ในการไทเทรต แล้วคำนวณหาร้อยละในไตรเจน

หมายเหตุ ทำแบลด์ควบคู่กันไปด้วย โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

วิธีการคำนวณ

$$\text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(S-B) \times N \times 1.401}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

โดย S = ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง
 B = ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงก์
 N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกมาตรฐาน (นอร์มัล)
 1.401 = น้ำหนักอะตอมของไนโตรเจน

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} \times 5.95$$

โดย 5.95 = แฟกเตอร์การคูณเป็นร้อยละของโปรตีนข้าว

1.3 การหาปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2000) หมายเลข 920.39

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์ไขมัน
- เครื่องทำความเย็น
- ถ้วยสกัด (Extraction cup)
- ทิมเบิล (Thimble)
- เดซิกเคเตอร์

สารเคมี : ปีโตรเลียมอีเทอร์ ที่มีจุดเดือดในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส

วิธีการวิเคราะห์

อบถ้วยสกัด (extraction cup) แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_1) และชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 5 กรัม (W_2) ใส่ในกระดาศกรอง แล้วห่อใส่ ในทิมเบิล (thimble) นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (extraction tube) ซึ่งด้านบนต่อกับเครื่องควบแน่น (condenser) ด้านล่างต่อกับถ้วยสกัด เติมปีโตรเลียมอีเทอร์ 45 มิลลิลิตรลงในถ้วยสกัด แล้วประกอบเข้ากับชุด

วิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 20 นาที และชะล้างเป็นเวลา 45 นาที หลังจากนั้น จึงนำตัวอย่างสกัดไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป วางตัวอย่างสกัดให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W_3) แล้วคำนวณปริมาณไขมัน ดังสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W_3 - W_1) \times 100}{W_2}$$

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างสกัด หน่วยเป็นกรัม
 W_2 = น้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์ หน่วยเป็นกรัม
 W_3 = น้ำหนักตัวอย่างสกัด และไขมันที่สกัดได้ หน่วยเป็นกรัม

1.4 การหาปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ Smith and Caruso (1964)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

- สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เตรียมโดยละลายสาร โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.439 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

- สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 29 เตรียมโดยเติมกรดไนตริก (ความเข้มข้นร้อยละ 65) จำนวน 159.3 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 355 มิลลิลิตร

- สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต (NH_4VO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต 1.25 กรัม ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง เติมกรดไนตริก (ความเข้มข้นร้อยละ 65) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตรสเซอเครต ($(NH_4)Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) ความเข้มข้นร้อยละ 5 เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตรสเซอเครต 25 กรัม ในน้ำร้อนอุณหภูมิ

90 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

- สารละลายซิงค์แอสีเตต ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เตรียมโดยละลายซิงค์แอสีเตตไดไฮเดรต จำนวน 120 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองเบอร์ 12 ในกรณีที่สารละลายที่ได้ขุ่น

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างแป้งจำนวน 40 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วนำแป้งที่ได้มาเติมน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จากนั้น นำแป้งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแป้งมาบดละเอียด เพื่อร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำไปหาปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000) ชั่งตัวอย่างแป้ง จำนวน 4 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ปิดสารละลายซิงค์แอสีเตต ความเข้มข้น ร้อยละ 10 จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง นำตัวอย่างไประเหยจนแห้งบนอ่างน้ำร้อนชนิดควบคุมอุณหภูมิ แล้วเผาบนเตาไฟฟ้าจนตัวอย่างไหม้เกรียม จากนั้นจึงนำไปเผาต่ออีกครั้งในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ปิดประตูในตริก ความเข้มข้นร้อยละ 29 จำนวน 3 มิลลิลิตร นำไประเหยจนแห้งบนอ่างน้ำร้อนชนิดควบคุมอุณหภูมิ เผาบนเตาไฟฟ้า และเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ปิดต่อน้ำกลั่น จำนวน 15 มิลลิลิตร ชะล้างบริเวณด้านข้างของถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างช้า ๆ ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ นำไปให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้าจนเดือด แล้วจึงเริ่มจับเวลานาน 10 นาที ใช้น้ำร้อนชะล้างสารที่ติดอยู่บนกระดาษฟิวส์ให้หมด ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำตัวอย่างที่กรองได้ เทในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่น ล้างตัวอย่างซ้ำ 4 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

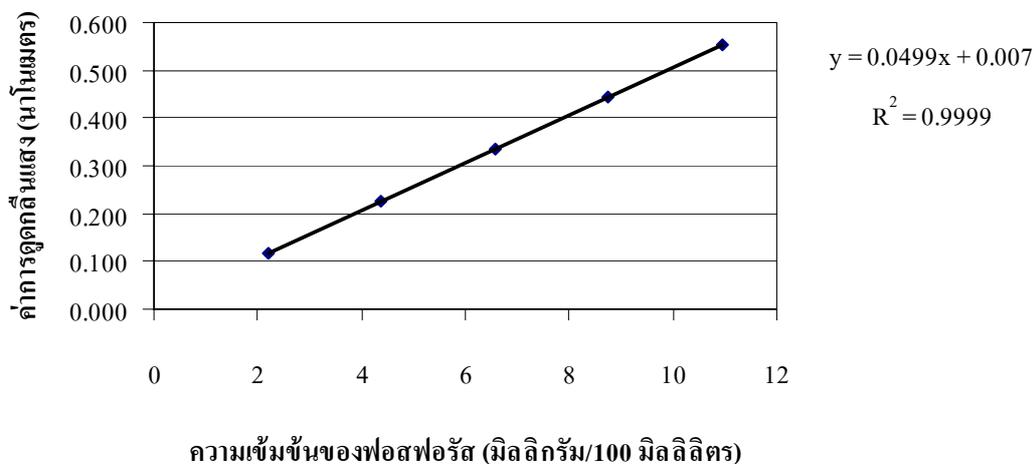
ปิเปตสารละลายตัวอย่าง จำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้นร้อยละ 29 สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 5 อย่างละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเขย่าทุกครั้งก่อนที่จะเติมสารชนิดต่อไป จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 10 นาที ก่อนนำสารละลายที่ได้ ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายแบลนค์ ซึ่งใช้น้ำกลั่น จำนวน 25 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง และดำเนินการเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน จำนวน 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้นร้อยละ 29 สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต ความเข้มข้นร้อยละ 5 อย่างละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเขย่าทุกครั้งก่อนที่จะเติมสารชนิดต่อไป ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตร
2.19	0.116
4.38	0.225
6.57	0.337
8.76	0.443
10.95	0.553



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ)} = \frac{P \times 10 \times 0.2276}{25 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

P = ปริมาณฟอสฟอรัสที่อ่านจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)

$$\text{ปริมาณฟอสเฟต (ร้อยละ)} = \text{ปริมาณฟอสฟอรัส} \times 3.065$$

1.5 การหาปริมาณแอมิโลส (apparent amylose) (Juliano, 1971)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

- เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดย ชั่ง NaOH หนัก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 1000 มิลลิลิตร
- กรดแอซีติก (glacial acetic acid) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยเปิดกรดแอซีติก เข้มข้น ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใสลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร
- แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (pure potato amylose)
- สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยชั่งไอโอดีน (I_2) 0.2 กรัม และโพแทสเซียม ไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ควรเก็บ สารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม ใสในหลอดทดลอง ค่อย ๆ เติมเอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 จำนวน 1 มิลลิลิตรลงไป เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 9 มิลลิลิตร พร้อมทั้งล้างแป้งที่ เกาะอยู่ที่ผนังหลอดทดลอง นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิด เจลาทีไนซ์ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยล้างด้วยน้ำ กลั่น 2-3 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
2. เปิดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ จำนวน 5 มิลลิลิตร ใสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดแอซีติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน จำนวน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าสารให้ เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 20 นาที
3. การเตรียมสารละลายแบลนค์ (blank) โดยการเติมกรดแอซีติก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ใสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร
4. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าของแบลนค์เป็น 0
5. นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณแอมิโลสโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง จำนวน 0.0400 กรัม ใสไว้ในหลอดทดลอง ดำเนินการเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

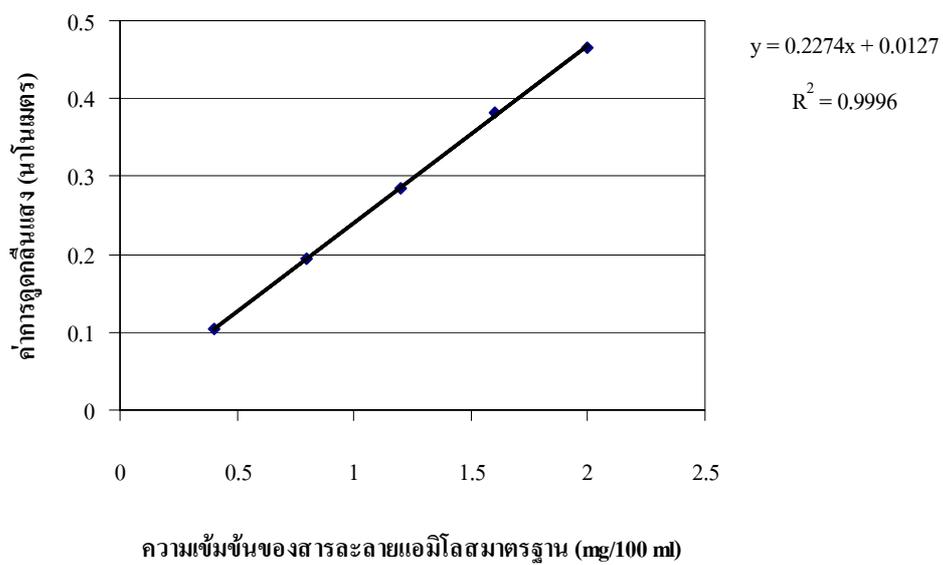
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ โดยปิเปตลงใบละ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมกรดแอสซิติค 1 นอร์มัล จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้น เติมสารละลายไอโอดีน 2.0 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยการเติมน้ำกลั่น เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้เบลนค์ปรับค่าเป็นศูนย์ก่อน นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานมาเขียนเป็นกราฟมาตรฐาน

สมการคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน} \times 10}{5 \times \text{น้ำหนักแบ่งแห้ง (กรัม)}}$$

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0.4	0.104
0.8	0.194
1.2	0.284
1.6	0.381
2.0	0.465



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานปริมาณแอมิโลส

2. การตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

2.1 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และการเกิดเจลลาทีนเซชัน

ตามวิธีการของ Chatakanonda *et al.* (2000)

เตรียมตัวอย่างน้ำแป้งเข้มข้น 1 กรัม/น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร หยดตัวอย่าง จำนวน 1 หยด ลงบนสไลด์ แล้ววางกระจกปิดสไลด์ให้แนบสนิทกับสไลด์ จากนั้น ทาน้ำยาล้างเล็บบริเวณขอบของกระจกปิดสไลด์ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในส่วนผสม ระหว่างที่มีการให้ความร้อน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช ณ อุณหภูมิ 25, 60, 75 และ 95 องศาเซลเซียส โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ Heat Stage เข้ากับกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (light microscope) กำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส / นาที สำหรับการตรวจสอบการเกิดไบรีฟรินเจนซ์ของเม็ดสตาร์ช จะใช้เลนส์จัดแสงโพลาไรซ์ (polarized light len) เมื่อแสงโพลาไรซ์ส่องผ่านเม็ดสตาร์ช จะทำให้เกิดการแยกของลำแสงเป็น 2 สาย ทำมุมตั้งฉากกัน ทำการบันทึกภาพด้วยโปรแกรม Image Pro Plus และใช้กำลังขยายภาพเท่ากับ 100 เท่า

2.2 การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ดัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA, อาร์วีเอ)
- ถ้วยทรงกระบอก
- ใบพาย

วิธีการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ต้องนำไปหาความชื้นตามวิธีการของ AACC (2000) ก่อนการวิเคราะห์

2. ชั่งตัวอย่าง จำนวน 3 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในกระดาดชั่งสาร และตวงน้ำกลั่น ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร (± 0.1 มิลลิลิตร) ใส่ในถ้วยทรงกระบอก (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 14) แต่ถ้าตัวอย่างมีความชื้นไม่เท่ากับร้อยละ 12 สามารถคำนวณปริมาณน้ำและแป้งที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณแป้ง} \quad S &= \frac{(100 - 14) \times 3.0}{100 - M} \\ \text{ปริมาณน้ำ} \quad W &= 25.0 + (3.0 - S) \\ \text{เมื่อ} \quad S &= \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ปรับค่าแล้ว (กรัม)} \\ &W = \text{น้ำหนักน้ำที่ปรับค่าแล้ว (กรัม)} \\ &M = \text{ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (ร้อยละ)} \end{aligned}$$

3. ใส่แป้งลงในถ้วยทรงกระบอกที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ ใช้ใบพายเขย่าตัวอย่างในถ้วย ทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง สิ่งที่ต้องระวังคือ อย่าผสมแป้งกับน้ำกลั่นนานเกิน 1 นาทีก่อนการวิเคราะห์

4. นำถ้วยทรงกระบอกที่มีใบพายประกอบเข้ากับที่ยึดใบพายของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว โดยสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับแป้งข้าว มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเวลา ดังนี้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที : วินาที)
50.0 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	
50.0	1:00
95.0	4:45
95.0	7:15
50.0	11:06
สิ้นสุดการทดสอบ	13:00

ความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้ คือ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีจนถึงตลอดการทดสอบ บันทึกค่าที่วิเคราะห์ได้ ดังนี้

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) คือ ความหนืดสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงขั้นหนืด ในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

ความหนืดต่ำสุด (trough) คือ ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น ในช่วงอุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส

ความหนืดลดลง (breakdown) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด

ความหนืดคืนตัว (setback from peak) คือ ความหนืดที่สูงขึ้นหลังจากความหนืดลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำลง มีผลทำให้โมเลกุลของสตาร์ชเริ่มจัดเรียงตัวกันใหม่ ค่านี้เป็นค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด

ความหนืดคงตัว (setback from trough) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด

ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) คือ ค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด

3. การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

สมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ตามวิธีการของ Yoshimura *et al.* (1999)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องดีเอสซี
- ถ้วยใส่ตัวอย่างอะลูมิเนียม (aluminium pan)

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างลงในถ้วยใส่ตัวอย่างอะลูมิเนียม และหยคน้ำกลั่นด้วยไมโครไซริงค์ (microsyringe) ให้มีสัดส่วนของตัวอย่างต่อน้ำโดยน้ำหนัก เท่ากับ 20 : 80 ปิดฝาถ้วยใส่ตัวอย่างให้สนิท และเก็บตัวอย่างไว้ นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลภายในระบบ จากนั้น จึงนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่องดีเอสซี ใช้ถ้วยใส่ตัวอย่างอะลูมิเนียมเปล่าเป็นสารอ้างอิง และกำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 30 ถึง 130 องศาเซลเซียส โดยกำหนดอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (onset temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (peak temperature, T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (conclusion temperature, T_c) และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (enthalpy, ΔH)

ภาคผนวก ข
การวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว

การวัดคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว

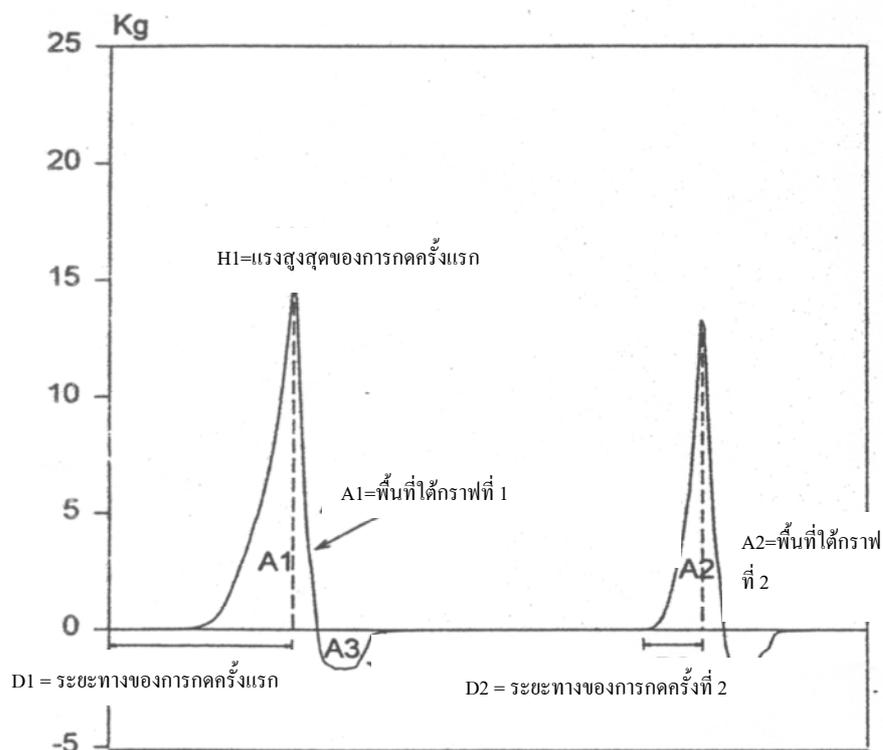
1. การวัดค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA)

ตามวิธีการของ Mohamed *et al.* (2006)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจล โดยการวัดค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ใช้หัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (P/25) กำหนดให้อัตราเร็วหัววัดก่อนการทดสอบ (pre-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที อัตราเร็วระหว่างการทดสอบ (test speed) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร/วินาที และอัตราเร็วหลังการทดสอบ (post-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทางการกดเท่ากับ 8 มิลลิเมตร (หรือร้อยละ 40 ของความสูงตัวอย่าง) ชนิดทรiggerเกอร์อัตโนมัติ 5 กรัม (trigger type auto-5 g) และอัตราการได้มาของข้อมูล 200 จุดต่อวินาที (data acquisition rate 200 pps.) รายงานค่าความแข็ง (H1, hardness) ซึ่งเป็นแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก, ความยืดหยุ่น (springiness) เป็นอัตราส่วนระหว่างระยะทางของการกดครั้งที่สองต่อการกดครั้งแรก (D2/D1) และความเกาะติดกัน (cohesiveness) เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟที่สองต่อพื้นที่ใต้กราฟแรก (A2/A1)



ภาพผนวกที่ ข1 ตัวอย่างกราฟ Texture Profile Analysis

ที่มา: Champagne *et al.* (1998)

2. การวัดความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยว คัดแปลงจากวิธีการของ AACC (2000) หมายเลข 66-50

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวัดความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) ซึ่งทำจากพลาสติกที่มีหน้าตัดแบนกว้าง 1 มิลลิเมตร กำหนดให้อัตราเร็วหัววัดก่อนการทดสอบ (pre-test speed) เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร/วินาที อัตราเร็วระหว่างการทดสอบ (test speed) เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร/วินาที และอัตราเร็วหลังการทดสอบ (post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทางการกด 0.4 มิลลิเมตร ชนิดทรiggerอัตโนมัติ 10 กรัม (trigger type auto-10 g) และอัตราการได้มาของข้อมูล 200 จุดต่อวินาที (data acquisition rate 200 pps.) บันทึกค่าแรงกดสูงสุด (maximum cutting force)

3. การวัดการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม ตามวิธีการของ Lee *et al.* (2005)

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง 5 กรัม น้ำหนักแห้ง (W_1) หักเป็นท่อนยาว 3-5 เซนติเมตร ใสลงใน ปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำกลั่นต้มเดือด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ต้มเส้นนาน 10 นาที จากนั้นจึงกรองน้ำออก (เก็บน้ำที่กรองได้ไว้สำหรับวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียใน ระหว่างการต้ม) นำเส้นที่ได้จากการต้ม เทลงบนตะแกรง ล้างเส้นด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นาน 5 นาที ชั่งน้ำหนักของเส้น (W_2) คำนวณการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม ดังสมการ

$$\text{การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม (กรัม/กรัมน้ำหนักเส้นแห้ง)} = (W_2 / W_1)$$

4. การวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ตามวิธีการของ Lii and Chang (1981)

นำน้ำที่กรองได้จากการต้มเส้นไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จน น้ำหนักคงที่ (W_3) คำนวณค่าปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ดังสมการ

$$\text{ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม (ร้อยละ)} = (W_3 / W_1) \times 100$$

ภาคผนวก ค
แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

1. แบบทดสอบเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA)

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ เส้นก๋วยเตี๋ยวผ่านกระบวนการสทอริไลเซชัน

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่าง และประเมินปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ ตามที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวแทนของลักษณะนั้น ๆ โดยทำเครื่องหมาย (I) ลงบนเส้น (ความยาว 15 เซนติเมตร)

1. สี (ความขาว)

น้อย |-----| มาก

2. ความแน่นแข็งของเส้น (Hardness, Firmness)

น้อย |-----| มาก

3. ความเหนียวของเส้น (Stickiness)

น้อย |-----| มาก

4. ความยืดหยุ่นของเส้น (Springiness)

น้อย |-----| มาก

2. แบบทดสอบการใช้สเกล (9-point hedonic scaling)

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ ก๋วยเตี๋ยวสำเร็จรูป ผ่านกระบวนการสเตอริไลเซชัน

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบในปัจจัยต่าง ๆ ของแต่ละตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด ดังนี้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สีของเส้นก๋วยเตี๋ยว	.....	.....	.....
ความแน่นแข็งของเส้น	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ภาคผนวก ง
ส่วนผสมในการผลิตถ้วยเตี้ยคว่ำไว้

ส่วนผสมในการผลิตถ้วยเต๋วคั่วไก่

1. การเตรียมน้ำปรุงรส

ปั่นส่วนผสมของน้ำปรุงรส ให้เข้ากัน นาน 3 นาที แล้วนำไปให้ความร้อน คนส่วนผสมจนมีเนื้อเดียวกัน

ซึ่งการผลิตถ้วยเต๋วคั่วไก่ในงานวิจัยนี้ ใช้เส้นถ้วยเต๋วคั่วรูป 4 ส่วนต่อน้ำปรุงรส 1 ส่วน

ตารางผนวกที่ 1 ส่วนผสมเพื่อใช้เตรียมน้ำปรุงรส

ส่วนผสม	จำนวน (กรัม)
น้ำมันพืช	20
น้ำมันหอย	15
น้ำปลา	12
ซอสปรุงรส	2
น้ำตาลทราย	3
พริกไทยป่น	0.5
รากผักชีสับละเอียด	0.5
รวม	53

2. การเตรียมน้ำผัก

ปรุงรสไข่ไก่ด้วยน้ำปลา โดยใช้ไข่ไก่ จำนวน 4 ฟองต่อน้ำปลา 10 กรัม ผัดกับน้ำมันพืช 20 กรัม ใช้เวลาผัดจนไข่สุก นาน 3 นาที

3. การเตรียมน้ำผัก

ผักที่ใช้เป็นส่วนผสมในถ้วยเต๋วคั่วไก่ ประกอบด้วย จิงหั่น แครอทหั่น และตั้งฉ่าย ล้างผักให้สะอาด จากนั้น นำผักแต่ละชนิดลงในน้ำร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 วินาที

4. การเตรียมไก่ผัด

หั่นเนื้อไก่ ขนาดประมาณ $1 \times 3 \times 0.5$ เซนติเมตร หมักเนื้อไก่นาน 30 นาที จากนั้นตัดเนื้อไก่กับน้ำมันพืช ในอัตราส่วน ไก่หมัก 100 กรัม ต่อน้ำมันพืช 20 กรัม ใช้เวลาผัดไก่นาน 3-5 นาที

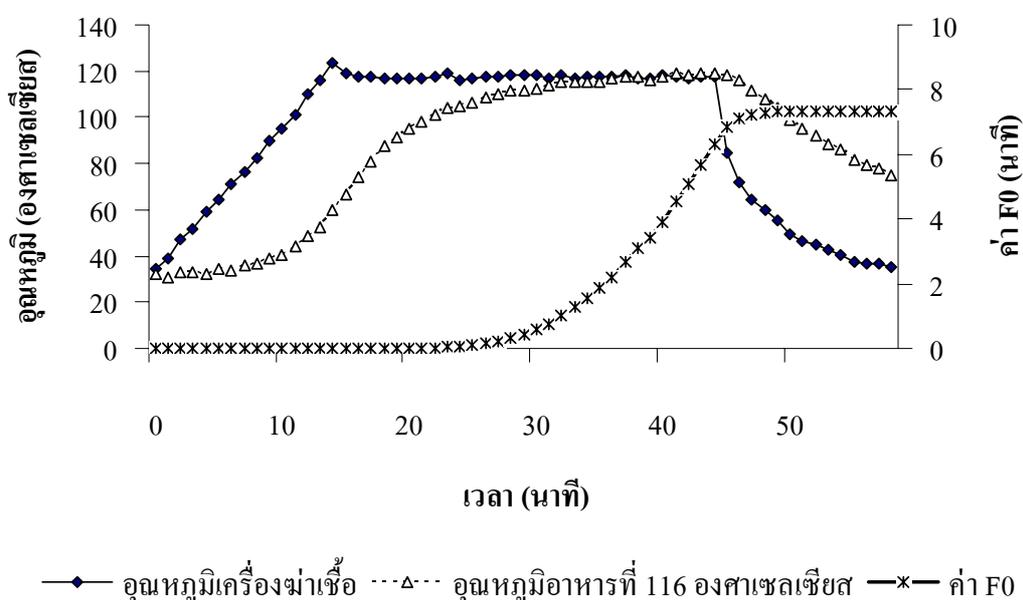
ตารางผนวกที่ ง2 ส่วนผสมเพื่อใช้เตรียมไก่หมัก

ส่วนผสม	จำนวน (กรัม)
เนื้ออกไก่ หั่นเป็นชิ้นขนาด	100
กว้าง×ยาว×หนา ประมาณ $1 \times 3 \times 0.5$ เซนติเมตร	
น้ำมันหอย	15
น้ำตาลทราย	5
พริกไทยป่น	1
เกลือป่น	0.5

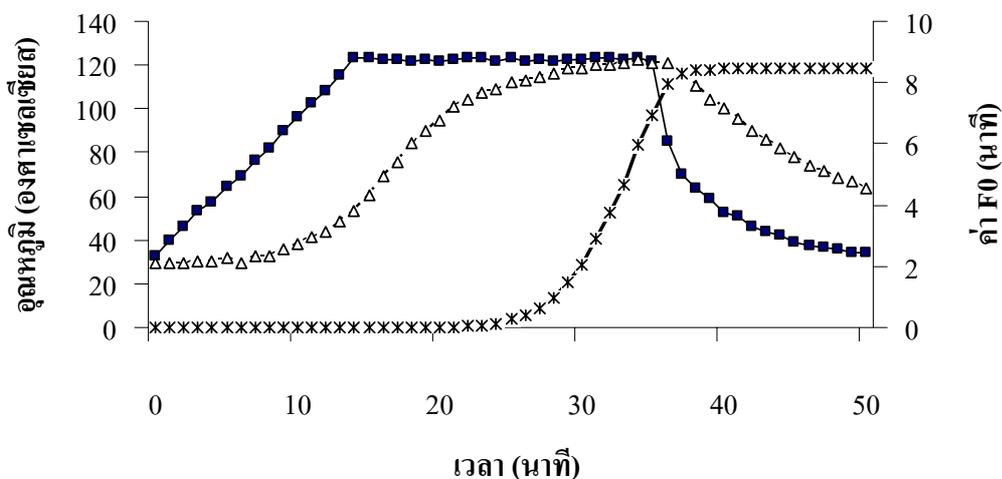
ภาคผนวก จ
ผลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางผนวกที่ จ1 สภาวะการฆ่าเชื้อของถ้วยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 116 และ 121 องศาเซลเซียส

สภาวะ	116 องศาเซลเซียส	121 องศาเซลเซียส
เวลาการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (นาที)	14	18
เวลาการให้ความร้อน ณ อุณหภูมิฆ่าเชื้อ (นาที)	30	18
เวลาการระบายความร้อน (นาที)	15	15
ค่า F_0 ที่คำนวณได้ (นาที)	7.31	8.44



ภาพผนวกที่ จ1 กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และเส้นถ้วยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 116 องศาเซลเซียส

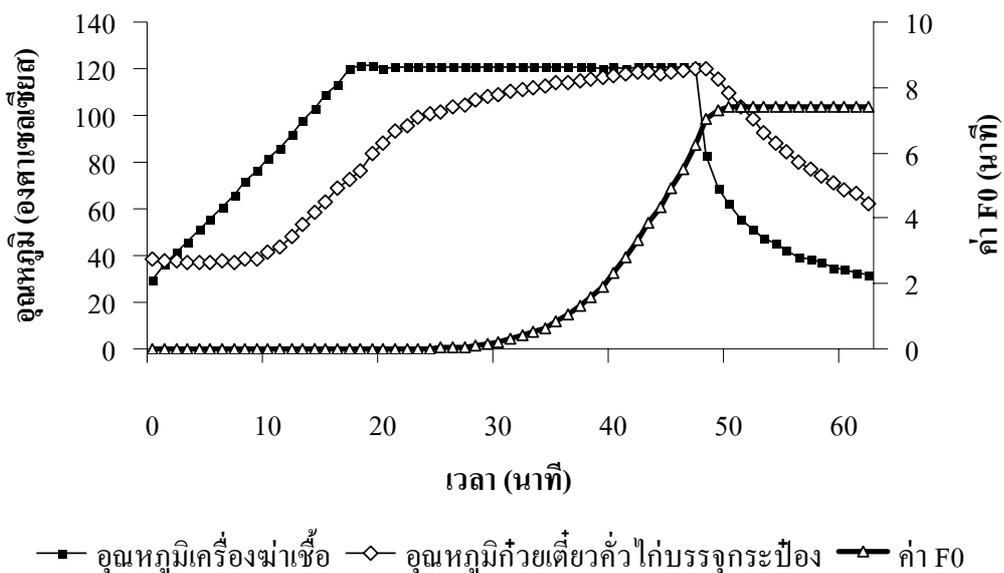


—■— อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อ - - - △ - - - อุณหภูมิอาหาร ที่ 121 องศาเซลเซียส —*— ค่า F₀

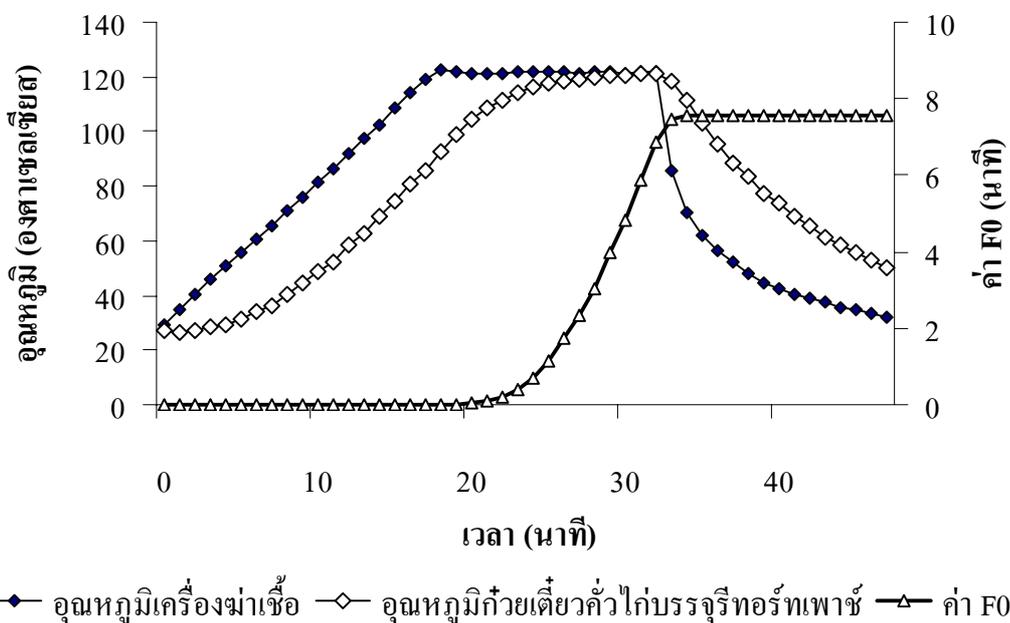
ภาพผนวกที่ จ2 กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และเส้นกัวยเดี่ยวบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส

ตารางผนวกที่ จ2 สภาวะการฆ่าเชื้อของกัวยเดี่ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ที่ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

สภาวะ	กัวยเดี่ยวคั่วไก่	
	บรรจุกระป๋อง	บรรจุรีทอร์ทเพาซ์
เวลาการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (นาที)	18	18
เวลาการให้ความร้อน ณ อุณหภูมิฆ่าเชื้อ (นาที)	30	15
เวลาการระบายความร้อน (นาที)	15	15
ค่า F ₀ ที่คำนวณได้ (นาที)	7.41	7.58



ภาพผนวกที่ จ3 กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และถ้วยเต๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส



ภาพผนวกที่ จ4 กราฟอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ และถ้วยเต๋ยวคั่วไก่บรรจุจิริทอร์ทเพาซ์ ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส

ตารางผนวกที่ จ3 การตรวจสอบทางด้านจุลชีววิทยาของก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋อง และบรรจุ
รีทอร์ทเพาซ์ ผ่านเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส

รายการตรวจสอบ	ก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่	
	บรรจุกระป๋อง	บรรจุรีทอร์ทเพาซ์
Total Plate Count (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ
Flat Sour - mesophiles	ไม่พบ	ไม่พบ
- thermophiles	ไม่พบ	ไม่พบ
Mesophilic anaerobes	ไม่พบ	ไม่พบ
Thermophilic anaerobe	ไม่พบ	ไม่พบ
Sulfide Spoilage	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางผนวกที่ จ4 ปริมาณความชื้นของก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ
45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิ 35 ° ซ		อุณหภูมิ 45 ° ซ	
	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์	กระป๋อง	รีทอร์ทเพาซ์
0	70.89 ±1.61a	67.89 ±2.74a	-	-	-	-
2	66.76 ±2.12b	69.58 ±2.15a	65.41 ±0.60a	64.23 ±1.66a	61.63 ±1.44c	65.23 ±0.73a
4	67.60 ±1.03b	67.55 ±0.79a	67.62 ±0.53a	66.58 ±1.48a	63.23 ±0.44bc	65.56 ±0.23a
6	67.85 ±1.90b	66.08 ±1.66a	66.95 ±1.08a	65.18 ±0.88a	66.55 ±0.99a	63.79 ±1.72a
8	67.51 ±0.91b	65.63 ±0.52a	67.28 ±0.53a	67.79 ±0.98a	63.76 ±0.64b	65.02 ±0.71a
10	65.48 ±1.63b	67.70 ±0.14a	66.30 ±0.69a	64.84 ±2.53a	66.41 ±0.98a	64.03 ±1.15a
12	65.78 ±0.61b	67.24 ±0.88a	67.20 ±1.45a	66.86 ±0.26a	62.92 ±0.65bc	64.80 ±1.12a

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ5 ค่าสีของถ้วยเตียวคว่ำไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ถ้วยเตียวคว่ำไก่บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง		
	L*	a*	b*
0	56.58 ± 1.33de	2.29 ± 0.46a	17.55 ± 2.48ab
2	58.82 ± 1.60bcd	1.81 ± 0.67a	19.21 ± 0.29a
4	56.13 ± 0.13e	1.50 ± 0.17a	15.42 ± 0.17c
6	62.53 ± 0.66a	1.44 ± 0.55a	16.16 ± 0.21bc
8	58.36 ± 0.92cd	1.39 ± 0.27a	16.39 ± 0.37bc
10	59.15 ± 1.30bc	1.31 ± 0.13a	14.48 ± 0.76c
12	60.61 ± 1.28ab	1.53 ± 0.36a	18.26 ± 0.39a
สัปดาห์ที่	ถ้วยเตียวคว่ำไก่บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิห้อง		
	L*	a*	b*
0	59.82 ± 1.70b	1.57 ± 0.16c	15.93 ± 1.60abc
2	63.72 ± 0.71a	0.27 ± 0.03f	15.22 ± 0.04bc
4	59.50 ± 0.34b	1.84 ± 0.01a	16.36 ± 0.81ab
6	62.50 ± 0.04a	0.58 ± 0.01e	17.18 ± 0.13a
8	56.80 ± 0.92c	1.62 ± 0.09bc	15.38 ± 0.22bc
10	60.74 ± 0.47b	0.85 ± 0.62d	14.75 ± 0.28c
12	62.93 ± 0.34a	1.75 ± 0.85ab	16.78 ± 0.29a
สัปดาห์ที่	ถ้วยเตียวคว่ำไก่บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ		
	L*	a*	b*
0	-	-	-
2	57.75 ± 0.23c	1.41 ± 0.16e	16.71 ± 2.89a
4	56.84 ± 0.35d	2.47 ± 0.14c	18.84 ± 0.54a
6	62.52 ± 0.30a	1.86 ± 0.35d	17.84 ± 0.63a
8	50.91 ± 0.37e	2.51 ± 0.27c	17.89 ± 0.39a
10	60.44 ± 0.31b	3.59 ± 0.44b	17.59 ± 0.31a
12	58.08 ± 0.17c	4.57 ± 0.13a	21.83 ± 0.10b

ตารางผนวกที่ จ5 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	กล้วยเดี่ยวคั่วไถบรจจุริทอรัทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ		
	L*	a*	b*
0	-	-	-
2	62.31 ± 0.10b	0.94 ± 0.01c	16.01 ± 0.10b
4	57.36 ± 0.10d	0.39 ± 0.07d	13.26 ± 0.12c
6	61.21 ± 0.79c	1.14 ± 0.01c	17.67 ± 0.12a
8	57.93 ± 0.34d	1.43 ± 0.26b	17.90 ± 0.32a
10	61.73 ± 0.34bc	1.54 ± 0.12b	17.35 ± 0.59a
12	66.32 ± 0.32a	2.07 ± 0.14a	13.84 ± 0.48c
สัปดาห์ที่	กล้วยเดี่ยวคั่วไถบรจจระป่อง อุณหภูมิ 45 °ซ		
	L*	a*	b*
0	-	-	-
2	53.34 ± 0.27c	1.76 ± 0.15c	17.27 ± 0.09b
4	57.17 ± 0.46b	1.16 ± 0.04d	15.03 ± 0.07c
6	57.35 ± 0.86b	2.61 ± 0.17b	16.85 ± 0.46b
8	54.09 ± 0.29c	2.76 ± 0.02b	14.97 ± 0.53c
10	60.08 ± 0.56a	2.86 ± 0.08b	20.22 ± 0.31a
12	58.89 ± 2.35ab	3.65 ± 0.35a	20.17 ± 0.01a
สัปดาห์ที่	กล้วยเดี่ยวคั่วไถบรจจุริทอรัทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ		
	L*	a*	b*
0	-	-	-
2	57.27 ± 0.06b	1.38 ± 0.01c	18.24 ± 0.04ab
4	59.85 ± 0.01a	1.70 ± 0.01b	16.30 ± 0.05b
6	61.53 ± 2.82a	1.69 ± 0.36b	17.05 ± 0.83b
8	56.24 ± 1.59b	1.83 ± 0.06b	16.36 ± 1.89b
10	60.05 ± 1.41a	1.97 ± 0.12ab	16.51 ± 1.27b
12	62.37 ± 0.26a	2.13 ± 0.07a	18.94 ± 0.41a

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งของแต่ละตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ๑1 ความแปรปรวน (ANOVA) ขององค์ประกอบทางเคมีในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11
 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบ
 พันธะข้าม

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความชื้น	Treatment	24.925	2	12.463	649.707	0.000*
	Error	0.115	6	0.019		
	Total	25.041	8			
โปรตีน	Treatment	115.462	2	57.731	8714.002	0.000*
	Error	0.040	6	0.007		
	Total	115.502	8			
ไขมัน	Treatment	0.008	2	0.004	5.074	0.051*
	Error	0.005	6	0.001		
	Total	0.013	8			
เถ้า	Treatment	0.022	2	0.011	1.447	0.307 ^{ns}
	Error	0.045	6	0.008		
	Total	0.067	8			
แอมิโลส	Treatment	74.855	2	37.428	30.859	0.010*
	Error	3.639	3	1.213		
	Total	78.494	5			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๓2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี t-test ของปริมาณฟอสเฟตในสตาร์ชข้าวเจ้า
ตัดแปรแบบพันระข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบพันระข้าม

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
ฟอสเฟต	Equal variances assumed	8.526	.043*	-4.243	4	.013	-.008000	.0018856	-.0132353	-.0027647
	Equal variances not assumed			-4.243	2.129	.046	-.008000	.0018856	-.0156601	-.0003399

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๓3 ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านความหนืดในแป้งข้าวเจ้าเหลือง
11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันระข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรแบบ
พันระข้าม

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความหนืดสูงสุด	Treatment	254006.279	2	127003.139	1714.619	0.000*
	Error	1111.062	15	74.071		
	Total	255117.340	17			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	296321.851	2	148160.925	1828.396	0.000*
	Error	1215.499	15	81.033		
	Total	297537.350	17			

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความหนืดลดลง	Treatment	6718.461	2	3359.230	166.901	0.000*
	Error	301.907	15	20.127		
	Total	7020.367	17			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	854031.750	2	427015.875	1694.205	0.000*
	Error	3780.675	15	252.045		
	Total	857812.424	17			
ความหนืดคืนตัว	Treatment	188927.949	2	94463.975	1559.096	0.000*
	Error	908.834	15	60.589		
	Total	189836.783	17			
อุณหภูมิที่เริ่มเกิด ความหนืด	Treatment	159.141	2	79.570	1.134	0.348 ^{ns}
	Error	1052.959	15	70.197		
	Total	1212.100	17			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๔ ความแปรปรวน (ANOVA) ของอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันในแป้งข้าวเจ้า เหลือง 11 สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรแบบพันธะข้าม และสตาร์ชมันสำปะหลัง ตัดแปรแบบพันธะข้าม

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
To	Treatment	65.780	2	32.890	172.208	0.001*
	Error	0.573	3	0.191		
	Total	66.353	5			

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Tp	Treatment	58.423	2	29.212	47.720	0.005*
	Error	1.836	3	0.612		
	Total	60.260	5			
Tc	Treatment	12.924	2	6.462	3.672	0.156 ^{ns}
	Error	5.279	3	1.760		
	Total	18.203	5			
Tc-To	Treatment	22.858	2	11.429	8.088	0.062*
	Error	4.239	3	1.413		
	Total	27.098	5			
ΔH	Treatment	7.632	2	3.816	.606	0.601 ^{ns}
	Error	18.905	3	6.302		
	Total	26.537	5			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๓5 ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านความหนืดในแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสตาร์ชตัดแปรแบบพันระข้าม

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความหนืดสูงสุด	Treatment	5344.293	4	1336.073	68.092	0.000*
	Error	490.537	25	19.621		
	Total	5834.830	29			

ตารางผนวกที่ ๓5 (ต่อ)

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	3548.780	4	887.195	14.631	0.000*
	Error	1515.932	25	60.637		
	Total	5064.712	29			
ความหนืดลดลง	Treatment	1223.366	4	305.841	7.121	0.001*
	Error	1073.757	25	42.950		
	Total	2297.123	29			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	4077.291	4	1019.323	13.843	0.000*
	Error	1840.913	25	73.637		
	Total	5918.204	29			
ความหนืดคืนตัว	Treatment	1248.350	4	312.087	4.589	0.006*
	Error	1700.238	25	68.010		
	Total	2948.588	29			
อุณหภูมิที่เริ่มเกิด ความหนืด	Treatment	199.184	4	49.796	.921	0.467 ^{ns}
	Error	1351.920	25	54.077		
	Total	1551.103	29			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๖ ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจล ที่เตรียมจาก แป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่ผสม และไม่ผสมสคาร์ชคัดแปรแบบพันระข้าม

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความแข็ง	Treatment	266.591	4	66.648	1.038	0.398 ^{ns}
	Error	2890.108	45	64.225		
	Total	3156.699	49			
ความยืดหยุ่น	Treatment	0.016	4	0.004	0.847	0.503 ^{ns}
	Error	0.207	45	0.005		
	Total	0.223	49			
ความเกาะติดกัน	Treatment	.001	4	0.000	4.201	0.006*
	Error	.003	45	0.000		
	Total	.004	49			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๗ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพในการหุงต้มเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
การพองตัวของเส้น ในระหว่างการต้ม	Treatment	0.357	4	0.089	1.069	0.393 ^{ns}
	Error	2.087	25	0.083		
	Total	2.443	29			
ปริมาณเนื้อแป้งที่ สูญเสียในระหว่าง การต้ม	Treatment	13.126	4	3.282	4.555	0.007*
	Error	18.011	25	0.720		
	Total	31.137	29			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๓๘ ความแปรปรวน (ANOVA) ของเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
แรงกดสูงสุด	Treatment	355926.426	14	25423.316	46.492	0.000*
	Error	57417.919	105	546.837		
	Total	413344.345	119			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๓๙ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
สี (ความขาว)	Treatment	395.927	14	28.281	12.142	0.000*
	Block	41.914	7	5.988	2.571	0.018
	Error	228.258	98	2.329		
	Total	666.100	119			
ความแน่นแข็ง	Treatment	210.125	14	15.009	6.060	0.000*
	Block	42.950	7	6.136	2.478	0.022
	Error	242.704	98	2.477		
	Total	495.779	119			
ความเหนียว	Treatment	43.083	14	3.077	1.005	0.454 ^{ns}
	Block	39.269	7	5.610	1.833	0.089
	Error	299.968	98	3.061		
	Total	382.319	119			

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
ความยืดหยุ่น	Treatment	93.719	14	6.694	2.806	0.001*
	Block	86.222	7	12.317	5.163	0.000
	Error	233.803	98	2.386		
	Total	413.744	119			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๐ ความแปรปรวน (ANOVA) ของเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
แรงกดสูงสุด	Treatment	48932.310	9	5436.923	20.597	0.000*
	Error	18477.961	70	263.971		
	Total	67410.271	79			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๑ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง หลังผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
สี (ความขาว)	Treatment	228.312	9	25.368	11.219	0.000*
	Block	4.662	7	0.666	0.295	0.954
	Error	142.454	63	2.261		
	Total	375.428	79			
ความแน่นแข็ง	Treatment	28.390	9	3.154	0.864	0.561 ^{ns}
	Block	29.138	7	4.163	1.141	0.350
	Error	229.910	63	3.649		
	Total	287.438	79			
ความเหนียว	Treatment	217.440	9	24.160	7.894	0.000*
	Block	77.722	7	11.103	3.628	0.002
	Error	192.827	63	3.061		
	Total	487.989	79			
ความยืดหยุ่น	Treatment	129.377	9	14.375	5.604	0.000*
	Block	19.464	7	2.781	1.084	0.384
	Error	161.599	63	2.565		
	Total	310.440	79			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๒ ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณความชื้นก๊วยเตี๋ยวคั่วไก่สำเร็จรูป
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง	Treatment	57.494	6	9.582	4.288	0.012*
อุณหภูมิห้อง	Error	31.286	14	2.235		
	Total	88.780	20			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	33.866	6	5.644	2.384	0.085 ^{ns}
อุณหภูมิห้อง	Error	33.145	14	2.368		
	Total	67.012	20			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	9.826	5	1.965	2.528	0.087 ^{ns}
อุณหภูมิ 35 °ซ	Error	9.327	12	0.777		
	Total	19.153	17			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	28.229	5	5.646	2.579	0.083 ^{ns}
อุณหภูมิ 35 °ซ	Error	26.265	12	2.189		
	Total	54.494	17			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	59.008	5	11.802	14.060	0.000*
อุณหภูมิ 45 °ซ	Error	10.073	12	0.839		
	Total	69.080	17			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	7.190	5	1.438	1.301	0.327 ^{ns}
อุณหภูมิ 45 °ซ	Error	13.263	12	1.105		
	Total	20.453	17			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๓ ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าสีของเส้นก๊วยเดี่ยวคั่วไก่สำเร็จรูปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

		Source of	Sum of		Mean		
		Variance	Squares	df	Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง	ค่า L*	Treatment	85.098	6	14.183	11.081	0.000*
		Error	17.919	14	1.280		
		Total	103.017	20			
	ค่า a*	Treatment	2.072	6	0.345	2.582	0.067 ^{ns}
		Error	1.872	14	0.134		
		Total	3.944	20			
	ค่า b*	Treatment	49.182	6	8.197	7.988	0.001*
		Error	14.367	14	1.026		
		Total	63.549	20			
บรรจุรีโอร์ทแพซ อุณหภูมิห้อง	ค่า L*	Treatment	103.772	6	17.295	34.406	0.000*
		Error	7.038	14	0.503		
		Total	110.809	20			
	ค่า a*	Treatment	7.182	6	1.197	161.029	0.000*
		Error	.104	14	0.007		
		Total	7.286	20			
	ค่า b*	Treatment	13.994	6	2.332	4.744	0.008*
		Error	6.884	14	0.492		
		Total	20.878	20			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ	ค่า L*	Treatment	233.248	5	46.650	522.619	0.000*
		Error	1.071	12	0.089		
		Total	234.319	17			
	ค่า a*	Treatment	20.199	5	4.040	175.306	0.000*
		Error	.277	12	0.023		
		Total	20.476	17			
	ค่า b*	Treatment	48.081	5	9.616	6.208	0.005*
		Error	18.589	12	1.549		
		Total	66.670	17			

ตารางผนวกที่ ๑๓ (ต่อ)

		Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุนีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ	ค่า L*	Treatment	159.417	5	31.883	196.460	0.000*
		Error	1.947	12	0.162		
		Total	161.364	17			
	ค่า a*	Treatment	4.931	5	0.986	57.102	0.000*
		Error	.207	12	0.017		
		Total	5.139	17			
	ค่า b*	Treatment	61.211	5	12.242	101.754	.000*
		Error	1.444	12	.120		
		Total	62.655	17			
บรรจุนีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	ค่า L*	Treatment	101.047	5	20.209	17.402	0.000*
		Error	13.936	12	1.161		
		Total	114.983	17			
	ค่า a*	Treatment	11.608	5	2.322	78.816	0.000*
		Error	.353	12	0.029		
		Total	11.961	17			
	ค่า b*	Treatment	82.402	5	16.480	164.942	0.000*
		Error	1.199	12	0.100		
		Total	83.601	17			
บรรจุนีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	ค่า L*	Treatment	85.081	5	17.016	8.106	0.002*
		Error	25.189	12	2.099		
		Total	110.270	17			
	ค่า a*	Treatment	1.024	5	0.205	7.952	0.002*
		Error	.309	12	0.026		
		Total	1.333	17			
	ค่า b*	Treatment	18.342	5	3.668	3.635	0.031*
		Error	12.112	12	1.009		
		Total	30.454	17			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ 14 ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว
 คั่ว ไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง	Treatment	459.204	6	76.534	0.260	0.953 ^{ns}
	Error	14420.083	49	294.287		
	Total	14879.287	55			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิห้อง	Treatment	1854.017	6	309.003	1.296	0.277 ^{ns}
	Error	11679.972	49	238.367		
	Total	13533.988	55			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	2013.334	5	402.667	3.792	0.006*
	Error	4460.066	42	106.192		
	Total	6473.400	47			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	415.063	5	83.013	0.275	0.924 ^{ns}
	Error	12656.727	42	301.351		
	Total	13071.790	47			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	3182.421	5	636.484	2.919	0.024*
	Error	9156.803	42	218.019		
	Total	12339.225	47			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	1242.512	5	248.502	0.674	0.645 ^{ns}
	Error	15487.508	42	368.750		
	Total	16730.021	47			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ 15 ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของ
ถ้วยเดี่ยวแก้วใก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง	Treatment	19.524	6	3.254	1.706	0.122 ^{ns}
	Block	44.195	29	1.524	0.799	0.758
	Error	331.905	174	1.907		
	Total	395.624	209			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิห้อง	Treatment	20.495	6	3.416	3.254	0.005*
	Block	44.552	29	1.536	1.464	0.071
	Error	182.648	174	1.050		
	Total	247.695	209			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	6.400	5	1.280	0.594	0.704 ^{ns}
	Block	74.333	29	2.563	1.190	0.249
	Error	312.267	145	2.154		
	Total	393.000	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	21.578	5	4.316	2.658	0.025*
	Block	58.244	29	2.008	1.237	0.207
	Error	235.422	145	1.624		
	Total	315.244	179			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	17.467	5	3.493	1.803	0.116 ^{ns}
	Block	49.867	29	1.720	0.888	0.634
	Error	280.867	145	1.937		
	Total	348.200	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	11.650	5	2.330	1.193	0.315 ^{ns}
	Block	60.117	29	2.073	1.061	0.393
	Error	283.183	145	1.953		
	Total	354.950	179			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ 16 ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านสีของก้วยเตี๋ยควู้ไก่
สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง	Treatment	16.114	6	2.686	2.033	0.064 ^{ns}
อุณหภูมิห้อง	Block	25.981	29	0.896	0.678	0.892
	Error	229.886	174	1.321		
	Total	271.981	209			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	13.790	6	2.298	1.374	0.228 ^{ns}
อุณหภูมิห้อง	Block	43.567	29	1.502	0.898	0.620
	Error	291.067	174	1.673		
	Total	348.424	209			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	15.044	5	3.009	1.551	0.178 ^{ns}
อุณหภูมิ 35 °ซ	Block	27.244	29	0.939	0.484	0.988
	Error	281.289	145	1.940		
	Total	323.578	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	9.644	5	1.929	1.629	0.156 ^{ns}
อุณหภูมิ 35 °ซ	Block	32.911	29	1.135	0.958	0.533
	Error	171.689	145	1.184		
	Total	214.244	179			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	28.117	5	5.623	2.290	0.049*
อุณหภูมิ 45 °ซ	Block	68.383	29	2.358	0.960	0.530
	Error	356.050	145	2.456		
	Total	452.550	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	7.844	5	1.569	0.729	0.603 ^{ns}
อุณหภูมิ 45 °ซ	Block	50.311	29	1.735	0.806	0.747
	Error	312.156	145	2.153		
	Total	370.311	179			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๗ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านความแน่นแข็งของเส้น
 กว๊วเดี่ยวตัวไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง	Treatment	115.867	6	19.311	9.009	0.000*
	Block	128.710	29	4.438	2.070	0.002
	Error	372.990	174	2.144		
	Total	617.567	209			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิห้อง	Treatment	14.581	6	2.430	1.033	0.406 ^{ns}
	Block	127.981	29	4.413	1.876	0.007
	Error	409.419	174	2.353		
	Total	551.981	209			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	53.711	5	10.742	3.467	0.005*
	Block	63.644	29	2.195	0.708	0.861
	Error	449.289	145	3.099		
	Total	566.644	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	67.400	5	13.480	3.627	0.004*
	Block	87.467	29	3.016	0.811	0.740
	Error	538.933	145	3.717		
	Total	693.800	179			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	22.383	5	4.477	2.009	0.081 ^{ns}
	Block	97.450	29	3.360	1.508	0.060
	Error	323.117	145	2.228		
	Total	442.950	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	24.933	5	4.987	1.659	0.148 ^{ns}
	Block	54.333	29	1.874	0.623	0.931
	Error	435.733	145	3.005		
	Total	515.000	179			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๑๘ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านรสชาติของก้วยเดี่ยว
 คั่ว ไก่สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิห้อง	Treatment	36.657	6	6.110	4.348	0.000*
	Block	62.781	29	2.165	1.541	0.048
	Error	244.486	174	1.405		
	Total	343.924	209			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิห้อง	Treatment	16.962	6	2.827	1.747	0.113 ^{ns}
	Block	55.924	29	1.928	1.192	0.243
	Error	281.610	174	1.618		
	Total	354.495	209			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	5.111	5	1.022	0.518	0.762 ^{ns}
	Block	70.244	29	2.422	1.227	0.215
	Error	286.222	145	1.974		
	Total	361.578	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 35 °ซ	Treatment	52.183	5	10.437	5.148	0.000*
	Block	88.383	29	3.048	1.503	0.062
	Error	293.983	145	2.027		
	Total	434.550	179			
บรรจุกระป๋อง อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	79.628	5	15.926	7.130	0.000*
	Block	92.161	29	3.178	1.423	0.091
	Error	323.872	145	2.234		
	Total	495.661	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ อุณหภูมิ 45 °ซ	Treatment	7.628	5	1.526	0.795	0.555 ^{ns}
	Block	70.361	29	2.426	1.265	0.185
	Error	278.206	145	1.919		
	Total	356.194	179			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ๑๑ ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบโดยรวมของก้วยเดี่ยวแก้วไก่
สำเร็จรูป เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

	Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
บรรจุกระป๋อง	Treatment	45.495	6	7.583	5.999	0.000*
อุณหภูมิห้อง	Block	58.100	29	2.003	1.585	0.038
	Error	219.933	174	1.264		
	Total	323.529	209			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	5.600	6	.933	.513	0.798 ^{ns}
อุณหภูมิห้อง	Block	90.614	29	3.125	1.717	0.018
	Error	316.686	174	1.820		
	Total	412.900	209			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	3.828	5	0.766	0.303	0.910 ^{ns}
อุณหภูมิ 35 °ซ	Block	88.161	29	3.040	1.203	0.236
	Error	366.339	145	2.526		
	Total	458.328	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	51.933	5	10.387	5.403	0.000*
อุณหภูมิ 35 °ซ	Block	63.333	29	2.184	1.136	0.304
	Error	278.733	145	1.922		
	Total	394.000	179			
บรรจุกระป๋อง	Treatment	96.444	5	19.289	8.671	0.000*
อุณหภูมิ 45 °ซ	Block	119.311	29	4.114	1.849	0.010
	Error	322.556	145	2.225		
	Total	538.311	179			
บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	Treatment	24.028	5	4.806	2.299	0.048*
อุณหภูมิ 45 °ซ	Block	49.828	29	1.718	.822	0.726
	Error	303.139	145	2.091		
	Total	376.994	179			

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวโสภิตา สืบวงษา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 10 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานทางวิชาการ	- เสนอผลงานภาคบรรยาย เรื่อง การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 ประจำปี 2550 - เสนอผลงานภาคโปสเตอร์ เรื่อง ผลของสตาร์ชดัดแปรแบบพันธะเชื่อมขวางต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยวอบแห้งและก๋วยเตี๋ยวบรรจุกระป๋อง ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 45 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-