



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยว
จากแป้งข้าว

Effect of Addition of Duck Egg White on Physico-Chemical Properties of Rice Flour
and Rice Noodle

นามผู้วิจัย

นางสาวศศิภา เกิดศรีเล็ก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร, Ph.D.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว

Effect of Addition of Duck Egg White on Physico-Chemical Properties of Rice Flour and
Rice Noodle

โดย

นางสาวศศิภา เกิดศรีเล็ก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศศิกา เกิดศรีเล็ก 2553: ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้น
ก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว ปรินญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การ
อาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร, Ph.D. 139 หน้า

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีความชื้นร้อยละ 12.79 ± 0.20 ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต
ร้อยละ 89.93 ± 0.32 โปรตีนร้อยละ 9.65 ± 0.27 ไขมันร้อยละ 0.23 ± 0.04 เถ้า 0.29 ± 0.00 และมีปริมาณแอมิโลส
เท่ากับร้อยละ 32.04 ± 0.15 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวสดซึ่งมีฟิโอสเท่ากับ 8.11
ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 87.14 ± 0.01 โปรตีนร้อยละ 12.55 ± 0.55 ไขมันร้อยละ 0.05 ± 0.02 และเถ้าร้อยละ 0.68
 ± 0.01 ของน้ำหนักสด เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม มีขนาดเล็กเท่ากับ 2.59 ± 0.46 ไมครอน ผลของ
การเติมไข่ขาวร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าว พบว่าขนาดเม็ดสตาร์ช และการ
พองตัวของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายน้ำแป้งที่ผสมไข่ขาวสดมีแนวโน้มลดลง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้อง
จุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมดาชนิดเลนส์วัตถุเดี่ยวพบการเกาะกลุ่มของไข่ขาวกับเม็ดสตาร์ช ด้านการ
เปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเติมไข่ขาว (แป้งคงที่ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก) มีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืด
สุดท้าย และค่าการคืนตัวกลับของแป้ง มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ระดับการเติมไข่
ขาวร้อยละ 30 มีค่าความหนืดลดลง ค่าที่ต่ำสุด ($P \leq 0.05$) เส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30
40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีค่าความชื้น และค่าวอเตอร์เอกทิวิตีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)
ค่าสีเหลืองของก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวระดับร้อยละ 30 40 และ 50 พบว่ามีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ($P \leq 0.05$) การเติมไข่
ขาวทำให้เส้นมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยค่าแรงสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาด แรงตัดขาดสูงสุด งานที่ใช้ในการตัด
เส้นให้ขาด ของก๋วยเตี๋ยวสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวล้วน เมื่อตรวจโครงสร้างละเอียดของ
ก๋วยเตี๋ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด พบ
โครงสร้างร่างแหของเจลโปรตีนไข่ขาว แยกจากเจลของเจลาตินในสตาร์ชของเส้นก๋วยเตี๋ยว จากการพิจารณา
สมบัติด้านเนื้อสัมผัส และสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวที่เติมไข่ขาว จึงได้คัดเลือกก๋วยเตี๋ยวเติมไข่ขาวที่ร้อย
ละ 30 เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มแผ่นแป้งนาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง ที่ 4 องศาเซลเซียส ก่อนอบแห้ง
พบระยะเวลาการบ่มไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัส การพองตัว และปริมาณของเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเส้น
ก๋วยเตี๋ยว ขณะเดียวกันพบว่าการทำแห้งทำให้เส้นหลังคืนรูปมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไปเล็กน้อยโดยจะเปราะ
และขาดง่ายกว่าเส้นสด อย่างไรก็ตามการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ทำให้ก๋วยเตี๋ยว มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า
ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่ไม่เติมไข่ขาว 2 เท่า

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sasipa Kerdsrilek 2010: Effect of Addition of Duck Egg White on Physico-Chemical Properties of Rice Flour and Rice Noodle. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Wunwiboon Garnjanagoonchorn, Ph.D. 139 pages.

The proximate composition of rice flour consist of 12.79 ± 0.20 %moisture and 89.93 ± 0.32 % carbohydrate, 9.65 ± 0.27 %protein, 0.23 ± 0.04 %fat, 0.29 ± 0.00 %ash and 32.04 ± 0.15 %amylase (dry basis). Fresh duck egg white (pH8.11) contained 87.14 ± 0.01 %water, 12.55 ± 0.55 %protein, 0.05 ± 0.02 %fat and 0.68 ± 0.01 %ash (wet basis). The native rice starch granules are polygonal shapes with small granular sizes ($2.59 \pm 0.46 \mu\text{m}$). Effects of the addition of egg white on physico-chemical properties of rice flour were investigated. It was found that the addition of egg white resulted in a decrease of size and swelling power of non aggregated starch granules. In addition the morphology of heated rice flour mixture with and without egg white observed by light microscope indicated that the presence of egg white caused aggregation of egg white proteins with starch granules. RVA analysis showed changes of the pasting properties of rice flour in presence of egg white (0, 10, 20, 30, 40, 50 % of total solution weight, with constant rice flour at 7 % by weight) noticeably increases in peak viscosity, final viscosity and setback but a significant decrease in breakdown. The 30 % egg white in rice flour solution showed the lowest ($p \leq 0.05$) breakdown value. Fresh noodles with added egg white at 0, 10, 20, 30, 40 and 50% of total weight showed no significant difference ($P > 0.05$) in moisture content and water activity value. Fresh noodles showed significant ($p \leq 0.05$) increases of b^* value (yellow) with increasing added egg white at 30, 40 and 50%, respectively. Addition of egg white resulted in an increase in strength of rice noodles as shown by higher tensile peak force, maximum cutting force and total work to cut through. SEM and CLSM micrographs illustrated egg white protein gel network separated from continuous gel matrix of gelatinized starch in rice noodle. With interesting textural and physico-chemical properties of rice noodle with 30% added egg white, it was chosen for an investigation of the effect of aging time (0, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 h at 4°C) before drying process. The results showed no significant difference of aging time on the cooking quality and the textural properties of cooked rehydrate noodle but drying process negatively affected noodle texture. However, the addition of egg white at 30% by weight significantly increased protein content of rice noodle by twofold.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูง ที่คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีมาตลอดในการวิจัย ตลอดจน
ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอกราบขอบพระคุณ ศ. ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณา
ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ปาริฉัตร หงสประภาส ประธานการสอบ และ ดร. เกื้อกูล
ปิยะจอมขวัญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความกรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ จน
วิทยานิพนธ์สำเร็จเรียบร้อย

ขอพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่
ศึกษา ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์แห่งนี้

ขอขอบคุณบริษัทโคเอกซ์ กรุ๊ป คอร์ปอเรชั่น ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของบริษัททุกท่านที่
เอื้อเฟื้อ ให้ความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง
กราดในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ มนต์ พีโก้ พีเอ พิจุณ แอม สัม แอน แนน นก ปู ปลา เคย์ ยิ้ม นื่องเตย นื่องหญิง
นื่องยิ้ม ตลอดจน น้องๆ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่แสนดี และน่ารักทุกๆ คนนะค่ะ ที่คอยให้กำลังใจ
คำแนะนำในยามที่ท้อ หรือมีอุปสรรค และให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย แรงใจ อย่างเต็มที่ อีกทั้งยัง
มอบมิตรภาพที่ดี จนข้าพเจ้ามีกำลังใจ ฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติๆ เป็นอย่างสูงที่คอยมอบความรัก พร้อม
สนับสนุนทั้งทุนทรัพย์ ความช่วยเหลือ และคำสั่งสอนที่ดีมีประโยชน์ในการดำเนินชีวิต ตลอดจน
กำลังใจที่ช่วยให้มีพลังในการทำงานจนสำเร็จเรียบร้อย

ศศิภา เกิดศรีเล็ก

มีนาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	100
ภาคผนวก	117
ภาคผนวก ก วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	118
ภาคผนวก ข วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพเชิงเคมีฟิสิกส์	131
ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	137
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของไข่เปิดทั้งฟอง	3
2	องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง และไข่ทั้งฟองของไข่เปิด	4
3	สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่ขาว	14
4	สัดส่วนของแป้ง (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง): ไข่ขาว ในสารละลายผสม 100 กรัม ในการทำก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาว	42
5	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า	55
6	องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวสดจากไข่เปิด	55
7	ขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายแป้งข้าวเจ้าผสมไข่ขาว โดยใน ส่วนผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 ในสภาวะที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	59
8	การพองตัวของแป้งข้าวเจ้าในสารละลายแป้งผสมไข่ขาวที่เตรียมมาจาก สารละลายผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 จากนั้นเจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ สารละลายผสมที่มีปริมาณแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 นำมาผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 65 – 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	63
9	การละลายของแป้งข้าวเจ้าในสารละลายแป้งผสมไข่ขาวที่เตรียมมาจาก สารละลายผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 จากนั้นเจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ สารละลายผสมที่มีปริมาณแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 นำมาผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 65 – 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	64
10	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้งข้าวเจ้าซึ่งเติมไข่ขาวที่ระดับ ร้อยละ 0 10 20 30 40 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และใช้แป้ง คงที่ที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ความหนาของเส้นกัวยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	71
12	ค่าเนื้อสัมผัสของกัวยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไขขาวร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	74
13	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และร้อยละความชื้นของเส้นกัวยเดี่ยวสุดที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	76
14	ค่าสีของเส้นกัวยเดี่ยวสุดที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	77
15	ค่าคุณภาพการหุงต้มของเส้นกัวยเดี่ยวอบแห้ง	88
16	ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบของผู้บริโภคต่อเส้นกัวยเดี่ยวที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด อบแห้งแล้วคั้นรูป	89
17	ค่าเนื้อสัมผัสของเส้นกัวยเดี่ยวที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด อบแห้งแล้วคั้นรูป	91
18	ค่าสีของเส้นกัวยเดี่ยวที่เติมไขขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดอบแห้งแล้วคั้นรูป	93
19	องค์ประกอบทางเคมี และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเส้นกัวยเดี่ยวเสริมโปรตีนไขขาวอบแห้งซึ่งเสริมไขขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (DEW 30 A0) และเส้นกัวยเดี่ยวที่ไม่เติมไขขาวอบแห้ง (DEW 0)	94
ตารางผนวกที่		
ข1	สภาวะที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา	133

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ส่วนต่างๆ ของไข่	7
2 ลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างตติยภูมิของโกลบูลาร์โปรตีน	15
3 แบบจำลองโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีน	16
4 รูปแบบการเกาะกลุ่มของโกลบูลาร์โปรตีนเพื่อสร้างโครงร่างสามมิติ	19
5 แบบจำลองการเกิดโครงร่างสามมิติหรือเจลของโอวัลบูมินเมื่อได้รับความร้อน	19
6 ชนิดของการเกิดเจลผสมระหว่างสารสองชนิด	21
7 แอมีโลส และแอมีโลเพกทิน	24
8 การจัดเรียงตัวของแอมีโลส และแอมีโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช	25
9 การเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำ โดยเพิ่มอุณหภูมิ และลดอุณหภูมิ ตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก	31
10 กรรมวิธีการผลิตก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดและก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่อบแห้ง	43
11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้า (A) และเจลไข่ขาว (B) ที่เชื่อมด้วยสารละลายไอโอดีน ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมดาชนิดเลนส์วัตถุเดี่ยว	56
12 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าในสารละลายแป้งข้าวเจ้าไม่ผสมไข่ขาว	56
13 การกระจายของขนาดเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าในตัวอย่างแป้งดิบ (native starch)	57
14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเติมไข่ขาวที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เมื่อใช้แป้งงที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไข่ขาวสดความเข้มข้นร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด	69
15 ตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด	75
16 ภาพตามขวางของโครงสร้างของเส้นก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่ไม่เติมไข่ขาว (B) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และ (C) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ภาพตามขวางของโครงสร้างของเส้นก๊วยเดียวเส้นใหญ่ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) ก๊วยเดียวเส้นใหญ่สุดที่ไม่เติมไข่ขาว (B) ก๊วยเดียวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และ (C) ก๊วยเดียวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด	84
18	โครงสร้างของเจลไข่ขาว (EW1 EW2 และ EW3) ซึ่งเตรียมจากสารละลายไข่ขาวสดร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด PM: Protein Matrix	85
19	ภาพโครงสร้างของเส้นก๊วยเดียวเติมไข่ขาวร้อยละ 30 น้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จากกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด	86
ภาพผนวกที่		
ข1	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดค่าการต้านแรงตัดขาดของเส้นก๊วยเดียว	135

ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยว จากแป้งข้าว

Effect of Addition of Duck Egg White on Physico-Chemical Properties of Rice Flour and Rice Noodle

คำนำ

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคมากในปัจจุบัน โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเจ้า มีราคาถูก ปรุงง่าย สามารถนำมาประกอบเป็นอาหารต่างๆ ได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งข้าวที่เหมาะสมแก่การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าร้อยละ 27 เพราะหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นลง แป้งสุกจะเกิดภาวะการคืนตัว และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียวหยุ่น ไม่แฉะติดกัน (อรอนงค์, 2550) ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวให้คุณค่าทางโภชนาการในด้านพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ โดยจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการใน 100 กรัม ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่พบว่าให้พลังงาน 135 กิโลแคลอรี โดยมีปริมาณความชื้น 67.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 29.4 กรัม โปรตีน 2.5 กรัม ไขมัน 0.8 กรัม ใยอาหาร 0.1 กรัม และเถ้า 0.1 กรัม (กองโภชนาการ, 2525) คุณค่าทางโภชนาการของเส้นก๋วยเตี๋ยวอาจปรับปรุงได้โดยการเสริมโปรตีน และ/หรือ เติมน้ำมันต่างๆ ลงในส่วนผสมน้ำแป้ง (อรอนงค์, 2550)

ไข่เป็ดมีการใช้ไข่แดงทำเป็นผลิตภัณฑ์ในสัดส่วนที่สูงกว่าไข่ขาว เช่น ทำขนมหวานต่างๆ จากการที่ไข่ขาวมีโปรตีนสูง และเป็นโปรตีนที่มีสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืดในอาหาร โดยมีโอวัลบูมินเป็นโปรตีนหลักไข่ขาว เกิดโครงร่างสามมิติหรือเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Handa *et al.*, 1998)

ดังนั้น จึงมีแนวคิดในการนำไข่ขาวจากไข่เป็ดมาเติมในแป้งข้าวที่ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เพื่อให้ได้เส้นที่มีสัดส่วนของโปรตีนสูงขึ้น และศึกษาผลของไข่ขาวต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งข้าว และสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำได้

วัตถุประสงค์

1. ใช้ไขขาวจากไข่เป็ดในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่
2. ศึกษาผลของการเติมไขขาวต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวที่ใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่
3. ศึกษาผลของการเติมไขขาวต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ การหุงต้ม เนื้อสัมผัส ลักษณะโครงสร้างละเอียดของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด
4. ศึกษาผลของการทำแห้งต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เสริมไขขาว

การตรวจเอกสาร

1. ส่วนประกอบของไข่เป็ด

ไข่เป็ดทั้งฟอง แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ โดยไข่ขาวเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดของไข่ทั้งฟองคือ ประมาณร้อยละ 60 ของเนื้อไข่ทั้งฟอง (Sugino *et al.*, 1997; Nolan *et al.*, 2005) สัดส่วนของไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ จากไข่เป็ดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของไข่เป็ดทั้งฟอง

ชนิด	น้ำหนัก (กรัม)	ไข่ขาว (ร้อยละ)	ไข่แดง (ร้อยละ)	เปลือกไข่ (ร้อยละ)
ไข่เป็ด ¹	80	52.6	35.4	12.0
ไข่เป็ด ²	65.73	54.73	33.94	10.87

ที่มา: สุวรรณ (2529)¹, Kaewmanee *et al.* (2009)²

2. ไข่ขาว

ไข่ขาว (egg white or albumen) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากไข่ขาวมีสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) หลายประการที่มีประโยชน์ต่ออาหาร เช่น สมบัติการเกิดเจล สมบัติการอุ้มน้ำ และสมบัติการเกิดฟองฟู เป็นต้น โดยเฉพาะสมบัติการเกิดเจล และการอุ้มน้ำ เป็นสมบัติสำคัญที่ทำให้มีการนำไข่ขาวมาใช้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เพื่อปรับปรุงลักษณะด้านเนื้อสัมผัส สี และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหาร (Handa *et al.*, 1998; Sozer, 2009)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของไข่ขาวสดคือ น้ำ รองลงไปคือ โปรตีน ส่วนประกอบอื่นคือ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และไขมันอย่างละเล็กน้อย (Powrie, 1973; Nolan *et al.*, 2005) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง และเนื้อไข่เป็ดทั้งฟองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง และไข่ทั้งฟองของไข่เป็ด

ส่วนประกอบของไข่	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	น้ำ	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	เถ้า
ไข่ขาว	87.72	10.5	1.01	0.03	0.74
ไข่แดง	43.51	16.0	1.65	37.25	1.59
ไข่เป็ดทั้งฟอง	71.77	11.8	1.74	13.52	1.17

ที่มา: Kaewmanee *et al.* (2009)

ไขมันในไข่ขาวมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีผลต่อสมบัติด้านการเกิดฟองฟูของไข่ขาวโดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาไข่เป็นเวลานานเยื่อหุ้มไข่แดงจะบางลง ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอล เอสเทอร์ จะเคลื่อนที่เข้าสู่ไข่ขาว ซึ่งมีผลทำให้สมบัติการเกิดฟองฟูของไข่ขาวเปลี่ยนแปลงไป (Sugino *et al.*, 1997)

คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในไข่ขาวมี 2 รูปแบบ คือ คาร์โบไฮเดรตอิสระ และคาร์โบไฮเดรตที่เกาะรวมอยู่กับโปรตีน โดยคาร์โบไฮเดรตในรูปอิสระมักเป็นกลูโคส (Li-Chan *et al.*, 1995; Nagamura and Doi, 2000) นอกจากนี้การที่ไข่ขาวชั้นมีลักษณะคล้ายวุ้น เนื่องจากมีโอโวมิวซิน (ovomucin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่รวมตัวอยู่กับคาร์โบไฮเดรต โดยเส้นใยของโอโวมิวซินนี้เป็นโครงสร้างห่อหุ้มไข่ขาวเหลวทั้งหมดไว้ (สุวรรณ, 2529)

ไข่ขาวมีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากมีเม็ดสี หรือรงควัตถุ (pigment) คือ โอโวเฟลวิน (ovoflavin) มีประมาณ 0.07 มิลลิกรัม สามารถละลายได้ในน้ำ บางฟองอาจมีสีชมพูหรือสีเขียวอ่อน เนื่องจากอาหารบางชนิดที่ใช้เลี้ยง (สุวรรณ, 2529)

แร่ธาตุที่พบโดยทั่วไปในไข่ขาวคือ ซัลเฟอร์ โปแทสเซียม โซเดียมคลอไรด์ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังพบเหล็กในปริมาณเล็กน้อย (Sugino *et al.*, 1997)

พีเอช (pH) ของไข่ขาวสดมีค่าเท่ากับ 7.6 - 7.9 เมื่อเก็บไข่ไว้นานขึ้น พีเอช ของไข่ขาวจะเพิ่มสูงขึ้น หรือมีสภาพเป็นเบส เนื่องจากไข่มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์สู่ภายนอก โดย

สภาพปกติไข่ขาวนั้นมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ นอกจากนี้ยังมีไบคาร์บอเนตไอออน และคาร์บอเนตไอออนละลายรวมอยู่ด้วยเพื่อช่วยในการรักษาสมดุล ป้องกันไม่ให้พีเอชสูงขึ้น แต่เมื่อมีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์จากไข่สู่ภายนอก ก่อให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ ไบคาร์บอเนตไอออน และคาร์บอเนตไอออน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในไข่จึงลดลง ส่วนความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น พีเอชของไข่ขาวจึงเพิ่มขึ้นดังกล่าว (สุวรรณ, 2529; Powrie, 1973; Hatta *et al.*, 1997)

3. ส่วนต่างๆ ของไข่ขาว

สามารถแบ่งไข่ขาวได้ 4 ส่วน คือ ไข่ขาวใสชั้นนอก (outer liquid) ไข่ขาวข้น (dense or albuminous sac) ไข่ขาวเหลวชั้นใน (inner liquid) และเยื่อขั้วไข่แดง (chalaziferous) ซึ่งไข่ขาวชั้นมีปริมาณมากที่สุด และสัดส่วนของแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สภาพแวดล้อม ขนาดของไข่ และอัตราการผลิตไข่ (Nakamura and Doi, 2000) โดยรายละเอียดของส่วนต่างๆ ของไข่ขาวมีดังนี้

3.1 ไข่ขาวเหลวชั้นนอก

มีปริมาณร้อยละ 23.2 ของปริมาณของไข่ขาวทั้งหมด อยู่รอบๆ ด้านข้างของไข่ขาวชั้นในแต่ที่ตรงหัว และท้ายของฟองไข่ ส่วนประกอบของไข่ขาวใสชั้นนอกนี้เช่นเดียวกับของไข่ขาวชั้นในแต่แตกต่างที่ไข่ขาวชั้นนอกมีเส้นใยโอโวลิวินอยู่เล็กน้อย บางครั้งเรียกไข่ขาวชั้นนี้ว่า น้ำคั่งไข่ ใช้ประโยชน์ในการช่วยเพิ่มการฟูของขนมหวานบางอย่าง

3.2 ไข่ขาวข้น

อยู่ถัดจากไข่ขาวใสชั้นนอกออกมา เป็นชั้นหรือถุงไข่ขาวข้น ที่ห่อหุ้มไข่แดงกับไข่ขาวใสตอนใน ความข้นของไข่ขาวในชั้นนี้จะช่วยประคองไข่แดง และน้ำไข่ขาวใสตอนในให้แขวนลอยอยู่ และพันอันตรายจากการกระแทก ไข่ขาวส่วนนี้มีปริมาณร้อยละ 57.3 ของไข่ขาวทั้งหมด ส่วนประกอบสำคัญของไข่ขาวชั้นนี้เส้นใยโอโวลิวิน และไปเชื่อมยึดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นในที่ด้านป้านกับด้านแหลมของฟองไข่ ไข่ขาวชั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นใยขุ่นๆ (semisolid fiber) ที่รวมกับส่วนที่เป็นของเหลวทำให้ดูข้นขึ้น เส้นใยเหล่านี้ด้านนอกที่ติดกับไข่ขาวเหลวชั้นนอกเป็นเส้นใยยาวอยู่กันอย่างหนาแน่น ถ้าใช้ความร้อน หรือย้อมสีไข่ขาวชั้น จะเห็นเป็นชั้นๆ

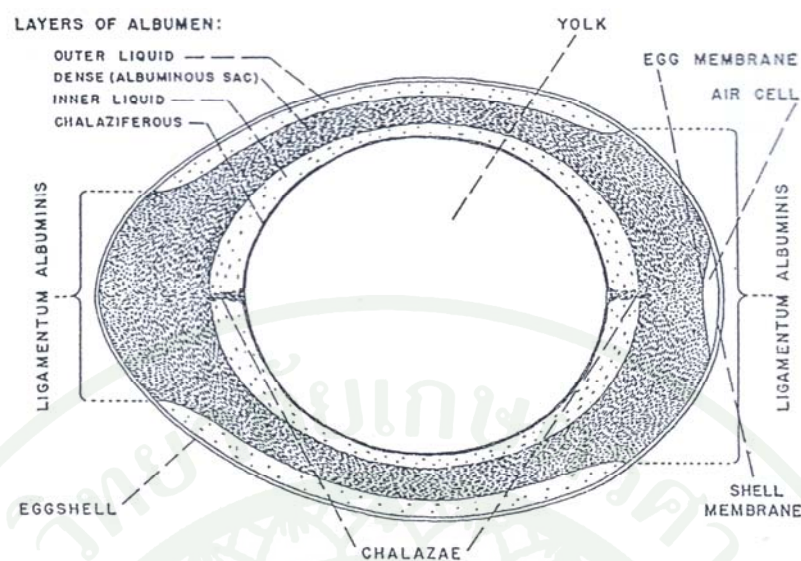
ได้ด้วยตาเปล่า ถ้าใช้กล้องขยายจะเห็นแต่ละชั้นนั้นประสานกันอย่างซับซ้อนห่างกันชั้นละประมาณ 10 มิลลิเมตร

3.3 ไข่ขาวเหลวชั้นใน

เป็นส่วนของไข่ขาวที่ค่อนข้างเหลวใส อยู่ชั้นรอบนอก มีประมาณร้อยละ 16.8 ของไข่ขาวทั้งหมด ภายในชั้นนี้ไม่มีเส้นใยโอโวมิวซินอยู่เลย เป็นชั้นที่เชื่อมไข่แดงโยงถึงไข่แดงให้ลอยอยู่ตรงกลางฟองไข่

3.4 เชื้อไข้วไข่แดง

ประมาณร้อยละ 40 ของไข่ขาวเป็นส่วนที่ค่อนข้างเหลวใส ที่เหลือคือ ไข่ขาวชั้น ที่มาห่อหุ้มโดยรอบเชื้อไข้วไข่แดง (vitelline membrane) และมีส่วนที่เป็นไข้วไข่แดง (chalazae) ซึ่งขมวดเป็นเกลียวอยู่ที่หัวท้ายตามแกนยาวของไข่แดง น้ำหนักของเชื้อไข้วไข่แดงในไข่ฟองหนึ่งหนักไม่เกิน 1 กรัม น้ำหนักของไข้วทั้งสองข้าง (chalazae) นี้ประมาณ 0.15 กรัม โดยที่ไข้วยึดไข่แดงจะเป็นสายของไข่ขาวชั้นที่ยื่นออกมาจากส่วนไข่ขาวชั้น มีลักษณะบิดเป็นเกลียวขึ้นไปทางด้านป้านและด้านแหลมของไข่ ไข้วที่อยู่ทางด้านแหลมเรียกว่า choacal chalaza ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวและใหญ่กว่าของด้านป้าน ที่เรียกว่า infundibular chalaza ทำหน้าที่ช่วยยึดไม่ให้ไข่แดงเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม แต่เมื่อเก็บไข่ไว้นานขึ้นส่วนนี้จะเกิดการอ่อนตัวลงทำให้ไข่แดงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ส่วนต่างๆ ของไข่ขาวแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนต่างๆ ของไข่

ที่มา: Nakamura and Doi (2000)

4. โปรตีนในไข่ขาว

โดยทั่วไปไข่ขาวมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 10.5 - 11 (Pomeranz, 1991; Sugino *et al.*, 1997; Kaewmanee *et al.*, 2009) ซึ่งไข่ขาวเป็นระบบโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอโวลูมินินละลายอยู่ในสารละลายของโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิดซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีนที่โครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะรูปร่างกลม รูปรี หรือรูปไข่ (นิธิยา, 2549) ไข่ขาวใส และไข่ขาวชั้นมีปริมาณของโอโวลูมินิน ต่างกัน โดยในไข่ขาวชั้นมีปริมาณโอโวลูมินินมากเป็น 4 เท่าของปริมาณโอโวลูมินินในไข่ขาวใส โปรตีนที่สำคัญของไข่ขาวสามารถแยกลำดับส่วนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับโปรตีนแต่ละชนิดที่แยกได้จากไข่ขาวได้แก่

4.1 โอวัลบูมิน (Ovalbumin)

โอวัลบูมินหรือเรียกว่าโปรตีนไข่ขาว (egg albumin) เป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุด ในไข่ขาว คือ ประมาณร้อยละ 54 ของโปรตีนในไข่ขาวทั้งหมด (Mine, 1995; Nakamura and Doi, 2000; Christ *et al.*, 2005; Weijers *et al.*, 2006) โอวัลบูมินจัดเป็นโกลบูลาร์โปรตีนหรือโปรตีนที่มี

รูปร่างกลม (Sun and Hayakawa, 2002) มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ และมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารคือ การจับตัวเป็นก้อนหรือเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Alamprese *et al.*, 2009) โดยโอวัลบูมินเป็นฟอสโฟไกลโคโปรตีน (phosphoglycoprotein) เพราะมีคาร์โบไฮเดรตและหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่กับสายพอลิเพปไทด์ แบ่งโอวัลบูมินออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ A₁, A₂ และ A₃ ซึ่งหมายถึง ใน 1 โมเลกุลมีหมู่ฟอสเฟต 2 หมู่ 1 หมู่ และไม่มีเลย ตามลำดับ โดยพบในสัดส่วนประมาณร้อยละ 85:12:3

โอวัลบูมินมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 45 kDa ประกอบด้วยกรดแอมิโนซิสเทอีน (cysteine; Cys) 4 หมู่ และ ซิสทีน (cystine) 1 หมู่ (Nakamura and Doi, 2000) จึงมีหมู่ซัลไฟด์ไรล (sulfhydryl group; -SH) อิสระ 4 หมู่ อยู่ในโครงสร้างที่ขม้วนพับของโปรตีน และมีพันธะไดซัลไฟด์ 1 พันธะ จัดเป็น โปรตีนไข่ขาวเพียงชนิดเดียวที่มีหมู่ซัลไฟด์ไรลอิสระ โอวัลบูมินมีค่า pI (isoelectric point) เท่ากับ 4.5 - 4.7 (Li-Chan *et al.*, 1995; Nakamura and Doi, 2000; Ternes, 2001) จากการที่โอวัลบูมินมีหมู่ซัลไฟด์ไรลอิสระ เมื่อได้รับความร้อนหรือเกิดการเสียสภาพ โปรตีนคลายเกลียว จึงเผยหมู่ซัลไฟด์ไรลออกมา ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์กับโอวัลบูมินโมเลกุลอื่น หรือสารที่มีหมู่ซัลไฟด์ไรลได้ (Campo-Deano and Tovar, 2009) Arntfield and coworkers (1991) พบว่าโอวัลบูมินเกิดพันธะไดซัลไฟด์กับโปรตีนวิชิลิน (vicilin) ซึ่งการเกิดพันธะไดซัลไฟด์นี้ช่วยทำให้โครงสร้างสามมิติมีความแข็งแรง และมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ในทำนองเดียวกัน Alamprese *et al.* (2005) ศึกษาพบโอวัลบูมินสามารถเกิดอันตรกิริยากับกลูเต็น และช่วยเสริมให้โครงสร้างสามมิติในผลิตภัณฑ์พาสต้ามีความแข็งแรงมากขึ้น ปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์พาสต้ามีคุณภาพในการหุงต้มดีขึ้น

คาร์โบไฮเดรตในโอวัลบูมินประกอบด้วยน้ำตาลดี-แมนโนส ร้อยละ 2 และ 2-แอมิโน-2-ดีออกซี-ดี-กลูโคส ร้อยละ 1.2 โปรตีนชนิดนี้สามารถทนความร้อนได้ดี โดยมีอุณหภูมิการเสียสภาพเมื่อศึกษาด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ เท่ากับ 84.5 องศาเซลเซียส ที่พีเอชเท่ากับ 9 นอกจากนี้โอวัลบูมินยังเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายเมื่อทำการเขย่า (shaking) สารละลายโปรตีน (Li-Chan *et al.*, 1995)

ในระหว่างการเก็บรักษา ระดับพีเอชของไข่ขาวจะเพิ่มสูงขึ้น เพราะไขสูญเสียบคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ภายนอก ทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ไบคาร์บอเนตไอออน คาร์บอเนตไอออน และโปรตีน (Powrie, 1973; Sugino *et al.*, 1997) โปรตีนโอวัลบูมินจะเปลี่ยนไปเป็นเอส-โอวัลบูมิน (S-ovalbumin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทนความร้อนได้มากกว่าโอวัลบูมิน เมื่อศึกษาอุณหภูมิในการเสียสภาพด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริ

มิเตอร์ เท่ากับ 92.5 องศาเซลเซียส ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 9 องค์ประกอบของกรดแอมิโน และตำแหน่งของพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของโอวัลบูมิน และเอสโอวัลบูมินนั้นไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อศึกษาโครงสร้างของเอส-โอวัลบูมินด้วยเครื่อง Raman difference spectrum พบว่าโครงสร้างของเอส-โอวัลบูมิน มีความแน่นมากกว่าโครงสร้างของโอวัลบูมิน และเมื่อเก็บรักษาไข่ไว้ในห้องเย็นนานกว่า 6 เดือนขึ้นไป พบเอส-โอวัลบูมินเพิ่มปริมาณสูงขึ้นถึงร้อยละ 81 (Nakamura and Doi, 2000)

4.2 โอโวทรานส์เฟอร์ริน (Ovotransferrin)

โอโวทรานส์เฟอร์ริน หรือคอนอัลบูมิน (conalbumin) เป็นโปรตีนที่พบมากเป็นอันดับสองในไข่ขาว โดยมีประมาณร้อยละ 13 ของโปรตีนไข่ขาวทั้งหมด มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 78 kDa และมีค่า pI ประมาณ 6.1 (Ternes, 2001) ประกอบด้วยกรดแอมิโน 686 ตัว (Nakamura and Doi, 2000) มีพันธะไดซัลไฟด์ 15 พันธะ ไม่มีหมู่ฟอสเฟต หรือหมู่ซัลไฮดริลอิสระ จัดเป็นพอลิเพปไทด์สายเดี่ยว ที่เรียกว่า ไกลโคโปรตีน ประกอบด้วยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต โดยมีน้ำตาลเฮกโซส (hexose) ร้อยละ 0.8 และเฮกโซซามีน (hexosamine) ร้อยละ 1.4

โอโวทรานส์เฟอร์รินทนความร้อนได้น้อยกว่าโอวัลบูมิน เกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิต่ำ โดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเสียสภาพเมื่อศึกษาด้วยเครื่องดีฟเอนเซียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ประมาณ 60 – 65 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่ไข่ขาวประมาณ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าไข่ขาวเริ่มเกิดความข้นหนืด มีตะกอน ขุ่นขาว เนื่องมาจากการเสียสภาพของโปรตีน โอโวทรานส์เฟอร์รินนั่นเอง (Powrie, 1973; Woodward, 1990; Sugino *et al.*, 1997) โอโวทรานส์เฟอร์รินสามารถจับกับอนุมูลโลหะ (chelating agent) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทนต่อความร้อน สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโอโวทรานส์เฟอร์รินและ Fe^{3+} เกิดการสูญเสียสภาพที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส (Nakamura and Doi, 2000) โอโวทรานส์เฟอร์ริน 1 โมเลกุลสามารถจับกับอนุมูลโลหะได้ 2 อะตอม ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่เสถียร ซึ่งสัมพรรคภาพของโปรตีนโอโวทรานส์เฟอร์รินในการจับกับอนุมูลโลหะ คือ $Fe^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+}$ ตามลำดับ (Ternes, 2001) โดยเกิดสีตามชนิดของอนุมูลโลหะเช่น Fe^{3+} , Al^{3+} , Cu^{2+} หรือ Zn^{2+} ให้สีแดง ไม่มีสี สีเหลือง และไม่มีสีตามลำดับ รวมทั้งยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการอนุมูลโลหะ (Li-Chan *et al.*, 1995) จากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอนุมูลโลหะมีผลทำให้สมบัติด้านเคมีกายภาพ (physicochemical) ของโอโวทรานส์เฟอร์รินเปลี่ยนแปลง จึงทำให้สามารถใช้คุณสมบัติในการกระบวนกรพาสเจอร์ไรซ์สูงขึ้นได้ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมได้นำสมบัตินี้ไปใช้ โดยมีการเติมเกลือ

อลูมิเนียม (aluminum salt) ลงในไข่ขาวในบางครั้งเมื่อมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการเกิดการเกาะติดเป็นก้อน และเกิดการสูญเสียสมบัติการเกิดฟองฟูระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Ternes, 2001) สำหรับสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหารของโอโวทรานส์เฟอร์รินคือสมบัติการเกิดเจล

4.3 โอโวมิวคอยด์ (Ovomucoid)

โอโวมิวคอยด์เป็นโปรตีนที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 10 ของโปรตีนไข่ขาว จัดเป็นพวกไกลโคโปรตีนที่ทนต่อความร้อน และทนได้มากกว่าโอโวทรานส์เฟอร์ริน โดยโอโวมิวคอยด์ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 – 25 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 28 kDa มีค่า pI ประมาณ 4 (Nakamura and Doi, 2000) และมีพันธะไดซัลไฟด์ 9 พันธะ แต่ไม่มีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ โอโวมิวคอยด์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) ได้ โดย 1 โมเลกุลของโอโวมิวคอยด์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ 1 โมเลกุล ซึ่งในสภาวะที่เป็นกรดโอโวมิวคอยด์จะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดีโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เนื่องจากมีพันธะไดซัลไฟด์ปริมาณมาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อสภาวะเป็นเบส (พีเอช 9) โอโวมิวคอยด์จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งโอโวมิวคอยด์ที่เปลี่ยนแปลงด้วยความร้อนจะสูญเสียความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน และจะเกิดการย่อยได้ดีขึ้นโดยเอนไซม์ไคโมทริปซิน (Li-Chan *et al.*, 1995)

4.4 โอโวมิวซิน (Ovomucin)

โอโวมิวซินเป็นไกลโคโปรตีนที่มีหมู่ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ โอโวมิวซินนี้ทำให้ไข่ขาวชั้นมีลักษณะเป็นก้อนคล้ายวุ้น ซึ่งช่วยรักษาลักษณะทางกายภาพของไข่ขาวโดยพบโอโวมิวซินในไข่ขาวชั้นมากกว่าไข่ขาวใสถึง 4 เท่า โอโวมิวซินมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 5,500 - 8,300 kDa ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ละลายน้ำได้ และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งสองส่วนนี้มีหน่วยย่อยของโอโวมิวซินเป็นองค์ประกอบอยู่ แบ่งสารนี้ออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ โอโวมิวซินชนิดที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก (carbohydrate-rich) เรียก β -ovomucins ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 50 และโอโวมิวซินชนิดที่มีคาร์โบไฮเดรตน้อย (carbohydrate-poor) เรียก α -ovomucins มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15 ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงจึงทำให้โอโวมิวซินทนต่อความร้อนได้ดี พบว่าสารละลายโอโวมิวซินที่พีเอช 7.1 - 9.4 นั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงความหนืด (viscosity) หรือความทึบแสง (optical density) ระหว่างที่ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โอโวมิวซินและไลโซไซม์สามารถ

รวมกันเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ โดยแรงกระทำไฟฟ้าสถิตที่มีต่อกัน แต่ที่พีเอชเกินกว่าช่วง 7.2 - 10.4 แรงกระทำระหว่างโปรตีนทั้งสองจะลดลง โดยเฉพาะที่ความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงใกล้ pI ของไลโซไซม์ (pI = 10) เพราะไลโซไซม์จะแยกตัวจากโอโวมิวซิน จึงทำให้ไข่ขาวใสขึ้นระหว่างการเก็บไข่ นอกจากนี้พบว่าชั้นของไข่ขาวชั้นจะบางลง และเกิดไข่ขาวเหลวใสมากขึ้น สมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของโปรตีนชนิดนี้ คือ เป็นสารช่วยให้เกิดฟองฟูที่คงทน และมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของไวรัส (viral hemagglutination) (Li-Chan *et al.*, 1995; Sugino *et al.*, 1997)

4.5 ไลโซไซม์ (Lysozyme)

ไลโซไซม์ หรือที่รู้จักกันในชื่อ peptidoglycan *N*-acetylmuramylhydrolase (E.C. 3.2.1.17) เป็นเอนไซม์ในไข่ขาวที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบซึ่งเป็นโปรตีนโอ-ไกลแคน (proteoglycan) ได้ โดยย่อยสลายพันธะ β (1-4) linkages ระหว่าง *N*-acetylglucosamine และ *N*-acetylmuramic acid ไลโซไซม์นั้นเป็นโปรตีนที่มีขนาดเล็ก มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 14 kDa มีค่า pI เท่ากับ 11 ประกอบด้วยกรดแอมิโน 129 ตัว มีพันธะไดซัลไฟด์ 4 หมู่ แต่ไม่มีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ (Nakamura and Doi, 2000) การใช้ความร้อนในการยับยั้งเอนไซม์นี้ขึ้นอยู่กับระดับของพีเอชและอุณหภูมิ โดยไลโซไซม์จะถูกทำลายมากขึ้น ถ้าพีเอชมากกว่า 7 ขึ้นไป และถูกทำลายให้เสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 75 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับพีเอช และสภาวะของสารละลาย (Li-Chan *et al.*, 1995)

4.6 อะวิดิน (Avidin)

พบอะวิดินอยู่ในไข่ขาวประมาณร้อยละ 0.05 โดยอะวิดินเป็นไกลโคโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดแอมิโน 128 ตัว มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 69 kDa ค่า pI เท่ากับ 10.0 และมีพันธะไดซัลไฟด์ 1 พันธะ (Nakamura and Doi, 2000) สามารถทนความร้อนได้ดี โดยมีอุณหภูมิเสถียรภาพเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส สามารถจับกับวิตามินไบโอติน (biotin) ซึ่งเป็นวิตามินกลุ่มวิตามินบีที่มนุษย์ต้องการ ทำให้เกิดการขาดวิตามินได้ พบว่าอะวิดิน 1 โมเลกุลสามารถจับกับไบโอตินได้ 4 โมเลกุล โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะวิดิน และไบโอตินนั้นสามารถทนความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (Li-Chan *et al.*, 1995; Nakamura and Doi, 2000) ดังนั้นการที่จะนำไบโอตินมาใช้ได้นั้นจะต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จึงจะเกิดการสลายพันธะระหว่างอะวิดิน และไบโอติน (Sugino *et al.*, 1997) นอกจากนี้อะวิดินยังสามารถ

ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย เนื่องจากอะวิดินสามารถที่จะจับกับแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบได้ (Li-Chan *et al.*, 1995)

4.7 โอโวโกลบูลิน (Ovoglobulin)

โอโวโกลบูลิน มีอยู่ประมาณร้อยละ 4 ของโปรตีนไข่ขาว พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 3 ส่วน คือ G1, G2 และ G3 โดยที่ G1 นั้นต่อมาได้ระบุว่าเป็นไลโซไซม์ ส่วน G2 และ G3 นั้นยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อย เมื่อวิเคราะห์ด้วย sodium dodecyl polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) นั้น พบว่า G2 และ G3 เป็นสารไกลโคโปรตีน มีค่า pI เท่ากับ 5.5 และ 4.8 ตามลำดับ และพบว่าเป็นสารที่ช่วยในการเกิดฟองฟูได้ดี (Li-Chan *et al.*, 1995; Ternes, 2001)

4.8 โอโวอินฮิบิเตอร์ (Ovo inhibitor)

โอโวอินฮิบิเตอร์เป็นสารประกอบประเภทไกลโคโปรตีน มีอยู่ร้อยละ 1.5 ของไข่ขาว ทั้งหมด (Nakamura and Doi, 2000) มีมวลโมเลกุล 49 kDa ประกอบด้วยเฮกโซสร้อยละ 3.5 และเฮกโซซามีนร้อยละ 2.7 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส เช่น เอนไซม์ทริปซิน เอนไซม์ไคโมทริปซิน และเอนไซม์อีลาสเทส (Li-Chan *et al.*, 1995; Nakamura and Doi, 2000)

4.9 โอโวฟลาโวโปรตีน (Ovo flavoprotein)

โอโวฟลาโวโปรตีน มีอยู่ร้อยละ 0.8 ของโปรตีนไข่ขาว จัดเป็นสารประกอบประเภทฟอสโฟไกลโคโปรตีน มีมวลโมเลกุลประมาณ 32 kDa และมีค่า pI เท่ากับ 4 ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15 และฟอสฟอรีน มีน้ำตาลแมนโนสร้อยละ 6 กาแลคโตสร้อยละ 1.3 และกลูโคซามีนร้อยละ 11.2 สามารถจับกับไรโบฟลาวิน (riboflavin) ที่พบในไข่ขาวได้ทั้งหมดในอัตราส่วน 1 : 1 และทำหน้าที่ในการขนถ่ายไรโบฟลาวินจากน้ำเลือดไปยังไข่ขาว (Li-Chan *et al.*, 1995)

4.10 โอโวไกลโคโปรตีน (Ovoglycoprotein)

จัดเป็นไกลโคโปรตีนประเภทกรด มี pI เท่ากับ 3.9 และมวลโมเลกุล 24.4 kDa โดยประกอบด้วยเฮกโซสร้อยละ 13.6 กลูโคซามีนร้อยละ 3.9 และ *N*-acetylneuraminic ร้อยละ 3 (Sugino *et al.*, 1997)

4.11 โอโวมะโครโกลบูลิน (Ovomacroglobulin)

โอโวมะโครโกลบูลินเป็นไกลโคโปรตีน มีมวลโมเลกุล 800 kDa ประกอบด้วยเฮกโซส ร้อยละ 3.5 เฮกโซซามีนร้อยละ 5.2 และ *N*-acetylneuraminic น้อยกว่าร้อยละ 0.03 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส เช่น เอนไซม์ทริปซิน เอนไซม์ปาเปน เอนไซม์เปปซิน และเอนไซม์ไคโมซิน (Sugino *et al.*, 1997)

ดังนั้นโปรตีนในไข่ขาวที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร คือโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณมากในไข่ขาวซึ่งได้แก่ โอวัลบูมิน โอวอทรานส์เฟอร์รินส์ และโอโวมัยคอยด์ (Christ *et al.*, 2005) โดยมีบทบาทหลักในการกำหนดคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ซึ่งสมบัติเชิงหน้าที่สำคัญคือ การเกิดเจลซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป บางครั้งอาหารที่ได้รับความร้อนสูงไม่เพียงพอที่จะทำให้ลายสมบัติเชิงหน้าที่เชิงชีวภาพของโปรตีนบางชนิดในไข่ขาวแล้ว ก็จะทำให้ร่างกายได้รับโทษจากการบริโภคโปรตีนไข่ขาวที่ไม่ผ่านความร้อนหรือผ่านความร้อนไม่เพียงพอได้ ตัวอย่างเช่น การบริโภคไข่ดิบจะได้รับอะวิดินซึ่งยับยั้งการดูดซึมไบโอติน หรือได้รับโอโออินฮิบิเตอร์ซึ่งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส เป็นต้น

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่ขาว สรุปในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่ขาว

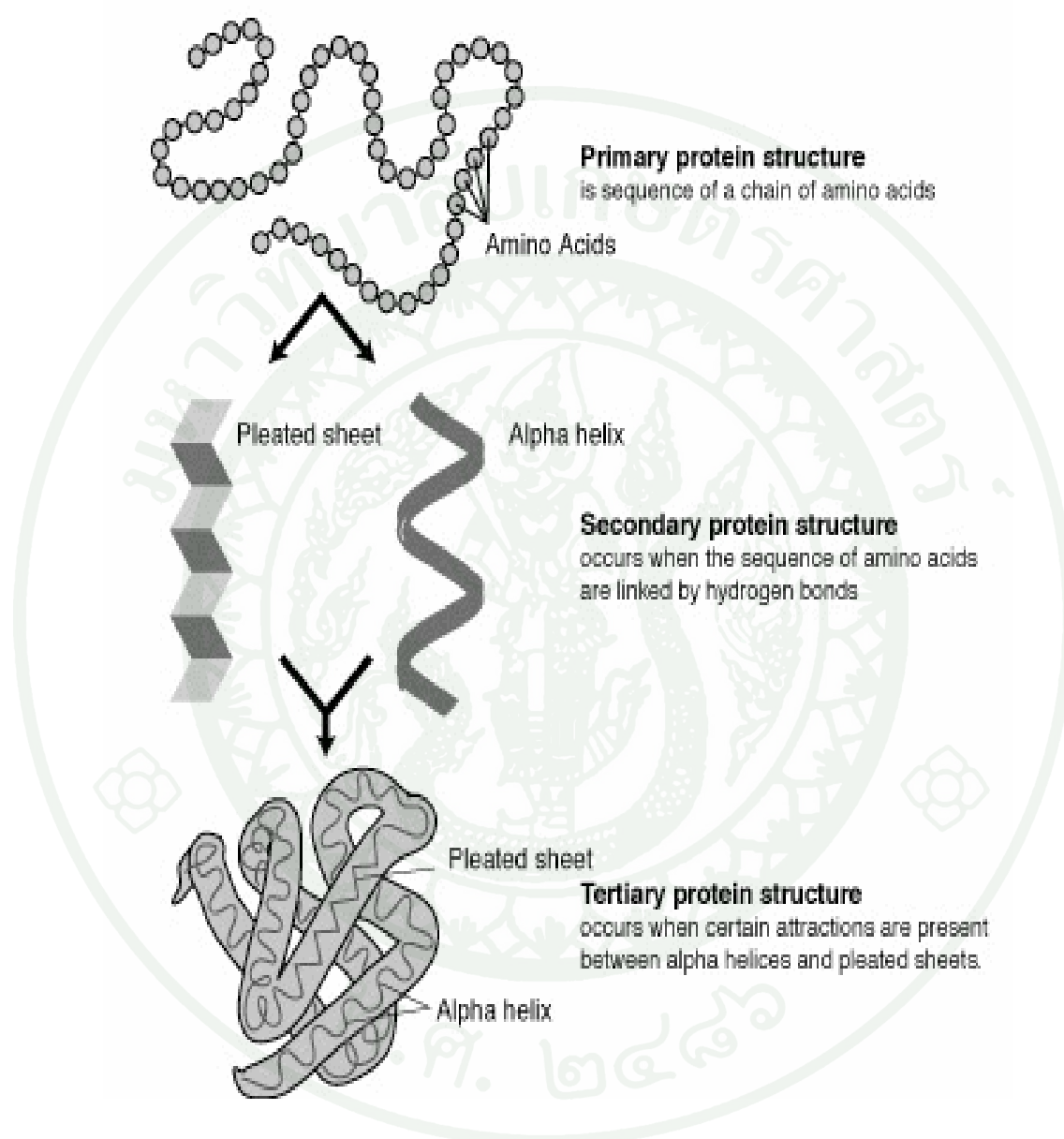
ชนิดโปรตีน	สมบัติเชิงหน้าที่
โอวัลบูมิน	ช่วยในการจับตัวเป็นก้อน
โอโวทรานส์เฟอร์รินส์	สามารถจับอนุมูลโลหะ
โอโวมิวคอยด์	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน
โอโวมิวซิน	เป็นสารช่วยในการเกิดฟองฟู
ไลโซไซม์	ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบ
อะวิดิน	สามารถจับไบโอติน และแบคทีเรียได้
โอโวไกลบูลิน	เป็นสารช่วยในการเกิดฟองฟู
โอโวอินฮิบิเตอร์	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส
โอโวฟลาโวโปรตีน	สามารถจับไรโบฟลาวิน

5. โครงสร้างของโปรตีนไข่ขาว และการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน

5.1 โครงสร้างของโปรตีนไข่ขาว

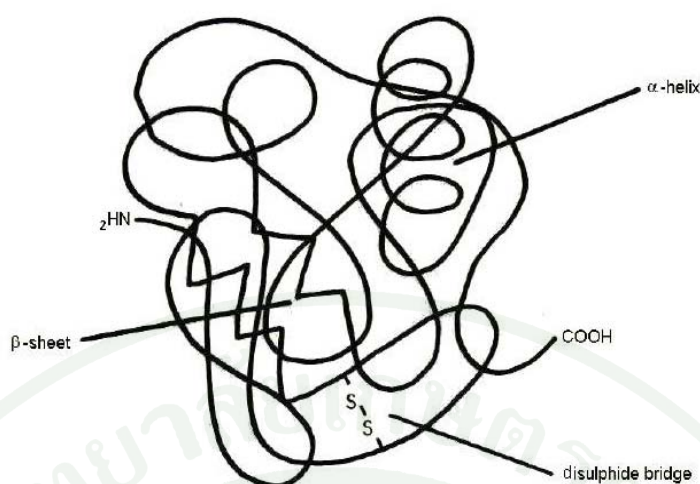
สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น กรดแอมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีน รูปร่าง ขนาด ความมีขั้ว พันธะภายใน และภายนอก โดยลักษณะโครงสร้างของโปรตีนไข่ขาวเป็นกลุ่มของไกลบูลาร์โปรตีนหรือโปรตีนก่อนกลมซึ่งจัดเป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการที่ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) มาจัดเรียงตัวอยู่ในสามมิติ เพื่อให้มีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งไกลบูลาร์โปรตีนเกิดจากสายของโพลีเพปไทด์เกิดการขด ม้วน และพับซ้อนไปมาด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะเชิงไอออน van der Waals' force และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก เป็นหลัก โดยภายในโครงสร้างมีแกนกลางที่เป็นส่วนไฮโดรโฟบิก และมีบริเวณที่มีขั้ว หรือมีประจุกระจายอยู่ที่ผิวของโครงสร้างทรงกลมเมื่อโปรตีนละลายอยู่ในน้ำ ในบางครั้งอาจมีการรักษาเสถียรภาพด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Fennema, 1996) ตัวอย่างของไกลบูลาร์โปรตีนที่สำคัญ

ในไขขาว คือ โอวัลบูมินโดยลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างตติยภูมิของโปรตีนแสดงดังภาพที่ 2 และแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีนแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างตติยภูมิของโกลบูลาร์โปรตีน

ที่มา: Anonymous (2010)



ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีน

ที่มา: Faiers (2007)

5.2 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อน

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนของโปรตีนไข่ขาวที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร คือ การจับตัวเป็นก้อน หรือ การเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (heat induced egg white gel) (Alamprese *et al.*, 2009) Woodward (1990) และ Handa *et al.* (1998) กล่าวว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ไข่ขาวนานเป็นระยะเวลาหนึ่ง ไข่ขาวจะเกิดเจล ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในไข่ขาวตามลำดับดังนี้

5.2.1 โปรตีนเกิดการคลายเกลียวบางส่วน (Protein partially unfolding)

เมื่อโปรตีนไข่ขาวได้รับความร้อนจะเกิดการคลายเกลียว หรือเกิดการเสียสภาพบางส่วน เผยส่วนของหมู่แอมิโนที่มีไม่มีขั้วออกมา ทำให้มีส่วนของไฮโดรโฟบิกมากขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน โดยเฉพาะ โอวัลบูมินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในไข่ขาว มีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ เมื่อได้รับความร้อนหรือเกิดการเสียสภาพ โปรตีนคลายเกลียว จึงเผยหมู่ซัลไฮดริลออกมาจึงทำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลของโปรตีน และพันธะไดซัลไฟด์กับโอวัลบูมินโมเลกุลอื่น หรือสารที่มีหมู่ซัลไฮดริลต่อไป จัดเป็นขั้นแรกของการเกิดโครงร่างสามมิติ หรือการเกิดเจลของโปรตีน (Nishinari *et al.*, 2000; Christ *et al.*, 2005)

5.2.2 โปรตีนเกิดการเกาะกลุ่มกัน (Aggregation of egg white protein)

โปรตีนที่เสียดสภาพ และคลายเกลียว เกิดการเกาะกลุ่มกันเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก ระหว่างส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกบนโมเลกุลโปรตีน และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่มีหมู่ซัลไฮดริล สังเกตจะเห็นไข่ขาวข้นหนืดมากขึ้น มีสีขาวขุ่น จับตัวกันเป็นก้อน (Christ *et al.*, 2005)

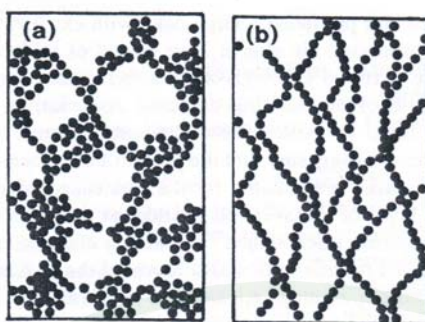
5.2.3 การเกิดโครงร่างสามมิติ หรือเกิดเจล (Three dimensional network formation or gel formation)

เมื่อให้ความร้อน และระยะเวลาขึ้น โปรตีนจะเกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น จนกระทั่งเกิดโครงร่างสามมิติ หรือเกิดเจล (Christ *et al.*, 2005) ซึ่งโครงร่างสามมิตินี้สามารถห่อหุ้มน้ำ (Temes, 2001) ตลอดจนสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารเอาไว้ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อไปมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งมากขึ้น การเกิดโครงร่างร่างแหสามมิติมีผลทำให้ไข่ขาว หรืออาหารที่มีไข่ขาวเป็นส่วนประกอบมีลักษณะเป็นเจลแข็ง หรือมีความหนืดสูงขึ้น (Zayas, 1997) ซึ่งการเกิดเจลเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่ขาวโดยมีการใช้ประโยชน์จากสมบัติการเกิดเจลของไข่ขาวนี้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิ และการทำให้เกิดฟิล์มบางๆ ซึ่งใช้ประโยชน์เป็นฟิล์มที่บริโภคได้ เป็นต้น

ไข่ขาวมีโปรตีนโอวัลบูมิน หรือเรียกว่า อัลบูมินไข่ (egg albumin) เป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุดไข่ขาว (Nolan *et al.*, 2005) คือ ประมาณร้อยละ 54 ของโปรตีนในไข่ขาวทั้งหมด (Mine, 1995; Nakamura and Doi, 2000; Christ *et al.*, 2005; Weijers *et al.*, 2006) รองลงมาคือ โปรตีนโอโวทรานส์เฟอร์รินส์ และโอโวมิวคอยด์ ตามลำดับ โอวัลบูมินจัดเป็นโกลบูลาร์โปรตีนหรือโปรตีนที่มีรูปร่างกลม (Sun and Hayakawa, 2002) ที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ และมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารคือ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน หรือเกิดเจล (Alamprese *et al.*, 2009) ซึ่งอุณหภูมิในการเสียดสภาพโดยความร้อนของโอวัลบูมิน โอโวทรานส์เฟอร์รินส์ และโอโวมิวคอยด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์เท่ากับ 75 - 84, 61 - 65 และ 77 - 79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Donovan *et al.*, 1975; Woodward, 1990; Mine, 1995; Hatta *et al.*, 1997; Christ *et al.*, 2005; Weijers *et al.*, 2006) ดังนั้นอุณหภูมิในการเสียดสภาพ และเกิดการเกาะกลุ่มของโปรตีนจนเกิดเจลของไข่ขาวจึงรายงานเป็นช่วงของอุณหภูมิ โดยไข่ขาวมักเริ่มเกิดการเกาะกลุ่มที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 - 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการเสียดสภาพของโปรตีน

โอโคโนะโม (Mine, 1995; Christ *et al.*, 2005) สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ในช่วงอุณหภูมินี้จะพบว่าไข่ขาวมีสีขุ่นขาว สารละลายมีความขุ่นหนืดสูง และมีสภาพเป็นเจลที่นุ่ม เมื่อให้ความร้อนต่อไปจนกระทั่งอุณหภูมิในการให้ความร้อนประมาณ 70 – 90 องศาเซลเซียส กระบวนการเกิดเจลไข่ขาวจะเกิดขึ้นอย่างอ่อนแอ และเป็นไปอย่างรวดเร็ว กลายเป็นเจลไข่ขาวที่แข็ง ที่พีเอชตามธรรมชาติ (Hatta *et al.*, 1997) นอกจากนี้ Baldwin (1973) รายงานว่าไข่ขาวจากไข่ เป็ดเกิดการจับตัวเป็นก้อนเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ซึ่งการที่อุณหภูมิในการเกิดเจลไม่เท่ากันเนื่องจากหลายปัจจัย อาทิเช่น พีเอช ปริมาณโปรตีน เป็นต้น (Hatta *et al.*, 1997)

การเกาะกลุ่มโกลบูลาร์โปรตีนเพื่อสร้างโครงสร้างสามมิติ หรือการเกิดเจลอาจเกิดได้ 3 แบบ ได้แก่ แบบแรกคือ การที่โมเลกุลของโกลบูลาร์โปรตีนที่เกิดการคลายเกลียวบางส่วน (partially unfolded globular proteins) มาเกาะกันอย่างไม่จำเพาะเจาะจง (random aggregation of molecules) แบบที่สองคือ การเกาะกันแบบมีการจัดเรียงตัวของโปรตีนที่คล้ายกับเม็ดบิดเรียงต่อกันเป็น สายสร้อย หรือคล้ายกับลูกปัดต่อกันอย่างมีระเบียบ (string of beads) และแบบสุดท้ายคือ การเกิด โครงสร้างสามมิติที่มีการจัดเรียงตัวของโปรตีนแบบผสมของรูปแบบการเกาะกลุ่มทั้งสองรูปแบบ ข้างต้น (Nakamura and Doi, 2000) ดังภาพที่ 4 ซึ่งพันธะที่ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มเป็นโครงสร้างสาม มิติของเจลโปรตีนนี้มีหลายพันธะ อาทิเช่น พันธะโควาเลนต์ พันธะไฮโดรเจน พันธะเชิงไอออน อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก และบางครั้งอาจเชื่อมต่อกันโดยพันธะไดซัลไฟด์ หรือการเกิดอันตรกิริยา ร่วมกันของแรงเหล่านี้ (Pomeranz, 1991; Damodaran, 1994; Smith, 1994) เช่น ในกรณีเจลที่เกิด จากโปรตีนโอวัลบูมิน ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจนโปรตีนเกิดการคลายเกลียวบางส่วน จะเผยหมู่ ซัลไฮดริลอิสระที่อยู่ภายในโครงสร้างที่ขดม้วนพับของโปรตีนออกมา จึงทำให้หมู่ซัลไฮดริลอิสระ เหล่านี้สามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลได้ใหม่อีกครั้ง ก่อให้เกิดเจลขึ้น (Zayas, 1997)

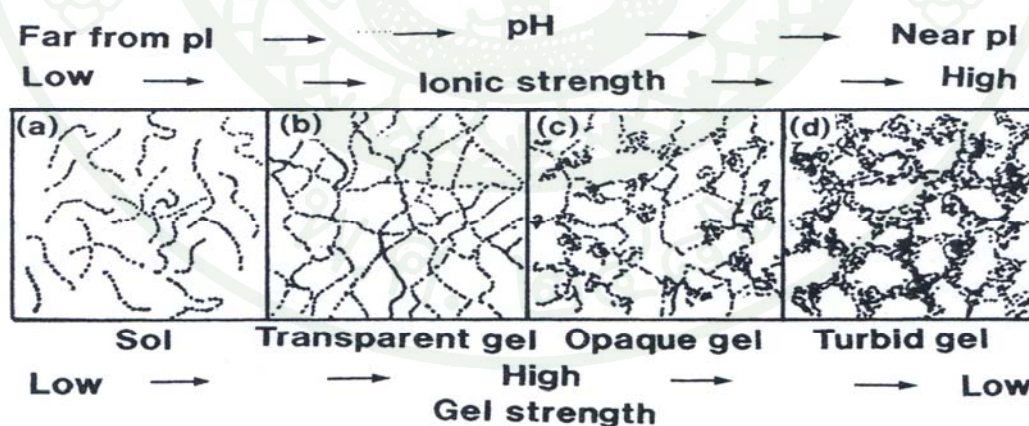


ภาพที่ 4 รูปแบบการเกาะกลุ่มของโกลบูลาร์โปรตีนเพื่อสร้างโครงร่างสามมิติ

- (a) การเกาะกลุ่มของโกลบูลาร์โปรตีนแบบเกาะกันอย่างไม่จำเพาะเจาะจง
 (b) การเกาะกลุ่มของโกลบูลาร์โปรตีนแบบมีการจัดเรียงตัวต่อกันอย่างมีระเบียบคล้ายสายสร้อย

ที่มา: Nakamura and Doi (2000)

Doi *et al.* (1989) ได้สร้างแบบจำลองของการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนของโปรตีนโอวัลบูมิน โดยมีอิทธิพลของความเข้มข้นของโปรตีน โอวัลบูมิน พีเอช และความแรงของไอออน ดังภาพที่ 5 ซึ่งความเข้มข้นของโอวัลบูมินที่เริ่มเกิดเจลคือ ประมาณร้อยละ 3 (Damodaran, 1994)



ภาพที่ 5 แบบจำลองการเกิดโครงร่างสามมิติหรือเจลของโอวัลบูมินเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา: Nakamura and Doi (2000)

จากการที่ไข่ขาวมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน จึงทำให้เป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหาร โดยหน้าที่ที่สำคัญของไข่ขาวต่ออาหารได้แก่

ก. สารที่เกิดเจล (gelling agent) เช่น ในผลิตภัณฑ์ซูริมี มีการใช้ไข่ขาว ร่วมกับสตาร์ชเพื่อปรับปรุงให้เจลจากปลาบดมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น โดยลด firmness ของเจลปลาบดที่มีการเติมแป้ง แต่เพิ่ม springiness และ elasticity ของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น หรือใช้ไข่ขาวในผลิตภัณฑ์คัสตาร์ด (Woodward, 1990; Friedman, 1995)

ข. สารที่ทำให้เกิดความข้นหนืด (thickener) เช่น ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด (Woodward, 1990; Zayas, 1997)

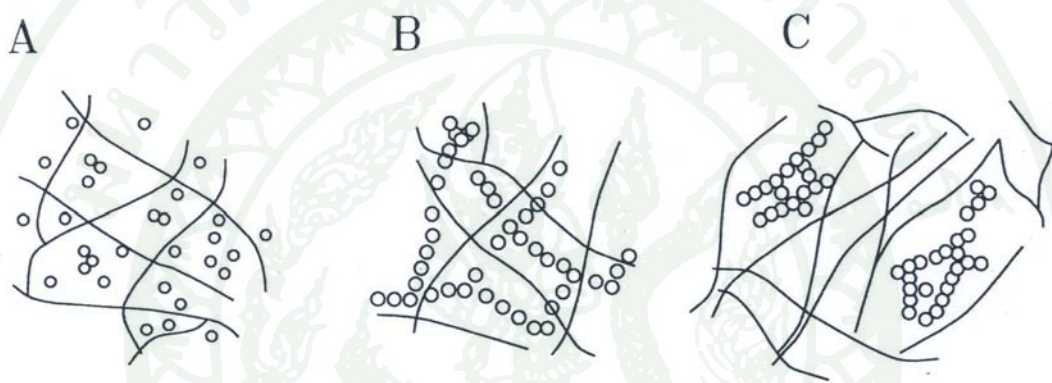
ค. สารที่ช่วยเชื่อมต่อ (food binder) มีการใช้ไข่ขาวเป็นสารเชื่อมต่อในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เทียม (meat analogs) เนื่องจากไข่ขาวช่วยเชื่อมต่อโปรตีนจากพืช และเมื่อได้รับความร้อนมีผลทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ทั้งนี้เป็นเพราะโปรตีนโอวัลบูมินซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดไข่ขาว มีหมู่ซัลไฮดริล (-SH group) ซึ่งช่วยทำให้เจลมีความแข็งแรง (Zayas, 1997)

6. เจล และรูปแบบของเจลของสารผสม

ผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างเป็นเจลที่ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมกันทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ อาทิเช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส สีผลิตภัณฑ์ และคุณภาพให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค โดยเจลในอาหารอาจประกอบขึ้นจากสารที่มีสมบัติเกิดเจลได้ทั้งสองชนิด หรือการผสมกันระหว่างสารที่มีสมบัติเกิดเจลได้กับสารที่ไม่มีสมบัติการเกิดเจล ซึ่งสารเหล่านั้นมักเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ หรือโปรตีน โดยมีทั้งการใช้พอลิแซ็กคาไรด์สองชนิดร่วมกัน หรือโปรตีนสองชนิด หรือใช้โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ร่วมกัน ซึ่งพันธะและแรงยึดเหนี่ยวที่อาจเกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองอาจเป็นพันธะไฮโดรเจน พันธะโควาเลนต์ พันธะไอออนิก และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก

ลักษณะของเจลระหว่างสารผสมอาจพบในลักษณะของโครงร่างต่อเนื่องของสารที่เกิดเจลได้เพียงชนิดเดียว และมีตัวถูกละลายแทรกหรือเดิมอยู่ในช่องว่าง โดยตัวถูกละลายอาจไม่มีสมบัติการเกิดเจลหรือมีสมบัติการเกิดเจลแต่ความเข้มข้นที่ใช้มีน้อยไม่เพียงพอในการเกิดเจลร่วมกับสารชนิดแรก ดังภาพที่ 6A ลักษณะของเจล อีกแบบคือ การที่สารทั้งสองต่างเกิดโครงร่างเจลได้ทั้งคู่ แต่

แยกกันเกิดโครงร่างเจล หรือเรียกว่า interpenetrating network ดังภาพที่ 6B ลักษณะของโครงร่างเจลอีกลักษณะที่อาจพบคือ โครงร่างเจลที่เกิดจากสารสองชนิดที่ไม่เข้ากันทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic incompatibility) หรือ phase separated gel มีผลทำให้เกิดการแยกเฟสโดยมีสารหนึ่งเกิดโครงร่างต่อเนื่องของเจล ส่วนสารอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอนุภาคมีการรวมตัวกัน แล้วแทรกหรือเติมอยู่ในช่องภายในโครงร่างสามมิติของเจล (Tolstoguzov, 1986; Morris, 1990) ดังภาพที่ 6C โดย Brownsey *et al.* (1989) ศึกษาลักษณะและสมบัติของเจลผสมระหว่างไข่ขาวกับสตาร์ชถั่ว พบว่าลักษณะโครงสร้างภายในของเจลคือ phase separated gel และมีผลทำให้ modulus of small deformation ของเจลสูงขึ้น



ภาพที่ 6 ชนิดของการเกิดเจลผสมระหว่างสารสองชนิด

- (A) การเกิดเจลของสารชนิดเดียวโดยมีสารอีกชนิดแทรกในช่องว่าง
- (B) การแทรกกันของเจลของสาร 2 ชนิด
- (C) การเกิดเจลแบบแยกเฟสของสาร 2 ชนิด

ที่มา: Aguilera and Stanley (1999)

7. ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวเจ้าที่นำมาไม่ หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้น มีความหนาสม่ำเสมอไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร มีสีขาวนวล ไม่มีกลิ่นหืน นุ่ม และเหนียว ไม่เกาะติดกัน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [มอก. 959 – 2533], 2533) ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เป็นอาหารหลักเช่นเดียวกับข้าวสาร และข้าวกล้อง ซึ่งมีทั้งก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เส้นเล็ก เส้นหมี่ วัตถุดิบที่ใช้

ผลิตมักเป็นข้าวหักที่มาจากข้าวแอมิโลสสูง นำมาไม่เปียกเช่นเดียวกับการแปรรูปเป็นแป้งข้าว แล้วให้ความร้อนแก่ก้อนแป้ง หรือน้ำแป้งต่อไป ตามกรรมวิธีของแต่ละผลิตภัณฑ์ซึ่งให้ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส กลิ่น และรสชาติ แตกต่างกันไป (อรอนงค์, 2550)

8. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

8.1 แป้งข้าวเจ้า

แป้งที่คนไทยเรียกกันทั่วไปนั้น ได้รวมความหมายเกี่ยวกับการเรียกแป้งในภาษาอังกฤษ 2 ประเภทด้วยกัน คือ ฟลาว (flour) และสตาร์ช (starch) ซึ่งฟลาวและสตาร์ชนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีต่างกัน ส่งผลให้สมบัติต่างกันไปด้วย

ฟลาว (flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด และ แป้งจากลำต้นสาธู เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบทั้งหมดมาโม่หรือบด จนละเอียดมาก ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาว จึงประกอบไปด้วย สารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น (อรพิน, 2533)

สตาร์ช (starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผ่านการแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็น คาร์โบไฮเดรตไว้โดยมีสารอื่นมาปะปนน้อยที่สุด ดังนั้นสตาร์ชจึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็น คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ (อรพิน, 2533) เมื่อตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าวเจ้าพบว่า มีโปรตีนปนอยู่เล็กน้อยคือ ร้อยละ 0.02 - 0.12 (อรอนงค์, 2550) ตัวอย่างสตาร์ชที่ผลิตในประเทศไทยคือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีที่ทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จึงจัดเป็นสตาร์ช (cassava starch)

ซึ่งคำว่าแป้งข้าวเจ้าที่จะกล่าวต่อไปในรายงานฉบับนี้หมายถึง ฟลาว (flour)

แป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์เส้นแป้ง ต้องมาจากข้าวที่มีแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 27 เป็นข้าวเก่าเก็บไว้อย่างน้อย 4 เดือน (อรอนงค์, 2550) และมีค่าเซตแบค (set back) สูงกว่า 300 บราเวนเดอร์ยูนิต (B.U.) (ณรงค์, 2538) เพราะหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นตัวลง แป้งสุกเกิดภาวะการคืนตัว และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียว

หยุ่นไม้และติดกัน (งามชื่น, 2541) พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดี และเหมาะสำหรับทำก๋วยเตี๋ยวมีหลายพันธุ์ อาทิเช่น ข้าวเหลือง 11(วีระสิทธิ์ และ กุลกานต์, 2548) ข้าวเหลืองประทิว 123 ข้าวขาว 500 และ กข 1 (เสนอ, 2522)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้าคือ คาร์โบไฮเดรต หรือก็คือสตาร์ช (starch) ซึ่งสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะคือ แอมิโลส (amylose) และ แอมิโลเพกทิน (amylopectin) โครงสร้างของพอลิเมอร์ทั้งสองแสดงดังภาพที่ 7

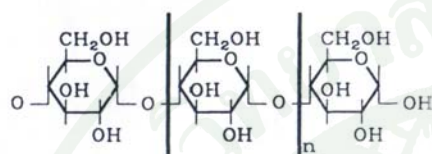
แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง ด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 (α -1, 4) และมีกิ่งก้านบ้างเล็กน้อย ซึ่งแอมิโลสของข้าวมีขนาดโมเลกุลที่ประกอบด้วยกลูโคส 1100 - 1700 หน่วย (Zhou *et al.*, 2002b) แอมิโลสบางส่วนรวมอยู่ในโมเลกุลแอมิโลเพกทินในส่วนของอสัณฐาน (amorphous) แอมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของแอมิโลเพกทินโดยเกิดเป็นเกลียวคู่กับแอมิโลเพกทินในส่วนของผลึก (crystalline) โครงสร้างของแอมิโลสอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) (กล้านรงค์และเกื้อกุล, 2546) ซึ่งแอมิโลสจะม้วนตัวโดยหันส่วนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล ออกจากนอกเกลียวม้วน ขณะที่ภายในเกลียวมีลักษณะเป็นท่อกลวง และมีสมบัติไฮโดรโฟบิก ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน หรือสารที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกได้ (Zhou *et al.*, 2002a)

แอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิด แอลฟา-1, 4 (α -1, 4) และมีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขามากมายที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้นซึ่งมีขนาด 20 - 28 หน่วยกลูโคส (Zhou *et al.*, 2002b) โดยจุดที่เป็นกิ่งก้านนั้นเชื่อมต่อดัวยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1, 6 (α -1, 6) เนื่องจากแอมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งจึงแบ่งชนิดของสายโซ่กิ่งได้ 3 ชนิด คือ

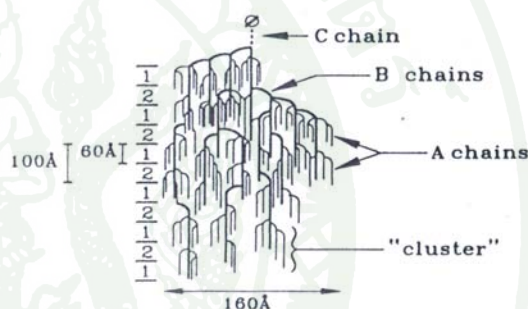
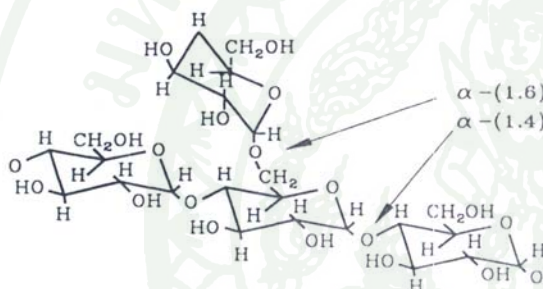
1. สาย A (A-Chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)
2. สาย B (B-Chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า
3. สาย C (C-Chain) เป็นสายแกนหลักซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ 1 หมู่ในแอมิโลเพกทิน 1 โมเลกุลประกอบด้วยสาย C เพียง 1 สายเท่านั้น

สายโซ่เหล่านี้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) โดยบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนผลึก (crystalline regions) และบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนอสัณฐาน (amorphous regions) โครงสร้างของแอมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนของผลึก และส่วนอสัณฐานแสดงดังภาพที่ 7

Amylose



Amylopectin



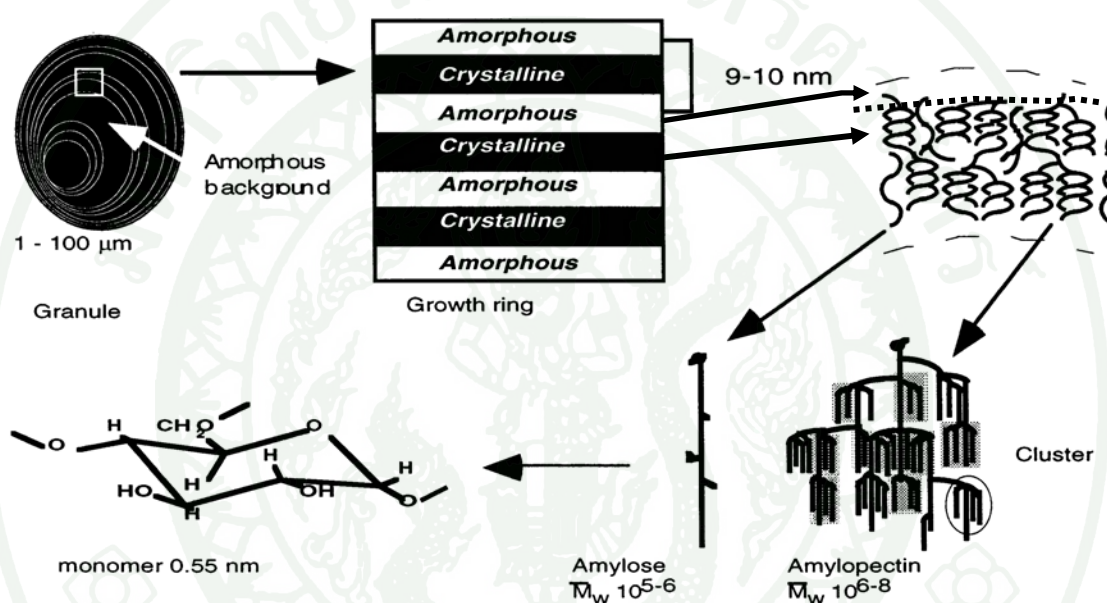
ภาพที่ 7 แอมิโลส และแอมิโลเพกติน

ที่มา: Anonymous (2009)

โมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกตินจัดเรียงตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) โดยมีการจัดเรียงตัวในแนวรัศมีจากจุดกึ่งกลาง ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจึงมีโครงสร้างเป็นลักษณะกึ่งผลึก (semi-crystalline) มีส่วนที่เป็นผลึก และส่วนอสัณฐานดังภาพที่ 8 โดย สายพอลิเมอร์ของกลูโคสมาเรียงขนานกัน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่าง 2 สาย หรือเกิดการรวมตัวกับน้ำ เกิดเป็นพื้นที่ส่วนที่เรียกว่าผลึก ส่วนผลึกนี้เกิดจากแอมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหสามมิติด้วยพันธะไฮโดรเจน ในแป้งจากหัวหรือรากส่วนของแอมิโลเพกตินจะมีโครงสร้างเป็นผลึก และส่วนแอมิโลสจะอยู่ในส่วนของอสัณฐาน สำหรับแป้งจากธัญพืช ส่วนแอมิโลเพกตินจะรวมตัวกันเป็นผลึก ส่วนแอมิโลสจะรวมตัวกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมัน และแอมิโลส

(amylase-lipid complex) เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่มีผลในการเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดสตาร์ชจึงมีผลทำให้แป้งจากธัญพืชพองตัวได้ช้ากว่าแป้งจากหัวหรือราก

เม็ดสตาร์ชข้าวมีขนาด 3 - 5 ไมครอน ซึ่งเล็กที่สุดในกลุ่มของธัญชาติ รูปร่างของเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม (polyhedral) รวมตัวกันอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ของเซลล์จำนวน 20 - 60 เม็ดสตาร์ช มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในแอมิโลพลาสต์นี้ประมาณ 7 - 39 ไมครอน (อรอนงค์, 2550)



ภาพที่ 8 การจัดเรียงตัวของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช

ที่มา: Buleon *et al.* (1998)

สัดส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินนั้นแตกต่างกันกับชนิดของข้าว โดยพบว่าสตาร์ชข้าวเจ้ามีแอมิโลสร้อยละ 15 - 35 สตาร์ชข้าวเหนียวมีแอมิโลเพกทินเกือบร้อยละ 100 หรืออาจมีแอมิโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย สัดส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน หรือที่เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่าปริมาณแอมิโลส เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน คือ ข้าวแอมิโลสสูงสามารถดูดน้ำ และขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ และทำให้ข้าวสุกมีลักษณะที่บวมใสไม่เลื่อมมัน แข็ง และร่วน ส่วนข้าวเหนียวดูดน้ำ และขยายตัวน้อยกว่าข้าวเจ้า ซึ่งข้าวสุกที่ได้เหนียว และนุ่มกว่า (Juliano, 1968) ในข้าวสารมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 7

โปรตีนในขั้วนั้นมี ปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมในการปลูก โดยทั่วไป ปริมาณโปรตีนในขั้วมีน้อยกว่าในธัญชาติอื่นๆ โปรตีนที่มีในขั้วนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของ เมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด (อรอนงค์, 2550)

ผิวของเมล็ดสตาร์ชมีลักษณะไม่เรียบ และมีส่วนของปลายด้านที่ไม่มีหุ้มรีดิวซิงของโมเลกุล แอมิโลส และแอมิโลเพกทินยื่นออกมา โดยการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ทั้งสองที่ผิวเมล็ดสตาร์ชยัง ไม่มีข้อมูลแน่ชัด ซึ่งส่วนที่ยื่นออกมาจากผิวของสตาร์ชคาดว่าเป็นปลายของแอมิโลสหรือแอมิโลเพกทินที่จัดเรียงตัวอยู่ในส่วนที่เป็นส่วนผลึกของคลัสเตอร์ของแอมิโลเพกทินที่ผิวของเมล็ดสตาร์ช Baldwin *et al.* (1997) ตรวจสอบผิวของสตาร์ชด้วย Atomic force microscope พบว่าที่ผิวของ สตาร์ชมีลักษณะเป็นรอยนูน ซึ่งก็คือ กลุ่ม (cluster) ของแอมิโลเพกทินที่เรียงตัวติดกันตั้งแต่หนึ่ง กลุ่มหรือมากกว่า ต่อมา Tang *et al.* (2006) รายงานว่าที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชมีรูพรุนซึ่งมีการศึกษา และพบในทำนองเดียวกันนี้ในงานวิจัยอีกหลายงานวิจัย (Fannon *et al.*, 1992; Fannon *et al.*, 1993; Bladwin *et al.*, 1994; Huber and BeMiller, 2000) ซึ่งรูบริเวณพื้นผิวของเมล็ดสตาร์ชสามารถให้น้ำ และสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กผ่านได้ (ขนาดไม่เกิน 1,000 Da) จากการตรวจสอบขนาดของรูพรุน โดย Transmission electron microscope (TEM) พบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ไมครอน และมีช่องภายในขนาด 0.07 - 0.1 ไมครอน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) ซึ่งรูพรุนคือบริเวณที่เป็นส่วน อสัณฐานที่แทรกเข้าไปภายในเมล็ดสตาร์ช โดยที่องค์ประกอบที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ และมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่พบ เช่น โปรตีน ไขมัน

โปรตีนที่อยู่ผิวของสตาร์ชส่วนใหญ่คือ โปรตีนสะสมที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ โดยโปรตีนที่ อยู่ในพื้นที่ผิวของสตาร์ชข้าวเป็นโปรตีนที่ประกอบไปด้วยกรดแอมิโนชนิดเบส และชนิดไฮโดรโฟ- บิก (Bladwin, 2001) โดยดูดซับอยู่ที่ผิวของสตาร์ช หรือบางส่วนอาจเกิดพันธะกับไขมันที่มีขั้ว เช่น ฟอสโฟลิปิด และไกลโคลิปิด (Debet and Gidley, 2006) โปรตีนที่พบในแป้งข้าวคือ กลูเทลิน หรือ เรียกว่า ออริซานิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากโดยแทรกตัวอยู่ระหว่างเมล็ดสตาร์ชภายในเมล็ดข้าว ออริซานินเป็นโปรตีนสะสมที่มีรูปร่างกลม ละลายในสารละลายเบส จัดเป็นโปรตีนสะสมหลักของ ข้าว (Xie, 2008)

ไขมันที่ผิวของสตาร์ชข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมา คือ ฟอสโฟลิปิด และ ไกลโคลิปิด โดยสตาร์ชข้าวมีไขมันร้อยละ 0.5 – 1 (Zhou *et al.*, 2002b) ซึ่งไขมันเหล่านี้จะอยู่ที่ผิว สตาร์ชร่วมกับโปรตีน แต่มีบางส่วนอาจอยู่ร่วมกับโครงสร้างของโมเลกุลแอมิโลเพกทินสายนอก

(chain A และ chain B) นอกจากนี้ไขมันบางส่วนอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลเอมิโลส คือแทรกตัวอยู่ในเกลียวของโมเลกุลเอมิโลส และมีไขมันบางส่วนอยู่อย่างอิสระในเม็ดสตาร์ช ซึ่งไขมันมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวเพิ่มขึ้น

ดังนั้นผิวของเม็ดสตาร์ชจึงมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเม็ดสตาร์ชกับสารอื่นๆ ที่เติมลงไป เพราะอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับสมบัติของโปรตีน และไขมันที่ผิวของเม็ดสตาร์ช (Eliasson and Gudmundsson, 1996) นอกจากนี้ทั้งไขมัน และโปรตีนยังมีผลต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ช อาจมีผลต่อการเกิดเจลในชั้นของเม็ดสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเกิดช้า ทำให้ไม่เสียรูปร่างได้ง่าย (อรอนงค์, 2550) หรือพบว่าเม็ดสตาร์ชที่มีไขมันฟอสโฟลิปิดมากแสดงค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ต่ำกว่าเม็ดสตาร์ชที่มีไขมันที่ผิวน้อย (Debet and Gidley, 2006) ส่วน Brewey (2006) รายงานว่าโปรตีนที่ผิวของสตาร์ชนี้เป็นตัวแปรสำคัญในการเกิดอันตรกิริยากับโปรตีนภายนอกที่ถูกเติมลงไป เมื่อสกัดโปรตีนที่ผิวของสตาร์ชของข้าวสาลีออก แล้วเติมโปรตีนจากภายนอกเข้าไปแทน พบว่าการเชื่อมต่อหรือการจับกันระหว่างโปรตีนจากภายนอกและสตาร์ช ลดลง ปริมาณโปรตีนมีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารเส้น โดยโปรตีนทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลง และทำให้ความเหนียวของเส้นลดลง (งามชื่น, 2536)

8.2 น้ำ

น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาด เหมาะสำหรับบริโภค พีเอชควรอยู่ระหว่าง 5.0 – 7.0 จะให้เจลที่มีความเหนียวสูงสุด ถ้ามีพีเอชสูง หรือต่ำกว่าเกณฑ์ เจลจะมีความเหนียวน้อยลงเนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชแตกตัว นอกจากนี้ถ้าใช้ไม่ควรมีเกลือเคลเซียมหรือแมกนีเซียมมากเกินไป เพราะเกลือทั้งสองนี้มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชแตกตัวยาก (ณรงค์, 2538) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตเป็นปัจจัยที่ควบคุมความแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยว ถ้าใช้ปริมาณน้ำน้อยเกินไปมีผลทำให้เนื้อเส้นก๋วยเตี๋ยวแข็ง แต่ถ้าใช้ปริมาณน้ำมากเกินไปจะทำให้ก๋วยเตี๋ยวนิ่มและขาดง่าย โดยปริมาณน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 62 - 65 ในทางปฏิบัติแล้วไม่จำเป็นต้องคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ (ณรงค์, 2538)

9. การเปลี่ยนแปลงของแป้งในระหว่างให้ความร้อน

9.1 การเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อเติมน้ำลงไปแป้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นของเม็ดสตาร์ชกับความชื้นในบรรยากาศ แป้งดิบไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินส์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชดูดน้ำ โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้มากขึ้นทำให้เกิดความหนืด สมบัติการเกิดไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) หดไป ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) การเกิดเจลาตินในเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 – 12 องศาเซลเซียส (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

ดังนั้นจึงสามารถแบ่งระยะการเปลี่ยนแปลงของความหนืดการเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลแป้งกับน้ำได้เป็น 3 ระยะ คือ

ระยะแรกเมื่ออยู่ในน้ำเย็นเม็ดสตาร์ชสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย ซึ่งสตาร์ชไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาตินส์ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ร้อยละ 20-30 ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก และยึดเกาะกันเองได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน ให้ความความหนืดของน้ำแป้งไม่เปลี่ยนแปลง เม็ดสตาร์ชจึงยังคงรูปร่าง

ระยะที่สองเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายลง เม็ดสตาร์ชดูดน้ำอย่างรวดเร็วทำให้เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยการอู่มน้ำของเม็ดสตาร์ชบริเวณออสันฐานจะดูดน้ำได้มากกว่าบริเวณผลึก หลังจากนั้นเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวสูงขึ้นทำให้ความหนืดของแป้งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบๆ เหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวมากขึ้น ให้ความความหนืดสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า

อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลไทโนซ์ เมื่อตรวจด้วยเครื่องวัดความหนืดมักเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด เม็ดสตาร์ชที่ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลไทโนซ์-ชันแล้ว ได้รับความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมากที่สุดที่จุดสูงสุด ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เมื่อให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดสตาร์ชซึ่งพองตัวเต็มที่แล้วแตกออกในที่สุด ทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น (Collision, 1968; Swinkle, 1985) กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงโดยน้ำหนักของเม็ดสตาร์ช ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้ในน้ำ (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) โมเลกุลของแอมิโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกมาจากเม็ดสตาร์ชก่อน ความหนืดของสารละลายจึงลดลง

ระยะที่สามคือ เมื่อลดอุณหภูมิหรือปล่อยให้แป้งเปียกเย็นตัวลง โมเลกุลแอมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชเกิดการเรียงตัวกันใหม่ โดยจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ การจับตัวกันของแอมิโลสจะเกิดขึ้นทั้งในเม็ดสตาร์ชที่ยังไม่แตกตัวและนอกเม็ดสตาร์ช จึงทำให้เกิดความข้นหนืดที่คงตัวยิ่งขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เจล และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจล ถ้าน้ำแป้งมีความเข้มข้นต่ำการจับเรียงตัวกันของแอมิโลสจะไม่ทำให้เกิดเจล แต่จะทำให้เกิดลักษณะเป็นตะกอนสีขาวขุ่น แต่ถ้าน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง จะมีการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสมาก และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้อีกทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนเกิดเจล โดยการจับตัวกันหรือการจัดเรียงตัวของแอมิโลสนอกเม็ดสตาร์ชมีความสำคัญต่อความเหนียวของเจล

โปรตีนและไขมันมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว และสตาร์ชของข้าว โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด (amylose-lipid complex) มีผลทำให้สตาร์ชมีกำลังการพองตัวน้อย ซึ่งค่ากำลังการพองตัวนี้ นับเป็นดัชนีหนึ่งที่บอกลักษณะคุณภาพความแข็งแรงของเจลแป้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสที่เหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว เจลที่มีค่ากำลังการพองตัวสูงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เป็นคุณสมบัติที่ต้องการของเส้นก๋วยเตี๋ยว อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาพร้อมกับค่าการละลายของเจลด้วย

ดังนั้นในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้นซึ่งต้องนึ่งแผ่นแป้งหรือเส้นให้สุก จึงควรคำนึงถึงระดับอุณหภูมิแป้งสุกเพื่อใช้ในการปรับระยะเวลานึ่งแป้งให้เหมาะสม หรือหาระยะเวลาหุงต้มข้าวให้สุกโดยตรง (งามชื่น, 2536)

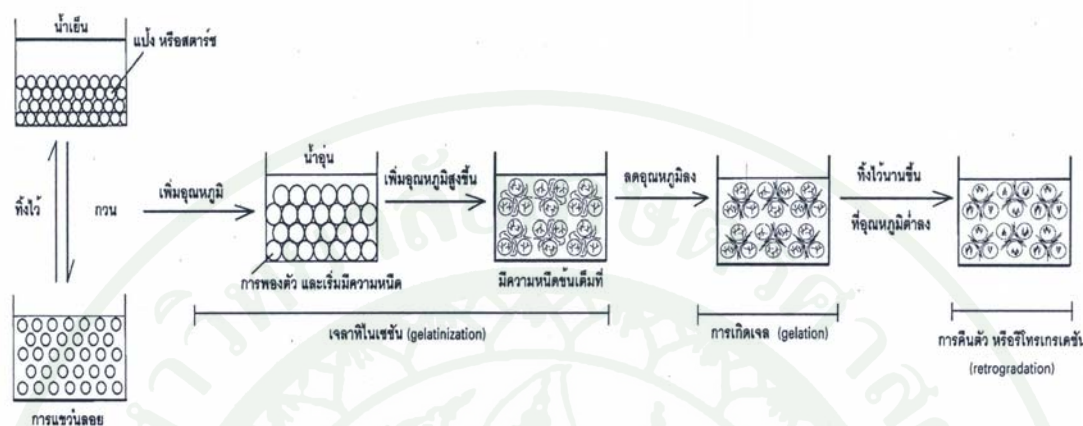
9.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) คือกระบวนการที่เกิดจากโมเลกุลเคลื่อนที่มาจัดเรียงตัวใหม่เกิดโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (recrystallization) พบในแป้งเปียก เจล และในผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้ง (Ward *et al.*, 1994) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อตั้งแป้งเปียกทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น โมเลกุลจะจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Collison, 1968) โดยแอมิโลสซึ่งมีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงจะเข้าไปเกาะเกี่ยวกัน (อำพร, 2544)

ดังนั้นการเกิดรีโทรเกรเดชันในช่วงแรกเกิดจากแอมิโลส ส่วนแอมิโลเพกทินมีผลต่อรีโทรเกรเดชันในระยะยาว (Huang and White, 1993) การจับตัวกันของแอมิโลสขึ้นกับขนาดโมเลกุลของแอมิโลสด้วย ถ้าแอมิโลสมีขนาดเล็ก โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวยู่เสมอและค่อนข้างเร็ว การจับตัวกันจึงไม่เกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นได้ยาก แต่เมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนไหวจึงช้าลง มีผลทำให้การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดได้ดีขึ้น แต่ถ้าโมเลกุลแอมิโลสมีขนาดใหญ่มาก การเคลื่อนที่ช้ามาก การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนสภาพจะเกิดขึ้นได้ช้า (Collison, 1968) ซึ่งขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 100 - 200 หน่วยกลูโคส (อำพร, 2544) นอกจากนั้น การเกิดรีโทรเกรเดชันยังขึ้นอยู่กับการมีแอมิโลส อุนหนุมิ พีเอช และสารอื่นๆ การเกิดรีโทรเกรเดชันจะเกิดได้เร็วเมื่อมีอุนหนุมิดำ และพีเอช เท่ากับ 7 ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนสภาพของแอมิโลส อาจเป็นสิ่งที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเหนียว และความชุ่ม เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ เป็นต้น แต่บางครั้งไม่เป็นที่ต้องการของผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ การคืนสภาพของแป้งมีผลทำให้เจลมีสีขุ่น ทนกรด และเอนไซม์แอมิเลสได้ดี นอกจากนี้เจลที่ได้ยังไม่มีปฏิกิริยากับไอโอดีน ไม่ละลายน้ำ แต่ยังคงละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ณรงค์, 2540)

การเกิดรีโทรเกรเดชันนี้มีผลทำให้เจลมีความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดรีโทรเกรเดชันมากขึ้นหรือมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเจลจะถูกบีบออกมาภายนอก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ซินเนอร์ซิส (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

การเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้งในน้ำ โดยเพิ่ม และลดอุณหภูมิตามกระบวนการแปรรูปแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง หรือสตาร์ชในน้ำ โดยเพิ่มอุณหภูมิ และลดอุณหภูมิ ตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

นิยมตรวจสอบพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer: RVA) เป็นเครื่องมือในการประเมินความหนืดของตัวอย่างขณะที่ให้ความร้อน และขณะที่ทำให้เย็น คุณสมบัติพิเศษคือมีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดี ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย และเวลาสั้น (อรอนงค์, 2550) เป็นวิธีการที่สามารถใช้บ่งบอกถึงสมบัติด้านความหนืดของแป้ง และสตาร์ชเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ใช้ในการประเมิน และคัดเลือกแป้งในการผลิตกล้วยเดี่ยวเพื่อให้ได้กล้วยเดี่ยวที่มีความเหนียว และลักษณะที่ดีได้ เพราะแป้งมีพฤติกรรมความหนืดที่เป็นสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป

10. การอบหรือตากแห้ง

เนื่องจากก้วยเตี่ยวสดมีความชื้นสูงมาก ทำให้ไม่สามารถเก็บได้นาน จำเป็นต้องลดความชื้นโดยการอบแห้งหรือตากแดด จนเส้นก้วยเตี่ยวมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ถ้าต้องการบรรจุในกล่องที่มีขนาดต่างๆ กัน ผู้ผลิตจะต้องจัดเส้นก้วยเตี่ยวให้อยู่ในรูปที่ต้องการก่อนทำแห้ง มิฉะนั้นจะไม่สามารถทำได้หลังจากที่เส้นแห้ง และแข็งแล้ว ควรปล่อยให้เส้นก้วยเตี่ยวแห้งเย็นสนิทอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนการบรรจุถุงพลาสติก เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำอันเนื่องมาจากเส้นยังไม่เย็นสนิท ทำให้มีความร้อนระเหยน้ำออกมาภายในถุงหลังปิดผนึก ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นหรือเกิดเชื้อราขึ้นได้

11. คุณภาพของเส้นก้วยเตี่ยว⁺

11.1 คุณภาพทางโภชนาการ

เส้นก้วยเตี่ยวมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับข้าวที่ใช้ผลิต โดยคิดจากน้ำหนักของแข็งที่ไม่รวมน้ำพบว่ามีโปรตีนร้อยละ 7.14 ไขมันร้อยละ 0.89 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 91.12 เถ้าร้อยละ 0.5 และเส้นใยร้อยละ 0.35 อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับข้าวที่ใช้ เช่น ก้วยเตี่ยวที่ทำจากข้าว กข 1 จะมีโปรตีนค่อนข้างต่ำ คือ ร้อยละ 6.2 แต่ถ้าหากทำจากข้าวเหลืองประทิวจะมีโปรตีนร้อยละ 7.2 (ณรงค์, 2538)

11.2 คุณภาพทางฟิสิกส์

ก้วยเตี่ยวมีสีแตกต่างกันมาก ข้าวที่มีโปรตีนสูงมักมีสีคล้ำ ในขณะที่ข้าวโปรตีนต่ำจะมีสีขาวนวล สีเหลืองคล้ำเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดแอมิโน ให้สารประกอบสีน้ำตาล สีเหลืองจะเกิดมากเมื่อน้ำที่มีสมบัติเป็นเบส

12. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากข้าว: การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

จากข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทยที่จัดทำโดย กองโภชนาการ กรมอนามัย (2535) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารอาหารต่อ 100 กรัมส่วนที่กินได้ของอาหารประเภทเส้นก้วยเตี่ยวพบว่าเส้นก้วยเตี่ยวให้พลังงาน 135 กิโลแคลอรี มีปริมาณ ความชื้น 67.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 29.4

กรัม โปรตีน 2.5 กรัม ไขมัน 0.8 กรัม เส้นใยหยาบ 0.1 กรัม เถ้า 0.1 กรัม แสดงให้เห็นว่าก้วยเตี๋ยวให้คุณค่าทางโภชนาการในด้านพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของเส้นก้วยเตี๋ยวจึงทำได้โดยการเสริมโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม และพว่องไขมัน (Kanchanapakornchai, 2523; นัทญา, 2530) เนื้อสัตว์ (สุภาพรรณ, 2534; มณีรัตน์, 2538) สาหร่ายสไปรูลีนา (กุลกานต์, 2547) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมผัก เช่น ฟักทอง คื่นช่าย ใบเตย ลงในส่วนผสมน้ำแป้ง เพื่อให้เส้นก้วยเตี๋ยวมีวิตามิน กลีโอสและเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2550)

กุลกานต์ (2547) ผลิตอาหารเส้นเสริมสาหร่ายสไปรูลีนา โดยใช้ข้าวพันธุ์เหลือง 11 ในการผลิตเส้นก้วยเตี๋ยวสดใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 35 และสาหร่ายร้อยละ 0.5 ศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายสไปรูลีนาต่อองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณโปรตีนของเส้นก้วยเตี๋ยวสดที่เสริมสาหร่ายมีร้อยละ 10.98 ขณะที่เส้นก้วยเตี๋ยวสดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.50 มีปริมาณกรดแอมิโนจำเป็น และกรดแอมิโนไม่จำเป็นมากกว่าเส้นก้วยเตี๋ยวสด และมีความเหนียวมากกว่าเส้นก้วยเตี๋ยวสด โดยเมื่อวัดค่าความเหนียวของเส้นก้วยเตี๋ยวสด และเส้นก้วยเตี๋ยวสดที่เสริมสาหร่ายด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสได้ค่าความเหนียวเท่า กับ 0.082 นิวตัน และ 0.159 นิวตัน ตามลำดับ เมื่ออบแห้งเส้นก้วยเตี๋ยวเสริมสาหร่ายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และเก็บนาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 เดือน ในสภาวะที่มีแสง และไม่มีแสง เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาพบว่าเส้นก้วยเตี๋ยวเมื่อเก็บนานขึ้นมีความชื้นเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มของอัตราการคืนตัวลดลง มีความเหนียวมากขึ้น และสีเขียวของเส้นก้วยเตี๋ยวเสริมสาหร่ายมีสีจางลงโดยที่ก้วยเตี๋ยวที่เก็บในสภาวะที่ไม่มีแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงสีต่ำกว่าก้วยเตี๋ยวที่เก็บในสภาวะที่มีแสง

Kanchanapakornchai (2523) ผลิตเส้นก้วยเตี๋ยวเสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม และแป้งถั่วเหลืองชนิดสกัดไขมันออก พบว่าการเสริมแป้งถั่วเหลืองก่อให้เกิดการหมักอย่างรวดเร็วในระหว่างการเตรียมน้ำแป้ง และก่อให้เกิดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เส้นก้วยเตี๋ยว ซึ่งแก้ไขปัญหาดังกล่าว 2 โดยการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ร้อยละ 2 นอกจากนี้พบว่าเส้นก้วยเตี๋ยวที่เติมแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มเกิดปัญหาการเกิดกลิ่นหืนเมื่อเก็บนาน 1 สัปดาห์

นัทญา (2530) ทดลองผลิตเส้นก้วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้า และเส้นก้วยเตี๋ยวเสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองชนิดสกัดไขมันออก โดยใช้สัดส่วนส่วนผสมแห้งคงที่ที่ร้อยละ 35 พบว่าสามารถใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันจากกองเกษตรเคมีในปริมาณร้อยละ 20 ในการผลิตเส้นก้วยเตี๋ยวสด และเส้นก้วยเตี๋ยวแห้ง ซึ่งทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

มณิรัตน์ (2538) ทำก้วยเตี๋ยเสริมโปรตีนด้วยเนื้อสัตว์ พบว่าการเติมเนื้อสัตว์สุกมีผลทำให้เส้นก้วยเตี๋ยมีความเหนียวและยืดหยุ่นกว่าเส้นก้วยเตี๋ยที่เสริมด้วยเนื้อสัตว์ดิบ และพบว่าเส้นก้วยเตี๋ยที่เสริมเนื้อไก่สุกร้อยละ 10 ก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อปลาสุก ก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อกุ้งสุก และก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อหมึกสุกที่ร้อยละ 12 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของก้วยเตี๋ยข้าวเจ้าล้วน เส้นก้วยเตี๋ยที่เสริมเนื้อไก่สุก ก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อปลาสุก ก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อกุ้งสุก และก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อหมึกสุก พบว่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.35 9.18 10.57 และ 9.86 ตามลำดับ ส่วนในการศึกษาอายุการเก็บก้วยเตี๋ยเสริมเนื้อสัตว์อบแห้งในอุณหภูมิโพธิ์ลิ้นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าก้วยเตี๋ยมีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะด้านคุณภาพมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มเก็บ

Marco and Rosell (2008) เติมน้ำข้าว และ เวย์โปรตีนลงในแป้งข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเสริมโปรตีนโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดซึ่งได้แก่ น้ำข้าว และ โปรตีนเวย์ ตรวจสอบพฤติกรรมด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดของการเติมโปรตีนร้อยละ 5 ของน้ำหนักแป้งผสมโปรตีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว พบว่าโปรตีนมีผลต่อพฤติกรรมด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว โดยโปรตีนทั้งสองลดค่าความหนืดลดลง (breakdown) มีค่าต่ำกว่าระบบแป้งข้าวล้วน เนื่องมาจากการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนซึ่งเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนทั้งสอง และเจลมีความแข็งหรือข้นหนืดมากขึ้น จึงช่วยทำให้เจลแป้งผสมโปรตีนมีความแข็งแรง มีความหนืดสูง และทนต่อการกวน เมื่อศึกษาค่าการคืนตัวกลับ (setback) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแอมิโลส โดยแอมิโลสเกิดการเรียงตัวเป็นร่างแหสามมิติขึ้น เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของแอมิโลสทำให้ได้ลักษณะ โครงสร้างใหม่เกิดเป็นเจลเมื่อลดอุณหภูมิลง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือค่าการคืนตัวกลับของเจลแป้งผสมโปรตีนมีค่าสูงกว่าค่าการคืนตัวกลับของระบบเจลแป้งล้วน โดยค่าการคืนตัวกลับของเจลแป้งล้วน เจลแป้งผสมโปรตีนน้ำข้าว และ เจลแป้งผสมเวย์โปรตีน มีค่าเท่ากับ 505 728 และ 879 เซนติพอยซ์ (cP) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดเจลโปรตีนช่วยเสริมให้ค่าดังกล่าวสูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการผสมพอลิเมอร์ หลายชนิดระบบอาหารมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งแรง คงทน เนื่องมาจากการเสริมกันของเจลของพอลิเมอร์ เมื่อเทียบกับเจลของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ เพียงชนิดเดียว

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Aguilera and Rojas (1996) พบว่าเจลผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 20 ขึ้นไป กับเวย์โปรตีนมีค่า storage modulus ค่าที่บ่งบอกว่าเจลนั้นมีความเป็นของแข็ง เจลที่ได้มีลักษณะแข็งมากกว่าเจลที่เกิดสารตัวใดตัวหนึ่งเพียงชนิดเดียว โดยการเสริม

ความแข็งแรงของเจลให้แกกันในระบบที่เป็นเจลผสมอาจเกิดจากการที่พอลิเมอร์สองชนิดนั้นเข้ากันได้ เช่น สามารถเกิดพันธะทางเคมีร่วมกัน จึงเกิดโครงร่างที่ต่อเนื่องของพอลิเมอร์สองชนิดต่อเนื่องกันไป หรือเจลผสมนั้นอาจเกิดจากสารที่สามารถเกิดเจลได้ และมีสารอีกชนิดหนึ่งแทรกตัวอยู่ในโครงร่างเจลที่ต่อเนื่อง



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

- 1.1 แป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ขอสง จำกัด จังหวัด นครปฐม
- 1.2 ไข่เป็ดสดที่อายุไม่เกิน 3 วัน

2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมดเป็นสารเคมีคุณภาพ Analytical grade

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ยี่ห้อ Merck จากบริษัท Merck KGaA

2.2 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) ยี่ห้อ J.T.Baker จากบริษัท J.T.Baker

2.3 กรดบอริก (Boric acid; H_3BO_3) ยี่ห้อ Merck จากบริษัท Merck KGaA

2.4 เอทานอล (Ethanol; C_2H_5OH) ยี่ห้อ Merck จากบริษัท Merck KGaA

2.6 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ยี่ห้อ Analar จากบริษัท BDH Laboratory Supplies

2.7 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate; K_2SO_4) ยี่ห้อ UNIVAR จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited

2.8 เมทิลเรด (Methyl red; $C_{15}H_{15}N_3O_2$) ยี่ห้อ BDH จากบริษัท BDH Chemical Limited

2.9 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green; $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$) ยี่ห้อ LABCHEM จากบริษัท Ajax Finechem

2.10 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ยี่ห้อ J.T.Baker จากบริษัท J.T.Baker

2.11 โรดามีน บี (Rhodamine B) ยี่ห้อ Invitrogen

2.12 ฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยาเนต (fluorescein isothiocyanate; FITC) ยี่ห้อ Invitrogen

- 2.13 ไอโอดีน (Iodine; I_2) ยี่ห้อ UNIVAR จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals limited
- 2.14 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide; KI) จากบริษัท Ajax Finechem
- 2.15 ไดเมทิล ซัลโฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide; DMSO) ยี่ห้อ ExcelsaR จากบริษัท Fisher Scientific

3. เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1 เครื่องมือสำหรับผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

- 3.1.1 ตะแกรงร่อนแป้งขนาด 100 เมช
- 3.1.2 หม้อนึ่งไฟฟ้า (Steam cooker) ยี่ห้อ Nesco รุ่น Steam Pro 2 ประเทศไทย
- 3.1.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)
- 3.1.4 เครื่องชั่งสองตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น GT 4100
- 3.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ Rixen รุ่น T-60 ประเทศ Taiwan
- 3.1.6 ถาดสแตนเลส
- 3.1.7 ผ้าขาวบาง

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

- 3.2.1 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter) รุ่น Microcomputer pH-vision 6071 จากบริษัท Jenco Electronics Limited ประเทศ China
- 3.2.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 854-Schwabach ประเทศ Germany
- 3.2.3 เครื่องเผาถ่าน (Muffle furnace) รุ่น Tactical 308 ยี่ห้อ Gallenkamp ประเทศ U.K.
- 3.2.4 ชุดวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ BÜCHI Labortechnik AG ประเทศ Switzerland
- 3.2.5 ชุดวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT 1043 Extraction Unit ยี่ห้อ Tecator ประเทศ Sweden
- 3.2.6 เครื่องชั่งชนิดละเอียด (analytical balance) รุ่น Analytical Plus ยี่ห้อ Ohaus
- 3.2.7 ไมโครปิเปต ยี่ห้อ Pipette Man จากบริษัท Gilson S.A.S. ประเทศ France

3.2.8 ไมโครมิเตอร์

3.2.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (shaking water bath) รุ่น BS-11 บริษัท Jeio Tech Limited ประเทศ Korea

3.2.10 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น MR –F23P-SL ประเทศ Thailand

3.2.11 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตั้งโต๊ะ (Desktop centrifuge) รุ่น Damon IEC Division ยี่ห้อ IEC Clinica Centrifuge ประเทศ USA

3.2.12 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco analyzer) รุ่น RVA3D บริษัท Newport Scientific Instruments & Engineering ประเทศ Australia

3.2.13 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) รุ่น TA-XT2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศ USA

3.2.14 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น CM-3500d บริษัท Minolta ประเทศ Japan

3.2.15 เครื่องวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Precision Humidity Measuring Instrument) ยี่ห้อ Testo รุ่น 650 ประเทศ China

3.2.16 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมดาชนิดเลนส์วัตถุเดี่ยว (Light microscope) ยี่ห้อ Leica

3.2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น SU 1500 บริษัท Hitachi ประเทศ Japan ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท โคเอกซ์ กรุ๊ป คอร์ปอเรชั่น จำกัด

3.2.18 กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (Confocal Laser Scanning Microscope; CLSM) รุ่น LSM5 PASCAL บริษัท ZEISS ประเทศ Germany

3.2.19 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

3.2.20 อุปกรณ์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการ

1. การเตรียมไข่ขาวจากไข่เป็ด

ซื้อไข่เป็ดสดจากฟาร์มย่านหนองจอก โดยอายุของไข่ไม่เกิน 3 วัน ล้างให้สะอาด ล้างไข่ด้วยความสดโดยตอกไข่ดูการกระจายของไข่ขาว และความหนืดของไข่แดง จากนั้นตอกไข่ แยกไข่

แดงออกจากข้าว นำข้าวที่ได้กรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ครั้ง สุ่มตัวอย่างไปหาความชื้นตามวิธีของ Lechevalier *et al.* (2007) และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส ไม่นานกว่า 2 วันเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การเตรียมแป้งข้าวเจ้า

นำแป้งข้าวเจ้าจำนวน 40 กิโลกรัม ร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ผสมรวมกัน แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วนๆ ละ 20 กิโลกรัม สุ่มแป้งไปหาความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) บรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน และเก็บในกล่องพลาสติก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาคและแป้งข้าวเจ้า

3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาค

- 3.1.1 ปริมาณความชื้น คัดแปลงจากวิธีของ Lechevalier *et al.* (2007) ภาคผนวก ก
- 3.1.2 ปริมาณไขมัน คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.1.3 ปริมาณโปรตีน คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.1.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.1.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

- 3.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.2.2 ปริมาณไขมัน คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.2.3 ปริมาณโปรตีน คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.2.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก
- 3.2.6 ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)

4. ศึกษาผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติการพองตัว และการละลายของแป้ง

เตรียมสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า และไข่ขาว โดยในสารละลาย 100 กรัม มี สัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างแป้ง (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ต่อไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจางให้ได้สารละลายที่มีแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ส่วนผสมดังกล่าวปริมาณ 15 กรัม ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก นำไปหาค่าการพองตัว และร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 65 - 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Mandala and Bayas (2004) และ Babic *et al.* (2006)

กล่าวคือนำหลอดหมุนเหวี่ยงของสารละลายแป้งใส่อ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ และเขย่าได้ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าตลอดเวลาที่ 100 รอบต่อนาที เพื่อป้องกันการตกตะกอน จากนั้นนำหลอดเหวี่ยงมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบหนีศูนย์กลางแบบตั้งโต๊ะ โดยใช้ความเร็วเท่ากับ 3880 g นาน 15 นาที ต่อจากนั้นแยกส่วนใส่ออกจากหลอดเหวี่ยงใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักของปริมาณของแข็งส่วนที่ละลายน้ำได้ นำหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีตะกอนไปชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าดังนี้

น้ำหนักของแป้งที่พองตัว = น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีตะกอน – น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง

ค่าการพองตัว (กรัม/กรัม) =
$$\frac{\text{น้ำหนักของแป้งที่พองตัว}}{(\text{น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด}^{**} - \text{น้ำหนักของของแข็งส่วนที่ละลายน้ำ})}$$

ร้อยละการละลาย =
$$\frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ละลายน้ำได้หลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

หมายเหตุ

$$^{**}\text{น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด (กรัม)} = \text{น้ำหนักแห้งของแป้ง} + \text{น้ำหนักของของแข็งในไข่ขาว}$$

5. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดตำลึงข้าวเจ้า

สุ่มตัวอย่างสารละลายผสมของแป้ง และไข่ขาวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากวิธีการทดลองข้อที่ 4 มาปริมาณ 50 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมน้ำกลั่น 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นหยดลงบนสไลด์ ข้อมสีย้อมตัวอย่างด้วยสารละลายลูกกลไอโอดีน (Iugol's solution; 1 % mixture of I_2 :KI 1:2) ปิดด้วยกระจก นำตัวอย่างมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมดานิโคเลนส์วัตถุเดี่ยว บันทึกภาพ และวัดขนาดของเมล็ดตำลึงด้วยโปรแกรมดิจิทัลไมเซอร์ (Digimizer) โดยวัดขนาดเมล็ดตำลึง 300 เม็ด แล้วรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีหน่วยเป็นไมครอน

6. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้งข้าวเจ้าที่เติมไข่ขาวเป็นส่วนผสม โดยเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยน้ำหนักส่วนผสมรวมทั้งหมดเท่ากับ 28 กรัม และใช้แป้งคงที่ที่ร้อยละ 7 (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไข่ขาวสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ของน้ำหนักสารละลายทั้งหมด นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting properties) โดยใช้เครื่องตรวจสอบความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer: RVA) วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุดขณะร้อน (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) โดยค่าความหนืดลดลงเป็นผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดขณะร้อน และความหนืดต่ำสุด (breakdown = peak viscosity – trough) และค่าการคืนตัวกลับเมื่อลดอุณหภูมิ (setback) ซึ่งเป็นผลต่างของความหนืดสุดท้าย และความหนืดต่ำสุด (setback = final viscosity – trough) ค่ากำหนดต่างๆ ในการวัดแสดงในภาคผนวก ข

7. ศึกษาผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่

7.1 ทดลองผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาว

ศึกษาผลของสัดส่วนปริมาณของ แป้ง (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) : ไข่ขาว : น้ำ ในการผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ โดยศึกษาที่ก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่ใส่ไข่ขาวในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 20 30

40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ดังตารางที่ 4 และกรรมวิธีการผลิตแสดงดังภาพที่ 10

7.2 ความหนาของก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด (ดัดแปลงจาก มอก. 959-2533)

วัดความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยวด้วยไมโครมิเตอร์ โดยวัดความหนาเส้นละ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ จุดกึ่งกลาง 1 ตำแหน่ง จุดที่ห่างจากจุดกึ่งกลางข้างละไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร อีกข้างละ 1 ตำแหน่ง ทำการวัด 10 เส้น และรายงานค่าเป็นความหนาเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 สัดส่วนของแป้ง (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง): ไข่ขาว ในสารละลายผสม 100 กรัม ในการทำก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เต็มไข่ขาว

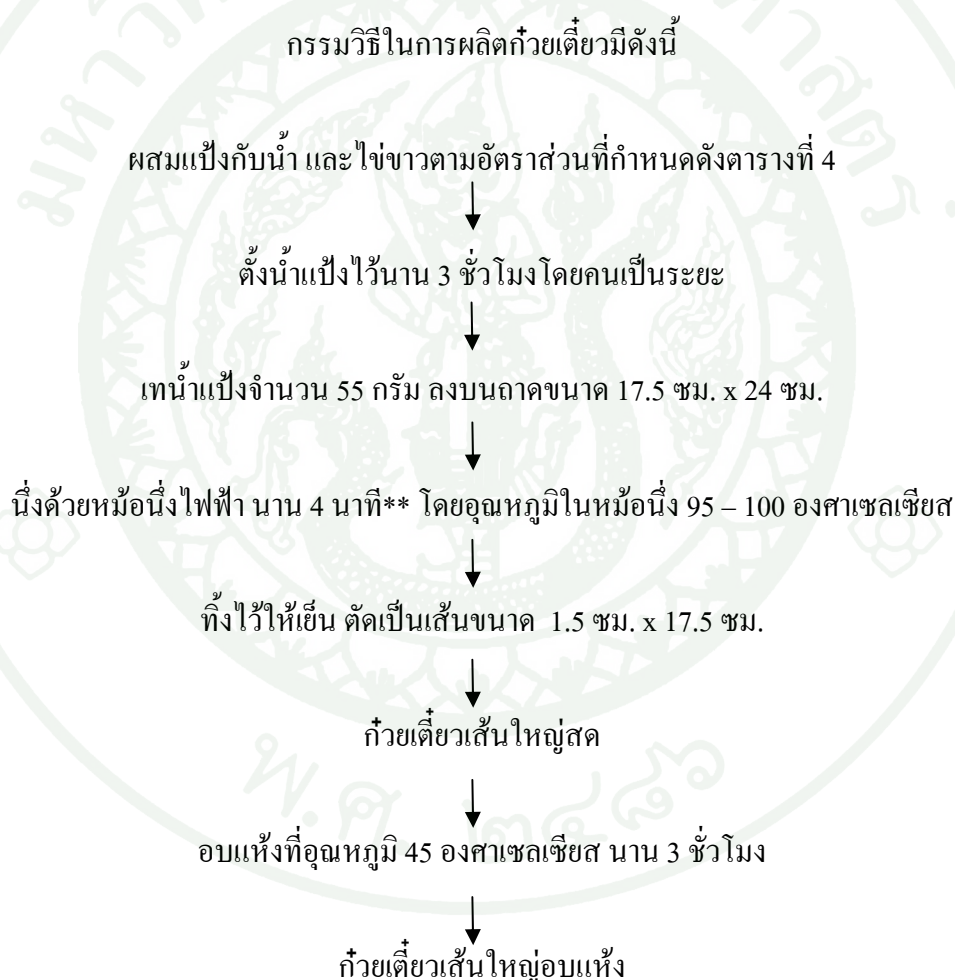
สูตร	สัดส่วน(กรัม)		
	แป้ง (dry basis)	ไข่ขาว (wet basis)	ไข่ขาว (dry basis)
1	30	0	0
2	30	10	1.286
3	30	20	2.572
4	30	30	3.858
5	30	40	5.144
6	30	50	6.430

หมายเหตุ เนื่องจากไข่ขาวในแต่ละชุดที่นำมาทดลองมีปริมาณของของแข็งต่างกัน และเพื่อความคุมการใช้ปริมาณไข่ขาวให้เท่ากันทุกครั้ง จำเป็นต้องหาปริมาณความชื้นของไข่ขาวทุกชุดที่นำมาทดลองทุกครั้ง เพื่อนำมาคำนวณปริมาณของแข็งในสูตรให้เป็นไปตามตารางที่ 4

7.3 วิเคราะห์ความชื้นก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

7.4 วิเคราะห์ห่อเตอร์แอกทวิตีด้วยเตี่ยวใหญ่สด

ตรวจวัดค่าห่อเตอร์แอกทวิตีด้วยเครื่อง Precision Humidity Measuring Instrument ยี่ห้อ Testo รุ่น 650 โดยนำตัวอย่างเส้นก้วยเตี่ยวมาหั่นเป็นชิ้นขนาด 3 มิลลิเมตร x 3 มิลลิเมตร ใส่ตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของถ้วยพลาสติก แล้ววางถ้วยพลาสติกลงในช่องว่างของเครื่อง ตรวจวัดค่าห่อเตอร์แอกทวิตีของตัวอย่างเส้นก้วยเตี่ยวที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส อ่านค่าห่อเตอร์แอกทวิตีที่แสดงบนเครื่องวัด วัดค่าจากตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่าง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 10 กรรมวิธีการผลิตก้วยเตี่ยวเส้นใหญ่สด และก้วยเตี่ยวเส้นใหญ่อบแห้ง

หมายเหตุ ** ตรวจสอบระยะเวลาในการทำให้สุกตามวิธีของ Yalcin and Basman (2008)

ภาคผนวก ข

7.5 วิเคราะห์สีของกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด

นำตัวอย่างเส้นกล้วยเดี่ยวสด มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 1.5 เซนติเมตร และยาว 2 เซนติเมตร โดยกล้วยเดี่ยว 1 เส้น ตัดขึ้นตัวอย่างเพื่อวัดค่าสีจาก 3 ตำแหน่งของเส้นกล้วยเดี่ยว คือ ปลายทั้งสองข้าง และกึ่ง กลางของเส้นกล้วยเดี่ยว ตรวจสอบวัดสีของเส้นกล้วยเดี่ยวด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer CM-3500d, Japan) ทำการบันทึกค่าสีที่วัดได้ในระบบ CIELAB ซึ่งค่าที่ได้ประกอบ L^* , a^* และ b^* ทำการวัดค่าสีของตัวอย่างจำนวน 30 เส้น เส้นละ 3 ตำแหน่ง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

7.6 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด

7.6.1 วัดความแน่นแข็งของกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด

วัดความแน่นแข็งของเส้นกล้วยเดี่ยวสดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) บันทึกกราฟระหว่างแรงด้านการตัด และเวลาที่ตัวอย่างได้รับแรงตัดให้ขาด นำมาคำนวณวัดค่าแรงด้านการตัดสูงสุด (maximum cutting force) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการตัดเส้นกล้วยเดี่ยวให้ขาด มีหน่วยเป็นกรัม และงานที่ใช้ในการตัด (total work to cut) เป็นค่าที่คำนวณจากแรงกด และเวลาในการตัดตัวอย่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟ มีหน่วยเป็นกรัม.วินาที ทำการวัดตัวอย่างจำนวน 15 เส้น และรายงานค่าที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที่กำหนดในการวัด และการคำนวณเพื่องานที่ใช้ในการตัด แสดงในภาคผนวก ข

7.6.2 วัดค่าด้านแรงดึงของกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด

ศึกษาคุณภาพเนื้อสัมผัสของเส้นกล้วยเดี่ยวสดด้านค่าแรงด้านแรงดึงของเส้นกล้วยเดี่ยวสดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ใช้หัววัด Spaghetti Tensile Grips (A/SPR) บันทึกกราฟระหว่างแรงด้านการดึงขาด และระยะทางในการดึงตัวอย่างให้ขาด รายงานค่าแรงด้านสูงสุด (max force) ซึ่งเป็นแรงสูงสุดในการดึงเส้นกล้วยเดี่ยวให้ขาด มีหน่วยเป็นกรัม และระยะทางในการดึงให้ขาด (distance) มีหน่วยมิลลิเมตร ใช้ตัวอย่างจำนวน 15 เส้น และรายงานค่าที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ากำหนดที่ใช้ในการวัดแสดงในภาคผนวก ข

7.7 ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างละเอียดของเส้นกัวยเดี่ยวสดที่ไม่เติมไขขาว และเติมไขขาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เตรียมตัวอย่างตามวิธีของ Arunyanart and Charoenrein (2008) โดยนำตัวอย่างกัวยเดี่ยวเส้นใหญ่สดที่ไม่เติมไขขาว กัวยเดี่ยวเส้นใหญ่เติมไขขาวร้อยละ 30 และกัวยเดี่ยวเส้นใหญ่เติมไขขาวร้อยละ 50 มาทำการจัดน้ำออกเป็นลำดับด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 70 90 และ 100 โดยปริมาตร นานความเข้มข้นละ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งจุลวิฤตหักตัวอย่างแล้วนำตัวอย่างติดบนแท่นที่ปิดด้วยกระดาษกาวเคลือบคาร์บอน จากนั้นเคลือบผิวหน้าตัดของตัวอย่างด้วยทองคำ ตรวจสอบลักษณะเนื้อเส้นกัวยเดี่ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยกำหนดอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และใช้ดีเทคเตอร์ชนิด secondary electron (SE)

7.8 ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างละเอียดของเจลของไขขาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผสมไขขาวสดในอัตราส่วน ไขขาว : น้ำกลั่น เท่ากับ 30 : 70 เทส่วนผสม 100 กรัม ลงถาดพลาสติก นำสารละลายไปนึ่งนาน 10 นาที สังเกตได้ว่าไขขาวมีลักษณะข้นขาวทึบแสง มีการเกาะกลุ่มของตะกอนไขขาว สารละลายมีความข้นหนืดมากขึ้น จากนั้นปิดฝาถาดพลาสติก ปลอยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปแช่แข็งในตู้แช่เยือกแข็ง นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด โดยก่อนนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีการราดในโตรเจนเหลว เพื่อให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อตัวอย่างแห้ง หักตัวอย่าง แล้วติดลงบนแท่นโลหะที่ปิดด้วยกระดาษกาวเคลือบคาร์บอน จากนั้นเคลือบผิวหน้าตัวอย่างด้วยทองคำ ตรวจสอบลักษณะเจลจากสารละลายไขขาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยกำหนดอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และใช้ดีเทคเตอร์ชนิด SE วัดขนาดอนุภาคโปรตีนด้วยโปรแกรม SEM Data Manager

7.9 ตรวจสอบลักษณะเชื่อมต่อกันของโปรตีนไข่ขาวและแป้งของโครงสร้างละเอียดของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

7.9.1 การเตรียมสีย้อม

เตรียมสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท โดยละลายสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท ในตัวทำละลายไดเมทิล ซัลโฟไซด์ จนได้ความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร ส่วนการเตรียมสีย้อมโรดามิน บี ทำเช่นเดียวกับการเตรียมสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท

7.9.2 การย้อมสีตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว แบบ post staining

นำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวสดมาตัดด้วยมีดผ่าตัด ให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเท่ากับ กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการย้อมสีโดยหยดสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 30 วินาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีสีออกมากับน้ำกลั่น ต่อไปหยดโรดามิน บี ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้นาน 30 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนไม่เห็นสีย้อมละลายปนออกมากับน้ำกลั่น หลังจากนั้นหยดกลีเซอรอล 1 หยด ลงบนตัวอย่าง ปิดด้วยกระจก ตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (CLSM, model LSM5 PASCAL, ZEISS, Germany) ใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิด Helium-Neon (He-Ne) โดย โรดามิน บี ถูกกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร และปล่อยลำแสงที่ความยาวคลื่น 620 – 650 นาโนเมตร ส่วนฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท ถูกกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร และปล่อยลำแสงที่ความยาวคลื่น 500-530 นาโนเมตร

7.9.3 การย้อมสีตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยบบแบบ pre staining

7.9.3.1 การเตรียมไข่ขาวสดย้อมสีฟลูออเรสซิน ไอโซโทไอโซยานเท

นำไข่ขาวสดปริมาณ 5 กรัม มาเติมสีย้อมสีฟลูออเรสซิน ไอโซโทไอโซยานเท ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 50 ไมโครลิตร คนให้สีย้อมกระจายทั่ว แช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง

7.9.3.2 การเตรียมน้ำแป้งย้อมสีโรดามิน บี

ผสมแป้ง 5 กรัม (น้ำหนักแป้งแห้ง) และน้ำกลั่น 6.67 กรัม ให้เข้ากัน จากนั้นใส่สีย้อมโรดามิน บี ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในน้ำแป้ง คนให้สีย้อมกระจายทั่ว ตั้งน้ำแป้งซึ่งมีสีย้อมโรดามิน บี ใวนาน 3 ชั่วโมง

7.9.3.3 การผสมไข่ขาวสด และน้ำแป้ง

นำไข่ขาวสด และน้ำแป้งซึ่งต่างก็ย้อมสีดังรายละเอียดที่บรรยายไว้ข้างต้นต้น มาผสมรวมกัน ซึ่งจะได้สัดส่วนของ แป้ง(โดยน้ำหนักแห้ง) : ไข่ขาว : น้ำ เท่ากับ 30 : 30 : 40 เทส่วนผสมลงถาด นึ่งเป็นแผ่นก๊วยเตี๋ยสด จากนั้นตัดขึ้นตัวอย่างขนาดเท่ากับ กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร วางตัวอย่างบนสไลด์ ปิดด้วยกระจก ตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด ตามข้อที่ 7.9.2

7.10 คัดเลือกสัดส่วนปริมาณของ แป้ง : น้ำ : ไข่ขาว ในการผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่เหมาะสมเพื่อนำไปทำเป็นก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่อบแห้งเติมไข่ขาว

พิจารณาคัดเลือกสัดส่วนในการทำก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาวจากผลของค่าการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด และการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส โดยเลือกก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่เติมไข่ขาวในระดับที่ส่งผลให้ก๊วยเตี๋ยมีเนื้อสัมผัสที่ดี และมีการใช้ไข่ขาวในปริมาณมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

8. ศึกษาการทำแห้งก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่ไม่เติมน้ำขาว และก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมน้ำขาว

จากการพิจารณาได้คัดเลือกก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมน้ำขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ในการศึกษาการทำแห้งก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมน้ำขาว ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มแผ่นก้วยเตี๋ยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยมีก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่จากแป้งข้าวเจ้าล้วน และไม่ผ่านการบ่ม ก่อนนำไปตัดเส้นก้วยเตี๋ย เป็นสูตรควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

นำแผ่นก้วยเตี๋ยสดที่เติมน้ำขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ใส่ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน จากนั้นนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่ทดลอง นำแผ่นก้วยเตี๋ยมาตัดเป็นเส้นขนาด กว้าง 1.5 เซนติเมตร และ ยาว 17.5 เซนติเมตร สำหรับก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่ไม่ผ่านการบ่มหลังนี้สุกจะทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที นำมาตัดเส้น ผลิตก้วยเตี๋ยอบแห้งโดยให้ความร้อนในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เก็บรักษาก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่อบแห้งในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน และเก็บในกล่องปิดสนิท เพื่อใช้ในการตรวจสอบสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ และองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

8.1 การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม

8.1.1 การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม

สุ่มตัวอย่างเส้นก้วยเตี๋ยน้ำหนัก 5 กรัม (W_1) หักเป็นท่อนยาว 3-5 เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำกลั่นต้มเดือด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ต้มเส้นนาน 10 นาที จากนั้นกรองเอาน้ำที่ต้มออกจากเส้น (เก็บน้ำกรองที่ได้นำไปวัดปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม) นำเส้นที่ต้มเทลงบนตะแกรง ล้างเส้นด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นาน 5 นาที จากนั้นนำเส้นไปชั่งน้ำหนัก (W_2) คำนวณการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม ดังสมการ

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

8.1.2 ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม

นำน้ำที่กรองได้จากการต้มเส้นไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (W_3) คำนวณค่าปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ดังสมการ

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

8.2 ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม และการยอมรับของผู้บริโภค

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกจำนวน 30 คน ซึ่งผู้ทดสอบชิมจะพิจารณาสี กลิ่น กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม/การยอมรับของผู้บริโภค เตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบชิมดังนี้ แช่เส้นก๋วยเตี๋ยวเดิมไข่ขาวอบแห้งในน้ำนาน 5 นาที ตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำนาน 2 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำเดือดนาน 8 นาที ตักใส่ถ้วยชิม แล้วเติมน้ำซุ๊ปไก่ แล้วจึงเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบ

8.3 สีของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งหลังคั้นรูป

แช่เส้นก๋วยเตี๋ยวเดิมไข่ขาวอบแห้งในน้ำนาน 5 นาที ตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำนาน 2 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำเดือดนาน 8 นาที ตักขึ้นพักบนตะแกรงนาน ให้เส้นสะเด็ดน้ำนาน 2 นาที โดยคลุมเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น นำเส้นก๋วยเตี๋ยวมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 1.5 เซนติเมตร และยาว 2 เซนติเมตร โดยก๋วยเตี๋ยว 1 เส้น ตัดขึ้นตัวอย่างเพื่อวัดค่าสีจาก 3 ตำแหน่งของเส้นก๋วยเตี๋ยว คือ ปลายทั้งสองข้าง และกึ่งกลางของเส้นก๋วยเตี๋ยว ตรวจวัดสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer CM-3500d, Japan) ทำการบันทึกค่าสีที่วัดได้ในระบบ CIELAB ซึ่งค่าที่ได้ประกอบ L^* , a^* และ b^* ทำการวัดค่าสีของตัวอย่างจำนวน 30 เส้น เส้นละ 3 ตำแหน่ง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

8.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวหลังการอบแห้ง

นำก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เดิมไข่ขาวอบแห้งแช่ในน้ำนาน 5 นาที ตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำนาน 2 นาที จากนั้นนำไปลวกในน้ำเดือดนาน 8 นาที ตักขึ้นพักบนตะแกรงนาน ให้เส้นสะเด็ดน้ำนาน 2

นาที่ โดยคลุมเส้นก๊วยเตี๋ยด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ทำการตรวจสอบเนื้อสัมผัสความแน่นแข็ง และค่าต้านแรงดึงของเส้นก๊วยเตี๋ยตามวิธีการทดลองข้อ 7.6 โดยการตรวจสอบต้องทำในระยะเวลาสั้น และรวดเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ทำการวัดตัวอย่างจำนวน 15 เส้น และรายงานค่าที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

8.5 ตรวจวัดค่าวอเตอร์แอกทिवิตี และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เดิมไข่ขาวอบแห้ง

8.5.1 ตรวจวัดค่าวอเตอร์แอกทिवิตี

นำตัวอย่างก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เดิมไข่ขาวอบแห้งมาบดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นใส่ตัวอย่างปริมาณ 2 ใน 3 ของถ้วยพลาสติก นำถ้วยพลาสติกวางในช่องของเครื่องวัดวอเตอร์แอกทिवิตี วัดค่าวอเตอร์แอกทिवิตีที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส อ่านค่าวอเตอร์แอกทिवิตีที่แสดงบนเครื่องวัด วัดค่าจากตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่าง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

8.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่เดิมไข่ขาวอบแห้ง

8.5.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

8.5.2.2 ปริมาณไขมัน ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

8.5.2.3 ปริมาณโปรตีน ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

8.5.2.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

8.5.2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

9. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12

10. สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน และบริษัท โคแอกซ์ กรุ๊ป คอร์ปอเรชั่น จำกัด

11. ระยะเวลาการทดลอง

ตั้งแต่เดือนมกราคม 2552 ถึงเดือนมีนาคม 2553

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และไข่ขาว

แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการศึกษามีองค์ประกอบคือ ความชื้นร้อยละ 12.79 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 78.34 โปรตีนร้อยละ 8.42 ไขมันร้อยละ 0.2 และเถ้า 0.26 (ตารางที่ 5) แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเจ้ามีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และมีสารอาหารอื่นๆ อยู่่น้อย ดังนั้นจึงจัดว่าแป้งข้าวเจ้าเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Rosell and Marco, 2008) โดยคาร์โบไฮเดรตในแป้งก็คือสตาร์ช ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ประกอบไปด้วยพอลิเมอร์สองชนิดคือ แอมิโลส และแอมิโลเพกทิน การที่แป้งข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเนื่องมาจากแป้งข้าวนั้นผลิตมาจากข้าวสารที่ห้ก ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว โดยการขัดสีนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้สารอาหาร (โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ) ในข้าวสารหลุดออกไป เหลือแต่คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (อรอนงค์, 2550; Kik, 1960, 1962; Zhou *et al.*, 2002b; Lamberts *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2008; Rosell and Marco, 2008; Roy *et al.*, 2008; Pincirol *et al.*, 2009)

จากผลวิเคราะห์โปรตีนในแป้งข้าวเจ้าในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.65 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปโปรตีนในแป้งข้าวมีประมาณร้อยละ 6 – 9 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว อายุ การเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต (Zhou *et al.*, 2002b) โดยโปรตีนที่พบอยู่ในเนื้อข้าวส่วนใหญ่คือ กลูเทลิน หรือเรียกว่า ออริซานิน (oryzanin) (อรอนงค์, 2550; Champagne, 1996; Krishnan, 1992; Zhou *et al.*, 2002b; Pincirol *et al.*, 2009) โปรตีนจากแป้งข้าวประกอบไปด้วยกรดแอมิโนทั้งชนิดที่เป็นกรดแอมิโนจำเป็น และชนิดไม่จำเป็นในปริมาณที่ไม่สมดุล แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนสะสมในธัญพืชชนิดอื่นจัดว่าโปรตีนจากข้าวมีความสมดุลของกรดแอมิโนสูงกว่า แต่ทั้งนี้ยังจัดว่ามีกรดแอมิโนหลายชนิด เช่น กรดแอมิโนไลซีนในปริมาณน้อยมาก หรือไม่มีเลย (Pomeranz, 1991; Krishnan, 1992; Rosell and Marco, 2008) ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณที่ร่างกายต้องการ การที่ข้าวสาร และแป้งข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วนจึงมีการศึกษาเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การเสริมวิตามิน การเพิ่มกรดแอมิโนไลซีน และ ทรีโอนีน (Deshpande *et al.*, 1955; Rosenberg *et al.*, 1969; Houston, 1972; Rosell and Marco, 2008) หรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยการเติมนมผง แลคตัลบูมิน ไข่ผง (Kik, 1960; Pomeranz, 1991) และโปรตีนเข้มข้นที่สกัดจากปลา (Parman, 1968) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารของข้าวขัดขาว นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเนื่องจากแป้งข้าวผลิตจากข้าวสาร

จึงมีคุณค่าทางโภชนาการที่คล้ายคลึงกับข้าวสาร (Deobald, 1972) ดังนั้นแป้งข้าวจึงมีคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนต่ำเช่นเดียวกับข้าวสาร ส่งผลให้มีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว ตัวอย่างเช่น ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยการเสริมโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม และพว่องไขมัน (Kanchanapakornchai, 2523; นัทญา, 2530) เนื้อสัตว์ (สุภาพรรณ, 2534; มณีรัตน์, 2538) สหรัยสไปรูไลนา (กุลกานต์, 2547) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมผัก เช่น พักทอง คื่นช่าย ใบเตย ลงในส่วนผสมน้ำแป้ง เพื่อให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมียูทามีน เกลือแร่ และเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2550)

ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเจ้า วิเคราะห์จากวิธีของ Juliano (1971) เท่ากับร้อยละ 32.04 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณแอมิโลสใช้ช่วยในการประเมิน และคัดเลือกแป้งข้าวเพื่อนำมาผลิตก๋วยเตี๋ยว โดยแป้งข้าวหรือข้าวที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยว ต้องมีปริมาณแอมิโลสสูงมากกว่าร้อยละ 27 (เสนอ, 2522; อรอนงค์, 2550) ทำให้ได้แผ่นแป้งก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะที่ดี โดยแผ่นแป้งที่ได้จะมีความคงตัว แข็งตัวได้เร็ว ทนทานต่อการสลายตัวระหว่างการหุงต้ม (เสนอ, 2522) ดังนั้นแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวได้

จากจุดประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ที่ต้องการเสริมคุณค่าทางโภชนาการทางด้านโปรตีนของผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้งข้าวโดยใช้ประโยชน์จากไข่ขาวสดที่เป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมขนมหวานไทย ซึ่งจากการตรวจพีเอช และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวพบว่า ไข่ขาวสดมีพีเอชเท่ากับ 8.11 ซึ่งไข่ขาวสดที่มาจากไข่ที่เพิ่งจะวางไข่จะมีพีเอชในช่วง 7.6 - 7.9 และพีเอชจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Powrie, 1973; Hatta *et al.*, 1997) ถ้าเก็บไข่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน ไข่ขาวจะมีพีเอชเพิ่มเป็น 9.2 – 9.5 (Hatta *et al.*, 1997) การที่พีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากไข่มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์สู่ภายนอก เกิดความไม่สมดุลระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ และไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่วนความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น ไข่ขาวจึงมีสภาพเป็นเบส (Powrie, 1973)

องค์ประกอบทางเคมีไข่ขาวสดประกอบด้วยน้ำร้อยละ 87.14 โปรตีนร้อยละ 12.55 ไขมันร้อยละ 0.05 และเถ้าร้อยละ 0.68 โดยน้ำหนัก และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้งพบว่าไข่ขาวมีปริมาณโปรตีนสูงมากคือเท่ากับร้อยละ 94.26 ของน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 6 ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ไข่ขาวเป็นแหล่งที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการทางด้านโปรตีนในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว โดยไข่ขาวนั้นจัดเป็นอาหารสุขภาพเนื่องจากมีโปรตีนสูง และเป็นโปรตีนที่มีกรดแอมิโนครบถ้วน มีความสมดุลของกรดแอมิโน ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้

ง่าย มีไขมันต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล ราคาถูก และมีการใช้ไข่ขาวในทางการแพทย์ โดยใช้ไข่ขาวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นอาหารผู้ป่วย ช่วยให้ผู้ป่วยฟื้นตัวเร็ว (Cook and Briggs, 1973; Gutierrez *et al.*, 1997; Surai and Sparks, 2001) โดยโปรตีนในไข่ขาวเป็นระบบโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอวาลบูมินละลายอยู่ในสารละลายของโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิดซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีนที่โครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะรูปร่างกลม รูปรี หรือรูปไข่ (นิธิยา, 2549) โดยมีโปรตีนโอวัลบูมิน หรือเรียกว่า อัลบูมินไข่ (egg albumin) เป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุดไข่ขาว (Nolan *et al.*, 2005) คือ ประมาณร้อยละ 54 ของโปรตีนในไข่ขาวทั้งหมด (Mine, 1995; Weijers *et al.*, 2006) โอวัลบูมินจัดเป็นโกลบูลาร์โปรตีนหรือ โปรตีนที่มีรูปร่างกลม (Sun and Hayakawa, 2002) ที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ และใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารคือ การจับตัวเป็นก้อนหรือเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Alamprese *et al.*, 2009)

องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของไข่ขาวเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่ามีเถ้าร้อยละ 5.42 มีไขมัน เล็กน้อย ส่วนคาร์โบไฮเดรตพบน้อยมาก ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งทั่วไปไข่ขาวมีคาร์โบไฮเดรตน้อยมาก อาจมีประมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักสด (Gutierrez *et al.*, 1997) แสดงว่าไข่ขาวไม่ใช่แหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ส่วนกรดในไข่ขาวแสดงถึงแร่ธาตุที่อยู่ในไข่ขาว อาทิเช่น ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กซึ่งพบในปริมาณเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ฤดูกาล และอายุของสัตว์ปีก (Cook and Briggs, 1973; Powrie, 1973; Sugino *et al.*, 1997)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งแป้งข้าว และไข่ขาวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำไข่ขาวไปใช้ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนแก่แป้งข้าวหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว ซึ่งผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้า และก๋วยเตี๋ยวรายงานในตอนต่อไป

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	12.79 ± 0.20	-
โปรตีน	8.42 ± 0.22	9.65 ± 0.27
ไขมัน	0.20 ± 0.03	0.23 ± 0.04
เถ้า	0.26 ± 0.00	0.29 ± 0.00
คาร์โบไฮเดรต	78.34 ± 0.26	89.93 ± 0.32

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวสดจากไข่เป็ด

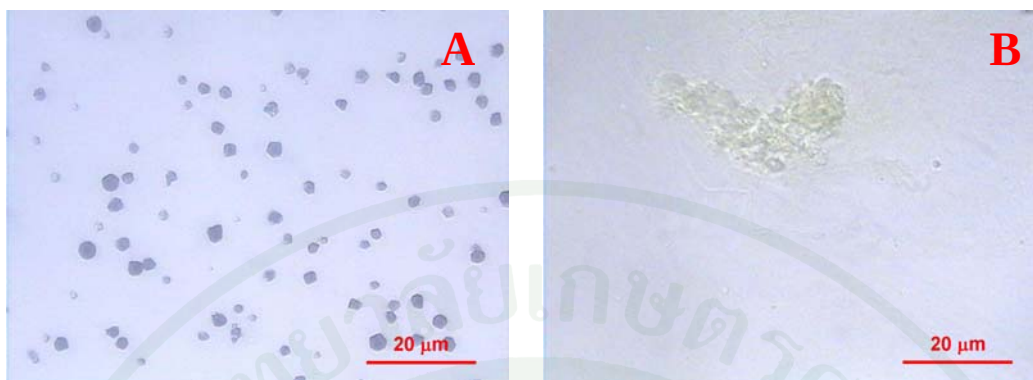
องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	87.14 ± 0.01	-
โปรตีน	12.55 ± 0.55	94.26 ± 4.13
ไขมัน	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.02
เถ้า	0.68 ± 0.01	5.42 ± 0.04
คาร์โบไฮเดรต	trace	trace

หมายเหตุ trace คือ ปริมาณน้อย

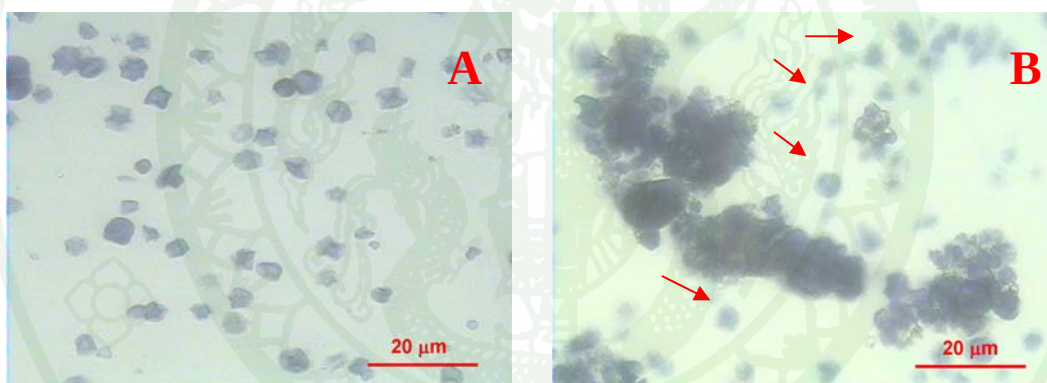
2. ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้า เมื่อใส่ไข่ขาวสดร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักสารละลาย

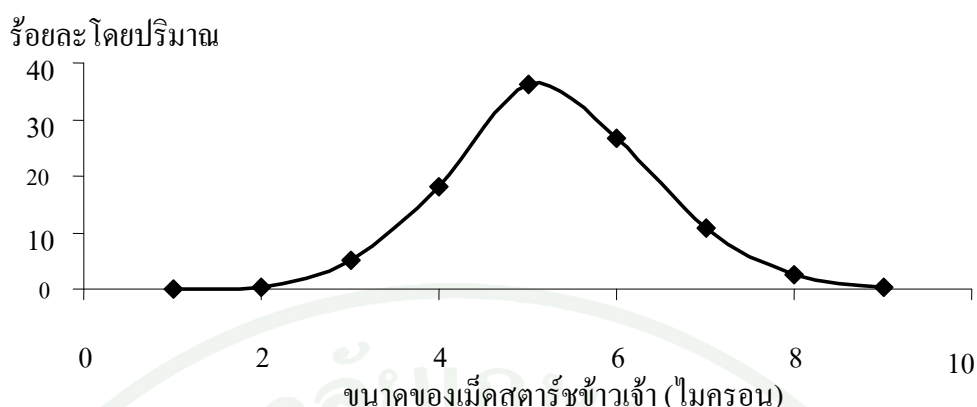
2.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดของเมล็ดstarข้าวเจ้า



ภาพที่ 11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดstarข้าวเจ้าดิบ (A) และเจลไข่ขาว (B) ที่ย้อมด้วยสารละลายไอโอดีน ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมชาติเลนส์วัตถุเดี่ยว



ภาพที่ 12 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดstarข้าวเจ้าในสารละลายแป้งข้าวเจ้าไม่ผสมไข่ขาว (A) และ สารละลายแป้งข้าวเจ้าผสมกับไข่ขาวร้อยละ 40 ของน้ำหนักสารละลายทั้งหมด (B) เมื่อผ่านการให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ลำแสงธรรมชาติเลนส์วัตถุเดี่ยว



ภาพที่ 13 การกระจายของขนาดเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าในตัวอย่างแป้งดิบ (native starch)

ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา และขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าในแป้งข้าวเจ้าดิบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์วัตถุเดี่ยวภายใต้แสงธรรมดา พบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าย้อมติดสีน้ำเงินของสารละลายไอโอดีน แต่เจลาไซ์ขาวจะใส และไม่ติดสีน้ำเงินดังภาพที่ 11 - A และ ภาพที่ 11- B ตามลำดับ ทั้งนี้การติดสีน้ำเงินของไอโอดีนของเม็ดสตาร์ชเกิดเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอโอดีนกับโมเลกุลแอมิโลส โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลของไอโอดีนกับโมเลกุลแอมิโลส เกิดจากโมเลกุลของแอมิโลสเกิดการพันเกลียว และหันส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกเข้าด้านใน ส่วนของโมเลกุลของไอโอดีนที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกจะแทรกอยู่ตรงกลางของเกลียวแอมิโลส เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไอโอดีนที่ให้สีน้ำเงิน (นิธิยา, 2549) เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าดิบที่พบมีลักษณะหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 – 8 ไมครอน (ภาพที่ 13) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 4.76 ± 1.12 ไมครอน จากรายงานการตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งดิบ และขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าวของงานวิจัยอื่นๆ ตรวจพบลักษณะเดียวกันคือ ข้อมูลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวมีลักษณะหลายเหลี่ยม มีผิวเรียบ (สุพัตรา, 2548; Juliano, 1972; Ong and Blanshard, 1995) มีขนาดแตกต่างกันอยู่บ้างคือ 3 - 5 ไมครอน (อรอนงค์, 2550) 2 - 10 ไมครอน (Juliano, 1972) 2.4 - 5.4 ไมครอน (Sodhi and Singh, 2003) 4 – 7 ไมครอน (Ong and Blanshard, 1995) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ปริมาณแอมิโลส (Sodhi and Singh, 2003) ตำแหน่งของเม็ดสตาร์ชในเนื้อข้าว (เม็ดสตาร์ชที่อยู่ใกล้ผิวของเอนโดสเปิร์มจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดสตาร์ชที่อยู่ใจกลางของเอนโดสเปิร์ม) (Juliano, 1972) เป็นต้น

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งข้าวเจ้า มีผลให้เมล็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ขึ้น (ภาพที่ 12 - A) ซึ่งจากการตรวจสอบเมล็ดสตาร์ชที่สุ่มมาจากสารละลายแป้งผสมไข่ขาวร้อยละ 40 ของน้ำหนักสารละลายทั้งหมด ที่ผ่านความร้อน 75 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบทั้งไข่ขาวเกาะกลุ่มกับเมล็ดสตาร์ช และพบเมล็ดสตาร์ชเดี่ยวกระจายอยู่โดยไม่มีไข่ขาวเกาะกลุ่ม ดังลูกศรชี้ในภาพที่ 12 - B โดยผลการตรวจสอบขนาดของเมล็ดสตาร์ชเดี่ยวที่กระจายอยู่ในสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและไข่ขาวที่ระดับต่างๆผ่านความร้อน 75 และ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แสดงในตารางที่ 7

การเกาะกลุ่มของไข่ขาวที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชดังภาพที่ 12 - B นั้นอาจเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลเอมิโลสที่หลุดออกมาจากเมล็ดสตาร์ชกับโปรตีนไข่ขาว โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่รีดิวซ์ของโมเลกุลเอมิโลส และหมู่เอมิโนของโปรตีน (Ibanoglu and Ercelebi, 2007) นอกจากนี้อาจเกิดจากโปรตีนไข่ขาวที่เกิดการเสียสภาพหลังได้รับความร้อน เกิดการคลายเกลียวบางส่วน เกาะที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชโดยเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกกับไขมัน และโปรตีนที่ผิวเมล็ดสตาร์ช (Pomeranz, 1991) ซึ่งการเกาะของไข่ขาวที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชอาจมีผลในการขัดขวางการพองตัวของเมล็ดสตาร์ช การเกาะของโปรตีนที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชนั้นพบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noisuwan (2009) ที่พบว่าเวย์โปรตีนเกิดการเกาะกลุ่ม และล้อมรอบอยู่ที่ผิวของสตาร์ชข้าว แต่ไม่มีรายงานถึงผลที่กระทบต่อการพองตัวของสตาร์ชข้าว โดยผู้วิจัยเข้าใจว่าการที่เวย์เกาะกลุ่มอยู่ที่ผิวของสตาร์ชเนื่องมาจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์ของสตาร์ชที่ยื่นออกมาที่ผิวสตาร์ชกับหมู่เอมิโนของเวย์โปรตีน โดยเป็นอันตรกิริยาของส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophillic) และนอกจากนี้อาจเกิดการเกาะกลุ่มเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนด้วย

ผลการตรวจสอบขนาดของเมล็ดสตาร์ชเดี่ยวที่กระจายอยู่ในสารละลายน้ำแป้งข้าวเจ้าผสมไข่ขาวสด ซึ่งเตรียมมาจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า และไข่ขาว โดยในส่วนผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 พบว่าเมื่อสารละลายผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเมล็ดสตาร์ชในตัวอย่างที่ให้ความร้อน 95 องศาเซลเซียส เกิดการแตกของเมล็ดสตาร์ช เนื่องจากความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิเจลลิ่งที่ไม่สามารถวัดขนาดได้ แต่ที่ระดับอุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส สามารถวัดขนาดของเมล็ดสตาร์ชเดี่ยวที่กระจายตัวอยู่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำแป้ง และไข่ขาวได้ โดยรายงานเป็นค่าเฉลี่ยจากเมล็ดสตาร์ชที่สุ่มวัดจำนวน 300 เม็ด ซึ่งพบขนาดเมล็ดสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมไข่ขาว การเพิ่มปริมาณไข่ขาวสดไม่มีผลทำให้ขนาดเมล็ดสตาร์ชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ที่ระดับไข่ขาว

เท่ากับ 50 และผ่านการให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส จะเห็นความแตกต่าง ($P \leq 0.05$) แสดงว่า จะต้องมีไข่ขาวปริมาณมากพอ และระดับการให้ความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญ การเติมไข่ขาวสดมีผลทำให้ขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวลดลง โดยมีขนาดเล็กกว่าการไม่เติมไข่ขาว คาดว่าเป็นเพราะโปรตีนในไข่ขาวที่ละลายอยู่ในสารละลายผสม แยกน้ำไปจากเม็ดสตาร์ช จึงลดอัตราเร็วในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้ช้า จึงมีขนาดเล็กกว่าเม็ดสตาร์ชที่อยู่ในสารละลายแป้งข้าวสาลี

ตารางที่ 7 ขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายแป้งข้าวเจ้าผสมไข่ขาว โดยในส่วนผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 ในสถานะที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ตัวอย่าง	ขนาด (ไมครอน)	
	75 องศาเซลเซียส	85 องศาเซลเซียส
RF - EW 0	$8.11 \pm 2.06cA$	$10.12 \pm 2.85bB$
RF - EW 10	$7.90 \pm 2.08bcA$	$9.76 \pm 2.58bB$
RF - EW 20	$7.79 \pm 2.14bcA$	$9.04 \pm 2.40aA$
RF - EW 30	$7.27 \pm 2.18aA$	$9.25 \pm 2.69aB$
RF - EW 40	$7.69 \pm 2.10bA$	$9.09 \pm 2.46aB$
RF - EW 50	$7.20 \pm 2.04aA$	$9.09 \pm 2.71aB$

หมายเหตุ - ตัวอักษร a - c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- ตัวอักษร A และ B ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- RF - EW = แป้งข้าวเจ้า - ไข่ขาว โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือสัดส่วนของไข่ขาวในสารละลายน้ำแป้ง

- ขนาด (ไมครอน) รายงานจากค่าเฉลี่ยที่วัดจากเม็ดสตาร์ชเดี่ยวจำนวน 300 เม็ด

2.2 ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติการพองตัว และการละลายของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้า

ผลการเติมไข่ขาวต่อสมบัติการพองตัว และการละลายของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้า ที่เตรียมมาจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า และไข่ขาว โดยในสารละลาย 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 จากนั้นจึงอาจสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้สารละลายผสมที่มีปริมาณแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 แสดงดังตารางที่ 8

กล่าวคือการพองตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และการเติมไข่ขาวมีผลต่อการพองตัวของแป้งโดยการเติมไข่ขาวมีแนวโน้มทำให้กำลังการพองตัวของแป้งลดลง สอดคล้องกับการตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์วัตถุเดี่ยวภายใต้แสงธรรมดาคือพบว่าไข่ขาวเกาะกลุ่มอยู่รอบเม็ดสตาร์ช (ภาพที่ 12 - B) และพบขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวที่กระจายอยู่ในสารละลายที่มีการเติมไข่ขาวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเม็ดสตาร์ชในสารละลายแป้งล้วนๆ เข้าใจว่าเป็นเพราะไข่ขาวเกาะอยู่รอบเม็ดสตาร์ช ซึ่งอาจขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ชโดยลดความสามารถในการดูดน้ำ และการขยายตัวของเม็ดสตาร์ชส่งผลให้กำลังการพองตัวของแป้งลดลง อีกประการหนึ่งคือผลมาจากโปรตีนไข่ขาวที่ละลายอยู่ในสารละลายผสม สามารถจับกับน้ำได้ดี (Mine, 1995) จึงแย่งน้ำไปจากสตาร์ช จึงชะลอการพองตัวของเม็ดสตาร์ชโดยรวม

นอกจากนี้กลไกที่ไข่ขาวมีผลทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะการที่ไข่ขาวเกิดการเสียสภาพ และเกิดเจลนั้นเริ่มเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วนเม็ดสตาร์ชจะเกิดการเจลาไทไนซ์ ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 74-81 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาไทไนซ์ของแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง วิเคราะห์ด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์) ตามรายงานของบุญทิwa (2548) นั่นคือโปรตีนไข่ขาวเกิดการเสียสภาพ เกาะกลุ่ม และเกิดเจลก่อนที่เม็ดสตาร์ชจะเกิดการเจลาไทไนซ์ ดังนั้นไข่ขาวที่เกิดการเกาะกลุ่ม และหุ้มอยู่ที่ผิวเม็ดสตาร์ชจึงขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ปรากฏการณ์นี้ สอดคล้องกับ Li *et al.* (2007) ซึ่งศึกษาพบโปรตีนที่สกัดจากถั่วเหลืองจำกัดการพองตัว และการเกิดเจลาไทไนซ์ของสตาร์ชข้าวโพดโดยศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาไทไนซ์ และอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาไทไนซ์ของสตาร์ชข้าวโพดที่อยู่ในระบบที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาไทไนซ์ และอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาไทไนซ์ของสตาร์ชข้าวโพดสูงขึ้น ในทำนองเดียวกัน Shim and Mulvaney (2001) ตรวจสอบขนาด และการพองตัวของเม็ดสตาร์ชข้าวโพดในเจลผสมระหว่างเวย์โปรตีน และแป้งข้าวโพดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับ

เจลแป้งข้าวโพดล้วน ซึ่งอธิบายว่าเวย์โปรตีนเกิดโครงสร้างร่างแหที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ในช่องเม็ดสตาร์ช การเกิดร่างแหของเวย์โปรตีนนี้จึงมีผลไปจำกัดการพองตัวเมื่อได้รับความร้อนของเม็ดสตาร์ชข้าวโพด

ผลการเติมไข่ขาวต่อสมบัติการละลายของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าแสดงดังตารางที่ 9 พบว่าที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น เม็ดสตาร์ชมีการละลายสูงขึ้น ซึ่งการละลายนี้แสดงถึงโมเลกุลเอมิโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชที่พองตัว เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ภายในเม็ดสตาร์ชเริ่มสั่นสะเทือน และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิแซ็กคาไรด์ถูกทำลาย เพื่อย่อยกลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ และเกิดการเชื่อมต่อกับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน โครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการดูดน้ำ และการพองตัวเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ง่ายในส่วนที่เป็นอณูฐานภายในโครงสร้างโมเลกุลของเอมิโลเพกทิน (Aguilera and Stanley, 1999; Whistler and BeMiller, 1999) ทำให้ค่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลเอมิโลสซึ่งเป็นโมเลกุลอิสระที่กระจายตัวในส่วนอณูฐาน และผลึกเริ่มหลุดออกจากเม็ดสตาร์ช ทำให้ค่าร้อยละการละลายมีค่าที่สูงขึ้น (Oates, 1997; Aguilera and Stanley, 1999) ส่วนการเติมไข่ขาวมีผลทำให้ค่าการละลายเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากในการศึกษาสมบัติการละลายของเม็ดสตาร์ชในสารละลายแป้งผสมไข่ขาวนั้นวัดจากการนำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงที่ 3880 g นาน 15 นาที จึงนำส่วนใสไปอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักของแข็งหลังการทำแห้ง คำนวณเป็นร้อยละการละลายของแป้งข้าว จากข้อเท็จจริงที่ว่าโปรตีนในไข่ขาวเป็นโปรตีนที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะพวกโกลโคโปรตีน เช่น โอวัลบูมิน (เป็นโปรตีนหลัก และมีมากที่สุดไข่ขาว) โอโวทรานส์เฟอร์ริน และโอโวมิวคอยด์ (Pomeranz, 1991; Fennema, 1996; Alamprese *et al.*, 2009) จึงละลายลงในส่วนใสหลังการหมุนเหวี่ยงน้ำแป้ง ส่งผลให้ค่าการละลายของเม็ดสตาร์ชสูงตามลำดับของปริมาณไข่ขาวที่มากขึ้น และสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลองในครั้งนี้ คือเมื่อนำส่วนใสที่แยกออกหลังจากการหมุนเหวี่ยงมาอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักของส่วนที่ละลายน้ำได้ พบว่าที่ถ้วยอลูมิเนียมที่ใส่ส่วนใสที่แยกมาจากสารละลายผสมของแป้งและไข่ขาว เกิดฟิล์มโปรตีนเกาะติดแน่นโดยฟิล์มที่เกิดขึ้นมีสีน้ำตาลเข้ม ล้างออกได้ยากต้องใช้กรดแอสกอร์บิก จึงล้างออกได้ ในขณะที่ถ้วยอลูมิเนียมที่ใส่ส่วนใสที่แยกมาจากสารละลายน้ำแป้งที่ไม่เติมไข่ขาวเกิดฟิล์มบางๆ ของเอมิโลส มีสีขาว เกาะที่ผิวของถ้วยอลูมิเนียม ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้ แห้ง แดกหลุดออกจากผิวถ้วยอลูมิเนียมได้ง่าย ปรากฏการณ์เช่นนี้แสดงให้เห็นว่ามีโปรตีนไข่ขาวละลายในส่วนใส ซึ่งการที่โปรตีนไข่ขาวยังไม่เสียสภาพทั้งที่ได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิที่ควรจะเกิดการเสียสภาพ อาจเนื่องมาจากโปรตีนไข่ขาวเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับเอมิโลส ทำให้อุณหภูมิในการเสียสภาพของโปรตีนไข่ขาวที่ละลายอยู่ในสารละลายของแป้งผสม

มีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีโปรตีนไข่ขาวละลายอยู่ในส่วนใสดังกล่าว จากงานวิจัยหลายงาน พบว่าโปรตีนไข่ขาว ทั้งโอวัลบูมิน และไลโซไซม์ สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมต่อกับพอลิแซ็กคาไรด์ โดยเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ระหว่างหมู่รีดิวซ์ของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์กับหมู่เอมีโนของโปรตีน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ไม่ได้เกิดจนถึงขั้นเกิดสารสีน้ำตาล เพียงแต่เป็นการเกิดปฏิกิริยาที่อยู่ใน pathway ของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งการเกิดโปรตีนคอนจูเกตกับพอลิแซ็กคาไรด์นี้มีผลปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน โดยโปรตีนคอนจูเกตพอลิแซ็กคาไรด์จะมีสมบัติละลายน้ำ และทนต่อความร้อนได้ดีกว่าโปรตีนธรรมดา (Kato *et al.*, 1993; Shu *et al.*, 1996; Aoki *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2005; Scaman *et al.*, 2006) โดยงานวิจัยของ Kato *et al.* (1993) พบว่าหลังจากเหนี่ยวนำให้ไข่ขาวเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับกาแลคโตแมนแนนในสภาวะแห้ง สารละลายไข่ขาวนั้นสามารถทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที โดยที่ไม่เกิดการเกาะกลุ่ม ตกตะกอน แต่ไข่ขาวเกิดการคลายเกลียวบางส่วน ซึ่งไข่ขาวที่เกิดการคลายเกลียวไม่สามารถเข้ามาเกาะกลุ่มกันได้อีกเนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกาะติดกับไข่ขาวทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวาง ขัดขวางการรวมตัวกันของโปรตีน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความเป็นไฮโดรฟิลิก จึงช่วยให้การละลายน้ำดีขึ้น ในทำนองเดียวกันกับ Scaman *et al.* (2006) พบว่าไลโซไซม์ที่เกิดการคอนจูเกตกับเดกซ์แทรน เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด มีการละลายได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับไลโซไซม์ปกติ โดยเมื่อตรวจสอบการละลายของไลโซไซม์ที่คอนจูเกตกับเดกซ์แทรน ในสารละลายที่มีพีเอช 3.7 และ 9 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2700 g นาน 15 นาที แล้วตรวจสอบโปรตีนที่ละลายอยู่ในส่วนใสโดยวิธี Lowry ก็พบว่าไลโซไซม์ที่เกิดการคอนจูเกตกับเดกซ์แทรนมีการละลายได้มากกว่าไลโซไซม์ปกติ และเมื่อตรวจสอบสมบัติการทนต่อความร้อน โดยให้ความร้อนแก่สารละลายของไลโซไซม์ที่เกิดการคอนจูเกตกับเดกซ์แทรนที่อุณหภูมิในช่วง 50 – 95 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่าไลโซไซม์ที่เกิดการคอนจูเกตกับเดกซ์แทรน สามารถทนความร้อนได้ดี โดยไม่เกิดการตกตะกอน และมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยกว่าไลโซไซม์ปกติตลอดช่วงการให้ความร้อน แสดงว่าโปรตีนที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับพอลิแซ็กคาไรด์นั้นทนต่อความร้อน เนื่องจากเหตุผลเดียวกับ Kato *et al.* (1993) คือพอลิแซ็กคาไรด์ทำหน้าที่ขัดขวางการเกิดการเกาะกลุ่มของโปรตีนที่เกิดการคลายเกลียวเช่นเดียวกันนี้ Chen *et al.* (2007) ตรวจสอบผลการเติมฟลักซ์ซิดกัมต่ออุณหภูมิทรานสิชัน (transition temperature) ในการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนสกัดจากเนื้อหมู พบว่าการเติมกัมมีผลทำให้อุณหภูมิในการเสียสภาพของโปรตีนมีค่าสูงขึ้น โดยอธิบายว่า ฟลักซ์ซิดกัม มีความสามารถในการละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ได้ดีกว่า และละลายได้ก่อนที่โปรตีนจะเกิดการคลายเกลียว จึงช่วยรักษาโครงสร้างธรรมชาติโปรตีนเอาไว้ และป้องกันการเกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน ขณะให้ความร้อน จึงทำให้ค่าอุณหภูมิในการเสียสภาพของโปรตีนสูงขึ้น

ตารางที่ 8 การพองตัวของแป้งข้าวเจ้าในสารละลายแป้งผสมไข่ขาวที่เตรียมมาจากสารละลายผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 จากนั้นเจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้สารละลายผสมที่มีปริมาณแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 นำมาผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 – 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ตัวอย่าง	การพองตัว (กรัม/กรัมของน้ำหนักแป้งแห้ง)			
	65 องศาเซลเซียส	75 องศาเซลเซียส	85 องศาเซลเซียส	95 องศาเซลเซียส
RF - EW 0	5.39 ± 0.24a	8.29 ± 0.15c	12.05 ± 0.68a	17.51 ± 0.21c
RF - EW 10	5.36 ± 1.16a	7.92 ± 0.25bc	11.88 ± 1.30a	14.96 ± 0.21b
RF - EW 20	4.75 ± 0.11a	7.58 ± 0.00ab	10.89 ± 2.92a	14.75 ± 0.03b
RF - EW 30	4.68 ± 0.23a	7.50 ± 0.35ab	10.25 ± 0.29a	11.91 ± 0.92a
RF - EW 40	4.56 ± 0.01a	7.30 ± 0.17a	10.27 ± 0.51a	11.88 ± 1.23a
RF - EW 50	4.56 ± 0.03a	7.18 ± 0.07a	9.71 ± 0.05a	11.75 ± 0.91a

หมายเหตุ - ตัวอักษร a - c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- RF - EW = แป้งข้าวเจ้า - ไข่ขาว โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือสัดส่วนของไข่ขาวในสารละลายน้ำแป้ง

ตารางที่ 9 การละลายของแป้งข้าวเจ้าในสารละลายแป้งผสมไข่ขาวที่เตรียมมาจากสารละลายผสม 100 กรัม มีสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับ 30:0 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 จากนั้นเจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้สารละลายผสมที่มีปริมาณแป้งคงที่ที่ร้อยละ 2 นำมาผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 – 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ตัวอย่าง	การละลาย (ร้อยละ)			
	65 องศาเซลเซียส	75 องศาเซลเซียส	85 องศาเซลเซียส	95 องศาเซลเซียส
RF + EW 0	0.74 ± 0.08a	1.80 ± 0.61a	4.43 ± 0.64a	20.49 ± 0.13c
RF + EW 10	5.18 ± 0.12b	5.79 ± 0.27b	8.69 ± 0.64b	14.91 ± 0.05a
RF + EW 20	9.39 ± 0.09c	9.80 ± 0.14c	11.19 ± 0.48c	17.42 ± 0.56b
RF + EW 30	12.60 ± 0.10d	12.42 ± 0.56d	13.14 ± 0.26d	18.82 ± 0.95b
RF + EW 40	15.73 ± 0.08e	16.01 ± 0.53e	17.44 ± 0.39e	20.32 ± 0.07c
RF + EW 50	18.76 ± 0.62f	19.13 ± 0.00f	18.80 ± 0.32f	23.46 ± 0.86d

หมายเหตุ - ตัวอักษร a - f ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- RF - EW = แป้งข้าวเจ้า - ไข่ขาว โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือสัดส่วนของไข่ขาวในสารละลายน้ำแป้ง

2.3 ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

ผลการของการเติมไข่ขาวสดต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายน้ำแป้งข้าวเจ้าที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และใช้แป้งคงที่ที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว

สมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างในสถานะที่มีปริมาณน้ำมากเกินไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน และกระบวนการลดอุณหภูมิ โดยมีการกวนตัวอย่างตลอดช่วงของการทดลอง ซึ่งสามารถแบ่งการให้ความร้อนกับตัวอย่างออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงให้ความร้อนกับตัวอย่างจาก 50 - 95 องศาเซลเซียส ช่วงคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส และช่วงการลดอุณหภูมิตัวอย่างลงจาก 95 - 50 องศาเซลเซียส โดยการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดจะแสดงผลเป็นกราฟ ค่าที่เกี่ยวข้องกับสมบัติด้านความหนืด ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความแตกต่างของความหนืดต่ำสุดและความหนืดสูงสุด หรือค่าความหนืดลดลง (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด หรือค่าการคืนตัวกลับ (setback) การเปลี่ยนแปลงความหนืดแสดงดังภาพที่ 14 และผลที่บันทึกได้แสดงในตารางที่ 10 ซึ่งจากภาพที่ 14 จะเห็นว่าเส้นกราฟมีลักษณะคล้ายกันทั้งตัวอย่างที่เติม และไม่เติมไข่ขาว ยกเว้นน้ำแป้งที่เติมไข่ขาวร้อยละ 20 และ 30 ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงการทดสอบ นอกจากนั้นยังพบว่าเส้นกราฟของไข่ขาวล้วน มีลักษณะต่างจากน้ำแป้ง และน้ำแป้งผสมไข่ขาว โดยเฉพาะในช่วงลดอุณหภูมิหลังการให้ความร้อนสารละลายไข่ขาวจะมีความหนืดลดลงจนสิ้นสุดการวัดค่า และเส้นกราฟมีลักษณะที่ไม่ราบเรียบ

พิจารณาผลของการเติมไข่ขาวสดต่อค่าอุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืด พบว่าการเติมไข่ขาวสดที่ระดับการเติมไข่ขาวร้อยละ 30 มีผลทำให้อุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 10 20 40 และ 50 มีผลทำให้อุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืดของน้ำแป้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับน้ำแป้งล้วน คือ มีค่าลดลงประมาณ 2 - 3 องศาเซลเซียส ปริมาณไข่ขาวที่ต่างกันจะส่งผลต่อสมบัติด้านความหนืดของน้ำแป้งต่างกัน กล่าวรงค์ และเกื้อกูล (2546) รายงานว่าโดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวที่ศึกษาด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วคือ ประมาณ 72 – 84 องศา-

เซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดข้าว ปริมาณแอมิโลส ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุดซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความหนืดสูงสุดของส่วนผสม แป้งเปียกในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวเต็มที่ (กลั่นแรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) พบว่าการเติมไข่ขาวสดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 ถึง 50 ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับแป้งเปียกที่ไม่เติมไข่ขาว ผลของโปรตีนต่อความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goel *et al.* (1999); Tarrega *et al.* (2005); Lim and Narsimhan (2006); Marco and Rosell (2008); Noisuwan (2009) ตัวอย่างเช่น Lim and Narsimhan (2006) พบว่าโปรตีนถั่วเหลือง เพิ่มความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกจากแป้งสาลี ทั้งนี้อธิบายว่าการเพิ่มปริมาณไข่ขาวในการศึกษาครั้งนี้ ส่งผลให้ปริมาณของแข็งในน้ำแป้งผสมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) และโปรตีนไข่ขาวบางส่วนอาจเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ช และที่อยู่ในส่วนของเฟสต่อเนื่อง เกิดเจล จึงเพิ่มความหนืดของแป้งเปียก โดยพบไข่ขาวเริ่มเกิดการเกาะกลุ่ม (coagulation) ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส และเป็นเจลแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 70 – 74 องศาเซลเซียส เมื่อให้อุณหภูมิสูงถึง 74 – 89 องศาเซลเซียส เจลไข่ขาวจะแข็งตัวมากขึ้น (Woodward, 1990) การเกิดเจลของไข่ขาวจึงช่วยเสริมทำให้แป้งเปียกมีค่าความหนืดสูงสุดสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้นความหนืดจึงเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ (Zayas, 1997) มีรายงานการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันนี้ โดย Noisuwan (2009) ซึ่งศึกษาพบเวย์โปรตีนเพิ่มค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกของสตาร์ชข้าว โดยเวย์โปรตีนได้รับความร้อนจึงเกิดการเกาะกลุ่ม และเชื่อมต่อกันเกิดเจล เสริมให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกของแป้งผสมเวย์โปรตีนมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ Chedid and Kokini (1992); Bejosano and Corke (1999) ศึกษาพบว่าโปรตีนอาจเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่ข้างของแอมิโลเพกตินส่งผลทำให้ค่าความหนืดของแป้งเปียกที่มีการเติมโปรตีนนั้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งเปียกที่ไม่เติมโปรตีน

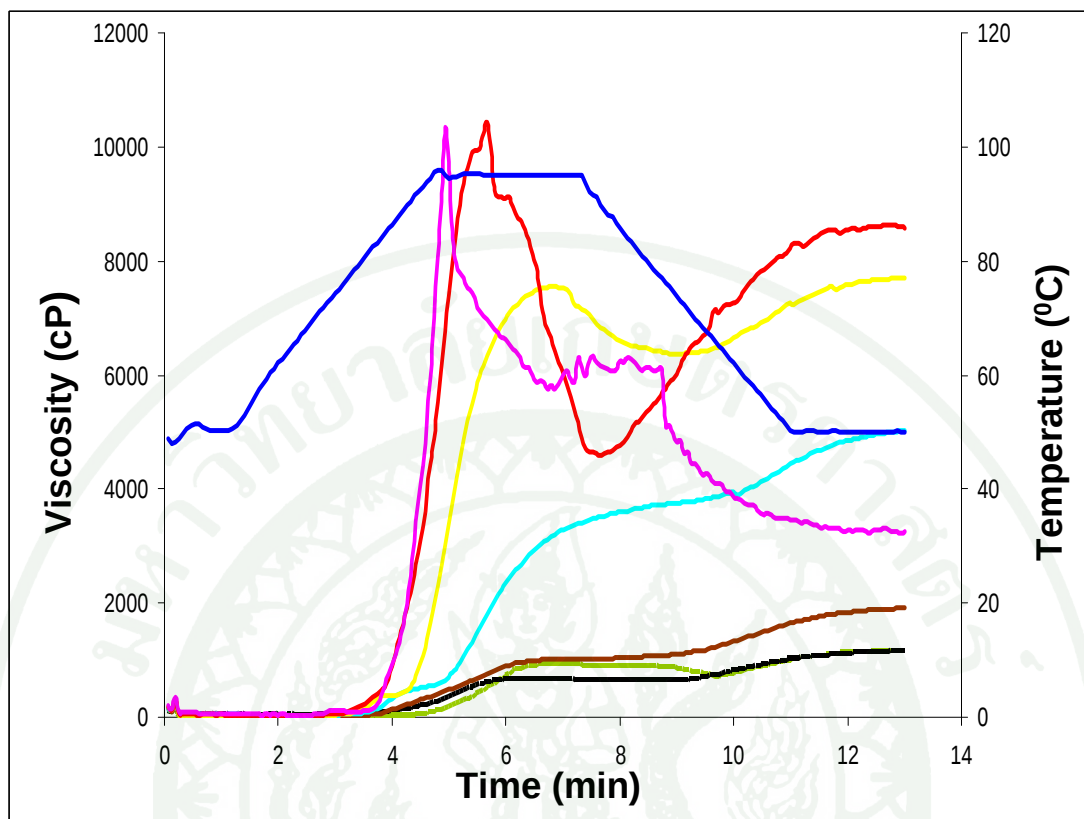
ค่าความหนืดลดลง เป็นผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดซึ่งความหนืดต่ำสุดเป็นค่าความหนืดของแป้งเปียก ที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ และแตกออก ในขณะที่มีการให้ความร้อนและแรงกวนอย่างต่อเนื่อง จึงมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวแตกออก ความหนืดของแป้งเปียกจึงลดต่ำลง ค่าความหนืดลดลงนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงทนของแป้งต่ออุณหภูมิสูงและการกวน หรือแรงเฉือนที่เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต (Marco and Rosell, 2008) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 40 ถึง 50 ทำให้ค่าความหนืดลดลงมีค่า

เพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนการเติมไข่ขาวที่ร้อยละ 10 20 และ 30 มีผลทำให้ความหนืดลดลง มีค่าที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งล้วน โดยการเติมไข่ขาวที่ร้อยละ 20 และ 30 ความหนืดลดลงมีค่าติดลบ เนื่องจากไม่มีการลดลงของความหนืดเมื่อคงอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส นั่นคือความหนืดของน้ำแป้งผสมไข่ขาวที่ร้อยละ 20 และ 30 มีค่าเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนสิ้นสุดการวัดค่า อย่างไรก็ตามพบว่าคุณค่าความหนืดลดลงของน้ำแป้งที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) การที่เติมโปรตีนแล้วทำให้ค่าความหนืดลดลงมีค่าน้อยลง อาจเพราะทั้งโปรตีนที่เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลเอมิโลสในส่วนของเฟสต่อเนื่อง และโปรตีนที่ละลายอยู่ในน้ำได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดเจล ส่งผลให้โครงสร้างภายในของแป้งเปื่อยกแข็งแรงขึ้น ทนต่อการให้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และทนต่อแรงกวน ส่วนการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 40 และ 50 ทำให้มีของแข็งเพิ่มขึ้นมากในสารละลายแป้งผสม โปรตีนไข่ขาวที่เป็นอิสระจากการเกิดอันตรกิริยากับแป้ง จึงจับตัวกันเมื่อได้รับความร้อน โดยไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับแป้งเปื่อย โครงสร้างของแป้งเปื่อยจึงไม่ต่อเนื่อง เมื่อได้รับแรงจากการกวนจึงทำให้ค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าน้อยส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ค่าความหนืดสุดท้าย เป็นค่าความหนืดของแป้งเปื่อยเมื่อมีการลดอุณหภูมิลง เป็นผลทำให้โมเลกุลเอมิโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลใกล้เคียง ทำให้ความหนืดของแป้งเปื่อยในช่วงนี้มีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าการคืนตัวกลับเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด ซึ่งค่าการคืนตัวกลับนี้ใช้ประโยชน์ในการประมาณการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546; Ragae and Aal, 2006; Hormdok and Noomhorm, 2007) โดยผลจากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าการเติมไข่ขาวร้อยละ 10 ถึง 50 มีผลทำให้ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวกลับเมื่อลดอุณหภูมิ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งล้วน ผลของโปรตีนต่อการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้อาจเกิดจากการลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ทำให้เอมิโลสเกิดการจัดเรียงตัว และเจลของโปรตีนไข่ขาวทั้งที่อยู่ในเฟสต่อเนื่อง และที่เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลแป้ง จับตัวกันแน่นขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นเพราะการเติมไข่ขาว ร้อยละ 10 ถึง 50 ทำให้ปริมาณของแข็งในน้ำแป้งเพิ่มขึ้นตามลำดับ(ตารางที่ 4) ส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้าย และการคืนตัวกลับเมื่อลดอุณหภูมิ มีค่าสูงขึ้นมากกว่า เจลจากแป้งข้าวล้วน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Noisuwan (2009) ซึ่งศึกษาพบการเติมเวย์โปรตีนทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายของเจลสตาร์ชข้าวสูงขึ้น โดยอธิบายว่าเป็นเพราะการเติมเวย์โปรตีนเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเมอร์ในระบบ จึงเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างโปรตีนในเวย์โปรตีน

ค่าจากการประเมินด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วที่ใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกแป้งไปผลิตก๋วยเตี๋ยวคือ ค่าการคืนตัวกลับ (setback) ซึ่งต้องมีค่าสูง บ่งบอกถึงแนวโน้มที่ดีในการทำก๋วยเตี๋ยวคือ แป้งแป้งก๋วยเตี๋ยวเกิดการคืนตัว หรือเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็ว ได้แผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ขาดง่าย ไม่เปื่อยยุ่ย สามารถตัดเป็นเส้นได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาควบคู่กับปริมาณแอมิโลสของแป้งด้วย โดยแป้งที่เหมาะสมในการผลิตก๋วยเตี๋ยวต้องมีแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 27 มีค่าการคืนตัวกลับประมาณ 1812.08 เซนติพอยซ์ ขึ้นไป (วีระสิทธิ์ และ กุลกานต์, 2548) หรือ มีค่าการคืนตัวกลับ 1588 – 1877 เซนติพอยซ์ (อรพรรณ, 2547) เมื่อใช้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าการคืนตัวกลับที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้พบว่ามีความต่ำกว่า เนื่องจากปริมาณของแป้งที่ใช้ในการตรวจสอบความหนืดของการทดลองครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 (ปริมาณของแป้งในน้ำแป้ง แสดงดังตารางที่ 4) แต่จากการทดลองครั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นว่าแป้งที่มีการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 น่าจะเหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากการเติมไข่ขาวระดับนี้ทำให้ค่าความหนืดลดลงของแป้งเปียก มีค่าต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนืดของแป้งเปียกจะค่อนข้างคงที่เมื่อมีการให้ความร้อนสูงอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ค่าการคืนตัวกลับเมื่อลดอุณหภูมิ มีค่าสูง ซึ่งแสดงว่าสามารถเกิดเจลได้เร็ว น่าจะมีประโยชน์ในการช่วยลดเวลาในขั้นตอนการรอให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการนึ่งให้สุก เย็นตัวลง ก่อนนำไปตัดเส้น

โดยในผลการทดลองถัดไปจะรายงานผลของการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 – 50 ต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ลดความเข้มข้นของแป้งลง โดยใช้แป้งแค่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักน้ำแป้งผสมทั้งหมด เพราะทั่วไปแล้วการผลิตก๋วยเตี๋ยวต้องใช้แป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 จึงสามารถให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะที่ดี ขึ้นรูปเป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยว ที่ลอกได้ง่าย และไม่ขาด แต่เนื่องจากจุดประสงค์ประการหนึ่งในการทดลองครั้งนี้คือ ต้องการเพิ่มคุณค่าของอาหารเส้นให้มีคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนให้สูงขึ้น จึงต้องการใช้ไข่ขาวให้ได้มากที่สุด อีกทั้งต้องการลดปริมาณของแป้งลงจึงได้ใช้ความเข้มข้นของแป้งเพียงร้อยละ 30 แล้วเติมไข่ขาวในอัตราส่วนตามตารางที่ 4 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของไข่ขาวที่เหมาะสมในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ และตรวจสอบสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ ดังรายงานในผลการทดลองข้อที่ 3



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เมื่อใช้แป้งคงที่ที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไข่ขาวสดความเข้มข้นร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด

หมายเหตุ สารละลายแป้งข้าวเจ้า ที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 (—), 10 (—), 20 (—), 30 (—), 40 (—), 50 (—) และสารละลายของไข่ขาวสดความเข้มข้นร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด (—)

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้งข้าวเจ้าซึ่งเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และใช้แป้ง
 กงที่ที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด						เวลาที่เกิดความ หนืดสูงสุด (นาที)
	อุณหภูมิที่เริ่มเกิด ความหนืด (องศาเซลเซียส)	ความหนืดสูงสุด (เซนติพอยซ์)	ความหนืดต่ำสุด (เซนติพอยซ์)	ความหนืดลดลง (เซนติพอยซ์)	ความหนืดสุดท้าย (เซนติพอยซ์)	ค่าเซตแบค (เซนติพอยซ์)	
RF - EW 0	80.76±0.05d	935.75±37.12a	703.00±33.94a	232.75±3.18a	1166.50±46.67a	463.50±12.73a	6.85±0.12c
RF - EW 10	78.95±0.32c	668.50±24.75ab	627.00±27.58a	46.25±1.77a	1151.25±27.22a	524.25±0.35a	6.35±0.16b
RF - EW 20	77.94±0.02b	1011.75±8.13b	1039.75±5.30a	-28.00±2.83a	1914.75±25.10a	875.00±19.80ab	6.82±0.02c
RF - EW 30	80.75±0.00d	3294.25±301.93c	3672.25±216.02b	-378.00±40.31a	5023.50±394.57b	1351.25±178.54b	7.00±0.00c
RF - EW 40	77.55±0.00a	7544.00±103.94d	6309.00±270.11d	1235.00±166.17b	7705.00±295.57c	1396.00±25.46b	6.82±0.02c
RF - EW 50	77.54±0.02a	10904.75±17.32e	5414.25±788.07c	5490.50±805.39c	8565.00±1386.64c	3150.75±598.57c	5.72±0.02a

หมายเหตุ - ตัวอักษร a – e ที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- RF - EW = แป้งข้าวเจ้า – ไข่ขาว โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือร้อยละของไข่ขาวในสารละลายน้ำแป้ง

3. ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นใหญ่สด

3.1 ความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยวล้วนสด

ในการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ของความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยวล้วนสดจากตลาด และเส้นที่ทำขึ้นทั้งที่ไม่เติมไข่ขาว และเติมไข่ขาวในระดับร้อยละ 10 20 30 และ 40 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด แต่เส้นที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 จะมีความหนามากกว่าตัวอย่างอื่น ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11 จากการขึ้นรูปแผ่นก๊วยเตี๋ยวล้วนในงานวิจัยนี้ใช้วิธีค้อนน้ำหนักของน้ำแป้งที่เทลงถาดหนึ่ง และควบคุมขนาดของถาดแต่ไม่สามารถควบคุมวิธีการเกลี่ยน้ำแป้งให้สม่ำเสมอ ซึ่งความแปรปรวนของค่าความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยวล้วนมีค่ามากที่สุดเมื่อมีการเติมไข่ขาวร้อยละ 50

ตารางที่ 11 ความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นใหญ่สดที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตัวอย่าง	ความหนา (มิลลิเมตร)
Commercial	$0.91 \pm 0.03a$
FEW 0	$0.96 \pm 0.07ab$
FEW 10	$0.83 \pm 0.00a$
FEW 20	$0.87 \pm 0.06a$
FEW 30	$0.90 \pm 0.07a$
FEW 40	$0.92 \pm 0.01a$
FEW 50	$1.11 \pm 0.13b$

หมายเหตุ - ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- Commercial: ก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นใหญ่สดทางการค้า

- FEW: ก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นใหญ่สด โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือร้อยละของไข่ขาวที่เติมในน้ำแป้ง

3.2 การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของการเติมไข่ขาวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด โดยวัดจากการทดสอบ 2 แบบ คือ การให้แรงดึงเส้นจนขาด และการให้แรงกดตัดเส้นให้ขาด บันทึกค่าเนื้อสัมผัส คือ ค่าแรงต้านสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาดซึ่งเท่ากับแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการดึงตัวอย่างให้ขาด ซึ่งบอกถึงความเหนียวหรือความแข็งแรงของเส้นก๋วยเตี๋ยวในการดึงยึด ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงให้ขาด บอกถึงความสามารถในการดึงยึดหรือความยืดหยุ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว สื่อถึงเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นขาดง่ายหรือยากในระหว่างการดึงยึด แรงต้านการตัดสูงสุดซึ่งเท่ากับแรงตัดขาดสูงสุด บอกถึง ความแน่นแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยว และงานที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด บอกถึงงานที่ใช้ในการตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวให้ขาดหรือความแน่นแข็งของเส้น โดยรายงานของ น้ำฝน และ สวณศรี (2548) พบว่าค่าแรงดึงสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาดของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดผลิตจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 มีค่าต่ำกว่าค่าแรงตัดขาดสูงสุดประมาณ 14 เท่า (ค่าเฉลี่ยของแรงดึงสูงสุดในการดึงก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ให้ขาดมีค่าเท่ากับ 0.59 นิวตัน ส่วนค่าเฉลี่ยของแรงตัดขาดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 8.64 นิวตัน) โดยผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 ถึง 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดแสดงในตารางที่ 12

ผลจากตารางที่ 12 พบว่าการเติมไข่ขาวมีผลทำให้ค่าแรงสูงสุดในการดึงให้ขาด แรงตัดสูงสุด และงานที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของไข่ขาวสูงขึ้น แสดงว่าการเติมไข่ขาวมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวแข็ง และแน่นขึ้น โดยตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 มีค่าแรงสูงสุดในการดึงให้ขาดมากที่สุด และแตกต่างจากตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 10 – 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวสดทางการค้ามีเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวในการทดลอง โดยมีแรงสูงสุดในการดึงให้ขาดต่ำกว่าทุกตัวอย่างที่ศึกษา ($P \leq 0.05$) แต่แรงตัดขาดสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 10 แต่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 20 – 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และค่างานในการตัดเส้นให้ขาดก็ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาวร้อยละ 0 10 และ 20 แต่มีค่าต่ำกว่า ($P \leq 0.05$) เส้นที่ใช้ไข่ขาวร้อยละ 30 – 50

สำหรับระยะทางสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาดพบว่าการเติมไข่ขาวในปริมาณที่พอเหมาะจะทำให้ค่าระยะทางสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาดของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูงขึ้นโดยตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 10 – 30 มีระยะทางในการดึงให้ขาดสูงกว่า ($P \leq 0.05$) ก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 40 และ 50 โดยที่ระยะทางในการดึงเส้นให้ขาดของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติม

ไข่ขาวร้อยละ 10 – 30 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามก็ตีพบว่าเส้นก้วยเดี่ยวที่สุ่มซื้อจากตลาดมีค่าระยะทางในการดึงให้ขาดสูงที่สุดเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตัวอย่างในการทดลองนี้

จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเติมไข่ขาวมีผลในการเพิ่มความแข็งแรง และความแน่นเนื้อของเส้นก้วยเดี่ยว การที่ไข่ขาวเพิ่มความแข็งแรง และความแน่นเนื้อของเส้นก้วยเดี่ยวเป็นเพราะสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่ขาวคือ การเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน โดยไข่ขาวเกิดอันตรกิริยากับแอมิโนสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ช ไข่ขาวเกิดอันตรกิริยากับแอมิโนเพกติน ไขมัน และโปรตีนที่ผิวของเม็ดสตาร์ช และเกาะกลุ่มรวมกับเม็ดสตาร์ชที่พองตัว ตลอดจนไข่ขาวที่ละลายอยู่ในเฟสต่อเนื่องหรือน้ำในแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งในกระบวนการนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 95 – 100 องศาเซลเซียส ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ เกิดเป็นโครงสร้างเส้นก้วยเดี่ยว ส่วนไข่ขาวก็เกิดการเสียสภาพ และเกิดเป็นเจล จึงเสริมให้เนื้อสัมผัสของเส้นก้วยเดี่ยวมีความแข็งแรง และแน่นเนื้อมากขึ้น สอดคล้องกับผลที่เกิดกับการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำแป้ง และที่ระดับการเติมไข่ขาวร้อยละ 10 – 30 มีผลทำให้ระยะทางในการดึงเส้นให้ขาดเพิ่มสูงขึ้นแสดงว่าการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 10 – 30 ช่วยเพิ่มความสามารถในการดึงยึด และความยืดหยุ่นของเส้นก้วยเดี่ยว แต่การที่เมื่อเติมไข่ขาวในระดับที่สูงขึ้น (ร้อยละ 40 – 50) ส่งผลให้ค่าระยะทางในการดึงให้ขาดลดลงอาจเนื่องจากปริมาณไข่ขาวมากเกินไป ทำให้เกิดเจลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของไข่ขาว และแป้งข้าว และเจลไข่มีลักษณะแข็งเปราะ จึงทำให้เส้นก้วยเดี่ยวขาดง่าย

เมื่อเปรียบเทียบค่าเนื้อสัมผัสของก้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาว กับก้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่สุ่มซื้อจากตลาดพบว่า ก้วยเดี่ยวจากตลาดมีลักษณะเหนียว (มีค่าระยะทางในการดึงให้ขาดสูง) และเนื้อสัมผัสแข็งน้อยกว่าก้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะก้วยเดี่ยวจากตลาดมีการเติมแป้งคัดแปรทางเคมีเพื่อทำให้ก้วยเดี่ยวเหนียว นุ่ม เนื่องจากสังเกตพบว่าก้วยเดี่ยวจากตลาดมีลักษณะใส ไม่ขาวขุ่นเหมือนเจลที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าทั่วไป ลักษณะตัวอย่างก้วยเดี่ยวแสดงดังภาพที่ 15

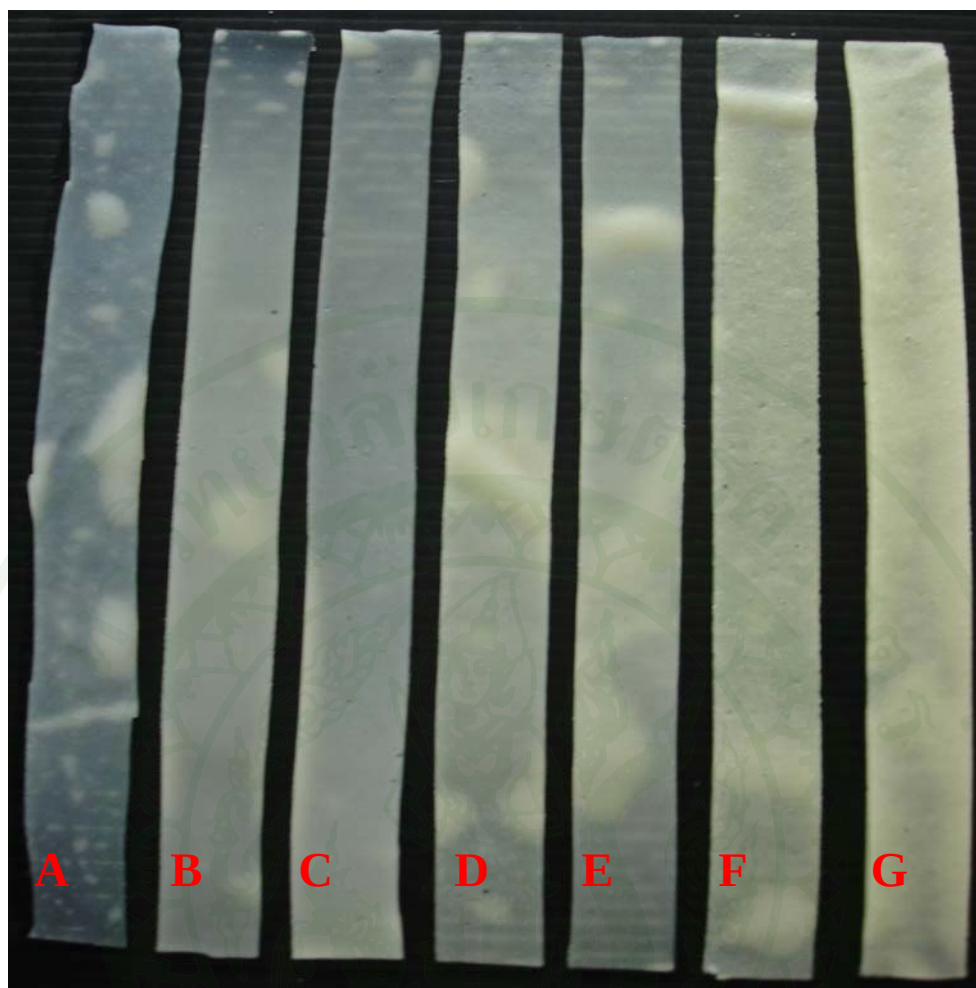
ตารางที่ 12 ค่าเนื้อสัมผัสของก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตัวอย่าง	ค่าเนื้อสัมผัส			
	การต้านแรงดึงขาด		การต้านแรงตัดขาด	
	แรงสูงสุด (กรัม)	ระยะทาง (มิลลิเมตร)	แรงสูงสุด (กรัม)	งาน (กรัม.วินาที)
FEW 0	60.22 ± 4.62b	23.31 ± 1.70a	315.82 ± 7.99a	1768.86 ± 384.77a
FEW 10	74.10 ± 1.75c	25.77 ± 1.08bc	407.47 ± 27.20b	2043.08 ± 195.55a
FEW 20	85.02 ± 2.72cd	25.97 ± 0.62bc	484.26 ± 23.30c	2371.97 ± 236.82a
FEW 30	83.97 ± 4.36cd	26.83 ± 0.99c	634.98 ± 11.01d	3171.20 ± 48.92b
FEW 40	93.71 ± 11.97de	24.37 ± 0.52ab	766.74 ± 45.03e	4035.51 ± 611.89c
FEW 50	100.91 ± 4.72e	23.27 ± 0.37a	837.25 ± 25.90f	4415.33 ± 86.58c
Commercial	46.75 ± 0.08a	34.10 ± 0.42d	417.83 ± 13.39b	2193.82 ± 225.11a

หมายเหตุ - ตัวอักษร a - f ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- Commercial: ก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดทางการค้า

- FEW: ก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือร้อยละของไข่ขาวที่เติมในน้ำแป้ง



ภาพที่ 15 ตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด

A: ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดทางการค้า

B: ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่ไม่ได้เติมโซเดียม

C D E F G: ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดเติมโซเดียมเท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ตามลำดับ

3.3 ค่าออกเตอร์แอคติวิตี และความชื้นของเส้นก๊วยเตี๋ยวสด

จากตารางที่ 13 พบว่าค่าออกเตอร์แอคติวิตี และความชื้นของเส้นก๊วยเตี๋ยวสดที่มีการเติมโซเดียมร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ความชื้นของก๊วยเตี๋ยวสดโดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 62 – 64 และมีค่าออกเตอร์แอ-

ทิวีสสูงซึ่งทำให้ก้วยเตี๋ยวสด มีอายุการเก็บประมาณ 1 – 2 วัน (งามชื่น, 2541) ดังนั้นบางครั้งผู้ผลิตบางรายเติมสารกันเสียในก้วยเตี๋ยวซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค การทำแห้งเส้นก้วยเตี๋ยวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้เส้นก้วยเตี๋ยวเก็บได้นานขึ้น และไม่ต้องใช้สารกันเสีย ซึ่งการทำแห้งเส้นก้วยเตี๋ยวมีการศึกษา และรายงานผลในข้อ 4

ตารางที่ 13 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และร้อยละความชื้นของเส้นก้วยเตี๋ยวสดที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตัวอย่าง	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ^{ns}	ร้อยละความชื้น ^{ns}
FEW 0	0.89 ± 0.01	62.45 ± 0.40
FEW 10	0.89 ± 0.00	62.18 ± 0.42
FEW 20	0.90 ± 0.00	62.56 ± 0.42
FEW 30	0.89 ± 0.01	62.52 ± 0.13
FEW 40	0.90 ± 0.01	62.85 ± 0.01
FEW 50	0.89 ± 0.00	62.53 ± 0.00

หมายเหตุ - ^{ns} คือค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

- FEW: ก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือร้อยละของไข่ขาวที่เติมในน้ำแป้ง

3.4 สีของก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด

ผลของการเติมไข่ขาวต่อค่าสีของก้วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดแสดงในตารางที่ 14 พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของก้วยเตี๋ยวที่ไม่เติมไข่ขาว และก้วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 10 - 40 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และตัวอย่างที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 มีค่าความสว่างสูงที่สุด สำหรับค่าสีเขียว ($-a^*$) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน ($-b^*$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มขึ้น โดยความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในบางช่วงของปริมาณไข่ขาวเท่านั้น พบค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของเส้นก้วยเตี๋ยวสูงขึ้นเมื่อระดับของไข่ขาวสูงขึ้น ซึ่งการที่เติมไข่ขาวที่ร้อยละ 30 – 50 แล้วมีผลทำให้ก้วยเตี๋ยวมีสีเหลืองอาจเป็นเพราะโอโวเฟลวินที่อยู่ในไข่ขาวหรืออาจเป็นเพราะในขณะที่ได้รับความร้อนเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างหมู่รีดิวซ์ (reducing end

carbonyl group) ของสสารซึ่กับหมู่แอมิโนของโปรตีน โดยเฉพาะหมู่แอมิโนเอพซิลอนของกรดแอมิโนไลซีน (ϵ - amino group of lysine) (ปาริณัฏ, 2548; Martins *et al.*, 2001)

ตารางที่ 14 ค่าสีของเส้นก๊วยเดี่ยวสดที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
FEW 0	65.12 $\pm$ 0.21a	-1.63 $\pm$ 0.04a	-0.78 $\pm$ 0.05a
FEW 10	65.47 $\pm$ 0.91a	-1.90 $\pm$ 0.04ab	-1.26 $\pm$ 0.08a
FEW 20	65.04 $\pm$ 0.62a	-2.05 $\pm$ 0.08b	-0.22 $\pm$ 0.18a
FEW 30	64.64 $\pm$ 0.30a	-2.45 $\pm$ 0.21c	2.21 $\pm$ 0.29b
FEW 40	66.01 $\pm$ 0.40ab	-2.45 $\pm$ 0.12c	4.20 $\pm$ 0.61c
FEW 50	66.99 $\pm$ 0.62b	-2.79 $\pm$ 0.23c	5.97 $\pm$ 0.86d

หมายเหตุ - ตัวอักษร a - d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- FEW: ก๊วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด โดย 0 10 20 30 40 และ 50 คือร้อยละของไข่ขาวที่เติมในน้ำแป้ง

3.5 ลักษณะโครงสร้างละเอียดของเส้นก๊วยเดี่ยวสด เมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

ผลการตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของเส้นก๊วยเดี่ยวสด โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 16 และ 17 และผลการตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของเส้นก๊วยเดี่ยวสดด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 19 โดยภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างละเอียดของเส้นก๊วยเดี่ยวที่มีระดับการเติมไข่ขาวร้อยละ 0 30 และ 50 ซึ่งจากภาพที่ 16 สังเกตพบหลุม หรือรูขนาดใหญ่ ที่ผิวหน้าตัดขวางของเส้นก๊วยเดี่ยวซึ่งอาจเกิดจากการหลุดของชิ้นส่วนของตัวอย่างก๊วยเดี่ยวขณะที่หักตัวอย่าง ก่อนนำมาติดบนแท่นวาง ตามวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยพบเกิดมากในตัวอย่าง

ถ้วยเดี่ยวที่เติมไข่ขาว เมื่อตรวจสอบขนาดหลุมที่ปรากฏในภาพของตัวอย่างถ้วยเดี่ยวที่ไม่เติมไข่ขาว (ภาพที่ 16 – A) พบมีขนาดของรูประมาณ 0.01 – 0.04 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ย 0.03 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ยจากการวัด 21 ตำแหน่ง) ส่วนตัวอย่างถ้วยเดี่ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 (ภาพที่ 16 – B) พบมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 0.13 มิลลิเมตร และมีค่าขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.03 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ยจากการวัด 37 ตำแหน่ง) ขณะที่ตัวอย่างถ้วยเดี่ยวที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 (ภาพที่ 16 - C) มีจำนวนของรูปรากฏในภาพมากที่สุด โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 – 0.2 มิลลิเมตร และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.04 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ยจากการวัด 49 ตำแหน่ง)

จากภาพที่ 16 พบว่าเส้นถ้วยเดี่ยวที่ไม่เติมไข่ขาวมีโครงสร้างเรียบแน่น (ภาพที่ 16 - A1 และ 16 -A2) ขณะที่เส้นถ้วยเดี่ยวที่เติมไข่ขาวมีโครงสร้างขรุขระ (ภาพที่ 16 - B1, 16 - B2 และ 16 - C1, 16 - C2) ซึ่งโครงสร้างของถ้วยเดี่ยวจากแป้งข้าวโดยทั่วไปเกิดจากการที่สสารได้รับความร้อนขณะนี้ เกิดการเจลาไทไนซ์ และเกิดโครงสร้างเจลต่อเนื่องตลอดทั้งเส้น เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูงขึ้น (ภาพที่ 17 - A2) พบว่าตัวอย่างเส้นถ้วยเดี่ยวที่ไม่เติมไข่ขาวไม่พบเม็ดสสารที่ยังคงรูปอยู่ เป็นไปได้ว่าเม็ดสสารเกิดการเจลาไทไนซ์ทั้งหมดเพราะแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณของแอมิโลสในช่วงร้อยละ 28.32 - 37.40 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาไทไนซ์ซึ่งตรวจสอบโดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ว่ามีค่าประมาณ 69.80 - 87.03 องศาเซลเซียส (Suksomboon, 2007) และ Varavinit *et al.* (2003) พบว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 21.95 - 26.42) มีอุณหภูมิการเกิดเจลาไทไนซ์ในช่วง 68.81 - 83.58 องศาเซลเซียส ซึ่งในกระบวนการนี้ในการทดลองนี้มีอุณหภูมิเท่ากับ 95 – 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 4 นาที และเส้นถ้วยเดี่ยวมีความบาง ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าเม็ดสสารภายในเส้นถ้วยเดี่ยวที่ใช้แป้งล้วน เกิดการ เจลาไทไนซ์และแตก แอมิโลสหลุดออกจากเม็ดสสาร หลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกับองค์ประกอบอื่นๆ ในแป้งข้าว

การที่โครงสร้างตัดตามขวางของเส้นถ้วยเดี่ยวที่มีการเติมไข่ขาวร้อยละ 30 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีความขรุขระมากกว่าเส้นที่ใช้แป้งล้วน (ภาพที่ 16 – A,B,C และ 17 – A,B,C) แสดงว่าการเติมไข่ขาวทำให้โครงสร้างของเส้นถ้วยเดี่ยวเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จากการศึกษาในข้อ 2.1 และ 2.2 ซึ่งว่าการเติมไข่ขาวมีผลทำให้เม็ดสสารบางส่วนพองตัว และแตกช้า เม็ดสสารบางส่วนอาจยังไม่แตก แต่มีการเปลี่ยนรูปร่างไป และรวมกันอยู่ในเจลของเส้นถ้วยเดี่ยว ข้อเท็จจริงนี้สนับสนุนโดยรายงานของ Li *et al.* (2007) ที่พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นยับยั้งการพองตัว และการเกิดเจลาไทไนซ์ของสสารข้าวโพด ทำให้เกิดช้าลง เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองแย่งน้ำไปจากสสารข้าวโพด และเมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วย

เครื่องเครื่อง คีฟเฟอเรนเซียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทีไนซ์ (the onset temperature; T_o) และอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาทีไนซ์ (the peak temperature; T_p) ของส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและสตาร์ชข้าวโพด มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าของสตาร์ชข้าวโพดอย่างเดียว นอกจากนี้มีรายงานว่าลักษณะโครงสร้างของเจลโปรตีนภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะมีลักษณะขรุขระ โดย Aryana *et al.* (2002) ศึกษาพบลักษณะโครงสร้างละเอียดของเจลไข่ขาวล้วน และเจลที่เกิดจากไข่ขาวผสมโปรตีนเวย์เข้มข้น มีลักษณะเนื้อเจลที่ขรุขระซึ่งเกิดจากโปรตีนรูปร่างกลมจับตัวกันเกิดร่างแห บางบริเวณร่างแหโปรตีนมีการเกาะกลุ่มกันแน่น มีช่องว่าง หรือโพรงที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ ในทำนองเดียวกันลักษณะของเนื้อปลาบด (ซูริมิ) ที่ผ่านการให้ความร้อนกลายเป็นเจล แข็ง หรือเรียกว่า คามาโบโกะ (kamaboko) ก็มีลักษณะของเจลที่ขรุขระ และมีช่องว่างแทรกในร่างแหโปรตีน มีการกระจุกตัวของสายโซ่โปรตีนเป็นกลุ่ม (Gomez-Guillen *et al.*, 1997; Tammattinna *et al.*, 2007; Rawdkuen and Benjakul, 2008) เช่นเดียวกับ Chen *et al.* (2007) พบว่าโครงสร้างละเอียดของเนื้อเจลผสมระหว่างโปรตีนจากเนื้อหมูบดกับกัมแฟลกซ์ไซด์ มีลักษณะขรุขระ ซึ่งความเรียบหรือขรุขระของเจล ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการปล่อยให้มีการจัดเรียงตัวเพื่อเกิดเจล

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง (ภาพที่ 17 – B และ 17 - C) พบโครงสร้างของโปรตีนแมทริกส์ของไข่ขาว (ลูกศรชี้) ซึ่งแสดงถึงการเกิดเจลผสมของแป้งและโปรตีนในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยลักษณะของเจลไข่ขาวเกิดจากสายโซ่ของโปรตีนไข่ขาว ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาครูปปร่างกลมมน รวมกลุ่มกันอยู่ และเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ บางตำแหน่งโปรตีนหลอมรวมกันกลายเป็นเนื้อเดียว

ลักษณะสายโซ่โปรตีนไข่ขาวที่พบนี้ไม่พบในโครงสร้างละเอียดของก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติมไข่ขาว แต่พบเฉพาะในโครงสร้างละเอียดของก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาว โดยมีจุดสังเกตอีกประการคือ พบลักษณะสายโซ่โปรตีน มากขึ้นในตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวปริมาณมากขึ้นคือร้อยละ 0 30 และ 50 เปรียบเทียบดังภาพที่ 17 - A, 17 – B และ 17 – C ตามลำดับ และยังสนับสนุนด้วยงานวิจัยของ Teo *et al.* (2000) ที่พบว่าโปรตีน ออริซานินซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่มีอยู่ในแป้งข้าวเจ้านั้นเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 60 - 66 องศาเซลเซียส (ตรวจสอบด้วยเครื่องคีฟเฟอเรนเซียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนออริซานินได้เสียสภาพ และหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกับเจลาทีไนซ์สตาร์ชไปแล้วจึงไม่พบสายโซ่โปรตีนออริซานินในโครงสร้างละเอียดของก๋วยเตี๋ยวทั้งที่ไม่เติมไข่ขาวและเติมไข่ขาว ทั้งนี้เพื่อยืนยันว่าสายโซ่โปรตีนที่พบในภาพที่ 17 – B, 17 - C เป็นสายโซ่โปรตีนของไข่ขาวจึงได้ทำการสำรวจโครงสร้างละเอียดของเจลโปรตีนจากไข่ขาวล้วนด้วย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายสูง ซึ่งลักษณะของเจลไข่ขาวเห็นเป็นลูกปัดต่อกันเป็นสายโซ่โดยจุดที่เชื่อมต่อกันมีการหลอมรวม ดังภาพที่ 18 - EW2 และ 18 - EW3 จึงยืนยันได้ว่าลักษณะสายโซ่โปรตีนที่พบในเส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นลักษณะของการเกิดเจลจากไข่ขาว (ภาพที่ 17 - B และ 17 - C) โดยขนาดของอนุภาคโปรตีนในไข่ขาวมีขนาดต่างๆ กัน มีรูปร่างทรงกลมบ้าง รูปร่างกลมรีบ้าง (ภาพที่ 18 - EW2, 18 - EW3) วัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ประมาณ 0.008 – 2.51 ไมครอน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.64 ไมครอน (วัดค่าจากอนุภาคโปรตีนจำนวน 36 อนุภาค) และพบบางส่วนเป็นสายเกลียวแบบสุ่ม (random coil) เชื่อมต่อกัน (ภาพที่ 18 - EW3) ซึ่งการที่พบว่าอนุภาคที่ต่อกันเป็นสายโซ่โปรตีนมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทั้งที่ควรจะมีขนาดเล็กมาก และมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร อาจมีผลเนื่องมาจาก อนุภาคโปรตีนเกิดการหลอมรวม ทำให้มีขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้าง ซึ่ง Yan *et al.* (2007) พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนไลโซไซม์ ที่สกัดมาจากไข่ไก่ ในสภาวะที่มีพีเอชเท่ากับ 12 ซึ่งเป็นระดับพีเอชที่สูงกว่า pI ของไลโซไซม์ (pI ประมาณ 11) จนเกิดเจลของโปรตีน พบเจลที่ได้มีลักษณะขุ่น ทึบแสง และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของเจลโปรตีนไลโซไซม์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เจลเกิดจากอนุภาคโปรตีนที่มีรูปร่างกลม เกาะเรียงตัวกันอย่างไม่มีทิศทาง อนุภาคโปรตีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคโปรตีนที่ใกล้เคียงกับที่พบในการศึกษาเจลไข่ขาวในครั้งนี้ด้วย (วัดขนาดอนุภาคโปรตีนในภาพที่ 17 B,C จำนวน 36 อนุภาค ได้ค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.46 – 2.23 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ย 1.32 ไมครอน)

ภาพลักษณะของเจลที่เกิดขึ้นจากแป้งผสมกับไข่ขาวในตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาว ระดับร้อยละ 30 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งว่าเกิดเจลผสมระหว่างเจลของเจลาตินในซ์สตาร์ชของแป้งข้าวและเจลของไข่ขาว ซึ่งการเกิดเจลผสมนี้มีผลทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวมีความแข็งแรงสูงกว่าเส้นที่ไม่เติมไข่ขาว สอดรับกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ที่พบว่าเส้นที่เติมไข่ขาวมีเนื้อสัมผัสที่ แข็ง เปราะ และขาดง่าย ค่าแรงสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาด แรงตัดขาดสูงสุด และงานที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด มีค่าสูงมาก และมีค่าระยะทางสูงสุดในการดึงให้ขาดต่ำเมื่อเติมไข่ขาว ในทำนองเดียวกัน Shim and Mulvaney (2001) ศึกษาลักษณะเจลผสมระหว่าง สตาร์ชมันสำปะหลังกับเวย์โปรตีน ซึ่งเตรียมเจลให้มีความเข้มข้นของของแข็งร้อยละ 30 (อัตราส่วนระหว่าง สตาร์ช และเวย์โปรตีน เท่ากับ 50 : 50) ที่ระดับพีเอช 7 หลังจากให้ความร้อนที่ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างละเอียดของเจลผสมพบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังเกิดการเจลาติไนซ์ แอมิโลสหลุดออกมา เกิดโครงร่างเจลต่อเนื่อง โดยที่โมเลกุลแอมิโลสเป็นเหมือนกาวเชื่อมทั้ง สตาร์ชที่ยังคงรูปอยู่ รวมทั้งแอมิโลเพกทิน และสารอื่นๆ ที่อยู่ในระบบ ส่วนเวย์โปรตีนเกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อนกลมมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน รวมอยู่เป็นกลุ่มๆ และเชื่อมต่อกันเป็นสายสั้นๆ

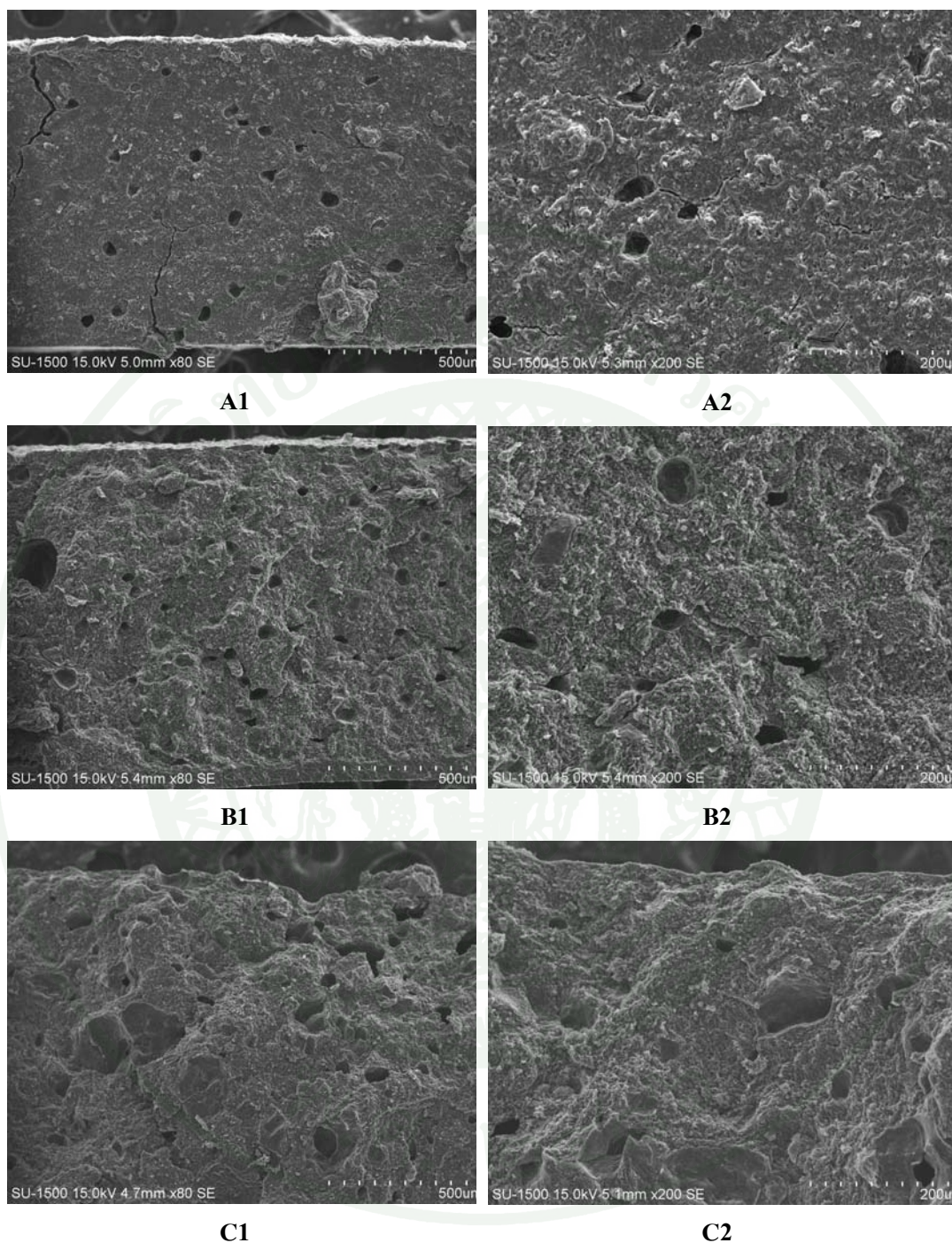
แทรกอยู่ในโครงร่างเจลของสตาarchมันสำปะหลัง ซึ่งเวย์โปรตีนที่เกาะกลุ่มกันนี้ทำหน้าที่คล้ายกับ แอมีโลสเช่นเดียวกันคือ เป็นกาวที่ประสาน และเชื่อมต่อกับโครงร่างตาข่ายของแอมีโลส เสริมให้ เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งแสดงออกด้วยค่า storage modulus ของเจลผสมมีค่ามากกว่าค่าของ เจลที่เกิดจากสตาarchมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว

ตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของก้วยเตี๋ยด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด โดยเลือกใช้สีย้อมฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท ย้อมโปรตีนไข่ขาว และโรดามิน บี ย้อม สตาarch ซึ่ง Tromp *et al.* (2003) รายงานว่าเมื่อใช้วิธีการย้อมสีตัวอย่างแบบ non covalent staining สามารถเลือกใช้สีย้อมฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท และสีย้อมโรดามิน บี เพื่อย้อมติดโปรตีน โดยสีทั้งสองสามารถติดหมู่แอมีโนของโปรตีน แต่ทั้งนี้โรดามิน บีจะติดโปรตีนที่อยู่ที่มีดสตาarch และที่ starch granule remnant จากภาพที่ 19 - A พบโปรตีนไข่ขาวติดสีเขียวเนื่องจากฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท ไวและจำเพาะกับโปรตีนที่ละลายในน้ำ (Tromp *et al.*, 2003) ซึ่งเป็นโปรตีน ที่อยู่ในไข่ขาว และโปรตีนในแป้งข้าวติดสีส้ม-แดง แสดงว่ามีการย้อมติดสีทั้ง โรดามิน บี และ ฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท โดยโรดามิน บี ย้อมติดสีโปรตีนในแป้งข้าวได้มากกว่า ฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท สันนิษฐานว่า โรดามิน บี อาจไวและจำเพาะกับโปรตีนในแป้ง ข้าวที่ละลายในด่างหรือกรด

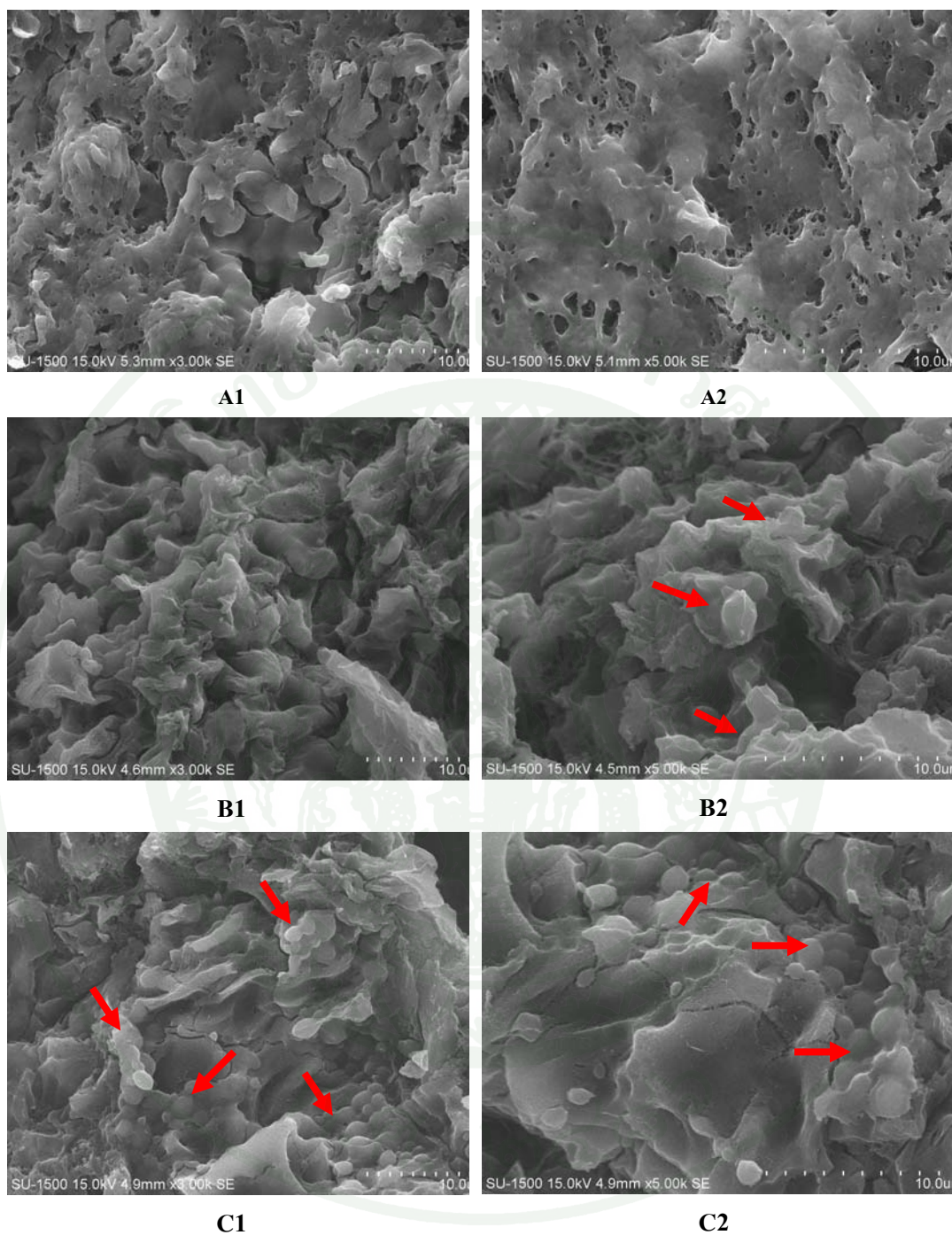
จากการตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของก้วยเตี๋ยสดด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบ ส่องกราด (ภาพที่ 19 - A1, 19 - A2, 19 - A3) แสดงให้เห็นโครงสร้างพื้นผิวตามยาวของเส้น ก้วยเตี๋ย (ภาพที่ 19 - A1) และโครงสร้างตัดขวางของเส้นก้วยเตี๋ย (ภาพที่ 19 - A2, 19 - A3) โดย ภาพที่ 19 - A1 โปรตีนไข่ขาวติดสีย้อมฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท เห็นเป็นสีเขียว ในภาพ และโปรตีนในสตาarchติดสีย้อม โรดามิน บี และฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท เห็นสีส้ม-แดง ในภาพ จากภาพแสดงตำแหน่ง และการจัดเรียงตัวของโปรตีนภายในเส้นก้วยเตี๋ย โดยที่สตาarch ในเส้นก้วยเตี๋ยได้รับความร้อนขณะนึ่ง เกิดเจลาทิไนซ์ และเกิดโครงร่างตาข่าย (matrix) ต่อเนื่อง ตลอดทั้งเส้น และพบสายโซ่โปรตีนไข่ขาวซึ่งติดสีเขียวของฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท อยู่ในเนื้อเส้นก้วยเตี๋ย ซึ่งจากภาพแสดงสายโซ่ที่เกิดจากการเชื่อมต่อของโปรตีนรูปทรงกลมขนาดเล็ก โดยพบสายโซ่โปรตีนกระจายอยู่ในโครงร่างของเส้นก้วยเตี๋ย ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันจึงได้ ย้อมโปรตีนไข่ขาวโดยใช้สีย้อมฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานเท ก่อน แล้วจึงนำมาผสม และนึ่ง เส้น จากนั้นนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด ผลการตรวจสอบแสดง ดังภาพที่ 19 - A2, 19 - A3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรตีนไข่ขาวมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมเชื่อมต่อกัน เป็นสายโซ่อยู่ในโครงร่างตาข่ายของเจลาทิไนซ์สตาarch ดังนั้นจึงสอดคล้องกับผลการทดลองที่

พบว่า การเติมไข่ขาวในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ส่งผลในการช่วยเสริม และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นก๋วยเตี๋ยว โดยสอดคล้องกับ Dalbon *et al.* (1996) ที่พบว่าโปรตีนไข่ขาวช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าให้มีความแน่นเนื้อคงที่ ตลอดจนทำให้โครงข่ายโปรตีนในเส้นพาสต้ามีความแข็งแรง และห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชไว้ คงความแข็งแรงไว้ระหว่างการหุงต้ม จึงทำให้เส้นพาสต้ามีคุณภาพการหุงต้มที่ดีขึ้น

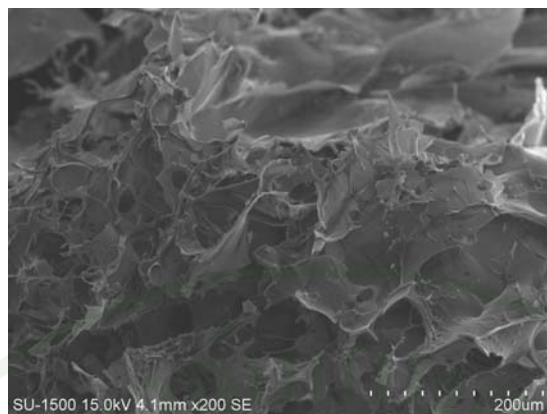




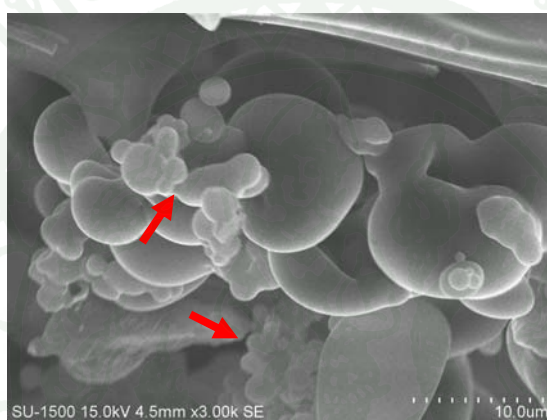
ภาพที่ 16 ภาพตามขวางของโครงสร้างของเส้นใยเดี่ยวเส้นใหญ่ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) ใยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่ไม่เติมไข่ขาว (B) ใยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และ (C) ใยเดี่ยวเส้นใหญ่สุดที่เติมไข่ขาวร้อยละ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดย ตัวเลข 1 และ 2 คือ กำลังขยายต่ำ และกำลังขยายสูง ตามลำดับ โดยกำลังขยายตามสเกลบาร์ในภาพ



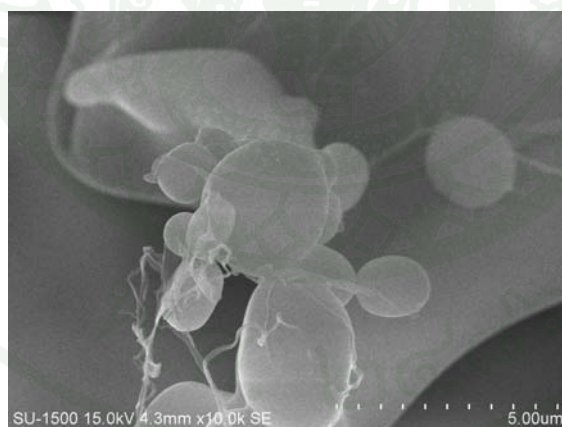
ภาพที่ 17 ภาพตามขวางของโครงสร้างของเส้นก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่ไม่เติมน้ำขาว (B) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่เติมน้ำขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และ(C) ก๊วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดที่เติมน้ำขาวร้อยละ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดย ตัวเลข 1 และ 2 คือ กำลึงขยายต่ำ และกำลึงขยายสูง ตามลำดับ โดยกำลึงขยายตามสเกลบาร์ในภาพส่วนตำแหน่งที่ถูกศรชี้ คือ Protein matrix



EW1

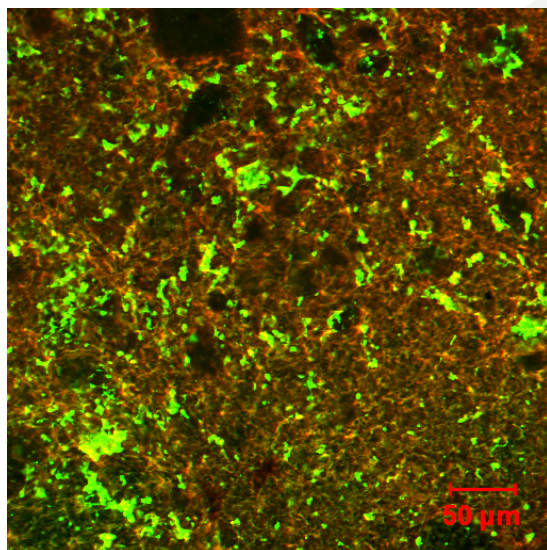


EW2

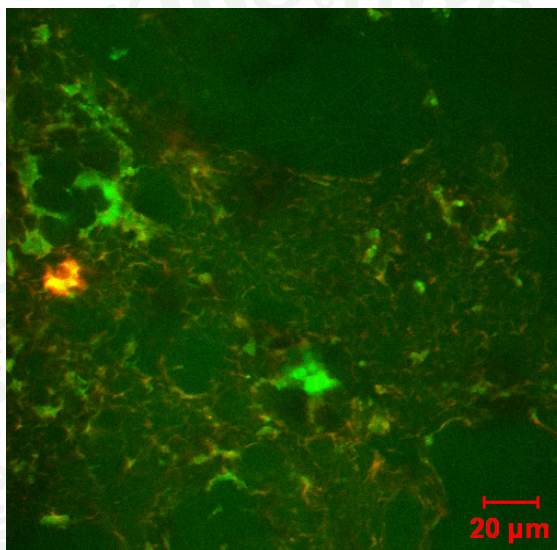


EW3

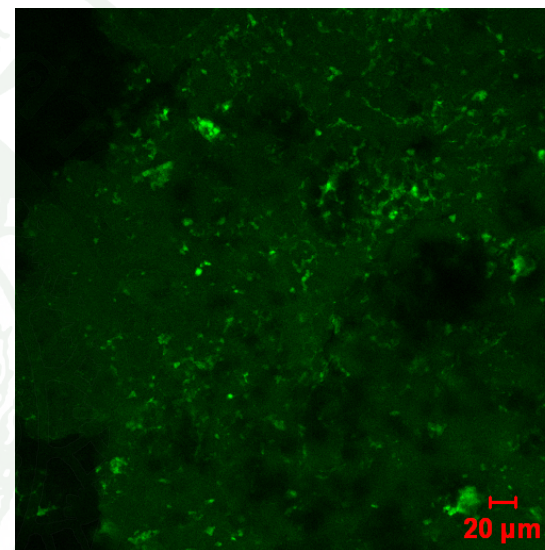
ภาพที่ 18 โครงสร้างของเจลไข่ขาว (EW1 EW2 และ EW3) ซึ่งเตรียมจากสารละลายไข่ขาวสด ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยายตามสเกลบาร์ในภาพ และตำแหน่งที่ลูกศรชี้ คือ Protein matrix



A1 (ภาพตามยาว)



A2 (ภาพตามขวาง)



A3 (ภาพตามขวาง)

ภาพที่ 19 ภาพโครงสร้างของเส้นก๊วยเดียมไขขาวร้อยละ 30 น้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จากกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

หมายเหตุ A1: ก๊วยเดียมสดเติมไขขาวร้อยละ 30 ย้อมสีด้วย ฟลูออเรสซิน ไอโซโทไอโซไซยานท และ โรดามิน บี ตามลำดับ

A2: ก๊วยเดียมสดเติมไขขาวร้อยละ 30 ซึ่งย้อมสีไขขาวสดด้วย ฟลูออเรสซิน ไอโซโทไอโซไซยานท และย้อมสีแข็งขาวด้วยโรดามิน บี ก่อนนึ่งเป็นเส้นก๊วยเดียม

A3: ก๊วยเดียมสดเติมไขขาวร้อยละ 30 ซึ่งย้อมสีไขขาวสดอย่างเดียวด้วยฟลูออเรสซิน ไอโซโทไอโซไซยานท ก่อนนำมาผสมกับน้ำแป้ง นึ่งเป็นเส้นก๊วยเดียม

4. ผลของการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาว

จากผลการวิเคราะห์และตรวจสอบที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยคัดเลือกก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่เติมไข่ขาวในระดับที่ส่งผลให้ก้วยเตี๋ยมีเนื้อสัมผัสที่ดี และมีการใช้ไข่ขาวในปริมาณมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อศึกษาผลของการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาว ซึ่งระดับที่ผู้วิจัยเลือกคือ ก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่ที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เนื่องจากเป็นระดับที่มีการใช้ไข่ขาวได้มากที่สุด โดยที่ลักษณะทางเนื้อสัมผัส และสีของเส้นก้วยเตี๋ยที่ได้ไม่แตกต่างจากการเติมไข่ขาวที่ระดับต่ำ (ร้อยละ 10) ผู้วิจัยศึกษาระยะเวลาในการบ่มแผ่นก้วยเตี๋ยก่อนนำไปตัดเส้น แล้วนำไปอบแห้ง โดยใช้เส้นก้วยเตี๋ยที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 (รหัส DEW 30) ศึกษาระยะเวลาในการบ่มเท่ากับ 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (รหัส A0 A1 A2 A3 A4 A5 และ A6 ตามลำดับ) และใช้เส้นก้วยเตี๋ยที่ไม่ได้เติมไข่ขาวไม่บ่มแผ่นแป้งก่อนตัดเส้น (รหัส DEW 0) เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ นำก้วยเตี๋ยอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เก็บรักษาก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่อบแห้งในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน และเก็บไว้ในกล่องมิดชิด ในสถานที่ที่แห้ง ผลการตรวจสอบสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของก้วยเตี๋ยอบแห้งมีดังนี้

4.1 การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม และปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม

คุณภาพการหุงต้มของก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่เติมไข่ขาวอบแห้งที่ศึกษาคือ ค่าการพองตัวของเส้นระหว่างการต้ม ซึ่งใช้บอกถึงความสามารถในการดูดน้ำกลับของก้วยเตี๋ยในระหว่างการหุงต้ม และปริมาณแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ถ้าในน้ำต้มมีปริมาณของแข็งสูญเสียออกมามาก จะทำให้น้ำต้มมีลักษณะขุ่น แสดงถึงอาหารเส้นมีความทนทานต่อการหุงต้มน้อย เนื่องจากมีสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในปริมาณมาก (Bhattachara *et al.*, 1999) หรือแสดงถึงปริมาณแอมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ชซึ่งเกิดการเจลาไทไนซ์ไปแล้ว (Lamacchia *et al.*, 2007) ผลการวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้มแสดงดังตารางที่ 15 พบว่าการพองตัวของเส้นระหว่างการต้มของเส้นใหญ่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 อบแห้งที่มีระยะการบ่มต่างๆ กัน ก่อนตัดเส้น และเส้นใหญ่ที่ไม่เติมไข่ขาวอบแห้ง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่าปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มของตัวอย่างเส้นก้วยเตี๋ยที่ไม่เติมไข่ขาว และไม่ผ่านการบ่ม มีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.51 และไม่พบค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างเส้นก้วยเตี๋ยอบแห้งที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 ซึ่งผ่านการบ่ม

นาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง โดยค่าที่พบสูงสุดในกลุ่มตัวอย่างเหล่านี้คือ มีการสูญเสียปริมาณเนื้อเยื่อเท่ากับร้อยละ 6.35

จากผลของค่าปัจจัยคุณภาพการหุงต้มแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการต้มไม่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง แต่การที่ตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวที่ต้มไข่ขาวอบแห้งมีปริมาณเนื้อเยื่อที่สูญเสียในระหว่างการต้มมากกว่าตัวอย่างเส้นใหญ่อบแห้งที่ไม่ต้มไข่ขาวอาจเป็นเพราะกรรมวิธีในการผลิต เนื่องจากในการทำแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ต้มไข่ขาว จะต้องป้องกันแผ่นก๋วยเตี๋ยวเกาะติดโดยแช่น้ำแข็งข้าวเป็นแผ่นบางๆ เป็นชั้นแรก และนึ่งสุก ก่อนแช่น้ำแข็งที่มีไข่ขาวผสมเป็นชั้นที่สอง ดังนั้นในการต้มเส้นอบแห้ง จึงเป็นไปได้ที่แช่ในชั้นแรกซึ่งเกาะติดเป็นชั้นที่สองไม่ดี จะหลุดลอกออกได้ แต่ Yeh (2004) กล่าวว่า ปริมาณเนื้อเยื่อที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ที่มีค่าไม่เกินกว่า ร้อยละ 10 จัดได้ว่า เส้นที่ได้ มีคุณภาพที่ดี

ตารางที่ 15 ค่าคุณภาพการหุงต้มของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง

ตัวอย่าง	คุณภาพการหุงต้ม	
	การพองตัวของเส้นระหว่างการต้ม ^{ns} (กรัม/กรัมน้ำหนักเส้นแห้ง)	ปริมาณเนื้อเยื่อที่สูญเสียในระหว่างการต้ม (ร้อยละ)
DEW 0	4.12 ± 0.35	4.51 ± 0.18a
DEW 30 A0	4.09 ± 0.52	6.14 ± 0.32bc
DEW 30 A1	4.41 ± 0.15	6.27 ± 0.72c
DEW 30 A2	4.37 ± 0.32	6.27 ± 0.08c
DEW 30 A3	4.51 ± 0.11	6.35 ± 0.01c
DEW 30 A4	4.35 ± 0.26	5.46 ± 0.05abc
DEW 30 A5	4.58 ± 0.16	6.08 ± 0.73bc
DEW 30 A6	4.47 ± 0.23	5.10 ± 0.62ab

หมายเหตุ -^{ns} คือค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

- ตัวอักษร a - c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภค

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อเส้นอบแห้งแล้วคั้นรูป ของก้วยเตี๋ยที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด บ่มที่เวลาต่างๆ กัน (0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง) แสดงดังตารางที่ 16 พบว่าค่าความชอบโดยรวมไม่ต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.63 – 6.10 (เฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย) แต่มีค่าต่ำกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) กับเส้นก้วยเตี๋ยสดทางการค้า (คะแนน 7.50 หรือ ชอบปานกลาง) แสดงว่าระยะเวลาในการบ่มแผ่นแป้งก่อนนำมาตัดเส้น ไม่มีผลต่อตัวอย่างก้วยเตี๋ยที่เติมไข่ขาว แต่การเติมไข่ขาวทำให้มีลักษณะบางประการที่ผู้บริโภคไม่คุ้นเคย เช่น เส้นมีความแข็งแรงกว่าเส้นสดทั่วไปจึงมีคะแนนความชอบต่ำลง

ตารางที่ 16 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบของผู้บริโภคต่อเส้นก้วยเตี๋ยที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด อบแห้งแล้วคั้นรูป

ตัวอย่าง	ความชอบโดยรวม
commercial	7.50 ± 1.07b
DEW 30 A0	5.63 ± 1.67a
DEW 30 A1	6.00 ± 1.49a
DEW 30 A2	5.83 ± 1.18a
DEW 30 A3	6.03 ± 1.30a
DEW 30 A4	5.80 ± 1.58a
DEW 30 A5	6.10 ± 1.16a
DEW 30 A6	5.87 ± 1.43a

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

- ข้อมูลที่แสดง เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิม 30 คน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษร a - b ที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- Commercial: ก้วยเตี๋ยเส้นใหญ่สดทางการค้า

4.3 การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวหลังการทำแห้ง

ผลการทำแห้งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวเดิมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด แสดงในตารางที่ 17 พบว่าการทำแห้งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวค่อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยเดี่ยวสดที่มีการเติมไข่ขาวในระดับเดียวกัน โดยค่าแรงสูงสุดในการดึงให้ขาดมีค่าต่ำกว่าเส้นสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ระยะเวลาในการบ่มแผ่นกล้วยเดี่ยว ก่อนนำไปตัดเส้นในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเส้นกล้วยเดี่ยว สังเกตได้ว่าเส้นหลังคั้นรูปนั้นเปราะ และขาดง่าย อาจเป็นเพราะความร้อนจากการทำแห้งมีผลต่อโครงสร้างระหว่างแป้ง และ โปรตีน โดย Lamacchia *et al.* (2007) พบว่าการทำแห้งเส้นสปาเกตตีที่อุณหภูมิในช่วง 60 – 90 องศาเซลเซียส มีผลทำให้โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลง โดยโปรตีนที่มีขนาดเล็ก มีการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ เกิดเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลใกล้เคียง และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโปรตีนที่มีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ ส่งผลทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของโปรตีน (aggregation) ที่แน่น แนบชิดขึ้น จึงทำให้เส้นสปาเกตตีมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น ซึ่งโปรตีนไข่ขาวที่เติมในกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันนี้ โดย Handa *et al.* (2001) พบว่าเมื่อทำแห้งโปรตีนไข่ขาวมีผลทำให้โปรตีนไข่ขาวเกิดการเกาะกลุ่มเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก และพันธะไดซัลไฟด์ โดยพบว่าขนาดโมเลกุลของโปรตีนในไข่ขาวมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าการอบแห้ง โปรตีนเกิดการเบียดกันแน่นมากขึ้นทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของโปรตีนที่แน่น และเป็นจุดๆ ทำให้เกิดความแข็งแรงเป็นจุดๆ ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างสามมิติ จึงทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรงเท่ากับเส้นกล้วยเดี่ยวสด ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวอบแห้ง เมื่อคั้นรูปแล้วมีความแข็งเปราะ ขาดง่าย

ส่วน Zweifel *et al.* (2003) พบว่าความต่อเนื่องของร่างแหโปรตีนของพาสต้าลดลง และโครงสร้างโปรตีนภายในเส้นกล้วยเดี่ยวถูกทำลายเมื่อผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสค่อยลง หรืออาจเป็นเพราะการอบแห้งมีผลทำให้โครงสร้างของกล้วยเดี่ยวยุบตัว หรือเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเมื่อทำการคั้นรูป (rehydration) น้ำสามารถเข้าไปในช่องว่างภายในโครงสร้างได้ไม่เท่ากับกล้วยเดี่ยวสด ทำให้กล้วยเดี่ยวคั้นรูปได้ไม่เท่าเดิม ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสค่อยลง

ตารางที่ 17 ค่าเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด อบแห้ง แล้วคืนรูป

ตัวอย่าง	ค่าเนื้อสัมผัส			
	การต้านแรงดึงขาด		การต้านแรงตัดขาด	
	แรงสูงสุด (กรัม)	ระยะทาง (มิลลิเมตร)	แรงสูงสุด (กรัม)	งาน (กรัม.วินาที)
FEW 30	83.97 ± 4.36c	26.83 ± 0.99b	634.98 ± 11.01c	3171.20 ± 48.92b
DEW 30 A0	51.65 ± 2.73b	18.47 ± 0.37a	308.68 ± 45.14ab	1228.84 ± 77.53a
DEW 30 A2	42.70 ± 5.16ab	18.27 ± 0.57a	313.37 ± 2.50b	1217.75 ± 79.17a
DEW 30 A4	37.74 ± 2.60a	18.23 ± 0.14a	270.18 ± 23.52ab	1148.53 ± 116.69a
DEW 30 A6	45.73 ± 3.55ab	18.34 ± 0.47a	244.74 ± 21.61a	1097.23 ± 58.41a

หมายเหตุ ตัวอักษร a - c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4 สีของเส้นก้วยเดี่ยวอบแห้งหลังคืนรูป

จากตารางที่ 18 แสดงผลค่าสีของเส้นก้วยเดี่ยวที่เดิมไข่ขาวที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนัก ส่วนผสมทั้งหมด อบแห้ง แล้วคืนรูป พบว่าก้วยเดี่ยวในทุกตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว ($-a^*$) และ ค่าสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนค่าความสว่างของตัวอย่างเส้นก้วยเดี่ยวอบแห้งคืนรูปมีค่าสูงกว่าค่าความสว่างของเส้นก้วยเดี่ยวสดที่เดิมไข่ขาวที่ระดับเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และค่าความเหลืองแตกต่าง ($P \leq 0.05$) เฉพาะเส้นที่ไม่ผ่านการบ่มเท่านั้น

จากผลในข้อ 4.1 – 4.4 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการบ่มแผ่นแป้งในตัวอย่างที่เดิมไข่ขาวไม่มีผลทำให้ลักษณะเชิงเคมีฟิสิกส์ของตัวอย่างเส้นก้วยเดี่ยวต่างกันทางสถิติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกตัวอย่างก้วยเดี่ยวที่เดิมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ที่ไม่ได้บ่ม (DEW 30 A0) เป็นตัวอย่างที่จะใช้ในการหาองค์ประกอบทางเคมี และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และใช้เป็นตัวอย่างในการถ่ายภาพ และเผยแพร่ความรู้ต่อไป ซึ่งในกระบวนการผลิตเส้นก้วยเดี่ยวอบแห้งทั่วไปต้องมีการบ่มแผ่นแป้งก่อนนำมาตัดเส้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความชื้นของแผ่นแป้ง ความแฉะที่ผิวแผ่นแป้งลง ทำให้ตัดโดยเครื่องตัดเส้นง่ายไม่ติดใบมีด และทำให้โมเลกุลภายในแผ่นแป้งมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นระเบียบขึ้น ส่งผลทำให้ได้ก้วยเดี่ยวที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี คือ เหนียวมากขึ้น แต่จากผลในงานวิจัยครั้งพบว่าระยะเวลาในการบ่มไม่มีผลต่อลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของก้วยเดี่ยวเส้นใหญ่ที่เดิมไข่ขาว อาจเป็นเพราะไข่ขาวเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลแอมิโลส และช่วยยึดโครงสร้างของเจลแป้งให้มีความแข็งแรง โมเลกุลของแป้งเคลื่อนที่มาจัดเรียงตัวใหม่ได้ยาก และเจลหรือแผ่นก้วยเดี่ยวที่ได้มีความแข็งแรง สามารถนำไปตัดเส้นได้ทันที จึงน่าจะมีประโยชน์ในการลดเวลาในช่วงการบ่มแผ่นก้วยเดี่ยว ก่อนนำไปตัดเส้นของกระบวนการผลิตก้วยเดี่ยว

ตารางที่ 18 ค่าสีของเส้นกล้วยเดี่ยวที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด
อบแห้ง แล้วคืนรูป

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a* ^{ns}	b*
FEW 30	64.64 ± 0.30a	-2.45 ± 0.21	2.21 ± 0.29b
DEW 30 A0	68.60 ± 0.07b	-2.30 ± 0.18	0.56 ± 0.71a
DEW 30 A2	67.97 ± 2.02b	-2.60 ± 0.11	1.40 ± 0.47ab
DEW 30 A4	68.89 ± 0.29b	-2.66 ± 0.13	-0.87 ± 0.01ab
DEW 30 A6	68.76 ± 0.57b	-2.55 ± 0.04	1.86 ± 0.76ab

หมายเหตุ - ^{ns} คือค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

- ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.5 องค์ประกอบทางเคมี และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเส้นกล้วยเดี่ยวเสริมโปรตีนไข่ขาว
อบแห้งซึ่งเสริมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

จากตารางที่ 19 แสดงให้เห็นว่าการเติมไข่ขาวในเส้นกล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่ช่วยเพิ่ม
คุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนแก่กล้วยเดี่ยวเส้นใหญ่ เพราะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเส้นใหญ่ที่ไม่
เติมไข่ขาวอบแห้งประมาณ 2 เท่า เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าวโพดให้มีคุณค่าทาง
โภชนาการสูงขึ้น เป็นทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคที่ห่วงใยในสุขภาพ ส่วนความชื้นของตัวอย่าง
กล้วยเดี่ยวอบแห้งทั้งสองชนิดมีค่าไม่เกินร้อยละ 13 ซึ่งกล้วยเดี่ยวอบแห้งทั่วไปต้องมีความชื้นไม่สูง
เกินกว่าร้อยละ 13 เพื่อสามารถที่จะเก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน (ณรงค์, 2538)

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ซึ่งส่งผลต่อ
ความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของอาหารอบแห้งควรมีค่าต่ำกว่า 0.61 เพราะ
เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ยีสต์ และรา ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Tapia *et al.*, 2007) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มี
อายุการเก็บรักษานาน และปลอดภัยต่อผู้บริโภค ถ้าเก็บอยู่ในสภาพการบรรจุที่เหมาะสม

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมี และค่าวอเตอร์แอกทिवิตีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมโปรตีนไข่ขาวอบแห้งซึ่งเสริมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (DEW 30 A0) และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติมไข่ขาวอบแห้ง (DEW 0)

คุณภาพ	ตัวอย่าง	
	DEW 30 A0	DEW 0
ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	11.48 ± 0.01	11.42 ± 0.15
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	16.07 ± 0.16b	8.32 ± 0.16a
ไขมัน ^{ns} (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.78 ± 0.01b	0.32 ± 0.02a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	71.63 ± 0.15a	79.88 ± 0.00b
วอเตอร์แอกทिवิตี ^{ns}	0.56 ± 0.00	0.57 ± 0.03

หมายเหตุ - ^{ns} คือค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

- ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวสดและแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีความชื้นร้อยละ 12.79 ± 0.20 ประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 89.93 ± 0.32 โปรตีนร้อยละ 9.65 ± 0.27 ไขมันร้อยละ 0.23 ± 0.04 เกลือร้อยละ 0.29 ± 0.00 ของน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับร้อยละ 32.04 ± 0.15 ของน้ำหนักแห้ง จัดเป็นแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เหมาะกับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

ไข่ขาวสดมีความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 8.11 ± 0.00 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีไข่ขาวสด ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 87.14 ± 0.01 โปรตีนร้อยละ 12.55 ± 0.55 ไขมันร้อยละ 0.05 ± 0.02 และ เกลือร้อยละ 0.68 ± 0.01 ของน้ำหนักสด และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหนักแห้งพบว่าไข่ขาวมี ปริมาณโปรตีนสูงมากคือมีค่าเท่ากับ 94.26 ± 4.13 ของน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.06 ± 0.02 และ เกลือร้อยละ 5.42 ± 0.04 ของน้ำหนักแห้ง

2. ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้า

2.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงธรรมดา เลนส์วัตถุกำลังขยาย 40X พบเม็ดแป้งข้าวเจ้าตามธรรมชาติมีลักษณะหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 4.76 ± 1.12 ไมครอน และย้อมติดสีน้ำเงินของสารละลายไอโอดีน แต่เจลไข่ขาวจะใส และไม่ติดสีน้ำเงินของสารละลายไอโอดีน

2.2 ขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายน้ำแป้งผสมไข่ขาวสด ซึ่งเตรียมมาจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า และไข่ขาว โดยสัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 30:10 30:20 30:30 30:40 และ 30:50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เปรียบเทียบกับขนาดเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายน้ำแป้งล้วน (สัดส่วนระหว่างแป้งต่อไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 30:0 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) พบว่าเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ขนาดเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายน้ำแป้งที่ผสมไข่ขาวสดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวในสารละลายแป้งล้วน กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในน้ำแป้งผสมไข่ขาวมี

แนวโน้มนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัวของเมื่อดสตาร์ชในตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมไข่ขาว ขณะที่ร้อยละการละลายของเมื่อดสตาร์ชเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และระดับไข่ขาวเพิ่มขึ้น

2.3 พบการเกาะกลุ่มของไข่ขาวกับเมื่อดสตาร์ช มีผลลดกำลังการพองตัวของเมื่อดสตาร์ช

2.4 การเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ของส่วนผสมน้ำแป้ง ทำให้ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวกลับของแป้ง มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมไข่ขาว และที่ระดับการเติมไข่ขาวร้อยละ 30 มีค่าความหนืดลดลง หรือ breakdown ต่ำที่สุด ซึ่งบ่งบอกถึงความคงทนของแป้งต่ออุณหภูมิสูงและการกวน หรือแรงเฉือนที่เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต

2.5 แป้งที่มีการเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 เหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พวกเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากการเติมไข่ขาวระดับนี้ทำให้ค่าความหนืดลดลงของแป้งเปียก มีค่าต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนืดของแป้งเปียกจะค่อนข้างคงที่เมื่อมีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องซึ่งมีประโยชน์แก่การผลิตก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ค่าการคืนตัวกลับเมื่อลดอุณหภูมิ มีค่าสูง ซึ่งแสดงว่าสามารถเกิดเจลได้เร็ว มีประโยชน์ในการช่วยลดเวลาในขั้นตอนการรอให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการนึ่งให้สุกเย็นตัวลง ก่อนนำไปตัดเส้น

3. ผลของการเติมไข่ขาวต่อสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด

3.1 ไข่ขาวไม่มีผลต่อความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด โดยความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

3.2 การเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 10 – 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีผลทำให้ค่าแรงสูงสุดในการดึงเส้นให้ขาด แรงตัดขาด และงานที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้เติมไข่ขาว

3.3 การเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทำให้ระยะทางในการดึงให้ขาดลดลงเมื่อเทียบกับก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้เติมไข่ขาว ส่วนการเติมไข่ขาวที่ระดับ 10 ถึง 40 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมีผลเพิ่มระยะการดึงให้ขาด เมื่อเทียบกับก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้เติมไข่ขาว

3.4 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และความชื้นของเส้นกัวยเดี่ยวสดที่มีการเติมไข่ขาวร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดนั้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยความชื้นของกัวยเดี่ยวสดหลังการนึ่งสุกมีค่าในช่วง 62.18 ± 0.42 ถึง 62.85 ± 0.01 และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในช่วง 0.89 ± 0.00 ถึง 0.90 ± 0.01

3.5 การเติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 – 50 ทำให้สีเหลือง (+b*) ของเส้นกัวยเดี่ยวสูงขึ้น

4. ลักษณะโครงสร้างละเอียดของเส้นกัวยเดี่ยวสด เมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

4.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดแสดงเส้นกัวยเดี่ยวที่ไม่เติมไข่ขาวไม่พบเม็ดสตาร์ชที่ยังคงรูปอยู่ เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ทั้งหมด เนื้อเส้นกัวยเดี่ยวเรียบ

4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเนื้อเส้นกัวยเดี่ยวที่มีการเติมไข่ขาวร้อยละ 30 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบเนื้อเส้นกัวยเดี่ยวมีความขรุขระมากกว่าเนื้อเส้นกัวยเดี่ยวที่ไม่เติมไข่ขาว เนื่องจากการเติมไข่ขาวมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนยังไม่แตก แต่มีการเปลี่ยนรูปร่างไป และหลอมรวมกันอยู่ในตัวอย่าง สอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้าในสารละลายแป้งข้าวเจ้าผสมกับไข่ขาว ขนาดของเม็ดสตาร์ช และการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าในสารละลายแป้งข้าวเจ้าผสมไข่ขาว ซึ่งพบไข่ขาวเกาะกลุ่มอยู่กับเม็ดสตาร์ช ขนาด และการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเดี่ยวมีแนวโน้มลดลง

4.3 โครงสร้างของเจลไข่ขาว ที่เตรียมจากสารละลายไข่ขาวสดร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชี้ให้เห็นโปรตีนในไข่ขาวมีขนาดต่างๆ กัน และมีรูปร่างกลมบ้าง รีบ้าง และบางส่วนเป็นสายเกลียวแบบสุ่ม

4.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบการเกิดเจลของไข่ขาวอยู่ในเนื้อเจล ของเส้นกัวยเดี่ยว ลักษณะของเจลไข่ขาวเป็นลูกปัดต่อกันเป็นสายโซ่โดยจุดที่เชื่อมตัวกันมีการหลอมรวม สนับสนุนผลลักษณะเนื้อสัมผัสของกัวยเดี่ยวที่มีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเติมไข่ขาว

4.5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด พบโปรตีนไข่ขาวซึ่งติดสีเขียวของฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยานนท์ แสดงให้เห็นการจัดเรียงตัวของสายโซ่โปรตีนในโครงสร้างร่างแหภายในเจลของเส้นก๋วยเตี๋ยว และไม่ได้ต่อเนื่องตลอดทั้งเส้น

5. ผลของการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เติมไข่ขาว

5.1 ผู้วิจัยเลือกก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดมาผลิตเป็นก๋วยเตี๋ยวบแห้ง เนื่องจากเป็นระดับที่มีการใช้ไข่ขาวได้มากที่สุด โดยที่ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยว และสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีคุณภาพดี

5.2 การพองตัวระหว่างการต้มของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เติมไข่ขาวเติมไข่ขาวร้อยละ 30 อบแห้งที่มีระยะการบ่มก่อนตัดเส้นต่างๆ กัน และก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่ไม่เติมไข่ขาวอบแห้ง มีการพองตัวระหว่างการต้มไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ ($P > 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 4.09 ± 0.52 ถึง 4.58 ± 0.16 กรัม/กรัมน้ำหนักเส้นแห้ง

5.3 ค่าปริมาณเนื้อแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่เติมไข่ขาว และไม่ผ่านการบ่ม มีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.51 และไม่พบค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวบแห้งที่เติมไข่ขาวร้อยละ 30 ซึ่งผ่านการบ่มนาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง

5.4 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ที่ผ่านการบ่มนาน 0 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง ก่อนอบแห้ง แล้วคืนรูปมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5 – 6 หรือในช่วงความชอบแบบเฉยๆ ถึงความชอบแบบชอบเล็กน้อย ส่วนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางการค้าคือชอบปานกลาง

5.5 การทำแห้งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ค่อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับก๋วยเตี๋ยวสดที่มีการเติมไข่ขาวในระดับเดียวกัน พบว่าเส้นหลังคืนรูปนั้นเปราะ และขาดง่าย

5.6 ระยะเวลาในการบ่มแผ่นก้วยเดี่ยวในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส ก่อนตัดเส้นเพื่ออบแห้ง ไม่มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเส้นก้วยเดี่ยวที่เติมน้ำขาวที่ระดับร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งให้เห็นว่าก้วยเดี่ยวที่เติมน้ำขาวไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการบ่มแผ่นก้วยเดี่ยวสามารถตัดเป็นเส้นได้เลย แต่กระบวนการทำแห้งมีผลทำให้ค่าเนื้อสัมผัสที่ได้ด้อยคุณภาพลง

6. องค์ประกอบทางเคมี และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเส้นก้วยเดี่ยวเสริมโปรตีนไข่ขาวอบแห้งซึ่งเสริมไข่ขาวร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใหญ่เติมน้ำขาวร้อยละ 30 อบแห้งซึ่งมีความชื้นร้อยละ 11.48 ± 0.01 ประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 71.63 ± 0.15 โปรตีนร้อยละ 16.07 ± 0.16 ไขมันร้อยละ 0.06 ± 0.01 และ เถ้า 0.78 ± 0.01 ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นการเติมน้ำขาวทำให้ก้วยเดี่ยวเสริมโปรตีนไข่ขาวอบแห้งมีปริมาณ โปรตีนสูงกว่าเส้นใหญ่ที่ไม่เติมน้ำขาวอบแห้งประมาณ 2 เท่า

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเทคนิคในการทำแห้งที่เหมาะสม
2. ควรศึกษาและจำแนกโปรตีนในไข่ขาวจากไข่เป็ด และศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนแต่ละชนิดที่มีต่อสตาร์ชข้าวต่อไป รวมทั้งวิเคราะห์พันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นเพื่อใช้อธิบายในเชิงลึก
3. การที่ไข่ขาวช่วยพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัสของก้วยเดี่ยวเส้นใหญ่สด แสดงให้เห็นว่าอาจนำไข่ขาวไปใช้ในผลิตภัณฑ์ก้วยเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น ก้วยจับ เส้นเล็ก แผ่นแป้งสำหรับห่อก้วยเดี่ยวสด เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กุลกานต์ สุนทรวาท. 2547. การผลิตอาหารเส้นเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กองโภชนาการ. 2535. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี: เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตร วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, พัทลุง.

_____. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรมมารวยการ์เด้น ถ.พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. แป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 130 น. (โรเนียว)

นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นัทญา จะเรียมพันธุ์. 2530. การเสริมโปรตีนในเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

น้ำฝน ลำดับวงศ์ และ สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2548. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของแป้งข้าวที่มีต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยว, น. 2/7-2/59. ใน อรอนงค์ นัยวิกุล, บรรณาธิการ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2548. โปรตีนในอาหาร. (เอกสารประกอบคำสอน 052514). ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มณีนรัตน์ จงสุขกิจพานิช. 2538. ก๋วยเตี๋ยวเสริมโปรตีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาพรรณ บริลเลียนเตส. 2534. เอกสารทางวิชาการการใช้ประโยชน์จากปลาน้ำจืด (การผลิตเส้น ก๋วยเตี๋ยวปลา). ฉบับที่ 1/2534. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

สุพัตรา โพธิเศษ. 2548. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวในการผลิตแป้งแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสนอ ร่วมจิตร. 2522. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว. มอก. 959-2533.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. ไข่และเนื้อไก่. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระสิทธิ์ กัลยาณฤต และ กุลกานต์ สุนทรวาท. 2548. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของ
ก๋วยเตี๋ยวโดยการใช้ข้าวคุณภาพต่ำในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา, น.
3/7-3/44. ใน อรอนงค์ นัยวิกุล, บรรณาธิการ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุด
โครงการวิจัย การปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบาง
ชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพรรณ กัลปนายุทธ. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท
ผ่านกระบวนการพาสเจอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำพร ทับปลา. 2544. การพัฒนาวิธีการผลิตแป้งแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1999. **Microstructural Principles of Food Processing and
Engineering**. 2nd ed. Aspen Publishers, Inc., Maryland.

_____ and E. Rojas. 1996. Rheological, thermal and microstructural properties of whey
protein-cassava starch gels. **Journal of Food Science** 61: 962-966.

Alamprese, C., E. Casiraghi and M. Rossi. 2009. Modeling of fresh egg pasta characteristics for
egg content and albumen to yolk ratio. **Journal of Food Engineering** 93: 302-307.

_____, E. Casiraghi, L. Primavesi, M. Rossi and A. Hidalgo. 2005. Functional and rheological
characteristics of fresh egg pasta. **Italian Journal of Food Science** 17: 5-17.

Alvarez, C., I. Couso and M. Tejada. 1999. Microstructure of suwari and kamaboko sardine surimi gels. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 79: 839-844.

Anonymous. 2010. **Levels of protein structure**. Protein structure. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Protein_structure, February 6, 2010.

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis**. 20th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

Aoki, T., Y. Hiidome, K. Kitahata, Y. Sugimoto, H.R. Ibrahim and Y. Kato. 1999. Improvement of heat stability and emulsifying activity of ovalbumin by conjugation with glucuronic acid through the maillard reaction. **Food Research International** 32: 129-133.

Arntfield, S.D., E.D. Murray and M.A.H. Ismond. 1991. Role of disulfide bonds in determining the rheological and microstructural properties of heat-induced protein networks from ovalbumin and vicilin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 39: 1378-1385.

Arunyanarat, T. and S. Charoenrein. 2008. Effect of sucrose on the freeze-thaw stability of rice starch gels: correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydrate Polymers** 74: 514-518.

Aryana, K.J., Z.Z. Haque and P.D. Gerard. 2002. Influence of whey protein concentrate on the functionality of egg white and bovine serum albumin. **International Journal of Food Science and Technology** 37: 643-652.

Baldwin, P.M. 2001. Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review. **Starch-Starke** 53: 475-503.

- Baldwin, P.M., C.D. Melia and M.C. Davies. 1997. The surface chemistry of starch granules studied by time of flight secondary ion mass spectrometry. **Journal of Cereal Science** 26: 329-346.
- Baldwin, P.M., J. Adler, M.C. Davies and C.D. Melia. 1994. Holes in starch granules-confocal, SEM and light microscopy studies of starch granule structure. **Starch-Starke** 46: 341-346.
- Baldwin, R.E. 1973. Functional properties in foods, pp. 241-272. In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology**. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA.
- Bejosano, F.P. and H. Corke. 1999. Effect of amaranthus and buckwheat proteins on the rheological properties of maize starch. **Food Chemistry** 65: 493-501.
- Bhattacharya, M., S.Y. Zee and H. Corke. 1999a. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chemistry** 76: 861-867.
- Brownsey, G.J., P.D. Orford, M.J. Ridout and S.G. Ring. 1989. A study of the mechanical behaviour and microstructure of a mixed starch-egg white protein gel. **Food Hydrocolloids** 3: 7-17.
- Buleno, A., P. Colonna, V. Planchot and S. Ball. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules** 23: 85-112.
- Campo-Deano, L. and C. Tovar. 2009. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska Pollock and Pacific Whiting surimi. **Food Hydrocolloids** 23: 1641-1646.
- Champagne, E.T. 1996. Rice starch composition and characteristics. **Cereal Foods World** 41: 833-838.

- Chedid, L.L. and J.L. Kokini. 1992. Influence of protein addition on rheological properties of amylase and amylopectin based starches in excess water. **Cereal Chemistry** 69: 551-555.
- Chen, H.H., S.Y. Xu and Z. Wang. 2007. Interaction between flaxseed gum and meat protein. **Journal of Food Engineering** 80: 1051-1059.
- Choi, S.J., H.J. Kim, K.H. Park and T.W. Moon. 2005. Molecular characteristics of ovalbumin-dextran conjugates formed through the maillard reaction. **Food Chemistry** 92: 93-99.
- Christ, D., K.P. Takeuchi and R.L. Cunha. 2005. Effect of sucrose addition and heat treatment on egg albumen protein gelation. **Journal of Food Science** 70: 230-238.
- Collision, R. 1968. Swelling, pp. 194-202. In J.A. Radley, ed. **Starch and Its Derivatives**. 4th ed., Chapman and Hall, London.
- Cook, F. and G.M. Briggs. 1973. Nutritive value of eggs, pp. 91-109. In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology**. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA.
- Dalbon, G., D. Griyon and M.A. Pagani. 1996. Pasta: continuous manufacturing process, pp. 18-58. In J.E. Kruger, R.R. Matsuo and J.W. Dick, eds. **Pasta and Noodle Technology**. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, USA.
- Damodaran, S. 1994. Structure-function relationship of food protein, pp. 1-37. In N.S. Hettiarachchy and G.R. Ziegler, eds. **Protein Functionality in Food Systems**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Debet, M.R. and M.J. Gidley. 2006. Three classes of starch granule swelling: influence of surface proteins and lipids. **Carbohydrate Polymers** 64: 452-465.

Deshpande, P.D., A.E. Harper, F.Q. Peez and C.A. Elvehjem. 1955. Further observations on the improvement of polished rice with protein and amino acid supplements. **The Journal of Nutrition** 57: 415-428.

Deobald, H.J. 1972. Rice flours, pp. 264-271. In D.F. Houston, ed. **Rice Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

Donovan, J.W., C.J. Mapes, C.J. Davis and J.A. Ganbaldi. 1975. A differential scanning calorimetric study of the stability of egg white to heat denaturation. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 26: 73-83.

Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and functional aspect, pp. 431-503. In A.C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Faiers, Adrian. 2007. **Biochemistry**. Chemistry in perspective. แหล่งที่มา: <http://www.chembook.co.uk/chap25.htm>, 6 กุมภาพันธ์ 2553.

Fanon, J.E., J.M. Shull and J.N. BeMiller. 1993. Interior channels of starch granules. **Cereal Chemistry** 70: 611-613.

Fanon, J.E., R.J. Hauber and J.N. BeMiller. 1992. Surface pores of starch granules. **Cereal Chemistry** 69: 284-288.

Fennema, O.R. 1996. **Food chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.

Friedman, R.B. 1995. Interactions of starches in foods, pp. 171-198. In A.G. Gaonkar, ed. **Ingredient Interactions: Effects on Food Quality**. Marcel Dekker, Inc., New York.

- Goel, P.K., R.S. Singhal and P.R. Kulkarni. 1999. Studies on interactions of corn starch with casein and casein hydrolysates. **Food Chemistry** 64: 383-389.
- Gomez-Guillen, M.C., M.A. Marti de Castro and P. Montero. 1997. Rheological and microstructural changes in gels made from high and low quality sardine mince with added egg white during frozen storage. **Z Lebensm Unters Forsch A**. 205: 419-428.
- Gutierrez, M.A., H. Takahashi and L.R. Juneja. 1997. Nutritive evaluation of hen eggs, pp. 25-35. *In* T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, eds. **Hen Eggs: Their Basis and Applied Science**. CRC Press, Inc., Tokyo.
- Handa, A., K. Hayashi, H. Shidara and N. Kuroda. 2001. Correlation of the protein structure and gelling properties in dried egg white products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 49: 3957-3964.
- _____, K. Takahashi, N. Kuroda and G. W. Froning. 1998. Heat-induced egg white gels as affected by pH. **Journal of Food Science** 63: 403-407.
- Hatta, H., T. Hagi and K. Hirano. 1997. Chemical and physicochemical properties of hen eggs and their application in foods, pp. 117-133. *In* T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, eds. **Hen Eggs: Their Basis and Applied Science**. CRC Press, Inc., Tokyo.
- Hormdok, R. and A. Noomhorm. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology** 40: 1723-1731.
- Huang, J.J. and P.J. White. 1993. Waxy corn starch: monoglyceride interaction in a model system. **Cereal Chemistry** 70: 42-47.

Huber, K.C. and J.N. BeMiller. 2000. Channels of maize and sorghum starch granules.

Carbohydrate Polymers 41: 269-276.

Houston, D.F. 1972. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Incorporated., Minnesota.

Ibanoglu, E. and E.A. Ercelebi. 2007. Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums. **Food Chemistry** 101: 626-633.

Juliano, B.O. 1968. Relation of some properties of rice starch and protein to eating quality preference for milled rice in Asia. **Getreide Mehl**. 18: 82.

_____. 1971. A simplified assay for milled-rice amylase. **Cereal Science Today** 16: 334-338.

_____. 1972. The rice caryopsis and its composition, pp. 16-74. *In* D.F. Houston, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal chemists, Inc., Minnesota.

Kaewmanee, T., S. Benjakul and W. Visessanguan. 2009. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting. **Food Chemistry** 112: 560-569.

Kanchanapakornchai, U. 2523. Preliminary studies on production of rice noodles supplemented with soy flour. **อาหาร** 12: 346-356.

Kato, A., K. Minaki and K. Kobayashi. Improvement of emulsifying properties of egg white proteins by the attachment of polysaccharide through maillard reaction in dry state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 1993: 540-543.

- Kik, M.C. 1960. Rice protein supplementation: further studies on the nutritional improvement of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 8: 380–382.
- _____. 1962. Nutritive value of chicken meat, nutritive value of chicken meat and its value in supplementing rice protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 10: 59–61.
- Kim, J.Y., J.H. Kim, D.H. Lee, S.H. Kim and S.S. Lee. 2008. Meal replacement with mixed rice is more effective than white rice in weight control, while improving antioxidant enzyme activity in obese women. **Nutrition Research** 28: 66-71.
- Krishman, H.B., J.A. White and S.G. Pueppke. 1992. Characterization and localization of rice (*Oryza sativa* L.) seed globulins. **Plant Science** 81: 1-11.
- Lamacchia, C., A.Di Luccia, A. Baiano, G. Gambacorta, B. La Gatta, S. Pati and E. La Notte. 2007. Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour. **Journal of Cereal Science** 46: 58-63.
- Lamberts, L., E.D. Bie, G.E. Vandeputte, W.S. Veraverbeke, V. Derycke, W.D. Man and J.A. Delcour. 2007. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. **Food Chemistry** 100: 1496-1503.
- Lechevalier, V., R. Jeantet, A. Arhaliass, J. Legrand and F. Nau. 2007. Egg white drying: influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities. **Journal of Food Engineering** 83: 404-413.
- Li-Chan, E.C.Y., W.D. Powrie and S. Nakai. 1995. The chemistry of eggs and egg products, pp. 105-175. In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology**. 4th ed. Food product press, an imprint of the Haworthnpress, Inc., New York.

- Li, J.-Y., A.-I. Yeh and K.-L. Fan. 2007. Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. **Journal of Food Engineering** 78: 1240-1247.
- Lim, H.S. and G. Narsimhan. 2006. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology** 39: 343-349.
- Marco, C. and C.M. Rosell. 2008. Efferent of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. **Journal of Food Engineering** 84: 132-139.
- Martins, S.I.F.S., W.M.F. Jongen and M.A.J.S. vanBoekel. A review of maillard reaction in food and implications to kinetic modeling. **Trends in Food Science and Technology** 11: 364-373.
- Mine, Y. 1995. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. **Trends in Food Science and Technology**. 6: 225-232.
- Morris, E.R. 1990. Mixed polymer gels, pp. 291-359. In P. Harris, ed. **Food Gels**. Elsevier, London.
- Nakamura, D. and E. Doi. 2000. Egg processing, pp. 171-207. In S. Nakai and H.W. Modler, eds. **Food Proteins: Processing applications**. Wiley-VCH, Inc., New York.
- Nishinari, J.K., H. Zhang and S. Ikeda. 2000. Hydrocolloid gels of polysaccharides and proteins. **Current Opinion in Colloid & Interface Science** 5: 195-201.
- Nolan, J.K., M. Phillips and Y. Mine. 2005. Advances in the value of eggs and egg components for human health. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53: 8421-8431.

Noisuwan, A. 2009. **Effects of Milk Protein Ingredients on Physico-Chemical of Rice Starch**. Ph. D. thesis, Massey University.

Oates, C.G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science and Technology** 8: 375-382.

Ong, M.H. and M.V. Blanshard. 1995. Texture determinants in cooked, parboiled rice: rice starch amylase and the fine structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science** 21: 251-260.

Parman, G.K. 1968. Fortification of cereals and cereal products with proteins and amino acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 16: 168-171.

Pincirolì, M., A.A. Vidal, M.C. Anon and E.N. Martinez. 2009. Comparison between protein functional properties of two rice cultivars. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology** 42: 1605-1610.

Pomeranz, Y. 1991. **Functional Properties of Food Components**. 2nd ed. Academic Press, San Diego.

Powrie, W.D. 1973. Chemistry of eggs and egg products, pp. 61-89. In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology**. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA.

Ragaei, S. and E.-S.M.A. -Aal. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry** 95: 9-18.

Rawdkuen, S. and S. Benjakul. 2008. Whey protein concentrate: autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. **Food Chemistry** 106: 1077-1084.

Rosell, C.M. and C. Marco. 2008. Rice, pp. 81-100. *In* E.K. Arendt and F.D. Bello, eds.

Gluten-Free Cereal Products and Beverages. Elsevier Inc.

Rosenberg, H.R., R. Culik and R.E. Eckert. 1969. Lysine and threonin supplementation of rice.

The Journal of Nutrition 59: 217-228.

Roy, P., T. Ijiri, H. Okadome, D. Nei, T. Orikasa, N. Nakamura and T. Shiina. 2008. Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Engineering** 89: 343-348.

Scaman, C., S. Nakai and M. Aminlari. Effect of pH, temperature and sodium bisulfite or cysteine on the level of maillard based conjugation of lysozyme with dextran, galactomannan and mannan. **Food Chemistry** 99: 368-380.

Shim, J. and S.J. Mulvaney. 2001. Effect of heating temperature, pH, concentration and starch/whey protein ratio on the viscoelastic properties of corn starch/whey protein mixed gels. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 81: 706-717.

Shu, Y.W., S. Sahara, S. Nakamura and A. Kato. 1996. Effects of the length of polysaccharide chains on the fractional properties of the maillard type lysozyme-polysaccharide conjugate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44: 2544-2548.

Smith, D.M. 1994. Protein interactions in gels: protein-protein interactions, pp. 209-223. *In* N.S. Hettiarachchy and G.R. Ziegler, eds. **Protein Functionality in Food Systems.** Marcel dekker, Inc., New York.

Sodhi, S.N. and N. Singh. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. **Food Chemistry** 80: 99-108.

Sozer N. 2009. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. **Food Hydrocolloids** 23: 849-855.

- Sugino, H., T. Nitida and L.R. Juneja. 1997. General chemical composition of hen eggs, pp. 13-24. *In* T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, eds. **Hen Eggs: Their Basic and Applied Science**. CRC Press, Inc., USA.
- Suksumboon, A. 2007. **Effect of Dry and Wet Milling Processes on Rice Flour, Rice Starch and Rice Noodle Properties**. Ph.D. (Food Science), Kasetsart University.
- Sun Y. and S. Hayakawa. 2002. Heat-induced gels of egg white/ovalbumins from five Avian species: Thermal aggregation, molecular forces involved, and rheological properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 1636-1642.
- Surai, P.F. and N.H.C. Sparks. 2001. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. **Trends in Food Science and Technology** 12: 7-16.
- Swinkles, J.J.M. 1985. Source of starch damaged, its chemistry and physics. pp. 15-46. *In* J.A.Roles and G.M.A.V.Beynum, eds. **Starch Conversion Technology**. Mercel Dekker Inc., New York.
- Tammattina, A., S. Benjakul, W. Visessanguan and M. Tanaka. 2007. Gelling properties of white shrimp (*Penaeus vannamei*) meat as influenced by setting condition and microbial transglutaminase. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology** 40: 1489-1497.
- Tang, H.J., T.H. Mitsunaga and Y. Kawamura. 2006. Molecular arrangement in blocklets and starch granule architecture. **Carbohydrate Polymers** 63: 555-560.
- Tapia, M.S., S.M. Alzamora and J. Chirife. 2007. Effects of water (a_w) on microbial stability: as a hurdle in food preservation, pp. 239-271. *In* G.V. Barbosa-Canovas, A.J. Fontana, S.J. Schmidt and T.P. Labuza, eds. **Water Activity in Foods: Fundamental and Applications**. Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists, Iowa, USA.

Tarrega, A., J.F. Velez-Ruiz. and E. Costell. 2005. Influence of milk on the rheological behavior of cross-linked waxy maize and tapioca starch dispersions. **Food Research International** 38: 759-768.

Techawipharat, J., M. Supphantharika. and J.N. BeMiller. 2008. Effects of cellulose derivatives and carrageenans on the pasting, paste, and gel properties of rice starches. **Carbohydrate Polymers** 73: 417-426.

Teo, C.H., A.A. Karim, P.B. Cheah, M.H. Norziah and C.C. Seow. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non waxy rice flour. **Food Chemistry** 69: 229-236.

Ternes, W. 2001. Egg protein, pp. 335-371. In Z. E. Sikorski, ed. **Chemical and Functional Properties of Food Proteins**. CRC Press, Lancaster.

Tolstoguzov, V.B. 1986. Functional properties of protein-polysaccharide mixtures, pp. 385-415. In J.R. Mitchell and D.A. Ledward, eds. **Functional Properties of Food Macromolecules**. Elsevier Applied Science Publishers, New York.

Tromp, R.H., Y. Nicolas, F. van de Velde and M. Paques. 2003. Confocal scanning laser microscopy (CLSM) for monitoring food composition, pp. 306-323. In I.E. Tothill, ed. **Rapid and On-Line Instrumentation for Food Quality Assurance**. CRC Press, New York.

Varavinit, S., S. Shobsngob, W. Varanyanond, P. Chinachoti and O. Naivikul. 2003. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. **Starch-Stärke** 55: 410-415.

van de Velde, F., F. Weinbreck, MW. Edelman, E. van der Linden and R. H. Tromp. 2003. Visualisation of biopolymer mixtures using confocal scanning laser microscopy (CLSM) and covalent labelling techniques. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces** 31: 159-168.

- Wang, L. And P.A. Seib. 1996. Australian salt-noodle flours and their starches compared to U.S. wheat flours and their starches. **Cereal Chemistry** 73: 167-175.
- Weijers, M., F. van de Velde, A. Stijnman, A. van de Pijpekamp and R.W. Visschers. 2006. Structure and rheological properties of acid-induced egg white protein gels. **Food Hydrocolloids** 20: 146-159.
- Whistler, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists. Minnesota. USA.
- Woodward, S.A. 1990. Egg protein gels, pp. 175-199. In P. Harris, ed. **Food Gels**. Elsevier Science publishers, Ltd. New York.
- Xie, L., N. Chen, B. Duan, Z. Zhu and X. Liao. 2008. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **Journal of Cereal Science** 47: 372-379.
- Yalcin, S. and A. Basman. 2008. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle. **International Journal of Food Science and Technology** 43: 1637-1644.
- Yan, H., A. Saiani and A.F. Miller. 2007. Gelation of model globular protein. **Macromol. Symp.** 251: 112-117.
- 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.
- Zayas, J.F. 1997. **Functionality of Proteins in Food**. Springer, Berlin.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002a. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science** 35: 65-78.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002b. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology** 37: 849-868.

Zweifel, C., S. Handchin, F. Escher and B. Conde-Petit. 2003. Influence of high temperature drying on structural and textural properties of durum wheat pasta. **Cereal Chemistry** 80: 159-167.





การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาวสด

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไข่ขาวสด ดัดแปลงจากวิธีการของ Lechevalier *et al.* (2007)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.1.2 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอลูมิเนียม

1.1.3 โถดูดความชื้น (desiccator)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

นำภาชนะที่ใช้ใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ออบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเคชิกเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นชั่งตัวอย่างไข่ขาวสดใส่ในภาชนะใส่ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม นำไปใส่ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงโดยเปิดฝาภาชนะไว้ เมื่อครบเวลาแล้วนำออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะและนำมาใส่ในโถดูดความชื้นทันที ทิ้งไว้ให้เย็น จนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปชั่ง คำนวณปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2000) โดยใช้ชุดวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ BÜCHI Labortechnik AG

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องย่อยสลาย Buchi

2.1.2 หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย

2.1.3 เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi

2.2 สารเคมี

- 2.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.84, N_2 - free)
- 2.2.2 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- 2.2.3 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- 2.2.4 สารละลาย NaOH ความเข้มข้นอย่างน้อยร้อยละ 32
- 2.2.5 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N (0.05 M)
- 2.2.6 สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 (เตรียมโดยใช้น้ำร้อน)
- 2.2.7 Indicator (Methyl red 0.02 กรัม + Bromocresol green 0.1 กรัม ใน Ethanol 100

มิลลิลิตร)

2.3 วิธีวิเคราะห์

2.3.1 พับกระดาษกรองเป็นรูปของจดหมาย ซึ่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองให้ได้ น้ำหนักที่คงที่แน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม

2.3.2 ใส่ตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1 ลงในหลอดย่อยโดยไม่ให้เป็นช่อง หลอด เติม K_2SO_4 10 กรัม และ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.5 กรัม และใส่ glass bead 2-3 เม็ด

2.3.3 เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดย่อย ยกไปใส่ บนเตาย่อย ต่อสายชุดจับไอกรดกับฝาหลอดย่อย

2.3.4 เปิดสวิทช์เครื่องย่อย และชุดจับไอกรด พร้อมทั้งหมุนตั้งอุณหภูมิเตาย่อยไว้ ที่ระดับ 8-10 เมื่อเริ่มต้นการย่อย จากนั้นปรับลดอุณหภูมิลงให้เหลือระดับ 6-7 ทำการย่อยจนได้ สารละลายใส

2.3.5 ปิดสวิทช์เครื่องย่อย ห้ามปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด จนกว่าไอกรดหมด

2.3.6 นำหลอดย่อยมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.3.7 เติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (เดิมเป็น 3 เท่าของกรด) นำไปกลั่น

2.3.8 ทำการกลั่นตัวอย่างโดยนำ flask ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ซึ่งหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด มารองรับสิ่งที่กลั่นได้ โดยนำหลอดย่อยที่ เตรียมไว้จากข้อ 2.3.7 ใส่ในเครื่องกลั่น

2.3.9 กดปุ่มเติม NaOH ที่เครื่องกลั่น เติม NaOH จนสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสี น้ำตาลค่อนข้างดำ

2.3.10 ตั้งเวลาที่ใช้ในการกลั่น ประมาณ 3 นาที โดยรองรับสิ่งกลั่นด้วยขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 25 มิลลิลิตร

2.3.11 นำไปไทเทรตกับ 0.1 N H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา บันทึก ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตนำไปคำนวณตามสูตร

หมายเหตุ ให้ทำเบลงก์ควบคู่ไปด้วย โดยไม่มีตัวอย่างในหลอดย่อย

2.4 การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(S-B) \times N \times 1.401}{W}$$

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับเบลงก์

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (1043 Soxtec system HT6) ผลิตโดย Tecator

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2; 1045 Extraction unit)

3.1.2 เครื่องทำความเย็น

3.1.3 extraction cup

3.1.4 thimble

3.1.5 โถดูดความชื้น(desiccator)

3.2 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเธอร์

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 เปิดเครื่องทำน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เปิดสวิทช์ให้น้ำ Flow เข้าเครื่อง Extractor

3.3.2 ตั้งอุณหภูมิที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out (สำหรับ solvent ที่เป็น Petroleum Ether ให้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส) (ยังไม่ต้องเปิด Switch Main)

3.3.3 ชั่งตัวอย่างใส่ Thimble (W1) ประมาณ 5 กรัม โดยรู้น้ำหนักที่แน่นอน

3.3.4 นำ Thimble ไปใส่ไว้ใน Thimble Holder แล้วนำไปใส่ในเครื่องดังนี้

- ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ที่ตำแหน่ง Boiling
- นำ Thimble ไปใส่ไว้ในช่อง Extraction แล้วเอา Thimble Holder ออก
- เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble มาอยู่ในตำแหน่ง Rinsing

3.3.5 ชั่งน้ำหนัก Extraction Cups (W2) ผ่านการอบแห้งแล้ว

3.3.6 เติม Petroleum Ether ลงใน Extraction Cups ปริมาณ 50 cc. แล้วนำ Extraction Cups ไปใส่ไว้ใน Extraction Cups Holder

3.3.7 นำ Extraction Cups Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเคลื่อนคันโยกทางด้านซ้ายมือของเครื่อง Extraction ลง

3.3.8 เริ่มทำการสกัดโดยขั้นตอนดังนี้

- ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ตำแหน่ง Boiling
- ก๊อกล็อกอยู่ในลักษณะที่เปิด
- เปิด Switch Main ที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out
- ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 20 นาที

3.3.9 เมื่อครบ 20 นาที ทำการ Rinsing โดยขั้นตอนต่อไปนี้

- เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Rinsing
- ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 10 นาที

3.3.10 เมื่อครบ 10 นาที จะทำการ Evaporation (Solvent Recover) ดังต่อไปนี้

- ปิดก๊อกล็อก
- เลื่อนปุ่ม Evaporation ลง

- เปิดไ้ประมาณครึ่งนาที

- เลื่อนปุ่ม Switch Air และ Switch Main

3.3.11 เลื่อนคันโยกทางซ้ายมือของเครื่อง Extractor ขึ้น นำ Extraction Cups

Holder ออกจากช่อง Extraction

3.3.12 นำ Thimble Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Boiling นำ Thimble Holder ที่มี Thimble อยู่ภายในออกจากช่อง Extraction

3.3.13 ปิด Switch เครื่องทำน้ำเย็น

3.3.14 นำภาชนะไปใส่ Solvent โดยไปวางไว้ในช่อง Extraction แล้วเปิดก๊อกให้ Solvent ไหลออกมา (นำ Solvent กลับมาใช้ใหม่ได้)

3.3.15 นำ Extraction Cups ที่ได้ในข้อ 3.3.11 ไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ครั้ง ชั่วโมงแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก (W3)

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W3 - W2}{W1} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 เตาเผาเถ้า (muffle furnace)

4.1.2 ตะเกียงบุนเสน

4.1.3 ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (crucible)

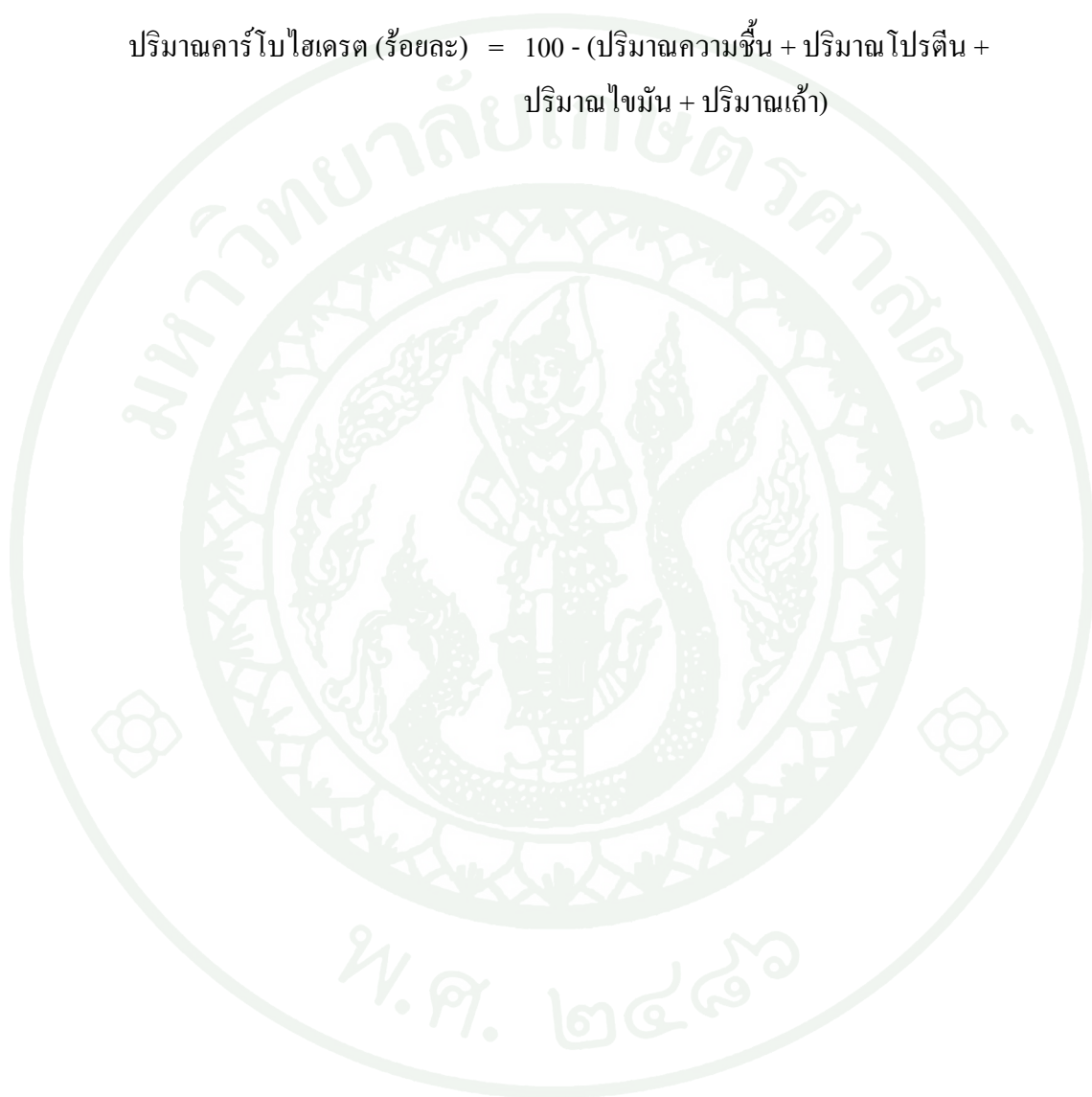
4.2 วิธีวิเคราะห์

เผาด้วยกระบือเพลิงเปล่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในถ้วยกระบือเพลิง นำตัวอย่างไปเผาไฟจนหมดควัน นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่ง น้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณเถ้า ดังนี้

$$\text{ปริมาณเก่า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณไขมัน} + \text{ปริมาณเก่า})$$



การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวเจ้า ตามวิธีของ AOAC (2000)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.1.2 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอลูมิเนียม

1.1.3 โถดูดความชื้น (desiccator)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาภาชนะ เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปิดฝาและนำภาชนะออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2000) โดยใช้ชุดวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ

BÜCHI Labortechnik AG

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องย่อยสลาย Buchi

2.1.2 หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย

2.1.3 เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi

2.2 สารเคมี

- 2.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.84, N_2 - free)
- 2.2.2 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- 2.2.3 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- 2.2.4 สารละลาย NaOH ความเข้มข้นอย่างน้อยร้อยละ 32
- 2.2.5 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N (0.05 M)
- 2.2.6 สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 (เตรียมโดยใช้น้ำร้อน)
- 2.2.7 Indicator (Methyl red 0.02 กรัม + Bromocresol green 0.1 กรัม ใน Ethanol 100

มิลลิลิตร)

2.3 วิธีวิเคราะห์

2.3.1 พับกระดาษกรองเป็นรูปของจดหมาย ซึ่งตัวอย่างแบ่งเข้าเจ้าลงในกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักที่คงที่แน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

2.3.2 ใส่ตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1ลงในหลอดย่อยโดยไม่ให้เป็นข้างหลอด เติม K_2SO_4 10 กรัม และ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.5 กรัม และใส่ glass bead 2-3 เม็ด

2.3.3 เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดย่อย ยกไปใส่บนเตาย่อย ต่อสายชุดจับไอกรดกับฝาหลอดย่อย

2.3.4 เปิดสวิทช์เครื่องย่อยและชุดจับไอกรด พร้อมทั้งหมุนตั้งอุณหภูมิเตาย่อยไว้ที่ระดับ 8-10 เมื่อเริ่มต้นการย่อย จากนั้นปรับลดอุณหภูมิลงให้เหลือระดับ 6-7 ทำการย่อยจนได้สารละลายใส

2.3.5 ปิดสวิทช์เครื่องย่อย ห้ามปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด จนกว่าไอกรดหมด

2.3.6 นำหลอดย่อยมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.3.7 เติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (เดิมเป็น 3 เท่าของกรด) นำไปกลั่น

2.3.8 ทำการกลั่นตัวอย่างโดยนำ flask ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ซึ่งหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด มารองรับสิ่งที่กลั่นได้ โดยนำหลอดย่อยที่เตรียมไว้จากข้อ 7 ใส่ในเครื่องกลั่น

2.3.9 กดปุ่มเติม NaOH ที่เครื่องกลั่น เติม NaOH จนสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2.3.10 ตั้งเวลาที่ใช้ในการกลั่น ประมาณ 3 นาที โดยรองรับสิ่งกลั่นด้วยขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 25 มิลลิลิตร

2.3.11 นำไปไทเทรตกับ 0.1 N H_2SO_4 จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตนำไปคำนวณตามสูตร

หมายเหตุ ให้ทำเบลงค์ควบคู่ไปด้วย โดยไม่มีตัวอย่างในหลอดย่อย

2.4 การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(S-B) \times N \times 1.401}{W}$$

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับเบลงค์

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (1043 Soxtec system HT6) ผลิตโดย Tecator

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2; 1045 Extraction unit)

3.1.2 เครื่องทำความเย็น

3.1.3 extraction cup

3.1.4 thimble

3.1.5 โถดูดความชื้น (desiccator)

3.2 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเธอร์

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 เปิดเครื่องทำน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เปิดสวิตช์ให้น้ำ Flow เข้าเครื่อง Extractor

3.3.2 ตั้งอุณหภูมิที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out (สำหรับ solvent ที่เป็น Petroleum Ether ให้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส) (ยังไม่ต้องเปิด Switch Main)

3.3.3 ชั่งตัวอย่างใส่ Thimble (W1) ประมาณ 5 กรัม โดยรู้น้ำหนักที่แน่นอน

3.3.4 นำ Thimble ไปใส่ไว้ใน Thimble Holder แล้วนำไปใส่ในเครื่องดังนี้

- ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ที่ตำแหน่ง Boiling
- นำ Thimble ไปใส่ไว้ในช่อง Extraction แล้วเอา Thimble Holder ออก
- เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble มาอยู่ในตำแหน่ง Rinsing

3.3.5 ชั่งน้ำหนัก Extraction Cups ที่มี Glass Bead (W2) ผ่านการอบแห้งแล้ว

3.3.6 เติม Petroleum Ether ลงใน Extraction Cups ปริมาณ 50 cc. แล้วนำ Extraction Cups ไปใส่ไว้ใน Extraction Cups Holder

3.3.7 นำ Extraction Cups Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเคลื่อนคันโยกทางด้านซ้ายมือของเครื่อง Extraction ลง

3.3.8 เริ่มทำการสกัดโดยขั้นตอนดังนี้

- ปุ่มบังคับ Thimble อยู่ตำแหน่ง Boiling
- ก๊อกล็อกอยู่ในลักษณะที่เปิด
- เปิด Switch Main ที่เครื่อง Thermostatic Cut-Out
- ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 20 นาที

3.3.9 เมื่อครบ 20 นาที ทำการ Rinsing โดยขั้นตอนต่อไปนี้

- เลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Rinsing
- ตั้งเวลาที่เครื่อง Extractor ไว้ 10 นาที

3.3.10 เมื่อครบ 10 นาที จะทำการ Evaporation (Solvent Recover) ดังต่อไปนี้

- ปิดก๊อกล
- เลื่อนปุ่ม Evaporation ลง

- เปิดไ้ประมาณครึ่งนาที

- เลื่อนปุ่ม Switch Air และ Switch Main

3.3.11 เลื่อนคันโยกทางซ้ายมือของเครื่อง Extractor ขึ้น นำ Extraction Cups

Holder ออกจากช่อง Extraction

3.3.12 นำ Thimble Holder ไปใส่ในช่อง Extraction แล้วเลื่อนปุ่มบังคับ Thimble ไปที่ Boiling นำ Thimble Holder ที่มี Thimble อยู่ภายในออกจากช่อง Extraction

3.3.13 ปิด Switch เครื่องทำน้ำเย็น

3.3.14 นำภาชนะไปใส่ Solvent โดยไปวางไว้ในช่อง Extraction แล้วเปิดก๊อกให้ Solvent ไหลออกมา (นำ Solvent กลับมาใช้ใหม่ได้)

3.3.15 นำ Extraction Cups ที่ได้ในข้อ 3.3.11 ไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ครั้ง ชั่วโมงแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก (W3)

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W3 - W2}{W1} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 เตาเผาเถ้า (muffle furnace)

4.1.2 ตะเกียงบุนเสน

4.1.3 ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (crucible)

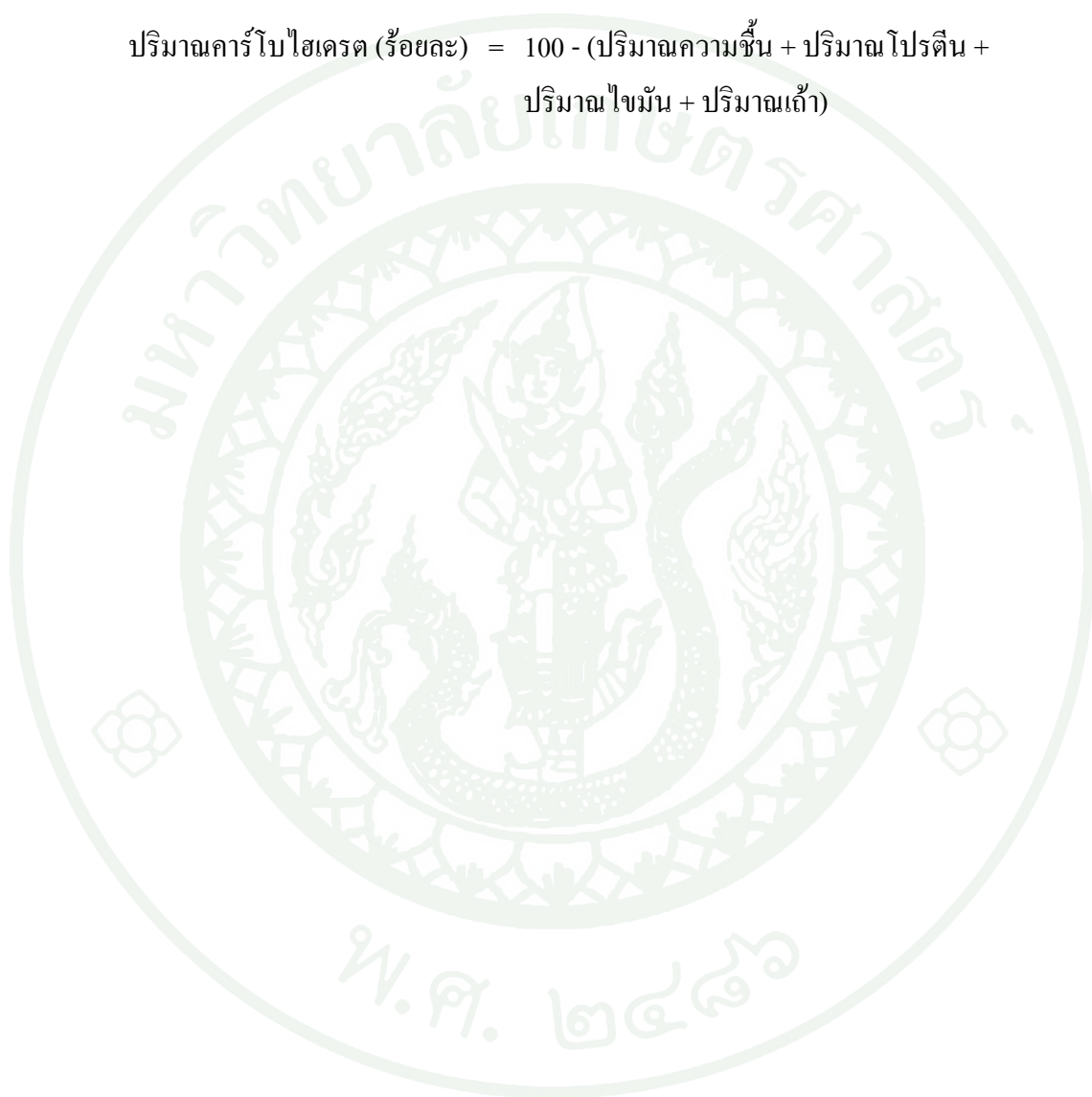
4.2 วิธีวิเคราะห์

เผาด้วยกระบือเพลิงเปล้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในถ้วยกระบือเพลิง นำตัวอย่างไปเผาไฟจนหมดควัน นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่ง น้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณเถ้า ดังนี้

$$\text{ปริมาณเก่า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณไขมัน} + \text{ปริมาณเก่า})$$





1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งข้าว และน้ำแป้งผสมไข่ขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA3D, Newport Scientific Instruments & Engineering, Australia)

1.1 วิธีวิเคราะห์

1.1.1 ชั่งแป้งจำนวน 7 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงบีกเกอร์เพื่อใช้เตรียมสารละลายน้ำแป้งผสมไข่ขาว 100 กรัม (ใช้แป้งคงที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด)

1.1.2 ชั่งไข่ขาวสด 10 20 30 40 และ 50 กรัม

1.1.3 ผสมแป้ง ไข่ขาว และน้ำกลั่น เพื่อให้ได้สารละลายน้ำแป้งผสมไข่ขาวที่เติมไข่ขาวระดับร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

1.1.4 ปิดบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายน้ำแป้งผสมไข่ขาวด้วยพาราฟิล์ม และตั้งสารละลายทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง มีการกวนตลอดด้วยเครื่องกวนแรงแม่เหล็ก

1.1.5 เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ชั่งสารละลายจำนวน 28 กรัม ใส่ลงถ้วยอลูมิเนียมของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

1.1.6 ใช้ใบพายคน โดยยกใบพายขึ้นลงเบาๆ ประมาณ 5 ครั้ง เพื่อให้ตัวอย่างกระจายในสารละลายอย่างสม่ำเสมอ

1.1.7 ใส่ใบพายลงในถ้วยอลูมิเนียม และสวมใบพายเข้ากับที่ยึดของเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว โดยให้ตำแหน่งใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย และจึงกดมอเตอร์ของเครื่องมือลง เครื่องเริ่มการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยสถานะที่ใช้วิเคราะห์แสดงดังตารางที่ ข1

1.1.8 ส่วนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไข่ขาวสด ทำโดยชั่งไข่ขาวสด 50 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลายไข่ขาวหนัก 100 กรัม ผสมสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นชั่งสารละลายจำนวน 28 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม แล้วใส่ใบพายลงในถ้วยอลูมิเนียม แล้วทำการวิเคราะห์ตามข้อ 1.1.7

ตารางผนวกที่ ข1 สภาวะที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาทียินาที)
50.0 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	0:00
50.0	1:00
95.0	4:45
95.0	7:15
50.0 (สิ้นสุดการทดสอบ)	13:00

หมายเหตุ สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้ คือ 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที คงที่ตลอดการทดสอบ

1.2 บันทึกค่าต่างๆ ดังนี้

- 1.2.1 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature)
- 1.2.2 ความหนืดสูงสุด (peak viscosity)
- 1.2.3 ความหนืดต่ำสุด (trough)
- 1.2.4 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity)
- 1.2.5 ค่าความหนืดลดลงหรือค่าเบรกดาวน์ (breakdown) คือ ค่าความแตกต่าง

ระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด

- 1.2.6 ค่าการคืนตัวกลับ (setback) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของก้วยเดี่ยว

2.1 ค่าการต้านแรงต้านตัดขาดของเส้นก้วยเดี่ยว

วัดค่าการต้านแรงตัดขาดของเส้นก้วยเดี่ยวซึ่งแสดงถึงการความแน่นแข็งของเส้นก้วยเดี่ยว โดยใช้หัววัด Light Knife Blade (A/LKB-F) วางตัวอย่างเส้นก้วยเดี่ยวกลางแท่นวางตัวอย่างซึ่งเป็นพลาสติก ทำการวัดโดยให้หัววัดตัดลงบนตัวอย่าง กำหนดค่าในการวัดดังนี้

Mode: Measure Force in Compression

Option: Return to Start

Pre – Test Speed: 0.2 mm/s

Test – Speed: 0.2 mm/s

Post – Test Speed: 10.0 mm/s

Distance: 85%

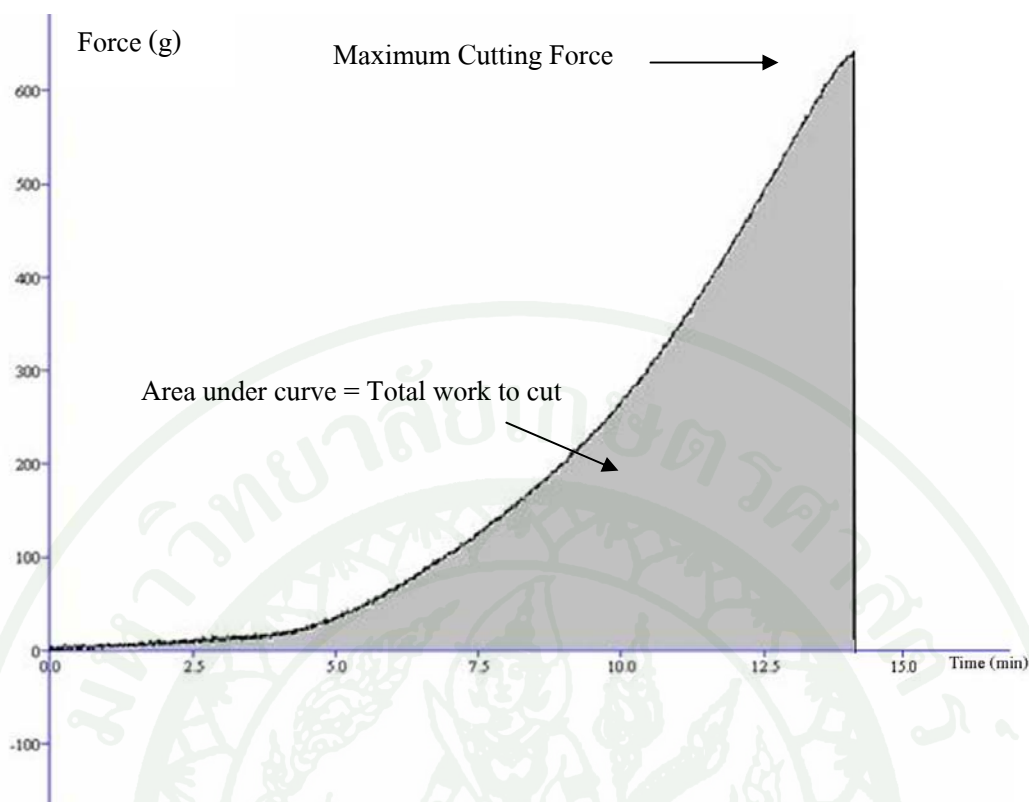
Trigger Type: Auto (10 gram)

Data Acquisition Rate: 400 pps

บันทึกกราฟและรายงานค่าดังนี้

2.1.1 แรงด้านการตัดสูงสุด (maximum cutting force) เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการตัดตัวอย่างของหัววัดด้วยอัตราเร็ว 0.2 มิลลิเมตร/วินาที มีหน่วยเป็นกรัม

2.1.2 งานที่ใช้ในการตัดตัวอย่างให้ขาด (total work to cut) เป็นค่าที่คำนวณจากแรงด้านการตัดสูงสุด และเวลาในการตัดตัวอย่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟ มีหน่วยเป็นกรัม.วินาที ตัวอย่างกราฟและการหาค่างานที่ใช้ในการตัดตัวอย่างแสดงดังภาพผนวกที่ ข 1



ภาพผนวกที่ ข1 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดค่าการต้านแรงตัดขาดของเส้นก๋วยเตี๋ยว

2.2 ค่าการต้านแรงดึงขาดของเส้นก๋วยเตี๋ยว

วัดความต้านแรงดึง (Tensile strength) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยพันเส้นก๋วยเตี๋ยว 1 เส้นกับหัววัด ใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR) 5 กิโลกรัม โหลดเซลล์ และกำหนดค่าในการวัดดังนี้

Mode: Tension

Option: Return to Start

Pre – Test Speed: 3.0 mm/s

Test – Speed: 3.0 mm/s

Post – Test Speed: 5.0 mm/s

Distance: 80 mm

Trigger Type: Auto (5 gram)

Data Acquisition Rate: 200 pps

บันทึกกราฟและรายงานค่าดังนี้

2.2.1 แรงด้านการดึงขาดสูงสุด (maximum force) เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการดึง ตัวอย่างให้ขาดของหัววัดด้วยอัตราเร็ว 3.0 มิลลิเมตร/วินาที มีหน่วยเป็นกรัม

2.2.2 ระยะทาง (distance) เป็นระยะทางในการดึงให้ขาด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3. ระยะเวลาในการทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยวลูก (cooking time) ตามวิธีของ Yalcin and Basman (2008)

นำตัวอย่างก๊วยเตี๋ยวที่ผ่านการนึ่งสุก ขนาด กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร นำมาวางบน กระดาษไค้ นำกระดาษไค้ที่อีกอันมาประกบทับด้านบน จากนั้นกดบีบให้เส้นแตก สังเกตดูว่าใจกลางตัวอย่างไม่มีไตแข็ง ขาวขุ่น แสดงว่าระยะเวลาในการนึ่งเส้นเพียงพอในการทำให้ก๊วยเตี๋ยวลูก



การทดสอบความชอบ/ การยอมรับ

ผลิตภัณฑ์ : ถ้วยเขียวเส้นใหญ่อบแห้งก้อนรูป วันที่ _____
 ผู้ทดสอบ _____ อายุ _____ ปี
 ระดับการศึกษา ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก ☐ อาจารย์

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่างโดยให้คะแนนตามคำอธิบายคะแนนความชอบ และกรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่าง

สเกลความชอบ

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

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ							
	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
สี								
กลิ่น*								
กลิ่นรส**								
ลักษณะเนื้อสัมผัส								
ความชอบโดยรวม								

หมายเหตุ : * กลิ่น ใช้การดมด้วยจมูก

** กลิ่นรส ใช้การชิม

ข้อเสนอแนะ _____

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศศิภา เกิดศรีเล็ก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	เข้าร่วมเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2552