



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บะหมี่

The Utilization of Sorghum Flour as Wheat Flour Substitution in Alkaline Noodles

นามผู้วิจัย นางสาวพิชญพร คิมโชค

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาศอุบล ทองงาม, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

( รองศาสตราจารย์ปวีณา หงสประภาส, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัณณี จิรภาคย์กุล, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สิงสิงณี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์กะหรี่

The Utilization of Sorghum Flour as Wheat Flour Substitution in Alkaline Noodles

โดย

นางสาวพิลัยพร คิมโชค

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟิลิปพร คิมโซค 2555: การใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บะหมี่  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาศอุบล ทองงาม, Ph.D. 141 หน้า

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาการใช้แป้งข้าวฟ่างสายพันธุ์เฮกการ์ที่ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บะหมี่ โดยใช้แป้งข้าวฟ่าง (SF) ผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ (PSF) ที่ผ่านการตัดแปรโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าการใช้แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน SF:PSF; 70:30 50:50 และ 30:70 สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นบะหมี่ได้ ภายหลังจากต้มพบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างจะมีสีแดงคล้ำ มีปริมาณร้อยละการดูดน้ำ และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มสูงกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี เมื่อตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าบะหมี่ SF:PSF(50:50) และ SF:PSF(30:70) มีค่าความเค้นและความเครียดต่ำกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี จากนั้นทดลองนำบะหมี่มาทำให้สุกโดยการนึ่ง พบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างใช้เวลาในการนึ่ง 15 นาที และภายหลังจากนึ่งพบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีลักษณะปรากฏที่ดีและมีปริมาณร้อยละการดูดน้ำมีค่าระหว่าง 47.72-59.44 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี (45.50) นอกจากนี้บะหมี่ SF:PSF(30:70) มีค่าความเครียดไม่แตกต่างกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทดสอบเติมซีสเตอีนในระดับต่างๆ พบว่าการเติมซีสเตอีนไม่มีผลต่อค่าความเค้นของบะหมี่แป้งข้าวฟ่าง แต่การเติมซีสเตอีนปริมาณ 0.04 กรัม/ 100 กรัมแป้ง ทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่ไม่ได้เติมซีสเตอีน นอกจากนี้เมื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นบะหมี่ พบว่าเมื่อเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักแป้งบะหมี่มีปริมาณร้อยละการดูดน้ำเพิ่มขึ้น และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มลดลง ในขณะที่ค่าความเค้นไม่แตกต่างกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อนำบะหมี่ที่ได้ไปแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว พบว่าบะหมี่มีค่าความเค้นและความเครียดลดลง และบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงมีลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังแช่เยือกแข็งดีกว่าบะหมี่ที่ไม่เติมไข่ขาวผง

Pilaiporn Duemchok 2012: The Utilization of Sorghum Flour as Wheat Flour Substitution in Alkaline Noodles. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Masubon Thongngam, Ph.D. 141 pages.

This study involved the utilization of Hegari sorghum flour substitution to wheat flour in yellow alkaline noodle production. Alkaline noodles made by mixing sorghum flour (SF) and pregelatinized sorghum flour (PSF), which was prepared by drum dryer at various SF: PSF ratios as followed; 70:30, 50:50 and 30:70. After cooking, sorghum noodles had dark reddish color, with lower water uptake and higher cooking loss as compared to wheat noodles. When determined the textural properties, the results show that the noodles made from SF: PSF (50:50) and SF: PSF (30:70) had stress and strain value lower than wheat noodles. When the cooking was used steaming instead of boiling water, the sorghum noodle qualities were improved. The steamed sorghum noodles had water uptake similar to the steamed wheat noodles and the optimum steaming time was 15 min. The steamed sorghum noodles had good appearance and water uptake (47.72-59.44) similar to wheat noodles (45.50). Furthermore the steamed noodles, SF: PSF (30:70) had strain value (0.73) insignificantly different from wheat noodles (0.69). Upon addition of cysteine, the results show that the strain values of sorghum noodles with the 0.04 g cysteine /100 g flour was increased when compared with sorghum noodles without cysteine. Sorghum noodles containing 10% egg white powder had higher water uptake and lower cooking loss than sorghum noodles without egg white powder. Nonetheless sorghum noodles with the addition of egg white powder had stress values insignificantly different from wheat noodles. After frozen by fast freezing, the stress and strain values of sorghum noodles were decreased. However the sorghum noodles with egg white powder had better textural properties than the sorghum noodle without egg white powder.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาศอุบล ทองงาม อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร. ปาริฉัตร หงสประภาส อาจารย์วิทยานิพนธ์ร่วม ที่  
กรุณาให้คำปรึกษารวมทั้งตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดข้าวฟ่าง  
สำหรับทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ให้  
คำแนะนำ คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ สำหรับงานวิจัย  
เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

ขอบคุณ หลิว พิชา พิชญ์ เอื่อง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และคอยให้  
คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จไปด้วยดี และขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้อง ห้อง  
2413 ทุกคนที่คอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อยู่เคียงข้างมาตลอด

พิลัยพร คีมีโชค  
เมษายน 2555

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	94
สรุป	94
ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	97
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี	115
ภาคผนวก ข การตรวจสอบคุณภาพทางฟิสิกส์	128
ภาคผนวก ค การตรวจสอบคุณภาพบะหมี่	131
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	141

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดของกรดไขมันที่พบในข้าวฟ่าง	10
2	ปริมาณแอนโทไซยานินในธัญพืชมีสีชนิดต่างๆ	12
3	การแบ่งชนิดของบะหมี่ในเอเชีย	16
4	อัตราส่วนของแป้งข้าวฟ่างผสมในการผลิตเส้นบะหมี่	46
5	ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวสด	47
6	ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวผง	47
7	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่าง พรีเจลาทีไนซ์	52
8	ปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างแป้ง	55
9	ลักษณะสีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์	56
10	กำลังการพองตัวของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่าง พรีเจลาทีไนซ์ที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส	58
11	การละลายของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ที่ อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส	59
12	ช่วงอุณหภูมิเจลาทีไนเซชันและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชันของ แป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง	59
13	ปริมาณส่วนผสมของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ และปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมบะหมี่ในแต่ละสูตร	64
14	ลักษณะปรากฏของเส้นบะหมี่ดิบที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสม แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	65
15	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ดิบที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้ง ข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	66
16	ค่าพีเอชและสีของบะหมี่สุก	67

## สารบัญตาราง (ต่อ)

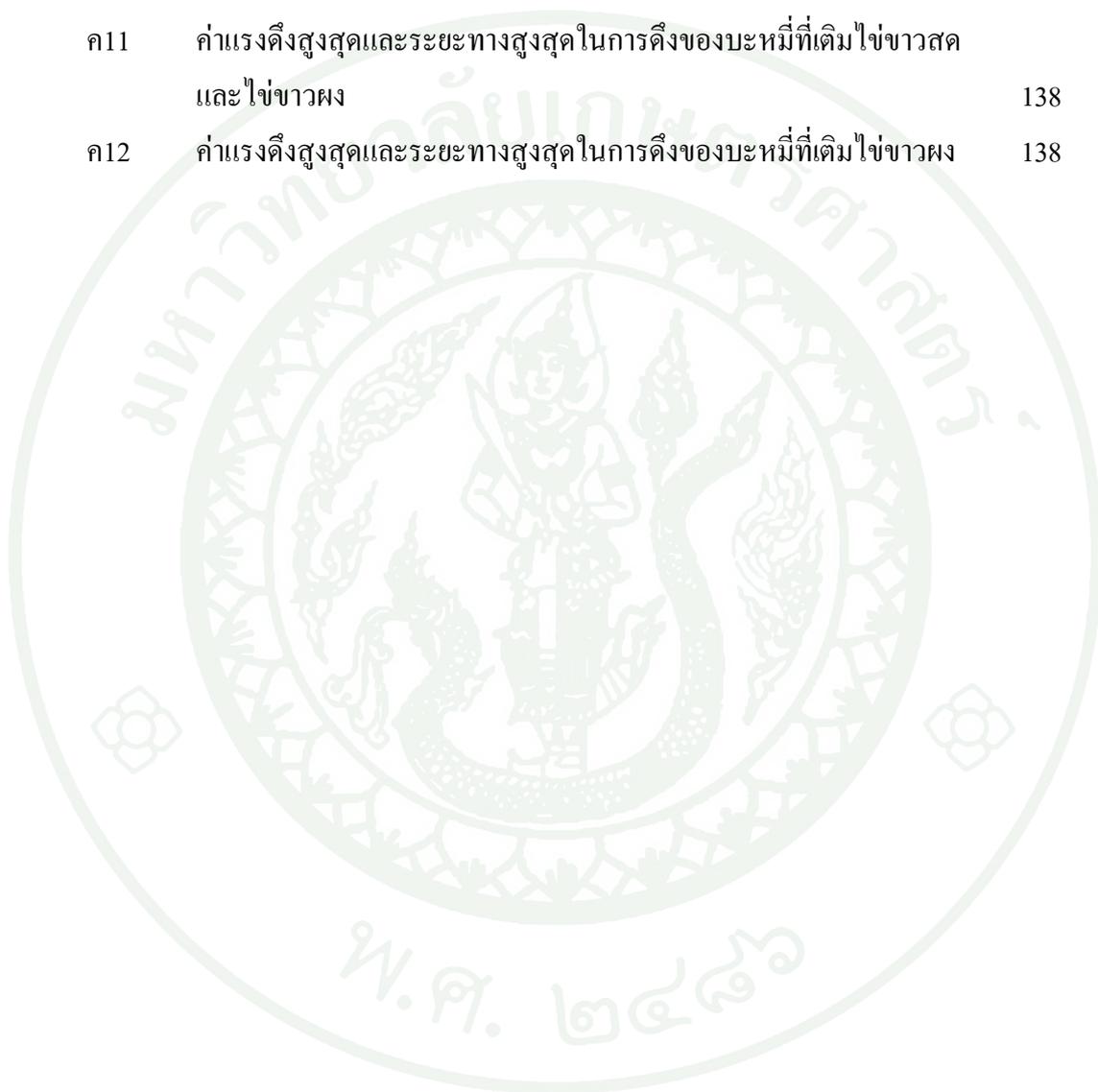
ตารางที่		หน้า
17	ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้มที่เหมาะสม ปริมาณร้อยละการคูดน้ำ และ ปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มของบะหมี่ที่ผลิต จากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง	69
18	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ต้มที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสม แป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในระดับที่แตกต่างกัน	71
19	ความชื้นของเส้นบะหมี่แป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่าง พรีเจลลาทีไนซ์ภายหลังการนึ่งด้วยเวลาแตกต่างกัน	73
20	ค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ผ่านการนึ่งด้วย เวลาแตกต่างกัน	74
21	ค่าพีเอช และปริมาณร้อยละการคูดน้ำของบะหมี่ที่ผ่านการนึ่ง	75
22	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่หนึ่งที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่าง พรีเจลลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	76
23	ปริมาณร้อยละการคูดน้ำภายหลังการนึ่งของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติม ชิสเตอินปริมาณต่าง ๆ	77
24	ลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังการนึ่งของบะหมี่ที่เติมชิสเตอินปริมาณต่าง ๆ	78
25	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 30 และ 50 ภายหลังต้มสุก	80
26	ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ต้มที่เติมไข่ขาวสด และไข่ขาวผง	81
27	ปริมาณร้อยละการคูดน้ำ และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่าง หุงต้มของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวผงในระดับ ร้อยละ 5 10 15 และ 20	83
28	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าว ฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 50:50 ที่เติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง	84

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	ค่าสีของบะหมี่หลังนึ่ง และหลังแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบรวดเร็ว	86
30	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่นึ่งก่อนและภายหลังการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบรวดเร็ว	88
31	สีของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผงก่อนแช่เยือกแข็ง หลังแช่เยือกแข็งและหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน	91
32	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ต้มก่อนและหลังแช่เยือกแข็ง และภายหลังเก็บรักษา 7 วัน ในตู้แช่เยือกแข็ง	92
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ข1	สภาวะที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา	130
ค1	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หลังต้ม	134
ค2	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หลังนึ่ง	135
ค3	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หลังการเติมซิสเตอีน	135
ค4	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดปริมาณร้อยละ 30 และ 50	135
ค5	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผง	136
ค6	ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20	136
ค7	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการต้ม	136
ค8	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการนึ่ง	137
ค9	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมซิสเตอีน	137
ค10	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสด	137

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค11	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของเบรคที่เติมไขขาวสด และไขขาวผง	138
ค12	ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของเบรคที่เติมไขขาวผง	138



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง	5
2	โปรตีนบอดีของแป้งข้าวฟ่าง	8
3	ความสัมพันธ์ของโปรตีนบอดีกับสตาร์ช และ โครงข่ายของโปรตีน กลูเตลินในข้าวฟ่าง	8
4	โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิดินเปรียบเทียบกับ 3-deoxyanthocyanidins luteolinidin และ apigeninidin	11
5	สมบัติด้านความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่าง พรีเจลาทีไนซ์	61
6	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ใน อัตราส่วน 90:10 70:30 50:50 30:70 และ 10:90	63
7	บะหมี่ต้มที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง ก) WF ข) SF:PSF(70:30) ค) SF:PSF(50:50) และ ง) SF:PSF(30:70)	68
8	บะหมี่หลังจากผ่านกรนึ่ง ก) WF ข) SF:PSF(70:30) ค) SF:PSF(50:50) และ ง) SF:PSF(30:70)	72
9	บะหมี่แป้งข้าวฟ่าง ก) SF:PSF(70:30) และ ข) SF:PSF(70:30) เติมน้ำขาว สดปริมาณร้อยละ 50 ภายหลังต้มสุก	79
10	บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ เติมน้ำขาวผงในระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ก่อนและหลังต้มสุก	82
11	บะหมี่สุกก่อนแช่เยือกแข็ง หลังแช่เยือกแข็ง และหลังเก็บรักษาในตู้แช่เยือก แข็งเป็นเวลา 7 วัน	89

## การใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บะหมี่

### The Utilization of Sorghum Flour as Wheat Flour Substitution in Alkaline Noodles

#### คำนำ

แป้งส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเส้น (noodle product) คือแป้งสาลี ซึ่งข้าวสาลีเป็นธัญพืชที่ปลูกได้ดีในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น เช่น อเมริกา แคนาดา ยุโรป อาร์เจนตินา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ สำหรับในประเทศไทยนั้นยังมีการผลิตข้าวสาลีได้ในปริมาณน้อยและมีคุณภาพต่ำ ดังนั้นจึงยังต้องนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นการลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ และส่งเสริมการใช้วัตถุดิบภายในประเทศให้มากขึ้น จึงได้มีการศึกษาการนำพืชชนิดอื่นมาทดลองผลิตบะหมี่นอกเหนือจากการใช้แป้งสาลี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แป้งข้าวฟ่างเพื่อนำมาทดลองผลิตบะหมี่แทนแป้งสาลี เนื่องจากข้าวฟ่างเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย และทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี และในประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้ปลูกข้าวฟ่างกันอย่างแพร่หลาย

การนำข้าวฟ่างมาใช้ประกอบอาหารได้มีมาช้านานแล้ว เช่น ในแถบประเทศอัฟริกา จีน และอินเดีย ได้นำข้าวฟ่างมาปรุงเป็นอาหารคล้ายกับธัญพืชจำพวกข้าว ข้าวสาลี โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างมาบดแล้วนำแป้งที่ได้มาผสมกับน้ำทำเป็นขนมปังแผ่นบาง หรือนำข้าวฟ่างทั้งเมล็ดมาต้มกับน้ำรับประทานคล้ายกับข้าวต้ม ซึ่งเรียกว่า porridge ขณะที่ในประเทศไทยเองก็ได้มีการศึกษาการนำแป้งข้าวฟ่างมาผสมกับแป้งสาลีเพื่อผลิตขนมปัง และคุกกี้ (ศิวาพร, 2533)

แป้งข้าวฟ่างมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน ลิปิด เส้นใย และเถ้า ซึ่งคล้ายกับธัญพืชชนิดอื่นๆ ทั้งนี้โปรตีนในแป้งข้าวฟ่างเป็นโปรตีนโพรลามีนที่มีสมบัติใกล้เคียงกับโปรตีนซินในข้าวโพด ซึ่งโปรตีนโพรลามีน หรือโปรตีนคาพิรินมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนซิสเทอีนซึ่งในโมเลกุลมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ซิสเทอีนจึงมีหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ที่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นพันธะไดซัลไฟด์ได้ระหว่างกรดอะมิโนซิสเทอีนที่อยู่ภายในสายพอลิเพปไทด์เดียวกันหรือต่างสายกัน (Hamaker and Bugusu, 2003) ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์จัดเป็นพันธะที่มีความ

แข็งแรงมาก ดังนั้น โครงสร้างของอาหารที่มีพันธะไคซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบจึงมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งได้มีการศึกษาและพบว่าโดที่ทำจากโปรตีนคาเฟรินในแป้งข้าวฟ่างมีสมบัติด้าน extensional viscosity คล้ายคลึงกับ โดของโปรตีนกลูเตนที่มาจากแป้งสาลีด้วย (Oom *et al.*, 2008) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตขนมปังด้วยแป้งที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน จะมีปัญหาในการขึ้นรูปเนื่อง จากแป้งที่ปราศจากกลูเตนขาดสมบัติด้านการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) และความยืดหยุ่น (elasticity) (Suhendro *et al.*, 2000) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการตัดแปรแป้งข้าวฟ่างด้วยวิธีพรี-เจลาทีไนซ์ เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการละลายน้ำของแป้ง ทำให้ได้แป้งข้าวฟ่างที่สามารถละลายในน้ำเย็นได้ จากนั้นจึงนำมาผสมกับแป้งข้าวฟ่างที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรเพื่อผลิตขนมปัง

## วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างตัดแปรทางฟิสิกส์
2. ตรวจสอบอัตราส่วนของแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างตัดแปรทางฟิสิกส์เพื่อทำผลิตภัณฑ์บะหมี่
3. ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง
4. ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งต่อบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง

## การตรวจเอกสาร

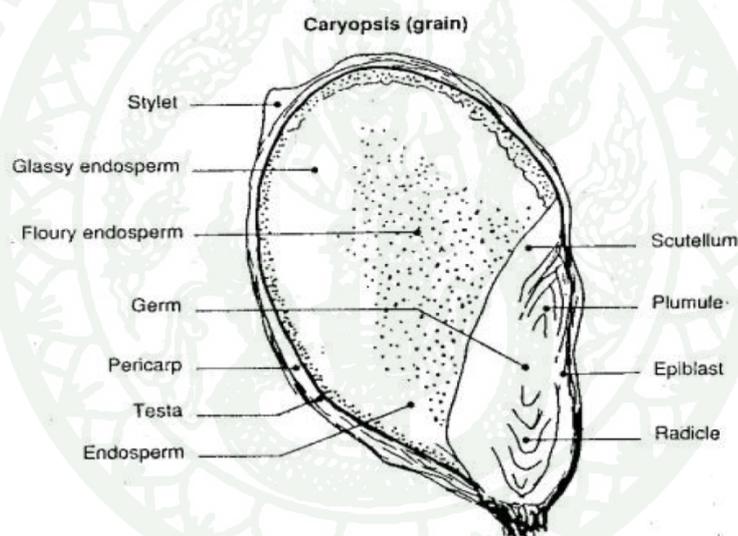
### 1. ข้าวฟ่าง

ข้าวฟ่าง (sorghum) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sorghum bicolor* L. Moench. เป็นพืชล้มลุกที่จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae บางแห่งเรียกว่า milo, milo maize หรือ kaffir corn ซึ่งในระยะตั้งแต่งอกจนถึงก่อนออกดอกจะมีลักษณะคล้ายกับข้าว โปด เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้ง ข้าวฟ่างเป็นธัญพืชที่สำคัญเป็นลำดับที่ห้าของโลกรองจากข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวบาเลย์ (Dendy, 1995) และจัดเป็นธัญพืชที่สำคัญในทวีปแอฟริกา เอเชีย และลาตินอเมริกา ปริมาณผลผลิตข้าวฟ่างมากกว่าร้อยละ 35 ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ และผลิตแอลกอฮอล์ (Awika and Rooney, 2004)

ในประเทศไทยได้มีการนำเอาข้าวฟ่างเมล็ดสีขาวพันธุ์เฮกการ์เข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2483 โดยนำเมล็ดพันธุ์มาจากสหรัฐอเมริกา โดยนำเข้ามาปลูกที่สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์ทับกวาง จังหวัดสระบุรี มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์ หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่างเมล็ดสีขาวออกมาอีกหลายสายพันธุ์ เช่น เคนยู 439 แต่ข้าวฟ่างพันธุ์เมล็ดสีขาวมีปริมาณแทนนินสูงทำให้ไม่เป็นที่ต้องการจึงได้มีการนำเอาข้าวฟ่างเมล็ดสีแดงลูกผสมมาปลูกในปี พ.ศ. 2532 ในปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเป็นพืชรองหลังจากปลูกพืชหลักหรือปลูกเป็นพืชหลัก ทำให้ข้าวฟ่างเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ในปัจจุบันได้มีการปลูกข้าวฟ่างกันในหลายจังหวัด เนื่องจากข้าวฟ่างเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่าย ใช้น้ำน้อยสามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดีซึ่งเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย แหล่งปลูกข้าวฟ่างที่สำคัญได้แก่ จังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ สระบุรี อุทัยธานี และนครราชสีมา เป็นต้น โดยข้าวฟ่างสายพันธุ์ที่ได้รับการส่งเสริมจากหน่วยราชการ ได้แก่ พันธุ์เฮกการ์หนัก เฮกการ์เบา อุทอง 1 เคนยู 439 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 60 เคนยู 630 เคนยู 8501 และ เคนยู 8703 ฤดูกาลในการปลูกข้าวฟ่างในประเทศไทยที่ปลูกเพื่อผลิตเมล็ดจะเริ่มปลูกกลางเดือนกรกฎาคม ถึงปลายเดือนสิงหาคม (ธีรารังสิลป, 2530)

## 1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

สีของเมล็ดข้าวฟ่างมีหลายเฉดสีซึ่งส่วนมากแล้วจะมีสีขาว สีแดงและสีน้ำตาล ข้าวฟ่างมีขนาดเมล็ดที่เล็กมากเมื่อเทียบกับธัญพืชชนิดอื่นๆ มีความยาว 4 มิลลิเมตร กว้าง 2 มิลลิเมตรหนา 2.5 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 25-35 มิลลิกรัม และมีความหนาแน่นระหว่าง 1.28-1.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนประกอบหลักของเมล็ดของข้าวฟ่าง คือ 1) เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุด 2) ทนด้า (testa) อยู่ระหว่างชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดและชั้นเนื้อเยื่อสะสม (endosperm) (อาจจะไม่มี) 3) เนื้อเยื่อสะสม (endosperm) และ 4) กัมภะ (embryo) (Liu, 2009) รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

ที่มา: Liu (2009)

### 1.1.1 เยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp)

เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุดซึ่งประกอบด้วยเส้นใยจำนวนมาก ประกอบไปด้วย 3 ชั้นย่อย คือ เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก (epicarp) เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นกลาง (mesocarp) และเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน (endocarp) เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก (epicarp) เป็นชั้นที่อยู่ชั้นนอกสุด ส่วนมากถูกปก

คลุมไปด้วยชั้นของไข (waxy film) เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นกลาง (mesocarp) เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ประกอบไปด้วยแป้ง และเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน (endocarp) เป็นชั้นที่อยู่ภายในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบไปด้วยเซลล์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (cross และ tube cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ขนส่งความชื้นไปสู่ส่วนที่เป็นเมล็ด (Rooney, 1978)

### 1.1.2 เทสด้า (Testa)

ข้าวฟ่างบางสายพันธุ์จะมีชั้นเทสด้า (testa) ในขณะที่บางสายพันธุ์จะไม่มีหรือมีไม่สมบูรณ์ ความหนาของชั้นเทสด้าขึ้นอยู่กับแหล่งที่ปลูก เป็นชั้นที่ประกอบด้วยสารสีซึ่งอาจประกอบด้วยแทนนิน และแทนนินจะทำให้เกิดรสขมดังนั้นจึงช่วยป้องกันนกและแมลงที่จะมาทำลายเมล็ดด้วย นอกจากนี้แทนนินสามารถเกิดอันตรกิริยากับโปรตีนทำให้โปรตีนย่อยได้น้อยลงจึงไม่เป็นที่ต้องการนำมาบริโภค (Liu, 2009)

### 1.1.3 เนื้อเยื่อสะสม (Endosperm)

เนื้อเยื่อสะสม (endosperm) เป็นส่วนที่มีมากสุดในเมล็ดซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนและสตาร์ชรวมไปถึงถ้า วิตามินบีรวมและไขมัน เนื้อเยื่อสะสมส่วนรอบนอก (peripheral endosperm) มีลักษณะขุ่น ซึ่งอัดแน่นด้วยเซลล์ที่มีลักษณะหลายเหลี่ยมและประกอบด้วยเม็ดสตาร์ช และโปรตีนบอดี (protein body) ที่ฝังแน่นอยู่ในส่วนของโครงข่ายโปรตีน (protein matrix) (Liu, 2009)

## 1.2 องค์ประกอบในเมล็ดข้าวฟ่าง

### 1.2.1 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักของเมล็ดข้าวฟ่างพบอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อสะสม (endosperm) มีปริมาณร้อยละ 50-75 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ แอมิโลสเป็นองค์ประกอบที่มีความเป็นเส้นตรงซึ่งเกิดจากสายโซ่ของหน่วยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ( $\alpha$ -1,4 glycosidic linkage) และแอมิโลเพกตินเป็นองค์ประกอบที่มีกิ่งก้านที่เกิดจากสายกิ่งของหน่วยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 และแอลฟา 1,6 ( $\alpha$ -1,6 glycosidic

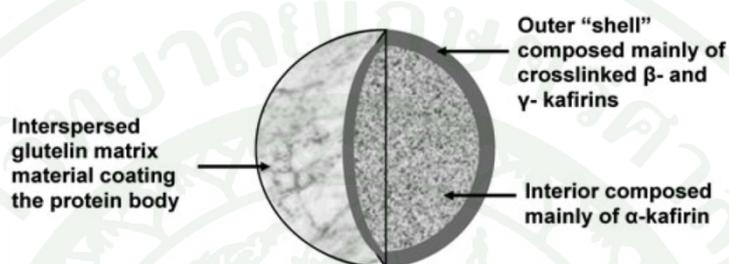
linkage) ดังนั้นเอมิโลเพกตินจึงมีมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเอมิโลส ซึ่งในเนื้อเยื่อสะสมของข้าวฟ่างมีเอมิโลสประมาณร้อยละ 23-60 ส่วนอุณหภูมิการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชข้าวฟ่างมีอุณหภูมิระหว่าง 68-78 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าข้าวโพด ( 62-72 องศาเซลเซียส) แป้งสาลี (58-64 องศาเซลเซียส) และข้าวบาเลย์ ( 51-60 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ (Hoseney, 1994)

### 1.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากสตาร์ช โดยปริมาณโปรตีนจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสิ่งแวดล้อมในการปลูก (Waggle and Deyoe, 1966) พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวฟ่างจะใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนที่อยู่ในข้าวสาลีและข้าวโพด โปรตีนประมาณร้อยละ 80 จะอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อสะสม (endosperm) ร้อยละ 15-16 อยู่ในส่วนของคัพภะ (germ) และร้อยละ 3-4 อยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) โดยส่วนมากแล้วโปรตีนในข้าวฟ่างเป็นชนิดโปรตีนโพรลามิน (prolamin) ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 50 หรือมากกว่า โพรลามินเป็นโปรตีนสะสมที่พบอยู่ในส่วนเนื้อเยื่อสะสม (endosperm) ในขณะที่อัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) เป็นโปรตีนเชิงหน้าที่ (functional protein) ที่พบอยู่ในส่วนคัพภะ (germ) ในขณะที่กลูเตลิน (glutelin) เป็นโปรตีนที่พบมากเป็นอันดับสองซึ่งอยู่ส่วนรอบนอกและส่วนที่อยู่ด้านในของเนื้อเยื่อสะสมของเมล็ดข้าวฟ่าง (Liu, 2009)

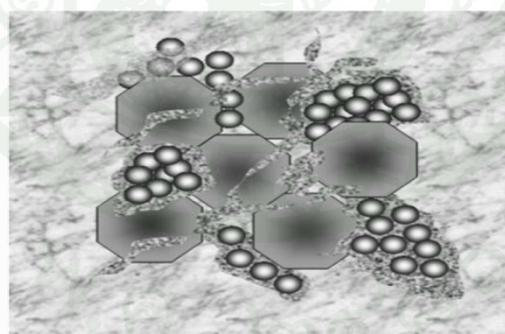
โปรตีนในข้าวฟ่างแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ โปรตีนโพรลามิน (prolamin proteins) และโปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนโพรลามิน (non-prolamin proteins) โปรตีนโพรลามินเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดที่ในข้าวฟ่างมีประมาณร้อยละ 82 ซึ่งจัดเป็นโปรตีนสะสม (storage protein) มีสมบัติละลายได้ในสารละลายแอลกอฮอล์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดโพรลีน (proline) และกลูตามีน (glutamine) ในปริมาณสูง ในขณะที่โปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนโพรลามิน ( เรียกว่า albumins globulins และ glutelins) มีประมาณร้อยละ 30 (Belton *et al.*, 2006) ในปัจจุบันเรียกโปรตีนโพรลามินว่า คาฟิริน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แอลฟา-คาฟิริน ( $\alpha$ ) บีตา-คาฟิริน ( $\beta$ ) และแกมมา-คาฟิริน ( $\gamma$ ) โดยแบ่งจากน้ำหนักโมเลกุล สมบัติด้านการสกัด (extractability) และโครงสร้าง (El Nour *et al.*, 1998) แอลฟา-คาฟิรินเป็นกลุ่มโปรตีนหลักซึ่งมีประมาณร้อยละ 65-85 ของโปรตีนคาฟิรินทั้งหมด ส่วนบีตา-คาฟิรินมีประมาณร้อยละ 7-8 และแกมมา-คาฟิรินมีประมาณร้อยละ 9-12 ทั้งนี้พบว่าโปรตีนคาฟิรินจะอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อสะสม (endosperm) จากการศึกษาพบว่าคาฟิรินเป็นโปรตีนบอดีที่มีรูปร่างกลม และฝังอยู่ในโครงข่ายของโปรตีนกลูเตลิน ซึ่งอยู่

รอบๆ สตาร์ชแกรนูล (Taylor *et al.*, 1984) ผิวด้านนอกของโปรตีนบอดีถูกปกคลุมด้วยพันธะเชื่อมข้ามของบีตา-คาเฟอรินและแกมมา-คาเฟอริน และส่วนกลางของโปรตีนบอดีประกอบด้วยแอลฟา-คาเฟอริน (Duodu *et al.*, 2003; Shull *et al.*, 1992) (ดังภาพที่ 2 และ 3) โปรตีนบอดีของข้าวฟ่างย่อยด้วยเอนไซม์ได้ยาก และทำลายโดยกระบวนการแปรรูปและเอกทฤษันซ์ ซึ่งเป็นเพราะว่า บีตา-คาเฟอรินและแกมมา-คาเฟอรินเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross-link) จำนวนมากอยู่รอบนอกโปรตีนบอดี



ภาพที่ 2 โปรตีนบอดีของแป้งข้าวฟ่าง

ที่มา: Stonestreet *et al.* (2010)



● Protein bodies  
 ■ Starch granule  
 ■ Glutelin protein matrix  
 Protein bodies and starch granules are embedded in the glutelin matrix.

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของโปรตีนบอดีกับสตาร์ช และ โครงข่ายของโปรตีนกลูเตลินในข้าวฟ่าง

ที่มา: Stonestreet *et al.* (2010)

โดยทั่วไปโปรตีนคาพิรินมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากกว่าโปรตีนโพรลามินจากธัญพืชชนิดอื่น (Belton *et al.*, 2006) คาพิรินมีโครงสร้างและกรดอะมิโนที่แตกต่างจากโปรตีนกลูเตน โดยคาพิรินมีโครงสร้างที่เป็นเกลียว (helix) (ประมาณร้อยละ 40) แต่กลูเตนมีโครงสร้างเป็นแบบขดเป็นอิสระ (random coil) (Bugusu *et al.*, 2001) ทั้งนี้โปรตีนคาพิรินประกอบด้วยพันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างซึ่งมีความคล้ายคลึงกับโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลี (Hamaker and Bugusu, 2003) Oom *et al.* (2008) ได้ศึกษาสมบัติด้านรีโอโลยี (rheology) ของโดที่ทำจากโปรตีนคาพิริน พบว่าโดของโปรตีนคาพิรินที่เตรียมโดยผสมกับน้ำมีค่าความเหนียวยืด (extensional viscosity) คล้ายคลึงกับโดของโปรตีนกลูเตน และโดที่ทำจากโปรตีนคาพิรินจะมีลักษณะแข็งมากขึ้นเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากโปรตีนคาพิรินเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross-linking) และเมื่อนำโปรตีนคาพิรินมาผสมกับสตาร์ชและน้ำ พบว่าไม่สามารถขึ้นรูปโดได้ ซึ่งนั่นอาจเพราะว่าโดยธรรมชาติแล้วโปรตีนคาพิรินจะมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) แต่ถ้าเตรียมโดโดยนำแป้งข้าวฟ่างผสมกับน้ำเดือดจะทำให้ได้โดที่มีลักษณะการแผ่ขยาย (extensibility) สูงขึ้น และโดจะมีความแข็งลดลง แต่มีค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) และความเหนียว (gumminess) เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากว่าสตาร์ชเกิดเจลลาทิโนเซชัน (Stonestreet *et al.*, 2010)

### 1.2.3 น้ำตาล (Soluble sugar)

ปริมาณน้ำตาลที่พบในส่วนของเมล็ดข้าวฟ่างมีประมาณร้อยละ 1.3 ชนิดของน้ำตาลที่พบได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส ราฟไฟโนส ซูโครส และมอลโตส น้ำตาลที่พบมากที่สุดคือในเมล็ดข้าวฟ่างคือซูโครส รองลงมาคือ กลูโคส และฟรุคโตส (Liu, 2009)

### 1.2.4 ไขมันและเส้นใย

ไขมันส่วนมากจะพบในส่วนของคัพพะ (germ) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 1.4-6.2 ปริมาณของไขมันจะมีความสัมพันธ์กับระดับของการขัดสีเพราะในขั้นตอนการขัดสีนั้นส่วนของคัพพะ (germ) จะถูกขจัดออกไปจึงทำให้ปริมาณไขมันลดลง ปริมาณเส้นใยของข้าวฟ่างส่วนมากอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) มีปริมาณร้อยละ 86.2 โดยปริมาณเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปริมาณแทนนินที่อยู่ในเมล็ด (Rooney, 1978)

ตารางที่ 1 ชนิดของกรดไขมันที่พบในข้าวฟ่าง

องค์ประกอบ	(%)
Palmitic (16:0)	14.3
Palmitoleic (16:1)	1.0
Stearic (18:0)	2.1
Oleic (18:1)	31.0
Linoleic (18:2)	49.0
Linolenic (18:3)	2.7
Arachidic (20:0)	0.2

หมายเหตุ ปริมาณกรดไขมันอิสระคำนวณจากปริมาณไขมันทั้งหมด

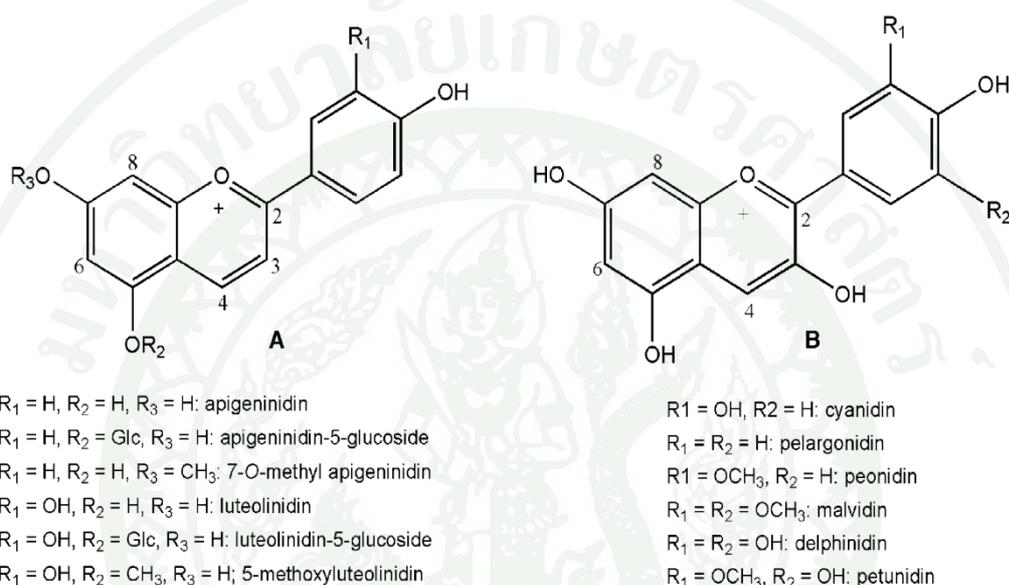
ที่มา: คัดแปลงจาก Rooney (1978)

#### 1.2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกในข้าวฟ่างแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และแทนนิน (condensed tannins) ซึ่งฟลาโวนอยด์และแทนนินมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสีในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) แทนนินในข้าวฟ่างสามารถจับกับส่วนของโปรตีนทำให้ปริมาณสารอาหารลดลง แต่สามารถทำให้แทนนินลดลงได้โดยการขัดสี การหมัก และการงอกของเมล็ด (Liu, 2009)

สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารให้สีกับพืชโดยให้สีตั้งแต่สีน้ำเงิน ม่วงน้ำเงิน ม่วง ม่วงแดง แดง ไปจนถึงสีส้ม (วนิดา, 2552) และยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวฟ่างจะพบสารแอนโทไซยานินในส่วนของชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (Gous, 1989) สารแอนโทไซยานินที่พบในข้าวฟ่างมีหลายชนิด ในข้าวฟ่างดำพบสารแอนโทไซยานินชนิด luteolinidin และ apigeninidin ปริมาณร้อยละ 50 (Awika *et al.*, 2004) ในข้าวฟ่างแดงและข้าวฟ่างขาวพบสารแอนโทไซยานินชนิด apigeninidin apigeninidin-5-glucoside luteolinidin และ luteolinidin-5-glucoside แต่ชนิดของสารแอนโทไซยานินที่พบได้ทั่วไปในข้าวฟ่าง คือ

deoxyanthocyanins (เช่น luteolinidin และ apigeninidin) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 36-50 ของปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Dykes and Rooney, 2006) แม้ว่าแอนโทไซยานินจะมีด้วยกันหลายชนิดแต่ทุกชนิดจะมีโครงสร้างหลักเป็นสารชนิดเดียวกันที่เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ที่มีคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ในโมเลกุล (สัมพันธ์, 2546) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิดินเปรียบเทียบกับ 3-deoxyanthocyanidins luteolinidin และ apigeninidin

ที่มา: Awika *et al.* (2004)

วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้วัดแอนโทไซยานิน ได้แก่ HPLC, LC-MS, NMR spectroscopy รวมถึงการวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่สามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว โดยเป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแอนโทไซยานิน เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนไปจะทำให้สีของสารแอนโทไซยานินเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงของสารดังกล่าวสามารถวัดได้ โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (maximum wavelength) ของสารแอนโทไซยานินแต่ละชนิด (วนิดา, 2552) ปริมาณสารแอนโทไซยานินที่พบในธัญพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณแอนโทไซยานินในธัญพืชมีสีชนิดต่างๆ

ชนิดธัญพืช	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ( $\mu\text{g/g}$ dry weight)
ข้าวเหนียวดำ ( <i>Oryza sativa</i> L., Thailand)	487
ข้าวดำ (black rice, Canada)	2013
ข้าวแดง (red rice, Canada)	14
ข้าวโพดหวานสี (sweet scarlet red, Canada)	284
ข้าวโพดสี (shaman blue, Canada)	110
ข้าวสาลีสีน้ำเงิน (cv. Purendo, Canada)	20
ข้าวบาร์เลย์สีน้ำเงิน (cv. Tankard, Canada)	1.2

ที่มา: วนิตา (2552)

## 2. การใช้ประโยชน์ของข้าวฟ่าง

โดยแรกเริ่มมนุษย์รู้จักแต่การใช้ข้าวฟ่างเป็นอาหารสัตว์เท่านั้นประเทศที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากข้าวฟ่าง ได้แก่ ประเทศในแถบทวีปแอฟริกา อินเดีย จีน และบางประเทศในยุโรป ประชากรในประเทศจีน อินเดียและแอฟริกาบางประเทศ ใช้ข้าวฟ่างเป็นส่วนประกอบของอาหารชนิดต่างๆ เช่น ขนมปัง พอร์ริจ (porridge) ซึ่งเป็นข้าวต้มข้าวฟ่างกินกับนมและน้ำตาลเป็นอาหารเช้า (ศิวาพร, 2533) แป้งข้าวฟ่างสามารถใช้ผสมลงไปให้อาหารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ใช้เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening agent) เช่น ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุกระป๋อง ซึ่งแป้งเปียกจากข้าวฟ่างชนิดนี้มีความคงตัวในอาหารกระป๋องมากกว่าแป้งธรรมชาติทั่วไป หรืออาจใช้เป็นสารยึดเกาะในไส้กรอก (sausage binder) โดยเป็นตัวเชื่อมส่วนประกอบต่างๆ ของไส้กรอกเข้าด้วยกัน และใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ข้าวฟ่างในการผลิตแอลกอฮอล์ น้ำส้มสายชู กรดแลคติก วิตามินบี 2 ยาปฏิชีวนะ ทำมอลท์เพื่อใช้ในการผลิตเบียร์ และทำน้ำเชื่อมกลูโคส (ศิวาพร, 2533)

ข้าวฟ่างสามารถใช้ทำขนมปังได้ อย่างไรก็ตามปริมาณของขนมปังที่ทำจากข้าวฟ่างจะมีปริมาณน้อยกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี (Anglani, 1998) เนื้อของขนมปัง (crumb) ที่ทำจากข้าว

ฟางจะมีความยืดหยุ่น (elastic) ต่ำ แห้งและคล้ากว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี ปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนทำให้ขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีคุณภาพต่ำเมื่อเทียบกับขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี เนื่องจากโปรตีนโพรลามิน (คาพิริน) ของแป้งข้าวฟ่างถูกกักเก็บอยู่ภายในโปรตีนบอดีที่มีความแน่นหนา จึงทำให้ยากต่อการทำปฏิกิริยา หรือลดความสามารถในการเกิดโครงข่ายโปรตีน (Bugusu *et al.*, 2001) แต่ขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมกับแป้งสาลีก็เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Dendy, 1995) ทั้งนี้โดตีปราศจากกลูเตนมีแนวโน้มเป็นของไหลและใกล้เคียงกับส่วนผสมของเค้ก (cake batter) (Cauvain, 1998) ดังนั้นจึงมีการใช้กัม สารให้ความคงตัว ปริเจลาทีโนซ์สตาร์ชและนมผงมาใช้ในการผลิตขนมปังที่ปราศจากกลูเตน เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังให้ดีขึ้น (Cauvain, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างจะมีเนื้อสัมผัสที่เหนียว (tough) แข็ง (hard) มีลักษณะคล้ายกรวด (gritty) ร่วน (mealy) เปราะแตกง่าย (fragile) และมีสีคล้ามากกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี จึงต้องมีการเติมไขมันกลุ่ม phosphatidyl ethanolamine, digalactosyl diglycerides และ phosphatidyl choline เพื่อให้คุณภาพของคุกกี้ดีขึ้น (Badi and Hosene, 1976)

ปัญหาหลักในการนำแป้งข้าวฟ่างมาทำขนมปังคือแป้งข้าวฟ่างขาดสมบัติด้านความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) เนื่องจากปราศจากกลูเตน Subendro *et al.* (2000) รายงานว่าการใช้แป้งข้าวฟ่าง น้ำ และเกลือ สามารถผลิตขนมปังที่มีลักษณะนุ่ม โดยได้เตรียมส่วนผสมสำหรับทำขนมปังแป้งข้าวฟ่างนั้น โดยการให้ความร้อนเป็นแบบสองขั้นตอน ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงตามด้วยขั้นตอนการทำแห้งโดยวิธี cold-extrusion พบว่าขนมปังข้าวฟ่างที่ได้มีปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มต่ำ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งแรง Miche *et al.* (1977) กล่าวว่าความแข็งแรงและคุณภาพในการหุงต้มของขนมปังแป้งข้าวฟ่างสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมปริเจลาทีโนซ์สตาร์ชข้าวโพด Subendro *et al.* (2000) รายงานว่าการผสมแป้ง น้ำ และเกลือเข้าด้วยกันจากนั้นนำส่วนผสมไปทำให้สุกเพียงบางส่วน (pre-cooking) ก่อน โดยใช้ไมโครเวฟจากนั้นจึงนำโดไปผ่านเครื่องเอ็กทรูดซ์ พบว่าขนมปังที่ได้มีคุณภาพดีและได้มีการทดลองใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์มะกะโรนี สปาเก็ตตี้และขนมปัง โดยมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารช่วย ปรากฏว่าสามารถใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีได้เพียงบางส่วน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วน (ศิวาพร, 2542)

Subendro *et al.* (2000) ศึกษาผลของการต้มและการทำแห้งต่อคุณภาพของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง โดยผสมแป้งข้าวฟ่าง 100 กรัม กับน้ำ 90 มิลลิลิตร และเกลือร้อยละ 1 จากนั้นนำส่วนผสมต้มด้วยแผ่นให้ความร้อน (hot plate) หรือไมโครเวฟ เพื่อเป็นการให้ความร้อนเบื้องต้น

ก่อนจะนำไปผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์เพื่อผลิตเป็นเส้นบะหมี่ จากนั้นนำเส้นบะหมี่ที่ได้ไปทำแห้งด้วย 3 วิธี (slow air drying, one-stage hot air drying, 2-stage drying with high and low humidity) พบว่าบะหมี่ที่ให้ความร้อนเบื้องต้นด้วยไมโครเวฟมีคุณภาพดีกว่า (เช่น แข็งแรงกว่า เหนียวติดกันน้อยกว่า และมีปริมาณการสูญเสียของแข็งต่ำกว่า) เพราะวาสตารซ์ได้เกิดการเจลาทิไนเซชันในระหว่างที่บะหมี่ถูกให้ความร้อนในไมโครเวฟมากกว่าการให้ความร้อนด้วยแผ่นให้ความร้อน ทั้งนี้การทำแห้งแบบสองขั้นตอน (2-stage) ทำให้บะหมี่ที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด เพราะว่าการทำแห้งแบบที่มีความชื้นร่วมด้วย ช่วยให้เอมิโลสเคลื่อนที่และเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ (reassociation) ได้ดีกว่า ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของวาสตารซ์จะขัดขวางการดูดซับน้ำ จึงทำให้ลดปริมาณการละลายของวาสตารซ์ในระหว่างการหุงต้ม ซึ่งพบว่าเวลาในการละลาย ลักษณะการกระจายตัว การพัฒนาโครงสร้าง และการเกิดรีโทรเกรเดชันของเอมิโลสเป็นจุดสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ Liu (2009) พบว่าคุณภาพของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวาสตารซ์เป็นหลัก Liu (2009) ได้ทำบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมกับวาสตารซ์ข้าวโพด ไข่ขาวผง ไข่ทั้งฟอง แชนแทนกัม เกลือ และน้ำ โดยปั้นส่วนผสมทั้งหมดในอ่าง จากนั้นนวดด้วยมือ ทำเป็นแผ่นและตัดด้วยเครื่องทำบะหมี่ แล้วนำบะหมี่ไปต้มในน้ำเดือด พบว่าแป้งข้าวฟ่างที่มีความหนืดต่ำ เวลาในการเกิดความหนืด (peak development time) ต่ำ และอุณหภูมิในการเกิดความหนืด (peak temperature) ลดลง ทำให้ได้บะหมี่ที่มีความแข็งแรง อย่างไรก็ตาม Liu (2009) พบว่าสมบัติด้านความหนืดของวาสตารซ์ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้ม และปริมาณ โปรตีนในแป้งข้าวฟ่างไม่มีความสัมพันธ์กับความแน่นเนื้อและความแข็งแรงในการดึงยืด (tensile strength) ของเส้นบะหมี่สุก ซึ่งไม่เหมือนกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีที่พบว่าปริมาณ โปรตีนสูงจะทำให้บะหมี่ที่ได้มีคุณภาพดี

คุณภาพของบะหมี่ที่ไม่ได้ทำจากแป้งสาลีจะอาศัยสมบัติของวาสตารซ์เป็นพื้นฐาน ทั้งนี้ได้มีการทดลองทำพาสต้าจากแป้งข้าวฟ่าง โดยทำให้โดสุกเพียงบางส่วน (pre-cooked) ก่อนนำไปผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์ พบว่าพาสต้าที่ได้มีคุณภาพการหุงต้ม (ปริมาณการดูดน้ำกลับ และปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างหุงต้ม) คล้ายคลึงกับพาสต้าที่ทำจากแป้งสาลี (Liu 2009; Suhendro *et al.*, 2000) ซึ่งการทำให้โดสุกเพียงบางส่วนก่อนนำไปผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์ทำให้พาสต้ามีคุณภาพที่ดี เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในแป้งข้าวฟ่างในระหว่างที่ผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์ ซึ่งคล้ายคลึงกับการแตกหักของโปรตีนบอดีในแป้งข้าวโพดและการกระจายตัวของโปรตีนแอลฟา-ซินในระหว่างผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์ (Batterman-Azcona *et al.*, 1999) เป็นเพราะการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กทрудซ์เป็นการให้พลังงานสูง จึงทำให้โปรตีนคาพิรินซึ่งเป็นโปรตีนบอดี

แตกหัก และเกิดการพัฒนาเป็นโครงสร้างของโปรตีนที่สามารถลดปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มได้

แต่อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างทางด้านอาหาร มักพบปัญหาคุณภาพด้านการย่อย โดยพบว่าอาหารที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเนื่องจากโปรตีนและสตาร์ชจะถูกย่อยได้ยากขึ้นภายหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนระหว่างการแปรรูป ซึ่งปัญหาคุณภาพของการย่อยโปรตีนและสตาร์ชนี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งข้าวฟ่าง (Duodu *et al.*, 2003) Mitaru and Blair (1984) รายงานว่าภายหลังจากผ่านการหุงต้มความสามารถในการย่อยของข้าวฟ่างจะลดลงประมาณร้อยละ 24-31 ซึ่งเมื่อนำข้าวฟ่างไปผ่านการหุงต้มจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนข้าวฟ่างลดลง นั่นเป็นเพราะว่าการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างเบตา-คาพิรินและแกมมา-คาพิรินที่อยู่ล้อมรอบแอลฟา-คาพิริน ดังนั้นแอลฟา-คาพิรินจึงถูกย่อยได้ยากโดยเอนไซม์ (Hamaker and Bugusu, 2003) สตาร์ชข้าวฟ่างที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เช่น ข้าวฟ่าง waxy จะมีปริมาณสตาร์ชที่ย่อยได้สูงกว่าข้าวฟ่างโดยทั่วไป ในขณะที่แทนนิน และเส้นใยก็มีส่วนทำให้ความสามารถในการย่อยของข้าวฟ่างลดลงด้วย (Hibberd *et al.*, 1982)

### 3. ผลิตภัณฑ์บะหมี่

บะหมี่นับเป็นอาหารหลักอีกชนิดหนึ่งของประชากรชาวเอเชียมาช้านานแล้ว ซึ่งชาวจีนรู้จักวิธีการทำบะหมี่จนเป็นที่นิยมในการบริโภคแพร่หลาย ไปยังประเทศต่างๆ ในเอเชียโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ได้รับรูปแบบและแนวทางการทำจากจีนและดัดแปลงกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่น จนในปัจจุบันได้มีการผลิตบะหมี่มากมายหลายชนิด บริโภคกันทั่วไปในทวีปเอเชียรวมถึงประเทศไทย ซึ่งนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในมือกลางวันเป็นส่วนใหญ่ (กมลพรรณ, 2547) บะหมี่ของเอเชียสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามสี คือ กลุ่มที่มีสีขาวซึ่งใส่เกลือ กับกลุ่มที่มีสีเหลืองซึ่งใส่สารละลายต่าง ซึ่งสีที่แตกต่างกันระหว่างบะหมี่ 2 ชนิดนี้เกิดขึ้นจากสารละลายต่างทำให้สารในแป้งมีสีเหลือง ส่วนกระบวนการอื่นๆ จะคล้ายคลึงกัน (ตารางที่ 3) (Miskelly, 1996) บะหมี่ที่มีคุณภาพดีจะทำจากแป้งสาลีที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.33-0.45 จะให้บะหมี่มีสีสดใส และหากมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8-10 จะได้บะหมี่ที่มีคุณภาพดีและมีพื้นผิวของเส้นบะหมี่เรียบ ปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มมีค่าต่ำ (cooking loss) ปริมาณผลได้ (cooking yield) ของบะหมี่หลังต้มสุกจะมีค่าสูง แต่ถ้าแป้งมีปริมาณโปรตีนต่ำ คุณภาพกลูเตนไม่แข็งแรงและมีสมบัติทางเคมีของแป้งก็มีค่าความ

หนืด (amylograph viscosity) ต่ำจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการผลิต และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ (Kim, 1996)

### ตารางที่ 3 การแบ่งชนิดของบะหมี่ในเอเชีย

ลักษณะ	บะหมี่ใส่เกลือ	บะหมี่ใส่ด่าง
สี	ขาวหรือขาวครีม	เหลือง
วัตถุดิบหลัก	แป้ง น้ำ โซเดียมคลอไรด์	แป้ง น้ำ เกลือเบส
ประเทศที่นิยม	ญี่ปุ่น เกาหลี ตอนเหนือของจีน	มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ไทย
บริโภคนิยม		ไต้หวัน ฮองกง ตอนใต้ของจีน ญี่ปุ่น
ค่าพีเอช	6.5-7	9-11
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น	แข็งแรง ยืดหยุ่น

ที่มา: Miskelly (1996)

#### 3.1 ส่วนผสมหลักในการผลิตบะหมี่

ในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่มีส่วนผสมและสมบัติของส่วนผสม ดังนี้ (Fu, 2008)

##### 3.1.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักของบะหมี่ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 90-95 ในสูตร ดังนั้นลักษณะของบะหมี่ทั้งทางกายภาพและทางเคมี จึงมีผลมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบสำคัญในแป้งซึ่งมีผลต่อลักษณะเส้นของบะหมี่ ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน เอนไซม์และลี (อรอนงค์, 2540)

### ก. สตาร์ช

เนื่องจากสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งมากที่สุดประมาณร้อยละ 67 ดังนั้นสตาร์ชจึงเป็นโครงสร้างของเส้นบะหมี่ โดยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโปรตีนในรูปกลูเตนซึ่งให้ความยืดหยุ่น เมื่อนำแป้งมาวนคกับน้ำจนกลายเป็นโดเรียบเนียน สามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ สตาร์ชจะมีผลต่อเส้นบะหมี่สุก (อรอนงค์, 2540) ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่จะมีความสัมพันธ์กับสมบัติด้านความเหนียวของสตาร์ช (Oda *et al.*, 1980) โดยสมบัติในการเกิดเจลลาทีนในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชจะเป็นส่วนที่สำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ บะหมี่ที่มีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นควรทำมาจากสตาร์ชที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีนในเซชันต่ำและความเหนียวสูง (Konik *et al.*, 1992; Jun *et al.*, 1998) สตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวสูงจะทำให้บะหมี่มีคุณภาพที่ดี แต่สำหรับบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าว ถั่วเขียว มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ข้าวฟ่างและข้าวโพด สตาร์ชเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ นั่นเป็นเพราะว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งเหล่านี้มีความแตกต่างจากบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี เพราะไม่มีโครงข่ายของโปรตีนกลูเตน (Suhendro *et al.*, 2000) อัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทินก็มีบทบาทสำคัญต่อผลิตภัณฑ์บะหมี่ด้วย โดยสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะทำให้สตาร์ชมีความเหนียวต่ำ (Oda *et al.*, 1980) Hou (2001) กล่าวว่าบะหมี่ญี่ปุ่นคุณภาพดีจะทำมาจากแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสประมาณร้อยละ 22-24

### ข. โปรตีน

โปรตีนมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของบะหมี่ ซึ่งมีผลจากปริมาณของโปรตีนและคุณภาพของกลูเตนที่ดี ทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะในการกีดและเคี้ยวที่ดี (อรอนงค์, 2540) ปริมาณโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่สุก (Nagao *et al.*, 1977) Oh *et al.* (1985) รายงานว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีเนื้อสัมผัสที่มีลักษณะนุ่ม และหักง่ายในระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง สำหรับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีนั้นเมื่อผสมแป้งกับน้ำและผ่านการรีดจะเกิดการพัฒนาคโครงข่ายของโปรตีนกลูเตน (Moss *et al.*, 1987) โดยโครงข่ายกลูเตนจะทำให้บะหมี่มีความเหนียว และทำให้โครงสร้างของบะหมี่มีความแข็งแรง ในระหว่างการแปรรูป โครงข่ายกลูเตนยังช่วยยับยั้งการพองตัวของสตาร์ชในระหว่างการหุงต้มด้วย โดยพบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มต่ำ (Edwards *et al.*, 1993) นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณโปรตีนมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการหุง

ต้มด้วย โดยบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่มีโปรตีนสูงจะใช้เวลาหุงต้มนานขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำสามารถซึมเข้าสู่เส้นบะหมี่ได้ช้า (Moss *et al.*, 1987)

### ค. เอนไซม์

นอกจากเอนไซม์จะมีผลต่อลักษณะความคงตัวของเส้นบะหมี่แล้ว เอนไซม์ยังมีผลต่อสีของบะหมี่ด้วย โดยเอนไซม์พอลิฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไทโรซีน (tyrosine) หรือสารฟีนอลอื่นในแป้ง กลายเป็นสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะในบะหมี่ญี่ปุ่นซึ่งเส้นมีสีขาว แต่ถ้าเป็นบะหมี่จีนผู้บริโภคมักจะยอมรับบะหมี่สีเหลือง ซึ่งเกิดจากสารให้สีประเภทฟลาโวน (flavones) ของแป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างที่เติมในส่วนผสม สีของฟลาโวนนี้อาจเปลี่ยนจากเหลืองใสเป็นน้ำตาลหรือมีสีเขียวได้ ถ้าในน้ำมีสารประเภทเกลือของธาตุเหล็กปนอยู่ด้วย ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (อรอนงค์, 2540)

#### 3.1.2 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อการผลิตบะหมี่เป็นลำดับที่สองรองจากแป้ง ถ้าปราศจากน้ำโปรตีนกลูเตนในแป้งจะไม่สามารถเกิดสมบัติ viscoelastic น้ำเป็นตัวการที่สำคัญต่อการเกิดสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical) และชีวเคมี (biochemical) แล้วยังมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้ายด้วย ปกติแล้วส่วนผสมที่ละลายในน้ำจะนำมาละลายในน้ำก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตบะหมี่จะพอเหมาะกับการดูดซับน้ำของแป้งและขึ้นรูปโด ซึ่งในระหว่างการรีดจะไม่เหนียวและ ดัดมือ ถ้าปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง มีลักษณะร่วนและ โปร่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็ง แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวดัดมือ รีดไม่ได้ เมื่อตัดเป็นเส้นจะติดกันง่าย ปริมาณน้ำที่พอเหมาะต่อการดูดซับของแป้งประมาณร้อยละ 30-38 ต่อน้ำหนักแป้ง (Fu, 2008) น้ำที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ควรสะอาด ปราศจากรสและกลิ่น ปราศจากจุลินทรีย์ และมีปริมาณแร่ธาตุต่ำ (Hou, 2001)

### 3.1.3 เกลือ

เกลือเป็นส่วนประกอบสำคัญต่อการผลิตบะหมี่ ปริมาณเกลือที่ใช้เติมในกระบวนการผลิตบะหมี่โดยปกติจะใช้ประมาณร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักแป้ง เกลือมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตบะหมี่ 3 ประการ คือ ประการแรกเกลือช่วยให้กลูเตน โดมีความแข็งแรงและมีความเหนียว โดยเกลือจะเป็นตัวช่วยให้โปรตีนที่อยู่ในแป้งดูดซับน้ำได้ดี ประการที่สองคือเกลือเป็นตัวช่วยเสริมเกิดกลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสของบะหมี่ ประการสุดท้ายการเติมเกลือในกระบวนการผลิตบะหมี่จะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงทำให้สามารถเก็บบะหมี่ได้นาน (อรอนงค์, 2540) นอกจากนี้ความเข้มข้นของเกลือยังมีผลต่อการพองตัวและการเกิดเจลลาทีนในเซชันของสตาร์ชด้วย (Whistler and Daniel, 1984)

### 3.1.4 สารละลายต่าง

สารละลายต่าง อาจถูกเรียกว่า คานซุช หรือ lye water ถูกเติมลงไปบะหมี่เพื่อทำให้บะหมี่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นที่เฉพาะ สารละลายต่างอาจใช้ในรูปแบบของของแข็งหรือของเหลว (Hou, 2001) ชนิดของสารละลายต่างที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โปแตสเซียมคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต ฟอสเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Nagao, 1996) อาจใช้สารละลายต่างเพียงชนิดเดียวหรือผสมกันมากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ โดยปริมาณที่ใส่อยู่ระหว่างร้อยละ 0.5-2.0 สารละลายต่างที่เติมลงไปจะมีผลต่อกลิ่น รสชาติ ความเป็นสีเหลือง ความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของบะหมี่ โดยสารละลายต่างจะทำให้โดแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น ทำให้บะหมี่มีความเหนียว ทนต่อการต้มได้นานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นบะหมี่มีความเหนียว ช่วยให้เนื้อสัมผัสของบะหมี่สุกมีลักษณะที่ดี นอกจากนี้สารละลายต่างที่เติมยังเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสีในแป้ง (Flavonoid) ทำให้เกิดสีเหลืองขึ้นในบะหมี่ ค่าพีเอชของบะหมี่ที่เติมต่างจะมีค่าประมาณ 9-11 ในขณะที่บะหมี่ขาวที่ไม่เติมต่างจะมีค่าพีเอชประมาณ 7 ซึ่งค่าพีเอชจะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของต่างที่ใช้ (Miskelly, 1996)

### 3.1.5 สตาร์ช

สตาร์ชทั้งที่ผ่านการดัดแปร (modified starch) และไม่ได้ผ่านการดัดแปร (native starch) ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตบะหมี่ถึงสำเร็จรูปและบะหมี่ที่เติมเกลือ

(white salt noodle) เพื่อเสริมคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส โดยสตาร์ชที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด คือ สตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง ปริมาณสตาร์ชที่ใช้คือร้อยละ 5-25 ต่อน้ำหนักแป้ง การเติมสตาร์ชจะช่วยให้อุณหภูมิการเกิดเจลตาที่ในเซชันลดต่ำลง เร่งการพองตัวของสตาร์ช และทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าสตาร์ชปราศจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน หรือ โปรตีน ซึ่งมิผลในการยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและเสริมความแข็งแรงให้กับเม็ดสตาร์ช (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) การเติมสตาร์ชช่วยทำให้เนื้อสัมผัสของบะหมี่ดีขึ้น โดยบะหมี่จะมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อการเคี้ยว บะหมี่สุกจะมีลักษณะที่ดีขึ้น เพราะการเติมสตาร์ชจะทำให้บะหมี่มีผิวเรียบ สะอาด และผิวมีความมันเงา สำหรับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป การเติมสตาร์ชจะทำให้บะหมี่ใช้เวลาในการคืนรูปสั้นลง และมีเนื้อสัมผัสที่คงตัว สตาร์ชมันฝรั่งจะเหมาะในการใช้ในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังเหมาะที่จะเติมในบะหมี่ที่เติมเกลือ (regular salt noodle) ทั้งนี้ยังมีการใช้สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะบะหมี่สุกที่นำไปแช่เยือกแข็งและบะหมี่ที่ต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน โดยสตาร์ชตัดแปรจะมีสมบัติด้านการจับน้ำ (water-holding capacity) สมบัติการเกิดเจล และมีความคงตัวต่อการทำลายจากเยือกแข็ง นอกจากนี้ สตาร์ชตัดแปรยังมีความสำคัญในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งและขั้นตอนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน (sterilization) ด้วย (Fu, 2008)

### 3.1.6 ไขมัน

ไขมันที่มีอยู่ในแป้งหรือที่เติมลงไปมีผลต่อคุณภาพของบะหมี่มาก ซึ่งการเติมน้ำมันลงไปบะหมี่ก็เพื่อเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) (Nagao, 1996) ได้มีการผลิตบะหมี่จากสตาร์ชข้าวสาลีและกลูเตนในอัตราส่วน 9:1 และเติมน้ำมันเมล็ดฝ้ายในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักกลูเตน พบว่าการเติมน้ำมันจะเพิ่มความแข็งแรงของเส้น และลดการเกาะติดของเส้นบะหมี่ และพบว่าการเติมน้ำมันข้าวโพดลงไปปริมาณร้อยละ 1-3 ทำให้บะหมี่หลังการต้มสุกมีความแข็งและเปราะ นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตบะหมี่แห้งโดยผสมน้ำมันเมล็ดฝ้ายปริมาณร้อยละ 2-6 พบว่าค่าความแข็งแรงในการดึงยืด (tensile strength) ลดลง ทั้งนี้การเติมน้ำมันทำให้ลดการดูดน้ำในระหว่างการหุงต้มของบะหมี่ ลดการพองตัวของสตาร์ชที่อยู่ด้านในของเส้นบะหมี่จึงช่วยเพิ่มความคงตัวของบะหมี่สุก เพราะเมื่อน้ำมันจะไปลดความต่อเนื่องของโครงร่างของสตาร์ชหรือโครงร่างของโปรตีนจึงทำให้ลดความเหนียวติด (cohesiveness) (Miskelly, 1996)

บะหมี่จีนจะใช้น้ำมันพืชปริมาณร้อยละ 1-2 เคลือบที่ผิวของเส้นบะหมี่ เพื่อป้องกันการเกาะติดกัน นอกจากนั้นยังมีการใช้น้ำมันในขั้นตอนการแปรรูปด้วยการทอด โดยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันจะสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น ปกติน้ำมันที่ใช้ในทอด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันงา ซึ่งการทอดจะมีผลต่อกลิ่นรสของบะหมี่ แต่บะหมี่ที่ผ่านการทอดเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (Hou, 2001; Fu, 2008)

### 3.1.7 สารเสริมคุณภาพ

สารเสริมคุณภาพ คือ สารที่ช่วยเสริมให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น สารเสริมคุณภาพที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น โพลีฟอสเฟต และ ไฮโดรคอลลอยด์ โพลีฟอสเฟตเป็นสารที่ช่วยให้สตราซเกิดเจลลาทิโนเซชันได้เร็วขึ้นในระหว่างการต้มบะหมี่ และช่วยให้เส้นบะหมี่ดูดน้ำกลับได้ดีในระหว่างการต้มด้วย นอกจากนั้นยังช่วยชะลอการซีดของสีในบะหมี่สด ส่วนไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้กันมาก เช่น กัวร์กัม และแซนแทนกัม โดยพบว่า การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (เติมปริมาณร้อยละ 0.2-0.5) จะช่วยการดูดน้ำกลับของบะหมี่ระหว่างการต้ม และช่วยส่งเสริมลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ให้ดีขึ้น (Fu, 2008)

### 3.1.8 สารกันเสีย

มีการใช้แอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมในการผลิตบะหมี่สดเพื่อช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การยืดอายุการเก็บของบะหมี่ส่วนมากจะนำบะหมี่แช่ในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจางก่อนที่จะบรรจุ ในบะหมี่ที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นเหม็นหืนซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่สั้นลง สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีการใช้กันแพร่หลาย เช่น butylated hydroxyanisole (BHA) butylated hydroxytoluene (BHT) propylgallate tertiary-butylhydroquinone (TBHQ) และ tocopherol (วิตามินอี) (Hou, 2001; Fu, 2008)

### 3.1.9 ไข่

ไข่เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคทุกครัวเรือน ไข่ที่นิยมนำมาบริโภคได้แก่ ไข่ไก่ ไข่เป็ด ไข่ห่าน ไข่นกกระทาและไข่เต่า ไข่ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ ไข่แดง ไข่ขาวและเปลือก (วรรณวิบูลย์, 2539) ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมนำไข่ขาวมาเป็นส่วนผสม เพราะไข่ขาวมีสมบัติหลายประการ ได้แก่ สมบัติด้านการเกิดเจล มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความสามารถในการเกิดโฟม และเป็นสารให้ความคงตัว ซึ่งสมบัติด้านการเกิดเจลและความสามารถในการกักเก็บน้ำ เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ไข่ขาวถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิ และผลิตภัณฑ์บะหมี่ (Handa *et al.*, 2001)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของไข่ขาวสด คือ น้ำ รongลงมา คือ โปรตีน ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และไขมันซึ่งมีในปริมาณน้อย (Powrie, 1973) โดยทั่วไปแล้วไข่ขาวจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10.5-11 (Pomeranz, 1991) โอวัลบูมิน (ovalbumin) เป็นโปรตีนที่พบในไข่ขาวมากที่สุด ซึ่งเป็นส่วนผสมในอาหารที่มีความสำคัญเพราะมีสมบัติเชิงหน้าที่หลายประการ เช่น มีสมบัติการเกิดฟอง (foam stability) และมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifying properties) โอวัลบูมินมีโครงสร้างที่เป็นสายเพปไทด์เดี่ยว ซึ่งไข่ขาวเป็นระบบโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอโวมิวซิน (ovomucin) ละลายอยู่ในสารละลายของโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิดซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีนที่โครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะรูปร่างกลม รูปรี หรือรูปไข่ (นิธิยา, 2549) โอวัลบูมินจัดเป็นโกลบูลาร์โปรตีนหรือโปรตีนที่มีรูปร่างกลม (Sun and Hayakawa, 2002) ที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ และมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารคือ การจับตัวเป็นก้อนหรือเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อน (Alamprese *et al.*, 2009)

ได้มีการใช้ไข่ทั้งในรูปแบบไข่สด ไข่แช่แข็ง หรือไข่ผงในผลิตภัณฑ์บะหมี่ เพื่อเพิ่มรสชาติ เพิ่มความยืดหยุ่น และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นบะหมี่ Hou (2001) พบว่าภายหลังการทำแห้งจะทำให้พาสต้ามีปริมาณการดูดน้ำกลับต่ำ ดังนั้นจึงมีการเติมไข่เพื่อทำให้พาสต้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น Schoenlechner *et al.* (2010) กล่าวว่า การเติมไข่ในปริมาณที่สูงจะช่วยให้อุณหภูมิของพาสต้าที่มีส่วนผสมของแป้ง amaranth ดีขึ้น โดยช่วยลดปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alamprese *et al.* (2007) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณไข่ที่เติมลงไปในการพาสต้าที่ปราศจากกลูเตน มีผลในด้านบวกต่อคุณภาพของพาสต้า Schoenlechner *et al.* (2010) พบว่าการเติมไข่ขาวจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อสัมผัส และลดปริมาณการสูญเสีย

ของแข็งระหว่างการหุงต้มของเส้นพาสต้า โดยโปรตีนไข่ขาวจะช่วยเสริมคุณภาพด้านการหุงต้ม ช่วยรักษาความแน่นเนื้อ (firmness) และความแข็งแรง (strength) ของโครงสร้างบะหมี่เพราะว่า โปรตีนอัลบูมินมีความสามารถในการเชื่อมต่อกับสตาร์ชแกรนูล (Dalbon *et al.*, 1996; Jonagh *et al.*, 1968) Kato *et al.* (1993) ให้ข้อสังเกตว่าโปรตีนไข่มีความหนืดสูง ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญต่อ ความคงตัวของฟองอากาศในระบบของขนมปังชนิดที่ไม่มีกลูเตน โดยโปรตีนไข่จะทำให้ โครงสร้างของสารละลายมีความหนืด เกิดโครงสร้างของโปรตีนที่มีความคล้ายคลึงกับฟิล์ม ซึ่งเกิด จาก transglutaminase ที่มีอยู่ในไข่ Chang and Wu (2008) พบว่าไข่ขาวจะช่วยเสริมความแข็งแรง (strength) และความยืดหยุ่น (elasticity) ของโครงสร้างโปรตีนที่อยู่รอบๆ สตาร์ชแกรนูล และช่วยลดความเหนียวเหนอะ (stickiness) ของผิวเส้นบะหมี่ด้วย

### 3.1.10 สารรีดิวซิง

สารซิสเตอีน เมอร์แคปโตเอทานอล ไดไทโธเทรียล (dithiothreitol) และ กลูตาไธโอน เป็นสารรีดิวซิง ซึ่งหลักการทำงานของสารเหล่านี้จะคล้ายคลึงกัน คือ สารเหล่านี้จะ ลดการเกิดพันธะไดซัลไฟด์เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่ง สารเหล่านี้จะทำให้โครงสร้างของโปรตีนแตกออก ส่งผลให้สมบัติด้านความหนืดและน้ำหนัก โมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป (Benjakul *et al.*, 2005)

ไดซัลไฟด์ (disulfide linkage) เป็นพันธะที่เกิดระหว่างซัลเฟอร์ของ กรดอะมิโนซิสทีน (cystein) ในโปรตีนโมเลกุล ซึ่งนับเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่น ของกลูเตน พันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งต่อโครงสร้างของกลูเตน เนื่องจากเป็น พันธะที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งวิธีทางกายภาพ หมายถึงการผสม การนวดจนเป็นโดทำให้โครงร่างกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนวิธีทางเคมี หมายถึงการเติมสารเคมีซึ่งมีผลให้ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยทั่วไปสาร ประเภทรีดิวซิงได้แก่ กลูตาไธโอน (glutathione) หรือซิสเตอีน มีผลทำให้พันธะไดซัลไฟด์ลดลง กลูเตนจึงมีความยืดหยุ่นน้อยลง ส่วนสารประเภทออกซิไดส์ เช่น สารที่มีไอโอดีน และ โบรเมต เป็นองค์ประกอบ จะช่วยให้มีพันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2540)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อข้าวฟ่างผ่านการหุงต้มจะทำให้ปริมาณ สารอาหารลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีน นั้นเกิดจากการที่โปรตีนคาพิริน

ซึ่งเป็นโปรตีนในข้าวฟ่างที่มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนซิสเตอีน และสามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์ได้เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น การหุงต้ม หรือการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กทราคชัน (Hamaker and Bugusu, 2003) Rom *et al.* (1992) ใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Scanning electron microscopy) ในการศึกษาผลของการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในข้าวฟ่างต้ม พบว่าการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ช่วยลดการเกิดโครงข่ายโปรตีนและทำให้โปรตีนบดที่เกิดรอยนุ่ม Ezeogu *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของการเติม 2-mercaptoethanol (2-ME) ในข้าวฟ่างต้ม พบว่าข้าวฟ่างที่ไม่เติมสารรีดิวซิงจะมีโครงข่ายโปรตีนที่ไม่ต่อเนื่องและมีลักษณะแผ่ขยายเนื่องจากเกิดการเชื่อมข้ามของโปรตีน (protein cross-linking) ในขณะที่ตัวอย่างข้าวฟ่างต้มที่เติม 2-ME จะช่วยลดความหนาแน่นของการเกิดโครงข่ายโปรตีนที่คล้ายใยแมงมุม (web-like protein network) เนื่องจาก 2-ME จะไปตัดพันธะไดซัลไฟด์ (Ezeogu *et al.*, 2008)

### 3.1.11 อื่นๆ

นอกจากองค์ประกอบที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีสารอื่นๆ ที่ใช้เติมในขั้นตอนการผลิตบะหมี่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ให้เป็นที่พอใจของผู้บริโภคมากขึ้น เช่น สีเหลืองที่เป็นสีชนิดผสมในอาหาร (เช่น tartrazine, sunset yellow) ไรโบฟลาวิน (riboflavin) บอเรตหรือซิลิเกต (silicates) (ใช้ในบางพื้นที่) กลูเตน และซอบิทอล (Nagao, 1996)

## 3.2 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่

หลักง่ายๆ ในการผลิตบะหมี่คือ การผสมแป้งสาลี น้ำ เกลือ และด่าง โดยผสมและนวดให้เข้ากัน และรีดเป็นแผ่นบางเรียบ ตัดเป็นเส้นตามขนาดต้องการก็จะได้บะหมี่สด ขั้นตอนการผลิตบะหมี่มีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน (สุภารัตน์ และคณะ, 2542) คือ

### 3.2.1 การผสม (Mixing)

การนวดเป็นขั้นตอนแรกของการผลิตบะหมี่ทุกชนิด วัตถุประสงค์เพื่อผสมแป้งน้ำและวัตถุดิบอื่นๆ ให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เป็นการนำเอาสารละลายต่างมาผสมเข้ากันเป็นเวลาผสมเปลี่ยนแปลงตามส่วนผสมที่ใช้ซึ่งปกติจะใช้เวลาดั้งแต่ 5-20 นาที (Miskelly, 1996) และอุณหภูมิหลังการผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์ของการผสม คือ เป็นการกระจายน้ำ

และส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากันจนเกิดโด และพักโดอย่างน้อย 10-30 นาทีเพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด ในระหว่างการผสมจะเกิดโครงสร้างกลูเตนเล็กน้อยเนื่องจากมีปริมาณน้ำต่ำ ต้องระวังการแตกของโครงสร้างและการเสียหายของโปรตีนกลูเตนเนื่องจากอุณหภูมิสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการผสมที่ความเร็วสูง จึงทำให้มีอุณหภูมิในการผสมสูง (Miskelly, 1996)

### 3.2.2 การรีดให้เป็นแผ่นบาง (Sheeting)

เป็นการขึ้นรูปก้อนโดเพื่อเป็นการปรับความหนา ความชื้น และให้เกิดโครงร่างกลูเตน (gluten network) จากแรงกดขณะที่ผ่านลูกกลิ้ง (Nagao, 1996) ซึ่งจะขึ้นกับ 2 ตัวแปรสำคัญ คืออัตราเร็วในการไหลผ่านของแผ่นโดผ่านเครื่องรีด และร้อยละของการลดขนาดของแผ่นโด ในระหว่างขั้นตอนการรีดแผ่นโดจะเกิดโครงร่างกลูเตนได้เต็มที่ (Miskelly, 1996) ขนาดแผ่นโดสุดท้ายขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ ซึ่งปกติแล้วบะหมี่กวางตุ้ง (Cantonese noodles) และบะหมี่แห้งมีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ส่วนบะหมี่ฮกเกี้ยน (Hokkien noodles) หนาประมาณ 2.0-2.5 มิลลิเมตร และบะหมี่สำเร็จรูปมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร (Miskelly, 1996)

### 3.2.3 การตัดเส้น (Cutting)

การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือแบน ทำให้ได้ชนิดของบะหมี่แตกต่างกันออกไป (Miskelly, 1996)

## 3.3 ชนิดของบะหมี่

สามารถแบ่งชนิดของบะหมี่ตามลักษณะกรรมวิธีการผลิต เช่น บะหมี่สด บะหมี่แห้ง บะหมี่นึ่ง บะหมี่ต้ม บะหมี่ต้มแช่เยือกแข็งและบะหมี่ต้มฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูง บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการนึ่งแล้วนำไปทอดด้วยน้ำมัน และบะหมี่นึ่งแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน และแบ่งตามชนิดของวัตถุดิบในการผลิต เช่น starch noodle, buckwheat noodle และ rice noodle (Fu, 2008)

### 3.3.1 บะหมี่สด (Fresh noodle)

บะหมี่สดเป็นบะหมี่ที่ได้หลังจากตัดแผ่น โด เส้นบะหมี่หลังจากผ่านการตัดแล้ว จะนำไปคลุกกับสตาร์ชหรือแป้งที่ขนาดเม็ดแป้งที่เล็ก เพื่อไม่ให้เส้นติดกันในระหว่างการจัดการ หรือการขนส่ง ความชื้นของบะหมี่สดมีค่าประมาณร้อยละ 32-40 ปัญหาของบะหมี่สด คือ เก็บได้ไม่นาน คือประมาณ 1 วันหรือมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของภาชนะบรรจุ และสภาพที่ใช้ในการเก็บ ลักษณะของบะหมี่สดที่ดีควรมีความแน่นเนื้อ ยืดหยุ่น ผิวเรียบ ไม่เหนียวติดกัน มีสีสว่าง และสะอาด (Fu, 2008)

### 3.3.2 บะหมี่แห้ง (Dried noodle)

บะหมี่แห้งได้จากการนำบะหมี่สดไปทำแห้ง ความชื้นของบะหมี่แห้งโดยปกติแล้วมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 14 บะหมี่จะถูกลำเลียงทำให้แห้งภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ หรือทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ เพราะบะหมี่แห้งมีความชื้นต่ำจึงสามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 1-2 ปี รูปร่างและขนาดของบะหมี่แห้งมีหลากหลายแบบ บะหมี่แห้งจะใช้เวลาในการต้มมากกว่าบะหมี่ชนิดอื่นๆ เพราะการทำแห้งจะทำให้ขนาดช่องอากาศในเส้นบะหมี่มีขนาดลดลง ทำให้น้ำค่อยๆ ซึมเข้าไปและดูดซับไว้ การต้มเป็นเวลานานจะทำให้ผิวบะหมี่ละและเหนียวแฉะ (Fu, 2008)

### 3.3.3 บะหมี่นึ่ง (Steamed noodle)

บะหมี่นึ่งเป็นการทำให้บะหมี่สุกเพียงบางส่วน โดยการนำบะหมี่สดมานึ่งก่อนที่จะส่งไปขาย ปริมาณความชื้นของบะหมี่นึ่งประมาณร้อยละ 28-65 สำหรับบะหมี่ที่นึ่งให้สุกเพียงบางส่วนจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 32 ทั้งนี้บะหมี่นึ่งถ้ามีความชื้นต่ำจะใช้เวลานานขึ้นรูปเส้น บะหมี่นึ่งที่ได้รับความนิยม เช่นบะหมี่เกี๊ยว (Wonton noodle) ซึ่งได้รับความนิยมในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทางตอนใต้ของประเทศจีน (Fu, 2008)

### 3.3.4 บะหมี่ต้ม (Boiled noodle)

บะหมี่ต้มเป็นบะหมี่ที่ทำให้สุกเพียงบางส่วนด้วยน้ำร้อน ซึ่งโดยปกติแล้วบะหมี่ต้มจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ บะหมี่ต้มที่สุกเพียงบางส่วน และบะหมี่ต้มที่สุกทั้งหมด บะหมี่ต้มที่

สุกเพียงบางส่วนที่รู้จักกัน คือบะหมี่สกเกี้ยนซึ่งได้รับความนิยมในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ขั้นตอนในการทำคือ นำบะหมี่สด ไปต้มในน้ำร้อนด้วยเวลาสั้นๆ (0.5-1.5 นาที) จะพบว่าใจกลางของเส้นบะหมี่จะยังไม่เกิดเจลาทีนในเซชัน ส่วนบะหมี่ที่ต้มให้สุกทั้งหมดจะเป็นที่นิยมในประเทศญี่ปุ่น บะหมี่ประเภทนี้จะถูกบรรจุพร้อมกับเครื่องปรุงรส นำมาต้มในน้ำร้อนเพียง 1-2 นาทีก่อนรับประทาน (Fu, 2008)

### 3.3.5 บะหมี่ต้มแช่เยือกแข็งและบะหมี่ต้มฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูง (Frozen boiled noodles and sterilized boiled noodles)

เนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการต้มจะแยลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีด้านการแช่เย็นและการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมาใช้เพื่อรักษาคุณภาพของบะหมี่ที่ผ่านการต้ม บะหมี่ต้มแช่เยือกแข็งจะใช้เวลาในการละลายน้ำแข็งน้อยกว่า 1 นาทีแล้วสามารถผสมกับเครื่องปรุงรสหรือน้ำซุ้ก่อนรับประทาน บะหมี่ต้มแช่เยือกแข็งได้รับความนิยมมากโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 4-5 ของผลิตภัณฑ์บะหมี่ทั้งหมด (Fu, 2008)

บะหมี่ต้มที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูง มีขั้นตอนการผลิตคือ นำบะหมี่ที่ผ่านการต้มแล้วมาปรับให้มีสภาพเป็นกรด แล้วจึงนำมาให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูง จากนั้นจึงนำมาบรรจุหีบห่อ โดยปกติแล้วบะหมี่ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูงจะสามารถเก็บได้ประมาณ 3 เดือน (Fu, 2008)

### 3.3.6 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการนึ่งแล้วนำไปทอดด้วยน้ำมัน (Steamed and deep-fried instant noodle)

เป็นบะหมี่ที่ถูกทำให้สุกเพียงบางส่วนโดยการนึ่ง ต่อจากนั้นจึงนำไปทอดเพื่อเป็นการกำจัดน้ำออก จากนั้นจึงบรรจุบะหมี่พร้อมกับเครื่องปรุงรสก่อนจำหน่าย บะหมี่ชนิดนี้จะถูกแบ่งตามลักษณะการบรรจุได้ 2 ประเภท คือ บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน หรือถ้วยโฟม (Styrofoam) บะหมี่ที่บรรจุในถุงจะต้มในน้ำร้อนนาน 3-4 นาทีก่อนรับประทาน ส่วนบะหมี่ที่บรรจุในถ้วย หรือ cup จะเทน้ำร้อนใส่ลงไปถ้วยแล้วทิ้งไว้ประมาณ 2-3 นาทีก่อนรับประทาน ปกติแล้วบะหมี่ที่บรรจุในถ้วยจะมีขนาดเส้นที่หนาน้อยกว่าบะหมี่ที่บรรจุในถุงจึงทำให้ง่ายต่อการดูดน้ำกลับ (Fu, 2008)

### 3.3.7 บะหมี่นึ่งแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน (Steamed and hot-air dried noodle)

โดยปกติแล้วบะหมี่ที่ผ่านการนึ่งแล้วนำมาทอดจะมีน้ำมันเกาะติดอยู่ประมาณ ร้อยละ 15-20 ซึ่งเป็นปัญหาสุขภาพต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการผลิตบะหมี่โดยการนึ่งแล้วนำมาทำแห้งโดยใช้อากาศร้อน ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความคล้ายคลึงกัน ความชื้นของบะหมี่ หลังผ่านการทำแห้งจะต่ำกว่าร้อยละ 12 และผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีอายุการเก็บประมาณ 1 ปี บะหมี่ประเภทนี้จะใช้เวลาในการต้มให้กินรูปนานกว่าบะหมี่ชนิดที่ผ่านการนึ่งแล้วนำไปทอด และยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต่างกันด้วย (Fu, 2008)

### 3.3.8 Starch noodle

สตาร์ชที่นิยมนำมาผลิตเป็นอาหารเส้น ได้จากการสกัดจากพืชหลากหลายชนิด เช่น สตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วแดง และสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชถั่วเขียวจะสกัดด้วยถั่วเขียวทั้งเมล็ด โดยไม่เอาเปลือกออก ขั้นตอนการทำเส้นจะเริ่มจากนำสตาร์ชถั่วเขียวบางส่วน (ประมาณร้อยละ 3-4 ของวัตถุดิบทั้งหมด) ไปทำให้เกิดเจลลาทีนในเซชันโดยการต้มในน้ำร้อน หลังจากนั้นนำสตาร์ชที่ผ่านการเจลลาทีนในเซชันแล้วไปผสมกับสตาร์ชที่เหลือ เติมน้ำและผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปผ่านเครื่องเอ็กทрудซ์ที่มีรูกว้าง 0.7-0.8 มม. ซึ่งจะได้เป็นเส้นที่ไหลลงสู่ตู้แช่เย็นที่ไว้แช่ในน้ำเค็ม 2-3 นาที แล้วจึงตัดไปใส่ในน้ำเย็น สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเส้นที่ได้ไปเก็บโดยการแช่เย็น (0-4 °C) หรือแช่เยือกแข็ง (-10 °C) เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง เพื่อให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชัน จากนั้นนำเส้นมาละลายน้ำแข็งโดยการใช้อากาศร้อนหรือแสงอาทิตย์ก่อนบรรจุ

เส้นที่ทำจากสตาร์ชถั่วเขียวจะใช้เวลาหุงต้มสั้น มีปริมาณการสูญเสียของแข็งต่ำ มีลักษณะที่ตีเวลาเคี้ยว เนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นจะขึ้นอยู่กับสมบัติของสตาร์ช คือทนต่อความร้อน ถั่วเขียวมีเอมิโลสสูงและมีลักษณะการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross-linked) ซึ่งจะช่วยยับยั้งการพองตัวและการละลายของสตาร์ช เจลสตาร์ชยังมีลักษณะที่ใสและยืดหยุ่น (Fu, 2008)

### 3.3.9 บะหมี่บัควีต (Buckwheat noodle)

บัควีต (buckwheat) เป็นพืชตระกูล Polyganaceae เป็นพืชที่มีความแตกต่างจาก ธัญพืชชนิดอื่น เช่น สาลี ข้าว และบาเลย์ บะหมี่ที่ทำจากบัควีตจะพบในทางทิศเหนือของประเทศ ญี่ปุ่น ประเทศเกาหลี และทางทิศเหนือของประเทศจีน ปกติแล้วในการทำบะหมี่จากบัควีตจะผสม แป้งบัควีตกับแป้งสาลี เพื่อให้มีกลูเตนช่วยยึดเม็ดแป้งเข้าด้วยกัน บะหมี่ชนิดนี้ในประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า โซบะ (soba) เส้นจะมีสีน้ำตาลหรือสีเทา ปกติจะรับประทานแบบเย็นในฤดูร้อน และ รับประทานแบบอุ่นในฤดูหนาว บะหมี่บัควีตจะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น ซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติ ของแป้งบัควีตที่มีความหนืดสูง บะหมี่ที่ทำจากบัควีตจะมีโปรตีนสูง (lysine สูง) และอุดมไปด้วย วิตามินบี 1 บี 2 และเส้นใยหยาบ (Fu, 2008)

### 3.3.10 เส้นก๋วยเตี๋ยวจากข้าว (Rice noodle)

โปรตีนข้าวจะขาดโครงสร้างของกลูเตนในการเกิดโครงสร้างที่ต่อเนื่องและทำ ให้โดมีลักษณะเหนียวยืดหยุ่น ดังนั้นจึงต้องนำแป้งข้าวบางส่วนไปทำให้เกิดเจลาทีนในเซชันก่อน นำมาผสมกับแป้งธรรมชาติ (native flour) เพื่อเป็นตัวเชื่อมประสานให้เม็ดแป้งเกาะกัน จากนั้นนำมา ผ่านเครื่องเอ็กทราคชั่น หรือนำมารีดเป็นแผ่น โดก่อนตัดเป็นเส้น (Fu, 2008)

ระดับการเกิดเจลาทีนในเซชันเพียงบางส่วนของแป้งข้าวมีผลสำคัญต่อลักษณะ เนื้อสัมผัสของบะหมี่ ถ้าแป้งเกิดเจลาทีนในเซชันมากเกินไปก็จะมีปัญหาเวลาผ่านเครื่องเอ็กทราคชั่น โดยปกติแล้วเส้นข้าวจะทำจากแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางถึงสูง (> ร้อยละ 22) ทั้งนี้ ความสามารถในการพองตัวของสตาร์ชและอัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกตินก็เป็นปัจจัย สำคัญต่อคุณภาพเส้นข้าวด้วย ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะทำให้เจลาทีนแข็งแรงและมีความคงตัว เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเส้นข้าว (Fu, 2008)

#### 4. สมบัติของสตาร์ช

##### 4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อนำแป้งหรือสตาร์ชใส่ลงไปลงในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน สตาร์ชจะดูดซับน้ำเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นกระบวนการแบบคายความร้อน (exothermic) (Eliasson and Gudmundsson, 2006) เนื่องจากสตาร์ชแกรนูลมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) และภายในสตาร์ชแกรนูลมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว (กลั่นรงค์ และเก็ทูล, 2550) ซึ่งการพองตัวเกิดจากโครงร่างผลึกในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเข้าไปเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเอมิโลเพกตินและเอมิโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน (Sasaki and Matsuki, 1998) ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น สมบัติของการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ในเม็ดสตาร์ชจะหมดไป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น กำลังการพองตัวแป้งจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิต่ำเอมิโลสจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้โมเลกุลของเอมิโลสละลายออกมานอกเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชจึงสามารถพองตัวได้อย่างรวดเร็ว (Singh *et al.*, 2003)

##### 4.2 การเกิดเจลลิตีในเซชัน (gelatinization)

เมื่อนำสตาร์ชมาให้ความร้อนในสภาวะที่มีน้ำจะทำให้เกิดการพองหรือแตกหักของโมเลกุลภายในสตาร์ชแกรนูล ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) จะเริ่มแตกหักก่อน แต่พันธะภายในบริเวณที่เป็นแกรนูลยังคงไม่ถูกทำลาย เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีก แกรนูลจะพองตัวมากขึ้น เอมิโลสจะละลายออกมาจากแกรนูลสตาร์ช ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ผันกลับไม่ได้ เช่น แกรนูลจะเกิดการพองตัว ผลึกจะหลอมละลาย สูญเสียไบรีฟรินเจนส์ (birefringence) และสตาร์ชละลายในน้ำได้ แกรนูลที่พองตัวมีผลต่อสมบัติค้ำน้ำ โอ โลจิของสารละลายสตาร์ช แรงทางกายภาพหรือการเสียดสีกันระหว่างสตาร์ชแกรนูลที่พองตัวและปฏิกิริยาของโพลีเมอร์ที่ละลายน้ำจะทำให้แป้งเปียกมีความหนืดและใสขึ้น จุดที่เริ่มเกิดและระยะเวลาในการเกิดเจลลิตีในเซชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสตาร์ช วิธีที่ใช้ตรวจสอบ ชนิดของแกรนูล และความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneities) ภายในแกรนูลที่ใช้ทดสอบ (Liu, 2005)

### 4.3 กระบวนการรีโทรเกรเดชัน

การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากสตาร์ชเกิดการเจลาไทไนซ์แล้วจะมีการจัดเรียงโครงสร้างที่เป็นระเบียบอีกครั้ง โดยช่วงแรกสายของสตาร์ชสองสายหรือมากกว่าสองสายมารวมตัวกันเกิดเป็นจุดเชื่อม (junction point) ซึ่งต่อมาจะพัฒนาให้มีความเป็นระเบียบมากขึ้นจนมีลักษณะเป็นโครงร่างผลึกในตอนท้ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม (Gordon and Davis, 1998) กระบวนการรีโทรเกรเดชัน เกิดจากการเกี่ยวพันของสายโมเลกุลของสตาร์ช จะขึ้นอยู่กับความจำเพาะของหมู่ไฮดรอกซิลและแรงดึงดูดหรือพันธะไฮโดรเจนต่อหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้ ซึ่งจะทำให้เจลมีความแน่นแข็งและเกิดการแยกตัวของเจลกับน้ำมากขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันจะมีสองแบบ คือ กระบวนการรีโทรเกรเดชันที่เกิดจากสายของเอมิโลสที่มีสายโมเลกุลที่ยาว และเกิดได้เร็วกว่ารีโทรเกรเดชันที่เกิดจากสายเอมิโลเพกตินที่มีขนาดสายโมเลกุลที่สั้นกว่า (Navarro *et al.*, 1995) โดยอัตราเร็วและปริมาณการเกิดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของเอมิโลสต่อเอมิโลเพกติน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสตาร์ช วิธีการแปรรูป (เวลา อุณหภูมิ และแรงกระทำ) และการเติมสารประกอบอื่น ซึ่งการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้เกิดความแน่นแข็ง ผิวหน้าแห้ง ผลิตภัณฑ์มีสีขาวขุ่น เป็นต้น (กมลทิพย์, 2542)

## 5. แป้งดัดแปร (Modified starch)

แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่งหรือแป้งสาลี มาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และ/หรือทางเคมีโดยการให้ความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535)

วัตถุประสงค์ของการดัดแปรนั้น เนื่องจากว่าแป้งดิบ (native starch) ซึ่งมีสมบัติเฉพาะตัวตามชนิดของแป้ง เช่น ไม่ละลายน้ำ เมื่อผลิตเป็นแป้งเปียกจะไม่ทนความเป็นกรด ไม่ทนต่อแรงคนผสม ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์อยู่ในวงจำกัดและมีมูลค่าต่ำ หากนำแป้งดังกล่าวมาปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้กว้างขวางขึ้น และมีความสะดวกในการใช้มากขึ้น ทั้งในรูปแบบที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ

### 5.1 การผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์ (Pregelatinized flour production)

พรีเจลาทีไนเซชันเป็นการดัดแปรสตาρχทางกายภาพ โดยการทำให้เม็ดสตาρχเกิดเจลาทีไนเซชันก่อน เม็ดสตาρχจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปหลอมเหลว (melted starch) และมีฟองอากาศอยู่ภายใน ส่งผลให้เม็ดสตาρχมีโครงสร้างที่โปร่ง แล้วจึงทำให้แห้ง (Colonna *et al.*, 1984)

แป้งพรีเจลาทีไนซ์ หรือแป้งพรีเจล ทางการค้าเรียกว่าอัลฟาสตาρχ (alpha starch) เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพโดยการใช้ความร้อน ซึ่งทำได้หลายวิธี คือ ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นละออง (spray dryer) และโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) แป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ทำจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) มีหลักการ คือ สารละลายน้ำแป้งดิบที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม (ประมาณร้อยละ 40-50) จะถูกส่งเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ความร้อนจากผิวหน้าของลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำจะทำให้แป้งดิบเกิดเจลาทีไนซ์ และขณะที่ลูกกลิ้งหมุนจะมีการระเหยของน้ำไปด้วย แป้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ลอยอยู่บนผิวหน้าของลูกกลิ้ง และถูกขูดออกโดยใบมีด แล้วจึงนำแผ่นแป้งที่ได้ไปอบเป็นผงร้อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ การดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาทีไนซ์เป็นการเปลี่ยนแปลงสตาρχแกรนูลทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้ของสมบัติสตาρχ รวมถึงการสูญเสียโครงสร้างแบบเดิมของสตาρχ การพองตัวของแกรนูล การสูญเสียไปรีพรีนเจนส์ และความเป็นผลึก (Cooke and Gidley, 1992)

### 5.2 สมบัติของแป้งพรีเจลาทีไนซ์และการนำไปใช้

ลักษณะของแป้งพรีเจลาทีไนซ์ คือสามารถดูดน้ำและพองตัวได้ทันทีในน้ำที่มีอุณหภูมิห้อง โดยแป้งที่ได้จากการเจลาทีไนซ์ถือได้ว่าเป็นแป้งสุก ซึ่งโครงสร้างของเม็ดสตาρχจะถูกทำให้แตกออก (Colonna *et al.*, 1984) เป็นผลให้การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นและมีสมบัติละลายน้ำดีขึ้น (Doublier *et al.*, 1986) เกิดการละลายและให้ความข้นหนืดได้ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยความร้อน (Alexander, 1995) อย่างไรก็ตามแป้งพรีเจลาทีไนซ์จะยากต่อการกระจายตัวในน้ำเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพราะสามารถดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดเป็นก้อนหรือมีลักษณะคล้ายตาปลา (fish eye) อัตราการดูดซับน้ำสามารถทำให้ช้าลงโดยผสมแป้งพรีเจลาทีไนซ์กับส่วนผสมอื่นๆ ก่อนละลายในน้ำ (Cui, 2005)

เนื่องจากแป้งพรีเจลาทีนซ์สามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็น จึงมีการนำแป้งพรีเจลาทีนซ์ไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นส่วนผสมใน instant pudding, instant soup instant beverages นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งพรีเจลาทีนซ์ผสมกับเจลาตินในขนมหวาน ชนิดที่ตีขึ้นฟู (whipped desserts) และสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เพื่อช่วยทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน (binder) เพื่ออุ้มน้ำและรักษาความชุ่มชื้น (สายสนม, 2534) ใช้ในอาหารที่ไม่ต้องใช้ความร้อน (Glicksman, 1969) เช่น ขนมพุดดิ้ง ซอส น้ำเกรวี่ พาย ครีมหน้าขนมต่างๆ หรือใช้ในเภสัชกรรม โดยเป็นสารยึดเกาะเป็นเม็ด (Boettger, 1963) ลัลนา (2532) ได้ผลิตแป้งพรีเจลาทีนซ์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ขนมจีน พบว่า สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมทำเส้นขนมจีนได้อย่างเหมาะสมในอัตราส่วนร้อยละ 15-20 ค่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้า โดยใช้แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 40 ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1.016 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 28 รอบต่อนาที แป้งพรีเจลาทีนซ์ที่ผลิตได้สามารถดูดซับน้ำได้ถึง 11.54 เท่า

สายสนม (2534) ทำการทดลองผลิตพรีเจลาทีนซ์สตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวผสมลงไปแป้งชูบทอด พบว่าช่วยเพิ่มความหนืดและช่วยให้เกิดการเกาะติดของแป้งชูบทอดมีความสม่ำเสมอ กมลทิพย์ (2542) ได้ศึกษาการใช้แป้งผสมสามชนิด คือแป้งข้าวปกติกับสตาร์ชตัดแปรด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับวิธีพันธะข้าม (crosslink) และแป้งพรีเจลาทีนซ์ในส่วนผสมแป้งชูบทอด ซึ่งได้รับการยอมรับในด้านการเกาะติดของแป้งชูบทอดในชั้นอาหารและการดูดซับน้ำมันน้อยลง จำเริญ (2537) ได้ใช้แป้งมันสำปะหลังพรีเจลาทีนซ์เป็นสารยึดเกาะในการทำขนมปังจากแป้งมันสำปะหลัง โดยนำแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาทีนซ์มาแทนที่แป้งมันสำปะหลังบางส่วน พบว่าการแทนที่ด้วยแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาทีนซ์ในอัตราร้อยละ 20 จะให้ผลดีที่สุด Chinmasarn *et al.* (2006) ได้ใช้แป้งเม็ดขนุนพรีเจลาทีนซ์ในการทำผลิตภัณฑ์แป้งเม็ดขนุนแผ่น (jackfruit chip product) พบว่าการเติมแป้งเม็ดขนุนพรีเจลาทีนซ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงทนทาน มีความกรอบมากขึ้น และคะแนนความชอบโดยรวมสูงขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมแป้งพรีเจลาทีนซ์

## 6. การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่ลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำเป็นน้ำแข็ง เป็นกระบวนการที่ช่วยรักษารูปร่างเนื้อสัมผัส สีและรสชาติของอาหารไว้ อาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18

องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า หลักการในการแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งเป็น 2 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกันคือ การลดอุณหภูมิของอาหารลงโดยการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหาร และการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำภายในอาหารจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นของแข็งนั้น จะทำให้ส่วนที่ไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นมากขึ้น จึงทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลง (Hui *et al.*, 2004) ทั้งนี้สามารถแบ่งกระบวนการแช่เยือกแข็งตามอัตราการแช่เยือกแข็งได้ 2 วิธีคือ การแช่เยือกแข็งแบบช้า และการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (กมลทิพย์, 2542)

### 6.1 การแช่เยือกแข็งแบบช้า

การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำโดยการเก็บอาหารไว้ในห้องแช่เยือกแข็ง ที่มีการรักษาอุณหภูมิไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส ถึง -40 องศาเซลเซียส โดยมีการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน ใช้เวลา 12-72 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแช่เยือกแข็งอย่างสมบูรณ์ (กมลทิพย์, 2542) ในระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบช้า อุณหภูมิของอาหารจะยังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิตอนเริ่มต้นเป็นเวลานาน เมื่อแช่เยือกแข็งต่อไปเรื่อยๆ อุณหภูมิของอาหารจะค่อยๆ ลดลง และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น ภายนอกเซลล์ จึงทำให้ภายหลังการคืนรูปมีปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากอาหารในปริมาณมาก (Bail, 2004) ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จะเบียดเซลล์เนื้อเยื่อในอาหาร ทำให้เซลล์ฉีกขาด เนื้อสัมผัสอาหารจึงเปลี่ยนแปลงไป (กมลทิพย์, 2542)

### 6.2 การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว

การแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ซึ่งไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับเนื้อเยื่อของอาหาร ในขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกที่มีขนาดใหญ่ที่แทงเนื้อเยื่อของอาหาร และสูญเสียน้ำออกจากอาหารหลังนำไปคืนรูป โดยส่วนมากแล้วการแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะใช้สารทำความเย็นร่วมด้วย เพื่อทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งมีอุณหภูมิที่ต่ำมาก เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเร็วมีหลายแบบด้วยกัน ยกตัวอย่าง เช่น Individual quick freezing (IQF) เป็นกระบวนการแช่เยือกแข็งโดยใช้ความเร็วอากาศสูง (1-5 เมตร/วินาที) ซึ่งการแช่เยือกแข็งด้วย IQF นี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็ง (Bail, 2004) และการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องไครโอจินิก (Cryogenic freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว โดยใช้ก๊าซเข้มข้น เช่น ไนโตรเจนเหลว ไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) การแช่เยือกแข็งแบบเร็วนี้

จะใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำมาก การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องไครโอจินิกนี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบธรรมดาแต่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากในระหว่างการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิของอาหารจะลดลงถึงจุดเยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากทั้งภายในและภายนอกเซลล์ เพราะมีการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหารอย่างรวดเร็ว การแช่เยือกแข็งด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นน้ำจึงถูกกักเก็บไว้ในเซลล์ ภายหลังการละลายจึงมีปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร (drip lose) ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Bail, 2004)

### 6.3 อัตราการแช่เยือกแข็ง

อัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา ซึ่งอัตราการแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) จะมีผลทำให้น้ำถูกขับออกมาภายนอกเซลล์ของอาหาร และผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ (Bail, 2004) น้ำภายในเซลล์ถูกดึงมาเพิ่มขนาดของผลึก ทำให้เซลล์หดตัวลง เกิดการแตกของเซลล์ข้างเคียง (สายสนม, 2540) ทำให้ไปทำลายเนื้อสัมผัสของอาหาร และเกิดการสูญเสียน้ำรวมทั้งสารอาหารเมื่อผ่านการคั้นรูป ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (fast freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งที่ช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำออกมาภายนอกเซลล์ของอาหาร ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก (Bail, 2004) กระจายอยู่ทั่วทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (สายสนม, 2540)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแช่เยือกแข็งประกอบด้วย 1) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางทำความเย็น 2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ หรือภายในผลิตภัณฑ์ 3) ขนาด ชนิด และรูปร่างของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ และ 4) ขนาด รูปร่าง และสมบัติทางด้านความร้อนของผลิตภัณฑ์ (รุ่งนภา, 2535) อัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Olivera and Salvadori, 2009)

$$\text{อัตราการแช่เยือกแข็ง (}^{\circ}\text{C/ นาที)} = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}$$

เมื่อกำหนดให้	T1	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการแช่เยือกแข็ง (°C)
	T2	คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการแช่เยือกแข็ง (°C)
	(t2-t1)	คือ เวลาระหว่างเริ่มต้นกับเวลาที่สิ้นสุดการแช่เยือกแข็ง (นาที)

โดยได้มีการแบ่งประเภทของอาหารที่มีความไวต่ออัตราการแช่เยือกแข็ง ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1: ผลึกภัณฑ์ที่ไม่มีผลกระทบจากอัตราการแช่เยือกแข็ง

กลุ่มที่ 2: ผลึกภัณฑ์ที่มีผลกระทบจากอัตราการแช่เยือกแข็งที่ช้า (0.5-1.0 °C/นาที) ถ้าอัตราการแช่เยือกแข็งสูงกว่านี้จะไม่มีผลต่อคุณภาพของผลึกภัณฑ์

กลุ่มที่ 3: ผลึกภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเมื่อใช้อัตราการแช่เยือกแข็งที่เร็ว (3-6 °C/ นาที)

กลุ่มที่ 4: ผลึกภัณฑ์ที่มีความไวมากเมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว และมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหัก

ซึ่งอาหารพร้อมบริโภค (Ready-to-serve meals) ที่ทำจากแป้งจะจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 (Olivera and Salvadori, 2009)

#### 6.4 ผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลึกภัณฑ์

แม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาคุณภาพอาหารด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และสารอาหาร แต่ปัญหาหนึ่งที่พบในผลึกภัณฑ์ที่ทำจากแป้งหรือสตาร์ชเป็นส่วนประกอบ คือ การแยกตัวของน้ำและเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งขึ้นเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชัน การแช่เยือกแข็งมีผลทำให้คุณภาพของเจลสตาร์ชหรือเจลแป้งเปลี่ยนไป Ferrero *et al.* (1993) ศึกษาการแช่เยือกแข็งสตาร์ชข้าวโพดและแป้งสาลี โดยใช้อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง 3 อัตรา คือ แช่เยือกแข็งแบบช้า (still air) แบบเร็ว (air blast) แบบเร็ววยวดยิ่ง (cryogenic) โดยมีอัตราเร็วในการเกิดน้ำแข็งเท่ากับ 3 8 และ 2160 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ภายหลังจากทดลองพบว่า การแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วต่ำจะมีน้ำแยกออกมาจากเจลมากกว่า ซึ่งแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันมากกว่า Varavinit *et al.* (2000) พบว่าการแช่เยือกแข็งสตาร์ชสาคูและสตาร์ชมันสำปะหลังแบบช้า (slow freezing) โดยใช้ตู้แช่เยือกแข็ง ทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (rapid freezing) โดยใช้ Cryogenic Quick Freezing method ในปี 1995 Navarro *et al.* ได้ศึกษาการแช่เยือกแข็งสตาร์ชข้าวสาลี โดยทดลองแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็ง 2 แบบ คือ การแช่เยือกแข็งแบบช้า (cold room) และแช่เยือกแข็งแบบเร็ววยวดยิ่ง (cryogenic) โดยมีอัตราเร็วในการเกิดน้ำแข็งเป็น 0.3 และ 31 เซนติเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ภายหลังจากแช่เยือกแข็งและละลายพบว่า การแช่เยือกแข็งแบบช้าทำ

ให้เจลแข็งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เกิดลักษณะคล้ายฟองน้ำ (spongy structure) ในขณะที่เจลแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็ววยดิ่ง จะมีลักษณะและเนื้อสัมผัสที่คล้ายกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง อรอนงค์ และคณะ (2548) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งเจลแข็งข้าวพุ้นต่างๆ ที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน 3 สายพันธุ์ โดยนำเจลแข็งมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  ภายหลังการแช่เยือกแข็งและละลาย พบว่าเจลแข็งข้าวพุ้นที่มีแอมิโลสสูงจะมีการแยกตัวของน้ำสูงในช่วงแรกของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย เมื่อแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำมากขึ้นเป็นผลทำให้เกิดโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ ซึ่งสามารถดูดซับน้ำที่แยกตัวกลับเข้าไปได้ Batpho *et al.* (2554) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งขนมชั้น โดยใช้อัตราแช่เยือกแข็ง 2 อัตรา คือ แช่เยือกแข็งแบบเร็วที่อัตราเร็วแช่เยือกแข็ง  $4.08^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$  และแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อัตราเร็ว  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$  พบว่า ขนมชั้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้ามีความแข็งมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว อรอนงค์ และคณะ (2548) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ด้วยอัตราเร็วแช่เยือกแข็ง 2 อัตรา คือ แช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) ด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  และแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (fast freezing) ด้วยเครื่องไครโอเจนิกซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งเป็น  $0.02$  และ  $1.6^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$  ตามลำดับ ภายหลังการละลาย พบว่าการแช่เยือกแข็งทั้งแบบช้าและแบบเร็วมีผลทำให้คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวไม่มีความแตกต่างกัน Hatcher (2004) ศึกษาการแช่เยือกแข็งบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีสองสายพันธุ์ พบว่า ภายหลังการแช่เยือกแข็งและเก็บไว้เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ ทำให้บะหมี่มีปริมาณการดูดน้ำกลับลดลง และมีความทนทานต่อการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มขึ้น และในปี 2009 Olivera and Salvadori ได้ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งพาสต้าด้วยอัตราแช่เยือกแข็ง 2 อัตรา คือ แช่เยือกแข็งแบบเร็ว (fast freezing) ด้วยเครื่องไครโอเจนิก (cryogenic freezer) และแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezer) ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์เป่าด้วยลมเย็น (air blast tunnel) พบว่าพาสต้าที่แช่เยือกแข็งแบบเร็วจะมีกลิ่นรส และมีเนื้อสัมผัสดีกว่าพาสต้าที่แช่เยือกแข็งแบบช้า

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัสดุดิบ (Materials)

ข้าวฟ่างสายพันธุ์เฮกการี (Hegari) จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ (National Corn and Sorghum Research Center) อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และแป้งสาลี เอนกประสงค์ตราว่าว

#### 2. อุปกรณ์ (Equipments)

##### 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือผลิตแป้งข้าวฟ่าง

2.1.1 เครื่องขัดสีข้าว

2.1.2 เครื่องบดผสม (Blender: VA-M11L, Hitachi, Japan)

2.1.3 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (Tray dryer: Ken Seng Lee Machinery (1960) Ltd. Part, Thailand)

2.1.4 ตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอน (100 mesh: ASTM11 150 micron, Retsch GmbH, Germany)

##### 2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือผลิตแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนเซชัน

2.2.1 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum drier: T.C. Tech Ltd., Thailand)

2.2.2 ตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอน (100 mesh: ASTM11 150 micron, Retsch GmbH, Germany)

##### 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 2.3.1 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer: RVA3D, Newport Scientific Instrument & Engineering, Australia)
- 2.3.2 เครื่องฉีกเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC: Pyris 1, Perkin-Elmer, USA)
- 2.3.3 เครื่องวัดสี (Minolta spectrophotometer: CM-3500d, Minolta CO. LTD, Japan)
- 2.3.4 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer: Spectronic Geneys 10 UV Scanning, Thermo Electron Corporation, USA)
- 2.3.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven: 400, Memmert GmbH+ Co.KG., Germany)
- 2.3.6 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerate Centrifuge, himac CR20B2, Japan)
- 2.3.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath: model SV 1422, Memmert GmbH&Co. KG, Germany)
- 2.3.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (TP-3102, Denver Instrument, USA)
- 2.3.9 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (SPB31, Scale tech, Germany)
- 2.3.10 ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
- 2.3.11 ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT6, UK)
- 2.3.12 เครื่องวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (Buchi 435: digestion unit, Buchi B-316: distillation unit, Switzerland)
- 2.3.13 เตาเผาเต้า (Muffle Furnace, Gallenkamp-FSE-621 series, UK)
- 2.3.14 โถดูดความชื้น (Desiccators)
- 2.3.15 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

## 2.4 อุปกรณ์สำหรับผลิตบะหมี่

- 2.4.1 เครื่องรีดและตัดเส้นบะหมี่ (Marcato รุ่น Atlas 150, Italy)
- 2.4.2 อุปกรณ์เครื่องครัว
- 2.4.3 กถ่องพลาสติก
- 2.4.4 ถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน

## 2.5 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพปะหิม

2.5.1 เครื่องวัดสี (Minolta spectrophotometer: CM-3500d, Minolta CO. LTD, Japan)

2.5.2 ไมโครมิเตอร์ (Vernier caliper: 60123467, Mitutoyo Corporation, Japan)

2.5.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA 500 บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd.UK)

2.5.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven: 400, Memmert GmbH+ Co.KG., Germany)

## 2.6 อุปกรณ์สำหรับแช่เยือกแข็งและคืนรูป

2.6.1 เครื่องแช่เยือกแข็ง (chest freezer) (model SF-C1497(GYN), Sanyo, Thailand)

2.6.2 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเร็วหิวคิง (cryogenic freezer) (รุ่น Mini Batch Freezer 1000L, Bangkok Industrial Gas Co., Ltd.)

2.6.3 สายเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) และเครื่องบันทึกข้อมูล (data-logger)

2.6.4 เตาอบไมโครเวฟ (model R-877, Sharp, Japan)

## 3. สารเคมี (Reagents)

### 3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

3.1.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid;  $H_2SO_4$ : Analytical grade, Barker, Mallinckrodt Barker, USA)

3.1.2 กรดบอริก (Boric acid;  $H_3BO_3$ : Analytical grade, Merck KGaA, Germany)

3.1.3 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate;  $CuSO_4$ : Analytical grade, Fisher Chemical, Fisher Scientific UK Limited, UK)

3.1.4 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate;  $K_2SO_4$ : Analytical grade, Ajax Finechem, New Zealand)

3.1.5 เมทิลเรด (Methyl red;  $C_{15}H_{15}N_3O_2$ : Analytical grade, Panreac, Panreac Quimica SK, Spain)

3.1.6 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green;  $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$ : Analytical grade, LABCHEM, Ajax Finechem, New Zealand)

3.1.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH: Commercial grade, Thasco Chemical Co., Thailand)

### 3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

3.2.1 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether: Analytical grade, Mallinckrodt CHEMICALS, USA)

### 3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์เส้นใยหยาบ

3.3.1 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid;  $H_2SO_4$ : Analytical grade, J.T. Barker, Mallinckrodt Barker, USA)

3.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH: Analytical grade, Merck KGaA, Germany)

3.3.3 ออกทานอล (Octan-1-ol;  $CH_3(CH_2)_7OH$ : Laboratory grade, Asia Pacific Specialty Chemicals Limited, Australia)

3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอมิโลสด้วยชุดตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Amylose/Amylopectin assay kit, Megazyme)

3.4.1 DMSO (Dimethyl sulphoxide; BDH Analar, England)

3.4.2 เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (Ethyl alcohol; Merck, Germany)

3.4.3 แอนไฮไดรต โซเดียมแอซิเตท (Anhydrous sodium acetate; Sigma, USA)

3.4.4 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; Sigma, USA)

3.4.5 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; Sigma, USA)

3.4.6 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride; Sigma, USA)

3.4.7 แมงกานีสคลอไรด์ (Manganese chloride; Sigma, USA)

3.4.8 กรดแอซิติกกลั่น (Glacial acetic acid; Merck, Germany)

- 3.4.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; Merck, Germany)
- 3.4.10 โซเดียมเอไซด์ (Sodium azide; Merck, Germany)
- 3.4.11 Freeze dried ConA (Megazyme, Ireland)
- 3.4.12 Amyloglucosidase/amylase mixture (Megazyme, Ireland)
- 3.4.13 GOPOD reagent buffer (Megazyme, Ireland)
- 3.4.14 Freeze dried GOPOD reagent enzyme (Glucose oxidase/peroxidase; Megazyme, Ireland)

### 3.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

- 3.5.1 ไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl: Analytical grade, Merck KGaA, Germany)
- 3.5.2 เมทานอล (Methanol; CH<sub>3</sub>OH: Analytical grade, Merck KGaA, Germany)
- 3.5.3 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl: Analytical grade, Ajax Finechem, New Zealand)
- 3.5.4 โซเดียมแอสซิเตทไฮเดรต (Sodium acetate hydrate; C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>3</sub>: Analytical grade, Sigma, US)

### 3.6 สารเคมีสำหรับผลิตบะหมี่

- 3.6.1 โซเดียมคาร์บอเนต (บริษัท OCI Corporation, Thailand)
- 3.6.2 เกลือ
- 3.6.3 น้ำเปล่า
- 3.6.4 น้ำมันพืช (น้ำมันถั่วเหลือง ตรา กู้ก)
- 3.6.5 ซิสเตอีน (L-Cysteine; C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>S: Analytical grade, Sigma, Japan)
- 3.6.6 โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Sodium metabisulfite; Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Analytical grade, Ajax Finechem, New Zealand)
- 3.6.7 ไข่เป็ดสด
- 3.6.7 ไข่ขาวผง (Egg white powder: Kasikornbank Public Company Limited, Thailand)

## วิธีการ

### 1. เตรียมวัตถุดิบ

#### 1.1 การเตรียมแป้งข้าวฟ่างไม่เปียก

นำเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดสีเปลือกออกโดยเครื่องขัดสีเปลือกข้าวสาร จากนั้นนำเมล็ดข้าวฟ่างมาคัดแยกเมล็ดเสียออกก่อนนำไปโม่เปียก โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดสีเปลือกออกแล้วมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน โดยใช้อัตราส่วนเมล็ดข้าวฟ่างต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 2 แล้วนำมาลดขนาดด้วยเครื่องป่นน้ำผลไม้ จากนั้นนำเข้าอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้ง นำแป้งหลังอบมาบดโดยใช้เครื่องป่นผลไม้แบบแห้ง จากนั้นร่อนแป้งที่ได้โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (หทัยชนก, 2551)

#### 1.2 การผลิตแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

นำสารละลายน้ำแป้งข้าวฟ่างความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มาผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.35 มิลลิเมตร ภายหลังจากนำแป้งผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมาบดด้วยเครื่องป่นผลไม้แบบแห้งจากนั้นร่อนแป้งที่ได้โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (หทัยชนก, 2553)

#### 1.3 วิเคราะห์สมบัติของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

##### 1.3.1 สี

ตรวจวัดค่าสีของแป้งโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta: CM-3500d, Minolta Corp)  
วัดค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$

##### 1.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

1.3.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.2.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.2.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.2.4 ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.2.5 ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000)

### 1.3.3 ปริมาณแอมิโลส

วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสที่เป็นองค์ประกอบของแป้งข้าวฟ่างด้วยชุดตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสหลังจากทำการตกตะกอนแอมิโลเพกตินด้วย Concanavalin-A หรือ Con A (Amylose/Amylopectin assay kit, Megazyme) (ภาคผนวก ก)

### 1.3.4 ปริมาณสารแอนโทไซยานิน

ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ก) โดยสกัดสารแอนโทไซยานินในแป้งฟาง และแป้งข้าวฟ่าง ปริมาณที่ในซึ่ ตามวิธีของ Awika *et al.* (2004) ด้วยสารละลาย 1% HCl ในเมทานอล จากนั้นนำสารละลายมาเจือจางด้วยบัฟเฟอร์พีเอช 1 และ 4.5 ก่อนนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 468 และ 700 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

1.3.5 ตรวจสอบกำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างตัดแปรทางฟิสิกส์ (หทัยชนก, 2553)

ชั่งแป้ง 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกส่วนใสออกจากหลอดเหวี่ยง นำส่วนใสไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การละลาย ส่วนหลอดเหวี่ยงที่มีตะกอนอยู่นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัว

### 1.3.6 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด

ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีของ AACC (2000) (ภาคผนวก ข) เตรียมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักแห้ง ให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส กวนเพื่อให้แป้งกระจายตัว จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นลงที่ 50 องศาเซลเซียส บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าเบรกดาวน์ (breakdown) และค่าเซตแบค (setback)

### 1.3.7 ตรวจสอบสมบัติด้านความร้อน

เตรียมตัวอย่างแป้งต่อน้ำความเข้มข้นเท่ากับ 30:70 โดยมีน้ำหนักรวมสุดท้ายเท่ากับ 20 มิลลิกรัม บรรจุลงถ้วยใส่ตัวอย่างปิดฝาให้สนิท และวางตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลลาทีนในเซชันด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) ใช้ถ้วยใส่ตัวอย่างสแตนเลสเปล่าเป็นตัวอ้างอิง และกำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 25 ถึง 130 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที วิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลลาทีนในเซชัน จากอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature,  $T_o$ ) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature,  $T_p$ ) อุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature,  $T_c$ ) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy,  $\Delta H$ ) (Zhang and Hamaker, 1998)

## 2. การทดลองผลิตบะหมี่จากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง (จุลิกกร, 2549)

ชั่งแป้ง 100 กรัม แล้วค่อยๆ เทส่วนผสมของน้ำที่ละลายโซเดียมคาร์บอเนต น้ำมันและเกลือลงไป ผสมให้เข้ากัน 5 นาที จากนั้นนำก้อนโดใส่ถุงพลาสติก พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องอัดรีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 1 มิลลิเมตร (รีดจนถึงระดับ 6) และตัดเป็นเส้น

ตารางที่ 4 อัตราส่วนของแป้งข้าวฟ่างผสมในการผลิตเส้นบะหมี่

Formulations	WF	SF	PSF	g / 100 g flour			
				Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Salt	Oil	Water
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
WF	100	-	-	1.5	1.5	1.5	40
SF(100)	-	100	-	1.5	1.5	1.5	80
SF:PSF(90:10)	-	90	10	1.5	1.5	1.5	70
SF:PSF(70:30)	-	70	30	1.5	1.5	1.5	60
SF:PSF(50:50)	-	50	50	1.5	1.5	1.5	50
SF:PSF(30:70)	-	30	70	1.5	1.5	1.5	50
SF:PSF(10:90)	-	10	90	1.5	1.5	1.5	40
PSF(100)	-	-	100	1.5	1.5	1.5	40

หมายเหตุ – WF คือ แป้งสาลี SF คือ แป้งข้าวฟ่าง และ PSF คือ แป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์

## 2.1 ศึกษาผลของการเติมสารรีดิวซิ่งในบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง

ซังสารซีสเตอีนปริมาณ 0.005 0.01 0.02 และ 0.04 กรัม/100 กรัมแป้ง จากนั้นนำมาละลายในน้ำ 50 กรัม และละลายส่วนผสมอื่นๆ คือ โซเดียมคาร์บอเนต 1.5 กรัม เกลือ 1.5 กรัม ค่อยๆ เทส่วนผสมของน้ำลงไปนึ่ง แป้งให้เข้ากัน 5 นาที จากนั้นนำก้อนโดใส่ถุงพลาสติก พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องอัดรีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 1 มิลลิเมตร (รีดจนถึงระดับ 6) และตัดเป็นเส้น

## 2.2 ศึกษาผลของไข่ขาวสด (ไข่เป็ด) ต่อลักษณะเส้นบะหมี่จากแป้งข้าวฟ่าง

เตรียมแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 70:30 รวม 100 กรัม เติมไข่ขาวสดในปริมาณ 30 และ 50 กรัม จากนั้นเติมส่วนผสมอื่นๆ คือ เกลือ 1.5 กรัม น้ำมัน 1.5 กรัม และน้ำ (ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของโด คือ โดไม่แห้ง หรือจะเกินไป และรีดง่าย) แล้วค่อยๆ เทส่วนผสมของน้ำลงนึ่ง แป้งให้เข้ากัน 5 นาที จากนั้นนำก้อนโดใส่ถุงพลาสติก พัก

ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องอัดรีดให้เป็นแผ่นบางประมาณ 1 มิลลิเมตร (รีดจนถึงระดับ 6) และตัดเป็นเส้น

### ตารางที่ 5 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตขนมปังข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวสด

	g / 100 g flour			
	Egg white	Salt	Oil	Water
SF:PSF(70:30)	-	1.5	1.5	60
SF:PSF(70:30) +30% egg white	30	1.5	1.5	23.86
SF:PSF(70:30) +50% egg white	50	1.5	1.5	17.79

### 2.3 ศึกษาผลของไข่ขาวสดต่อลักษณะเส้นขนมปังจากแป้งข้าวฟ่าง

### ตารางที่ 6 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตขนมปังข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวผง

Treatment	g / 100 g flour			
	Egg white	Salt	Oil	Water
SF:PSF(70:30) + 7.18% egg white powder	7.18	1.5	1.5	63.24
SF:PSF(50:50)	-	1.5	1.5	50
SF:PSF(50:50) + 7.18% egg white powder	7.18	1.5	1.5	54.55
SF:PSF(50:50) + 5% egg white powder	5	1.5	1.5	51.37
SF:PSF(50:50) + 10% egg white powder	10	1.5	1.5	57.74
SF:PSF(50:50) + 15% egg white powder	15	1.5	1.5	59.43
SF:PSF(50:50) + 20% egg white powder	20	1.5	1.5	62.71

เตรียมแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่กำหนด 100 กรัม เติมไข่ขาวผงในปริมาณแสดงดังตารางที่ 6 จากนั้นเติมส่วนผสมอื่นๆ คือ เกลือ 1.5 กรัม น้ำมัน 1.5 กรัม และน้ำ 50 กรัม (ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของโด คือ โดไม่แห้ง หรือจะเกินไป และสามารถรีดขึ้นรูปได้) ค่อยๆ เทส่วนผสมของน้ำลงไป ผสมให้เข้ากัน 5 นาที จากนั้นนำก้อนโดใส่

ถุงพลาสติก พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องอัดรีดให้เป็นแผ่นบาง ประมาณ 1 มิลลิเมตร (รีดจนถึงระดับ 6) และตัดเป็นเส้น

### 3. ตรวจสอบคุณภาพของเส้นบะหมี่

#### 3.1 ความหนาของเส้นบะหมี่ (AACC, 2000)

วัดความหนาของเส้นบะหมี่ด้วยไมโครมิเตอร์ รายงานค่าความหนาเฉลี่ยของเส้นบะหมี่ 10 เส้น

#### 3.2 วัดค่าพีเอชของเส้นบะหมี่ (Shelke *et al.*, 1990)

นำเส้นบะหมี่ 10 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมโดยใช้เครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาวัดค่าพีเอชของเส้นบะหมี่

#### 3.3 ร้อยละของการดูดน้ำ (AACC, 2000)

นำบะหมี่ที่ต้มสุกแล้วขึ้นสะเด็ดน้ำ ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร เมื่อสะเด็ดน้ำแล้ว นำบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาร้อยละของการดูดน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม(กรัม)} - \text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม(กรัม)}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม(กรัม)}} \times 100$$

#### 3.4 ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (AACC, 2000)

รวบรวมน้ำต้มบะหมี่และน้ำล้างบะหมี่เทใส่บีกเกอร์ (ที่ทราบน้ำหนักแล้ว) จากนั้นนำไปประเหยแห้งในตู้ทำแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ระเหยจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม

$$\text{ร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}}$$

### 3.5 ตรวจวัดค่าสี (คัดแปลงจาก Hsu *et al.*, 2003)

ตรวจวัดค่าสีของบะหมี่สุกโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta: CM-3500d, Minolta Corp) โดยวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ในระบบ CIE Lab

### 3.6 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม (cooking time) (AACC, 2000)

นำตัวอย่างบะหมี่ 25 กรัม ต้มในน้ำเดือด (น้ำกลั่น) 300 มิลลิลิตร เริ่มจับเวลาตั้งแต่บะหมี่ลงต้ม จนกระทั่งใจกลางเส้นที่เป็นส่วนสีขาวหายไป เป็นเวลาหุงต้มที่เหมาะสม

### 3.7 ระยะเวลาในการนึ่งที่เหมาะสม (steaming time)

นำตัวอย่างบะหมี่ 30 กรัม (จัดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) นึ่งในลังถึงด้วยน้ำเดือด เริ่มจับเวลาในการนึ่ง จนกระทั่งใจกลางเส้นที่เป็นส่วนสีขาวหายไป เป็นเวลานึ่งที่เหมาะสม

### 3.8 วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ภายหลังการหุงต้มโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR) (ใช้ Load Cell 5 กิโลกรัม) (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 g) ตรวจวัดค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุด (Stable Micro Systems, 1995)

## 4. การเตรียมผลิตภัณฑ์บะหมี่แช่เยือกแข็ง

นึ่งหรือต้มบะหมี่ตามระยะเวลาที่เหมาะสม (Cooking time) จากนั้นสะเด็ดน้ำ แล้วชั่งจำนวน 80 กรัม บรรจุในกล่องพลาสติกขนาด  $9.50 \times 15.00$  เซนติเมตร ปิดฝาแล้วนำมาแช่เยือกแข็งโดยสภาวะที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง คือ

#### 4.1 แช่เยือกแข็งแบบช้าด้วยเครื่องแช่เยือกแข็ง

นำกล่องที่บรรจุบะหมี่เข้าแช่ในเครื่องแช่เยือกแข็ง (Chest freezer) ที่มีอุณหภูมิ  $-16 \pm 1$  องศาเซลเซียส จนใจกลางเส้นบะหมี่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $-16$  องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ T-Thermocouple (Olivera and Salvadori, 2009)

#### 4.2 แช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลวด้วยเครื่องไครโอจินิก

นำกล่องที่บรรจุบะหมี่เข้าแช่ในเครื่องไครโอจินิก (Cryogenic freezer) ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $-35$  องศาเซลเซียส จนใจกลางเส้นบะหมี่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $-18$  องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ T-Thermocouple (Olivera and Salvadori, 2009)

#### 4.3 การละลายน้ำแข็ง (ตัดแปลงจาก อรอนงค์ และคณะ, 2548)

นำตัวอย่างบะหมี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และผ่านการเก็บตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว มาวางที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 50 วินาที

#### 4.4 วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ภายหลังแช่เยือกแข็ง

นำบะหมี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาละลายน้ำแข็งด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 50 วินาที จากนั้นนำไปตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ภายหลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง โดยใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR) (ใช้ Load Cell 5 กิโลกรัม) (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 g) ตรวจวัดค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุด (Stable Micro Systems, 1995)

### 5. การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่าง (Completely Radomized Design) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทาง

สถิติจะคำนวณค่า Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science; version 12.0)

#### 6. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

#### 7. ระยะเวลาทำการทดลอง

ตั้งแต่เดือนเมษายน 2553 ถึงเดือน ธันวาคม 2554

## ผลและวิจารณ์

### 1. องค์ประกอบทางเคมี ฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แป้งข้าวฟ่างมาทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ใช้ในการศึกษาเนื่องจากองค์ประกอบของแป้งมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ขนมปัง องค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

Sample	Moisture	Composition (%) (dry basis)					
	content (%)	Protein	Lipid	Ash	Crude Fiber	Carbo-hydrate	Amylose <sup>ns</sup>
WF	11.96±0.24a	11.87±0.20a	1.15±0.04a	0.74±0.00a	0.35±0.05b	85.89±0.09c	21.76±2.15
SF	11.27±0.12b	8.10±0.21b	0.27±0.02b	0.54±0.00c	0.63±0.06a	90.46±0.13b	21.79±2.62
PSF	4.64±0.08c	7.84±0.06b	0.13±0.02c	0.62±0.04b	0.60±0.11a	90.79±0.08a	ND

หมายเหตุ – WF คือ แป้งสาลี SF คือ แป้งข้าวฟ่าง และ PSF คือ แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์  
 – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 –ND หมายถึง Not Determined  
 – ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### ก. ความชื้น

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของแป้งสาลีมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นในแป้งข้าวฟ่าง คือมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 11.96 และ 11.27 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 7) แต่ปริมาณความชื้นในแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวฟ่างมาก ซึ่งแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.64 การที่แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มี

ปริมาณความชื้นที่ต่ำ เนื่องจากในขั้นตอนของการตัดแปรร โดยใช้ลูกกลิ้งคู่ที่ใช้น้ำอุณหภูมิสูงมาก ดังนั้นจึงส่งผลให้น้ำระเหยออกจากสารละลายแป้งได้ดี (หทัยชนก, 2553) แป้งที่นิยมใช้ในทำบะหมี่จะนิยมใช้ที่มีความชื้นในช่วงร้อยละ 13.5-14 (Kim, 1996)

#### ข. โพรตีน

จากตารางที่ 7 พบว่าแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 11.87 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.10 และ 7.84 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 7) อย่างไรก็ตามโปรตีนหลักในแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างแตกต่างกัน โดยโปรตีนหลักของแป้งสาลีคือกลุ่มโปรตีนไกลอะดอินกับกลูเทนิน ซึ่งสามารถรวมกันเกิดเป็นโปรตีนกลูเตน ซึ่งโปรตีนกลูเตนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้บะหมี่มีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น (Kim, 1996) ในขณะที่แป้งข้าวฟ่างมีโปรตีนหลักเป็นกลุ่มโปรตีนโพรลามิน ที่มี ความสามารถละลายได้ในสารละลายแอลกอฮอล์ (Belton *et al.*, 2006) โดยปกติโปรตีนมีผลต่อโครงสร้างของเส้นบะหมี่ ซึ่งปริมาณโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเส้น เพิ่มเวลาในการหุงต้มและความยืดหยุ่นของเส้นบะหมี่สุก (Ragae and Abdel Aal, 2006; Miskelly and Moss, 1985; Moss *et al.*, 1987)

#### ค. ไขมัน

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันในแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีปริมาณร้อยละ 1.15 0.27 และ 0.13 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้การตัดแปรร แป้งข้าวฟ่างด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ส่งผลให้ปริมาณไขมันลดลง เป็นเพราะว่าในระหว่างกระบวนการตัดแปรรอาจมีผลทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและไขมัน จึงมีผลทำให้ไขมันในแป้งข้าวฟ่างตัดแปรรมีปริมาณลดลง (หทัยชนก, 2553)

#### ง. เถ้า

จากผลการทดลองพบว่าแป้งสาลีมีปริมาณเถ้าสูงสุดคือมีปริมาณร้อยละ 0.74 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.54 และ 0.62 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 7) พบว่าภายหลังการตัดแปรรด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ทำให้แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณเถ้าสูงขึ้น ปริมาณเถ้าในแป้งมีผลด้านลบต่อสีของบะหมี่ (Hou, 2001) โดยปริมาณเถ้าในพีชจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิพิด แป้งส่วนใหญ่มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.1 โดยแป้งจากธัญพืชจะมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปฟอสโฟลิพิดในช่วงร้อยละ 0.02-0.06 (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

#### จ. เส้นใยหยาบ

จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณเส้นใยหยาบในแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีปริมาณสูงกว่าในแป้งสาลี ทั้งนี้แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 0.63 และ 0.60 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนในแป้งสาลีมีปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 0.35 ของน้ำหนักแห้ง

#### ฉ. คาร์โบไฮเดรต

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ มีปริมาณร้อยละ 85.89 90.46 และ 90.79 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในแป้งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการทำบะหมี่จากแป้งที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน เนื่องจากสตาร์ชจะเป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักของบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่ปราศจากกลูเตน (Xu and Seib, 1993) จากการทดลองพบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวฟ่างต่างจากแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอื่นๆ ในแป้งที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการดัดแปร แล้วจึงส่งผลทำให้การคำนวณค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันเล็กน้อย

#### ช. แอมิโลส

ในการศึกษานี้ได้หาปริมาณแอมิโลสหลังจากทำการตกตะกอนแอมิโลเพกตินด้วย Concanavalin-A หรือ Con-A (amylose/amylopectin assay kit, Megazyme) พบว่าปริมาณแอมิโลสในแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยปริมาณแอมิโลสในแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างมีปริมาณร้อยละ 21.76 และ 21.79 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์กับสมบัติด้านความหนืดของแป้ง โดยพบว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะ

มีความหนืดสูง (Hou, 2001) ทั้งนี้พบว่าเส้นบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน แอมิโลสจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่ต่อเนื่องและทำให้เส้นบะหมี่มีความแข็งแรง (Mestres *et al.*, 1988)

#### ตารางที่ 8 ปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างแป้ง

Sample	Anthocyanin content (mg/g) <sup>ns</sup>
SF	0.02±0.00
SF:PSF(90:10)	0.05±0.02
SF:PSF(70:30)	0.03±0.00
SF:PSF(50:50)	0.03±0.02
SF:PSF(30:70)	0.05±0.02
SF:PSF(10:90)	0.06±0.05
PSF	0.02±0.00
WF	NA

หมายเหตุ – WF คือ แป้งสาลี SF คือ แป้งข้าวฟ่าง และ PSF คือ แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์  
 – ปริมาณแอนโทไซยานินที่คำนวณได้จากการปรับปริมาณสารสกัดให้เป็น 30 มิลลิลิตรเท่ากันหมดทุกตัวอย่าง  
 – ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )  
 – NA หมายถึงไม่สามารถวัดค่าได้

นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังได้ตรวจสอบหาปริมาณสาร Apigeninidin ซึ่งเป็นสารแอนโทไซยานินที่พบได้ทั่วไปในข้าวฟ่าง (Gous, 1989) โดยได้วิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนไปซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะทำให้สีของสารแอนโทไซยานินเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงของสารดังกล่าวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ปริมาณสารแอนโทไซยานินที่วัดได้รายงานเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแป้ง จากตารางที่ 8 พบว่าปริมาณสาร

แอนโทไซยานินใน SF PSF และแป้งผสมในอัตราส่วน 90:10 70:30 50:50 30:70 และ 10:90 มีปริมาณสารแอนโทไซยานินแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีปริมาณสารแอนโทไซยานินระหว่าง 0.02-0.06 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแป้ง ส่วนใน WF ตรวจไม่พบสารแอนโทไซยานิน

สีของแป้งมีผลต่อสีของขนมปัง (Hou, 2001) จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9 พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของ WF มีค่าสูงสุด คือ 94.59 รองลงมาคือ SF และ PSF คือ 87.24 และ 78.83 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของ SF และ PSF นั้นมีค่าสูงกว่า WF ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของการตัดแปรแป้งข้าวฟ่างโดยวิธีพรีเจลาทีไนเซชันโดยใช้ลูกกลิ้งคู่ที่พบว่ามีผลต่อสีของแป้งเมื่อผ่านการตัดแปรจะมีค่าความสว่างลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้อุณหภูมิสูง ( $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ในขั้นตอนการตัดแปรทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เพราะในแป้งนั้นมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน (นิธิยา, 2549) จึงทำให้แป้งตัดแปรมีสีที่คล้ำมากขึ้น ชนิดของเม็ดสีที่อยู่ภายในแป้งเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อลักษณะสีของแป้ง โดยในแป้งสาลีมีเม็ดสีประเภทฟลาโวนอยด์ซึ่งทำให้แป้งมีสีเหลืองนวล (Miskelly, 1996) ในขณะที่แป้งข้าวฟ่างมีเม็ดสีประเภทแอนโทไซยานินซึ่งทำให้เกิดสีแดงคล้ำ (Awika and Rooney, 2004)

ตารางที่ 9 ลักษณะสีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

Sample	Color parameters		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
WF	94.59±0.03a	0.28±0.01c	6.56±0.01b
SF	87.24±0.12b	2.64±0.08b	6.18±0.09c
PSF	78.83±0.75c	4.82±0.21a	8.64±0.04a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

– ค่า  $L^*$  เป็นค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า  $a^*$  คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีแดง (+) หรือความเป็นสีเขียว (-) และค่า  $b^*$  คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีเหลือง (+) หรือความเป็นสีน้ำเงิน

กำลังการพองตัวของแป้งสามารถใช้ทำนายลักษณะของบะหมี่ได้ โดยพบว่ากำลังการพองตัวของแป้งจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพด้านรับประทานของบะหมี่ญี่ปุ่น (Hou, 2001) และกำลังการพองตัวของแป้งยังมีความสัมพันธ์แบบตรงกันข้ามกับลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่เติมแป้ง โดยแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงจะเหมาะในการนำไปผลิตบะหมี่ที่เติมเกลือ (Japan Udon noodles) (Hatcher, 2001)

จากการทดลองหาลำดับการพองตัวของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และ แป้งข้าวฟ่าง ปริเจลาทีไนซ์ ที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 10) พบว่ากำลังการพองตัวของทุกตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของ WF และ SF พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (55-65 องศาเซลเซียส) กำลังการพองตัวของ SF มีค่าต่ำกว่า WF แต่จะมีกำลังการพองตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 75 องศาเซลเซียส ส่วน WF จะมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 75-95 องศาเซลเซียส WF มีกำลังการพองตัวต่ำกว่า SF อาจเป็นเพราะว่า WF มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่า SF (ตารางที่ 7) ซึ่งโดยปกติแล้วโมเลกุลของแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูปจะจับตัวกันแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นผลให้มีการละลายน้ำและพองตัวในน้ำเย็นได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการพองตัวและการละลายจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวจึงสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งปริมาณ โปรตีนและไขมันมีผลต่อกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โปรตีนก็มีผลยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช เนื่องจากโปรตีนที่ติดอยู่บนเม็ดสตาร์ชจะไปขัดขวางการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ช จึงทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำได้น้อยลง และพองตัวได้น้อย (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

จากตารางที่ 10 พบว่า PSF มีกำลังการพองตัวสูงที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นเพราะว่า PSF มีความสามารถในการจับกับน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ชถูกทำลาย

**ตารางที่ 10** กำลังการพองตัวของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส

Sample	Swelling power (g/g)				
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C	95 °C
WF	4.65±0.37b	7.30 ±0.11b	8.28±0.49c	9.76±0.51b	12.43±0.17b
SF	3.65±0.42c	3.90±0.19c	11.37±0.30b	11.92±0.37a	14.68±0.43a
PSF	15.27±1.03a	14.77±0.50a	14.23±2.54a	12.74±0.64a	14.50±0.85a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เนื่องจากการย่อยและการละลาย (solubility) ของแป้งจะวัดจากปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่สามารถละลายน้ำได้ (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) โดยส่วนที่ละลายออกมาได้แก่ แอมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชในระหว่างที่เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว และส่วนของปริมาณของแข็งอื่นๆ ที่ละลายได้ เช่น โปรตีน และสารประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ (Unnikrishnan and Bhattacharya, 1981) จากผลการทดลองดังตารางที่ 11 พบว่า WF SF และ PSF ที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส มีค่าการละลายเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกำลังการพองตัว จากการทดลองพบว่าการพองตัวและการละลายของแป้งจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยตรง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการละลายและการพองตัวจะเพิ่มขึ้น (Tan *et al.*, 2009)

WF มีค่าการละลายสูงกว่า SF อาจเป็นเพราะว่าชนิดของโปรตีนใน WF เป็นโปรตีนที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) ในขณะที่โปรตีนหลักใน SF มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (Belton *et al.*, 2006)

**ตารางที่ 11** การละลายของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ที่อุณหภูมิ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส

Sample	Solubility (%)				
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C	95 °C
WF	9.38±0.44a	10.80±1.05a	10.81±0.30a	15.12±0.36a	21.20±1.22a
SF	0.80±0.48b	1.22±0.30c	2.98 ±0.72c	4.45±0.71c	9.05±0.60c
PSF	7.10±2.82a	8.00±1.15b	7.07±1.03b	8.59±0.73b	12.16±0.83b

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชัน และพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกของแป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างโดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter: DSC) ที่มีหลักการในการใช้พลังงานในการสลายพันธะภายในโมเลกุลและวัดการเปลี่ยนแปลง โดยรายงานเป็นค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทีไนเซชัน ( $T_o$ ) อุณหภูมิที่เกิดเจลาทีไนเซชันสูงสุด ( $T_p$ ) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทีไนเซชัน ( $T_c$ ) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชัน ( $\Delta H$ ) ผลการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 12

**ตารางที่ 12** ช่วงอุณหภูมิเจลาทีไนเซชันและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่าง

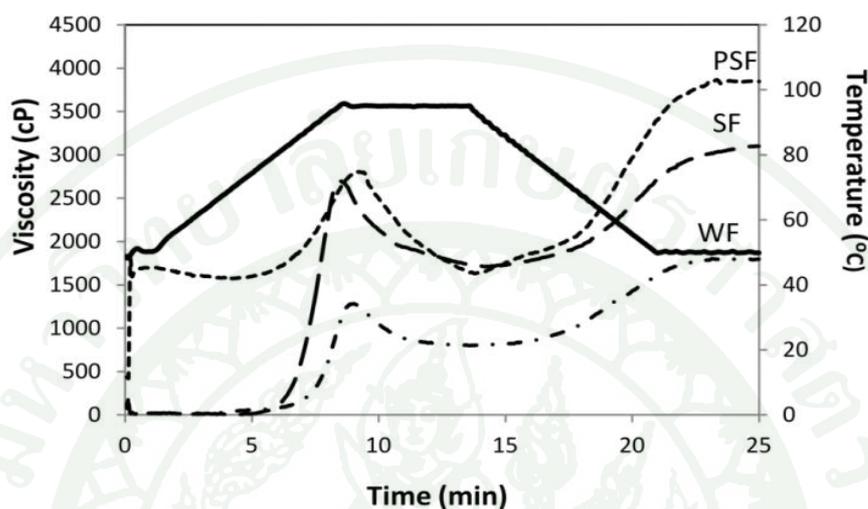
Sample	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
WF	59.36±0.22b	65.27±0.19b	71.40±0.47b	6.87±0.44b
SF	71.04±0.21a	74.94±0.26a	79.85±0.22a	11.85±0.67a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 12 WF มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันระหว่าง 59.36-71.40 องศาเซลเซียส และมีพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 6.87 จูลต่อกรัม ส่วน SF มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันระหว่าง 71.04-79.85 องศาเซลเซียส และมีพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 11.85 จูลต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับ Hosney (1994) ที่รายงานว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งข้าวฟ่าง (68-78 °C) สูงกว่าแป้งสาลี (58-64°C) SF มีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงกว่า WF เนื่องมาจากการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันจะคิดเป็นหน่วยจูลต่อหนึ่งกรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง ไม่ได้คิดในฐานน้ำหนักแห้งของสตาร์ช ดังนั้น SF ที่มีองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน และเส้นใยสูงกว่า WF จึงมีปริมาณสตาร์ชในตัวอย่างไม่กี่กว่า WF จึงทำให้ SF จึงมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ( $\Delta H$ ) สูงกว่า WF สำหรับตัวอย่าง PSF ตรวจไม่พบช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน เนื่องจากโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการตัดแปรด้วยความร้อนและแรงเฉือนจากลูกกลิ้ง (หทัยชนก, 2553) อุณหภูมิเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลส ขนาด รูปร่าง การกระจายตัวของสตาร์ชแกรนูล และการจัดเรียงผลึกภายในแกรนูล (Singh *et al.*, 2003) พลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชัน แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกของแอมิโลเพกติน ความแตกต่างของพลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชเนื่องจากความแตกต่างของความแข็งแรงของพันธะ (bonding force) ระหว่างเกลียวคู่ (double helices) ของผลึกแอมิโลเพกติน (McPherson and Jane, 1999)

จากภาพที่ 5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลิตีในซ์ จากผลการทดลองพบว่า SF มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงกว่า WF ซึ่งค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการพองตัวของเม็ดสตาร์ชก่อนที่จะแตกออก ซึ่งการพองตัวของสตาร์ชจะขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลส แอมิโลเพกติน โปรตีน ไขมัน และความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ช (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) โดยการพองตัวของสตาร์ชจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อสตาร์ชมีปริมาณแอมิโลสสูงขึ้น เนื่องจากว่าเม็ดสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีความแข็งแรงมากกว่า ทำให้พองตัวยากกว่าเม็ดสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ แต่จากการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลส พบว่า WF และ SF มีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีปริมาณแอมิโลสร้อยละโดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 21.76 และ 21.79 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ดังนั้นการพองตัวของสตาร์ชอาจมีผลมาจากปริมาณโปรตีน และไขมัน ซึ่งพบว่า WF มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่า SF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้น WF จึง

พองตัวได้ต่ำกว่า SF ทั้งนี้สสารที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดี ลักษณะเส้นเหนียว เคี้ยวได้ไม่ยุ่ย (อรอนงค์, 2540)



ภาพที่ 5 สมบัติด้านความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีนในซ์

หมายเหตุ ตัวอย่าง WF ( - . - ) SF ( — — ) PSF ( - - - )

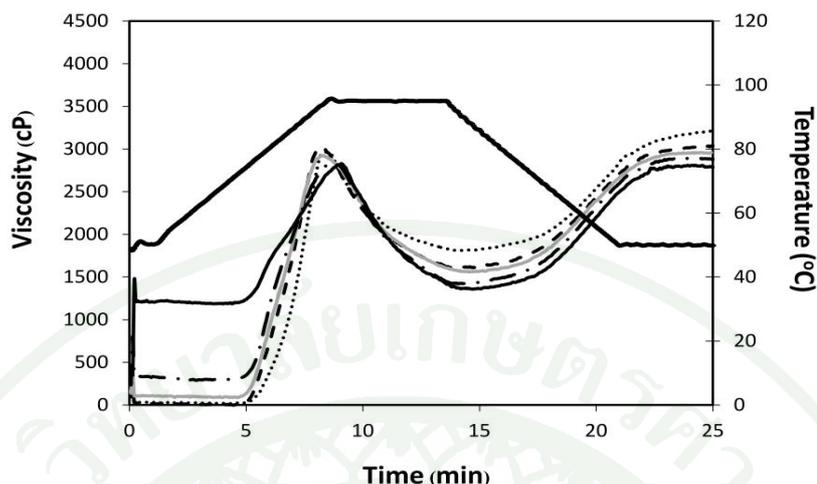
ภาพที่ 5 WF มีค่าความหนืดลดลงหรือค่าเบรคดาวน์ (breakdown) ต่ำกว่า SF แสดงว่า WF มีความแข็งแรงของสสารสูงกว่า SF ซึ่งค่าความหนืดลดลง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความทนต่อความร้อนและแรงเฉือนของเม็ดสสารได้ สสารที่มีความแข็งแรงมากจะมีค่าเบรคดาวน์ต่ำกว่าสสารที่มีความแข็งแรงน้อย สาเหตุที่ WF มีค่าความหนืดลดลงต่ำกว่า SF อาจเกิดจากการที่ WF มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า SF เพราะเมื่อโปรตีนมากอาจเกิดการพองตัวต่ำกว่า จากตารางที่ 10 และค่าความหนืดสูงสุดในภาพที่ 5 จึงมีผลทำให้เม็ดสสารทนต่อแรงเฉือนมากกว่า เพราะโปรตีนจะจับกับโมเลกุลของสสารที่ผิวเกรนูลทำให้สสารเกรนูลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เม็ดสสารจึงแตกระหว่างการให้ความร้อนและแรงเฉือนลดต่ำลง (Hamaker and Griffin, 1990) นอกจากนี้จากภาพที่ 5 พบว่า WF มีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ต่ำกว่า SF ค่า ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกคุณภาพของแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าความหนืดสุดท้ายมักจะแปรผันตรงกับค่าการคืนตัวหรือค่าเซตแบค (setback from trough) ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลเอมิโลสและเอมิโลเพกตินเมื่อทำการลดอุณหภูมิลง มีผลทำให้

ความหนืดของสารละลายแป้งสูงขึ้น จากภาพที่ 5 พบว่า SF มีค่าเซตแบคสูงกว่า WF ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเซตแบคของแป้ง SF และ WF อาจเป็น โปรตีนและไขมัน ซึ่งใน WF มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่า SF ซึ่งไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสจึงทำให้แอมิโลสเกิดการจัดเรียงตัวได้น้อยลง และส่งผลให้ค่าเซตแบคของ WF ต่ำกว่า SF นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนมีผลในการขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแอมิโลสเป็นร่างแหสามมิติด้วย (Kim and Seib, 1993)

จากภาพที่ 5 พบว่า PSF สามารถเกิดความหนืดได้ทันที (initial viscosity) ในขณะที่ความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายนั้น พบว่า WF มีค่าต่ำกว่า SF และ PSF และภายหลังจากแป้งข้าวฟ่างผ่านการตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาทีไนเซชัน โดยใช้ลูกกลิ้งคู่ทำให้แป้งที่ได้มีค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพรีเจลาทีไนซ์สตาร์ชจะมีส่วนของอสัณฐาน (amorphous) เพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มการกระจายตัว และการพองตัวในน้ำเย็นและลดอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชัน (Were *et al.*, 1999) และเมื่อมีการให้ความร้อนและแรงเฉือนต่อไปทำให้ PSF มีความหนืดเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากการตัดแปร โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีแรงเฉือนจากลูกกลิ้งกระทำต่อเม็ดสตาร์ช ทำให้แป้งตัดแปรมีความแข็งแรงของโครงสร้างน้อย เมื่อมีการให้ความร้อนทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากกว่า (หทัยชนก, 2553)

จากภาพที่ 6 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์จะทำให้ค่าความหนืดเริ่มต้น (initial viscosity) ของแป้งผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าแป้งผสมมีค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกัน

ความหนืดสูงสุดอธิบายถึงความสามารถในการจับกับน้ำของสตาร์ช และมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และปรากฏการณ์ระหว่างการพองตัว และ โพลีเมอร์ที่ละลายออกมา (Beta and Corke, 2001) ทั้งนี้แป้งที่มีความหนืดสูงสุด (final viscosity) มีค่าสูงเมื่อนำมาทำบะหมี่จะได้อะหนี่ที่มีผิวเรียบและเนื้อนุ่ม และมีการสูญเสียของแข็งระหว่างการทำหุงต้มต่ำ ทำให้ได้บะหมี่ที่มีคุณภาพที่ดี (Beta and Corke, 2001; Fu *et al.*, 1998)



ภาพที่ 6 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 90:10 70:30 50:50 30:70 และ 10:90

หมายเหตุ ตัวอย่าง SF:PSF(90:10) (.....) SF:PSF(70:30) (---) SF:PSF(50:50) (—) SF:PSF(30:70) (— · —) SF:PSF(10:90) (——)

## 2. ผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ต่อคุณภาพของเส้นบะหมี่

เนื่องจากแป้งข้าวฟ่างมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแป้งข้าวฟ่างดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาทีไนเซชันซึ่งมีความสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี ทำให้แป้งอุ้มน้ำไว้ได้และสามารถนวดเป็นโดและขึ้นรูปเป็นเส้นได้ โดยในงานวิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ที่เหมาะสม เพื่อศึกษาคุณภาพของเส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์โดยอัตราส่วนของแป้งที่นำมาผลิตบะหมี่แสดงดังตารางที่ 13 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละสูตรนั้นขึ้นอยู่กับชนิด และอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ โดยปริมาณน้ำที่ใช้นั้นเพียงพอให้เกิดลักษณะโด และสามารถรีดเป็นเส้นบะหมี่ได้ (Park and Baik, 2004)

ตารางที่ 13 ปริมาณส่วนผสมของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ และปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมขนมปังในแต่ละสูตร

Treatments	g / 100 g flour			
	WF	SF	PSF	Water
WF	100	-	-	40
SF	-	100	-	80
SF:PSF(90:10)	-	90	10	70
SF:PSF(70:30)	-	70	30	60
SF:PSF(50:50)	-	50	50	50
SF:PSF(30:70)	-	30	70	50
SF:PSF(10:90)	-	10	90	40
PSF	-	-	100	40

หมายเหตุ – สัญลักษณ์ WF คือ แป้งสาลี SF คือ แป้งข้าวฟ่าง และ PSF คือ แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์

โปรตีนและสตาร์ช (โดยเฉพาะสตาร์ชเสียหาย) จะมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำ (Hou and Kruk, 1998) ทั้งนี้ขนมปังที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างและแป้งสาลีต้องใช้ปริมาณน้ำในการผลิตที่แตกต่างกันตามตารางที่ 13 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมขนมปังในแต่ละสูตรนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแป้งที่ใช้ สูตรที่มีการเพิ่มปริมาณแป้งพรีเจลาทีไนซ์เพิ่มขึ้นจะใช้ปริมาณน้ำลดลง เนื่องจากแป้งพรีเจลาทีไนซ์สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้อง (Doublier *et al.*, 1986)

จากตารางที่ 14 แสดงลักษณะปรากฏของเส้นขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง ขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีซึ่งเป็นสูตรควบคุมในงานวิจัยนี้ มีลักษณะเส้นเรียบ สีเหลืองนวล ทั้งนี้การใช้แป้งข้าวฟ่างล้วนและใช้แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 90:10 (SF:PSF (90:10)) ไม่สามารถทำให้เป็นโคได้ นั่นเป็นเพราะว่าแป้งข้าวฟ่างไม่สามารถดูดซับน้ำได้ที่อุณหภูมิห้องจึงต้องใช้แป้งพรีเจลาทีไนซ์ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นส่วนผสมเพื่อเป็นสารยึดเกาะ แต่ถ้าใช้ปริมาณแป้งพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่ต่ำ อาจทำให้ไม่เพียงพอต่อการยึดเกาะของเม็ดสตาร์ช ดังนั้น SF:PSF(90:10) จึงไม่สามารถทำให้เป็นโคได้

ตารางที่ 14 ลักษณะปรากฏของเส้นบะหมี่ดิบที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่าง  
พรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Treatments	The appearance
WF	สีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ ยืดหยุ่นดี
SF	ไม่สามารถผลิตเป็นบะหมี่ได้
SF:PSF(90:10)	ไม่สามารถผลิตเป็นบะหมี่ได้
SF:PSF(70:30)	สีแดงคล้ำ ผิวเรียบ
SF:PSF(50:50)	สีแดงคล้ำ ผิวเรียบ
SF:PSF(30:70)	สีแดงคล้ำ ผิวขรุขระ
SF:PSF(10:90)	ขึ้นรูปเส้นไม่ได้
PSF	ขึ้นรูปเส้นไม่ได้

ส่วนการใช้แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 10:90 (SF:PSF(10:90)) และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ล้วน (PSF) โดจะมีลักษณะเหนียวมาก เวลาผ่านเครื่องรีดจึงรีดได้ลำบาก นั้นเป็นเพราะว่ามีส่วนผสมของแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่สูงเกินไป ซึ่งแป้งพรีเจลาทีไนซ์จะละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้องและให้ความหนืดได้ทันที อย่างไรก็ตามการใช้แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 70:30 50:50 และ 30:70 สามารถขึ้นรูปโคได้ และผลิตเป็นเส้นบะหมี่ได้ ลักษณะของเส้นดิบที่ผลิตได้จะมีสีแดงคล้ำ แต่การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ก็ทำเส้นบะหมี่ที่ผลิตได้มีลักษณะขรุขระมากขึ้นด้วย ซึ่งเห็นได้ชัดเมื่อใช้ SF:PSF(30:70) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จำริญ (2537) ที่ทดลองทำขนมปังจากแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาทีไนซ์ล้วน พบว่าในขั้นตอนการผสมองค์ประกอบต่างๆ ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ ของผสมมีลักษณะเป็นก้อนแข็งขนาดต่างๆ กระจายกระจายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ของผสมที่ได้จะเป็นก้อนที่มีลักษณะและเป็นตะปุ่มตะป่ำเหนียว และ Sozer (2009) รายงานว่า การใช้แป้งพรีเจลาทีไนซ์ในปริมาณสูง (ร้อยละ 75 และ 100) ผสมกับแป้งข้าวเพื่อผลิตพาสต้า มีผลทำให้โคไม่เรียบ มีลักษณะเป็นก้อน (lump) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าแป้งพรีเจลาทีไนซ์มีค่าการละลายสูง จึงทำให้ไม่สามารถกระจายตัวได้ทันที และเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน (ลินจันท์, 2552)

### 3. คุณภาพของเส้นบะหมี่

ตารางที่ 15 ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ดิบที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสม แป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
WF	1.03±0.18b	1.59±0.10b
SF:PSF(70:30)	1.10±0.00b	1.61±0.10b
SF:PSF(50:50)	1.40±0.00b	1.78±0.04b
SF:PSF(30:70)	2.04±0.26a	2.47±0.48a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 15 พบว่าความหนาของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี (WF) และบะหมี่ที่ทำจาก SF:PSF; 70:30 และ 50:50 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนบะหมี่ที่ทำจาก SF:PSF(30:70) มีความหนาและความกว้างสูงกว่าบะหมี่ทั้งสามสูตร ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าบะหมี่ SF:PSF(30:70) ใช้แป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในปริมาณสูง ซึ่งแป้งพรีเจลลาทีไนซ์มีสมบัติละลายได้ในน้ำเย็นและให้ความหนืดได้ทันที ซึ่งการที่ในส่วนผสมมีปริมาณแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ในปริมาณสูงจะทำให้โคมีความหนืดสูงมาก และยากต่อการรีดให้เป็นแผ่น โคที่มีความเรียบเนียนได้ ดังนั้นเมื่อตัดแผ่นโคเป็นเส้นจึงทำให้ได้เส้นบะหมี่ที่มีขนาดใหญ่กว่าบะหมี่สูตรที่มีการเติมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ในปริมาณที่ต่ำกว่า

จากผลการทดลองดังตารางที่ 16 พบว่าเส้นบะหมี่ WF และบะหมี่ SF:PSF; 70:30 50:50 และ 30:70 มีค่าพีเอชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยบะหมี่ทั้ง 4 สูตรมีค่าพีเอชโดยประมาณเท่ากับ 10 ในการทดลองนี้ได้ผลิตบะหมี่ที่มีการเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในปริมาณร้อยละ 1.5 ต่อน้ำหนักแป้ง จึงมีผลทำให้ค่าพีเอชของเส้นบะหมี่มีค่าสูง

ตารางที่ 16 ค่าพีเอชและสีของบะหมี่สุก

Treatments	pH <sup>ns</sup>	Color parameters		
		L*	a*	b*
WF	10.03±0.02	71.83±0.44a	0.61±0.13c	20.47±0.47a
SF:PSF(70:30)	10.08± 0.03	51.75±0.01b	6.30±0.01a	8.28±0.21b
SF:PSF(50:50)	10.02±0.04	49.21±0.35c	5.67±0.01b	7.43±0.11c
SF:PSF(30:70)	10.06±0.04	46.41±0.11d	5.48±0.21b	6.75±0.24c

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

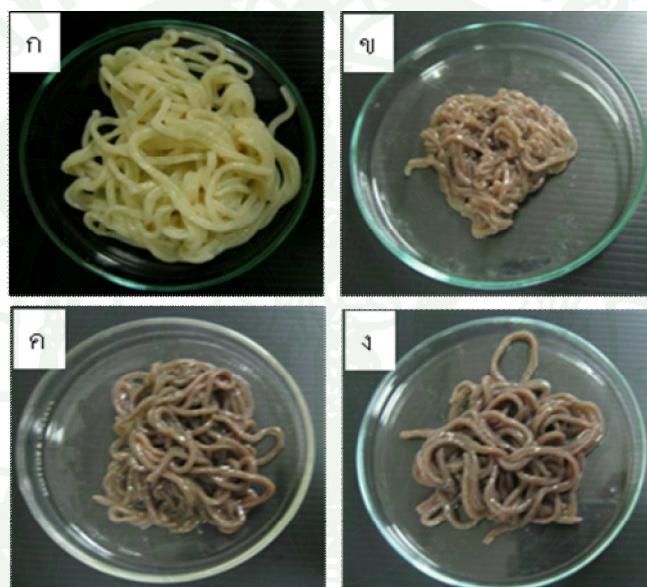
– ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

– ค่า L\* เป็นค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า a\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีแดง (+) หรือความเป็นสีเขียว (-) และค่า b\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีเหลือง (+) หรือความเป็นสีน้ำเงิน (-)

อีกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของบะหมี่ คือสี ซึ่งบะหมี่ที่ได้รับการยอมรับจะต้องมีสีเหลืองสว่าง (Hatcher *et al.*, 1999) ปัจจัยที่มีผลต่อสีของบะหมี่ขึ้นอยู่กับแป้งที่ใช้ในการผลิต ส่วนผสมที่ใช้ และกระบวนการผลิตบะหมี่ (Hou, 2001) จากผลการทดลองพบว่าค่าสีของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีแตกต่างจากบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง เมื่อเปรียบเทียบสีของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีและบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง พบว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีจะมีค่าความเป็นสีเหลือง (b\*) และค่าความสว่าง (L\*) มากกว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง ตรงกันข้ามบะหมี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวฟ่างมีค่าความเป็นสีแดง (a\*) มากกว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี ซึ่งสัมพันธ์กันกับค่าสีของแป้งที่ใช้ในการผลิต (ตารางที่ 9) ข้าวฟ่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูง จึงมีผลให้แป้งมีสีคล้ำ (Awika *et al.*, 2004)

ค่าสีความสว่างของบะหมี่ WF มีค่าสูงสุดคือ 71.83 ส่วนบะหมี่ SF:PSF70:30 50:50 และ 30:70 มีค่าความสว่างเท่ากับ 51.75 49.21 และ 46.41 ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ส่วนค่าความเป็นสีแดงของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์มีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่า

บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยบะหมี่แป้งสาลีมีค่าความเป็นสีแดงเท่ากับ 0.61 และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเป็นสีแดงระหว่าง 5.48-6.30 และค่าความเป็นสีเหลืองของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีมีค่าสูงสุดคือ 20.47 ซึ่งสูงกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ที่มีค่าความเป็นสีเหลืองระหว่าง 6.75-8.28 นอกจากรงควัตถุที่มีอยู่ในแป้ง ปัจจัยที่มีผลต่อสีของบะหมี่ ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส ซึ่งมีผลทำให้บะหมี่มีสีคล้ำลง (Kruger *et al.*, 1994) การเพิ่มปริมาณแป้งพรีเจลาทีไนซ์มีผลทำให้บะหมี่มีสีคล้ำมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการเมลลาร์ดในขั้นตอนการดัดแปรแป้ง



ภาพที่ 7 บะหมี่ต้มที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง ก) WF ข) SF:PSF(70:30) ค) SF:PSF(50:50) และ ง) SF:PSF(30:70)

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ต้ม WF และ SF:PSF(70:30) SF:PSF(50:50) และ SF:PSF(30:70) แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าบะหมี่ WF จะมีสีเหลืองสว่าง เส้นมีลักษณะเรียบ ลื่น ยืดหยุ่น ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF(70:30) ลักษณะเส้นมีแดงคล้ำ เส้นมีขนาดเล็กและ และมีผิวที่เหนียวเหนอะหนะ ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF(50:50) และ SF:PSF(30:70) (ภาพที่ 7 ค และง) เส้นมีสีแดงคล้ำ ลักษณะเส้นไม่ลื่น แต่มีผิวที่เหนียวติดกัน บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ผิวของเส้นมีลักษณะเหนียว เนื่องจากแป้งที่ผ่านการดัดแปรนั้นสามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้เมื่อต้มแล้วแอมิโลสสามารถถูกชะมาอยู่ที่ผิวได้ง่าย (สุภารัตน์ และคณะ, 2542) ทั้งนี้บะหมี่

ที่ดีจะต้องมีลักษณะที่ดีเวลาเคี้ยว (firm chewy) และไม่เหนียว (sticky) เมื่่อมองด้วยสายตาต้องสีไม่ซีด ผิวมีความมันเงา และ โปร่งแสง (Tan *et al.*, 2009; Beta and Corke, 2001)

ตารางที่ 17 ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้มที่เหมาะสม ปริมาณร้อยละการดูดน้ำ และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง

Treatments	Cooking time (min)	Water uptake (%)	Cooking loss (%)
WF	7	173.86±4.53a	8.89±0.50d
SF:PSF(70:30)	5	64.04±0.22c	20.10±0.30a
SF:PSF(50:50)	4	94.89±1.89b	11.60±0.41c
SF:PSF(30:70)	4	59.41±1.39c	17.12±0.16b

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ในการต้มบะหมี่ควรมีปริมาตรน้ำ 10 เท่าของน้ำหนักบะหมี่ และน้ำจะต้องเดือดภายใน 1 นาทีหลังจากใส่เส้นบะหมี่ บะหมี่สดหรือบะหมี่แห้งจะต้มจนได้เวลาที่ต้องการ ซึ่งพิจารณาจากการที่ไม่มีส่วนสีขาวที่ใจกลางเส้น (Oh *et al.*, 1983) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้สุกจะขึ้นอยู่กับความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ บะหมี่ที่ดีควรสุกเร็วและทนต่ออุณหภูมิสูง (Kruger *et al.*, 1994) นอกจากนี้ควรมีความแน่นเนื้อ (firmness) ผิวเรียบ มีความอ่อนนุ่มหรือแข็งตามชนิดของบะหมี่ ยืดหยุ่น เส้นไม่เกาะกัน มีความคงตัวในระหว่างต้มสุก และมีปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้ม (cooking loss) ต่ำ (Nagao, 1996)

เมื่อนำบะหมี่มาต้มเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้มที่เหมาะสม (cooking time) ปริมาณร้อยละการดูดน้ำ (water uptake) และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้ม (cooking loss) จากตารางที่ 17 พบว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง โดยบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีใช้เวลาการทำให้สุก 7 นาที ส่วนบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างใช้เวลาในการทำให้สุก 4-5 นาที Chillo *et al.* (2007) รายงานว่าบะหมี่ที่ไม่มี

กลูเตนจะใช้เวลาในการหุงต้มสั้นกว่าบะหมี่ที่มีกลูเตน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการไม่มีโครงสร้างกลูเตนทำให้น้ำซึมเข้าสู่ใจกลางเส้นบะหมี่ได้เร็วขึ้นทำให้สุกเร็วขึ้น ส่วนปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างนั้นมีความร้อยละระหว่าง 11.60-20.10 ซึ่งมีค่าสูง โดยมาตรฐานกำหนดให้บะหมี่ที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างหุงต้มไม่เกินร้อยละ 10 (Yadav *et al.*, 2011) บะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างเมื่อหุงต้มโดยใช้น้ำเดือด เส้นบะหมี่บางเส้นจะมีลักษณะที่อ่อนแอมาก และเปื่อยยุ่ย นั่นทำให้ปริมาณการสูญเสียของแข็งมีค่าที่สูง อีกทั้งในระหว่างการหุงต้มโปรตีนจะอ่อนแอและเกิดโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถละลายออกมาในน้ำที่ใช้ต้ม (Chillo *et al.*, 2007) Schoenlechner *et al.* (2010) รายงานว่าปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มยังขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของโครงสร้างโปรตีน โดยบะหมี่ที่มีโครงสร้างโปรตีนที่อ่อนแอจะมีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มสูง ทั้งนี้เนื่องจากบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างไม่มีโครงสร้างกลูเตน สตาร์ชจึงมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง (Suhendro *et al.*, 2000; Beta and Corke, 2001) เมื่อนำบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างมาต้มจึงทำให้สตาร์ชละลายออกมาในน้ำที่ใช้หุงต้ม จึงทำให้มีการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มที่สูง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากน้ำที่ใช้หุงต้มจะมีความขุ่น (Beta and Corke, 2001)

นอกจากนี้ปริมาณร้อยละการดูดน้ำยังมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่สุกด้วย (Tan *et al.*, 2009) โดยบะหมี่ที่มีปริมาณการดูดน้ำต่ำจะทำให้บะหมี่ที่ได้มีลักษณะแข็ง และหยาบ (Beta and Corke, 2001) แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของบะหมี่จะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งมากกว่าปริมาณการดูดน้ำ (Rho *et al.*, 1988) จากตารางที่ 17 บะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างจะมีปริมาณร้อยละการดูดน้ำต่ำกว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี เนื่องจากโครงสร้างกลูเตนในบะหมี่จากแป้งสาลีสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างไว้ได้ดี (Suhendro *et al.*, 2000)

ภายหลังการต้มได้นำบะหมี่มาวัดสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส โดยพิจารณาจากค่าแรงดึงสูงสุด (maximum tension force หรือ tensile) ซึ่งจะบอกถึงความเหนียวหรือความแข็งแรงของเส้นบะหมี่ในการดึงยืด และระยะทางสูงสุดในการดึง (maximum distance หรือ extensibility) บ่งบอกถึงความสามารถในการดึงยืดของเส้นบะหมี่ แรงดึงสูงสุด (force) และระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่สุกแสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ต้มที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่าง  
พรีเจลลิ่งในชั้นในระดับที่แตกต่างกัน

Treatments	Texture parameters	
	Stress (kPa)	strain
WF	76.13±18.38a	1.04±0.14a
SF:PSF(70:30)	-	-
SF:PSF(50:50)	27.24±7.07b	0.19±0.18c
SF:PSF(30:70)	29.36±11.31b	0.47±0.22b

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

– สัญลักษณ์ - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้

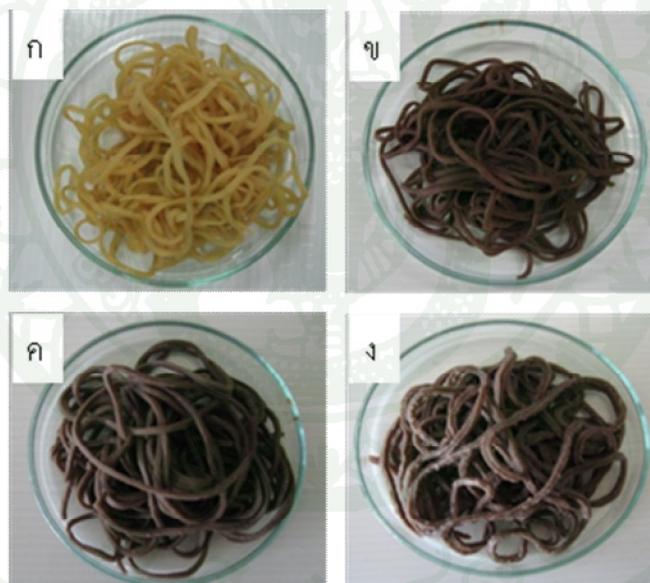
จากตารางที่ 18 พบว่าภายหลังการต้มพบว่าบะหมี่ SF:PSF(70:30) มีลักษณะเส้นที่อ่อนแอจนไม่สามารถวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF(30:70) มีแรงดึงสูงสุดไม่แตกต่างกับบะหมี่ WF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ส่วนระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีค่าต่ำกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี (ตารางผนวกที่ ค7)

เนื่องจากขนาดของเส้นบะหมี่มีผลต่อค่าแรงดึงสูงสุด (force) และระยะทางสูงสุดในการดึง (distance) จึงทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่มีขนาดเส้นแตกต่างกันได้ ดังนั้นจึงได้นำค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงมาคำนวณเป็นค่าความเค้น (stress) และความเครียด (strain) โดยค่าความเค้นคำนวณจากแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของบะหมี่ที่รับแรง ส่วนค่าความเครียดคำนวณจากความยาวของบะหมี่ที่ยืดออกต่อความยาวของบะหมี่เริ่มต้น จากตารางที่ 18 พบว่าเมื่อเติมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลิ่งในส่วนผสมมากขึ้นทำให้บะหมี่มีค่าความเค้นและความเครียดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมแป้งพรีเจลลิ่งทำให้บะหมี่มีความเหนียวมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ ได้แก่ สมบัติของสตาร์ช ปริมาณและคุณภาพของโปรตีน ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต และกระบวนการในการผลิตบะหมี่ (Hou, 2001) แต่ทั้งนี้โดย

ส่วนมากจะพบว่าสตาร์ชและโปรตีนเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ (Hou, 2001) โดยทั่วไปแล้วบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่ปราศจากกลูเตนจะมีสตาร์ชเป็น โครงสร้างหลัก ซึ่งแตกต่างจากบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีที่มีโครงสร้างของโปรตีนกลูเตนช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่เส้นบะหมี่และทำให้เกิดลักษณะเหนียวและยืดหยุ่นแก่เส้นบะหมี่ด้วย

จากงานวิจัยส่วนนี้พบว่าภายหลังต้มบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มในปริมาณสูง (> ร้อยละ 10) (ตารางที่ 17) และมีค่าความเค้นและความเครียดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี (ตารางที่ 18) ดังนั้นจึงได้ทดลองนำบะหมี่ไปนึ่ง โดยได้หาระยะเวลาหนึ่งที่เหมาะสมโดยผันแปรเวลานึ่งเป็น 5 10 15 และ 20 นาที จากนั้นจึงนำบะหมี่ไปหาความชื้น ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึง ลักษณะของบะหมี่นี้แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 บะหมี่หลังจากผ่านการนึ่ง ก) WF ข) SF:PSF(70:30) ค) SF:PSF(50:50) และ ง) SF:PSF(30:70)

จากภาพที่ 8 แสดงลักษณะปรากฏของบะหมี่นึ่งที่ทำจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วนต่างๆ โดยบะหมี่ WF จะมีสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ และมีลักษณะเส้นที่ยืดหยุ่น ส่วนบะหมี่ SF:PSF(70:30) และ SF:PSF(50:50) เส้นมีสีแดงคล้ำ ผิวเรียบ เส้นไม่และ

และไม่เหนียวติดกัน มีลักษณะยึดหยุ่นดี ส่วนบะหมี่ SF:PSF(30:70) เส้นมีสีแดงคล้ำ ผิวขรุขระ เส้นไม่แฉะและไม่เหนียวติดกัน มีลักษณะยึดหยุ่นดี

การนึ่งมีผลทำให้สตาร์ชเกิดการพองตัวและเกิดเจลลาทีไนซ์ (Hou, 2001) เวลาที่ใช้ในการนึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นบะหมี่ สามารถตรวจสอบความสุกของบะหมี่นึ่งโดยนำเส้นบะหมี่มาวางระหว่างแผ่นกระจกใสสองแผ่นแล้วกด ถ้าไม่พบไตขาวตรงกลางเส้นบะหมี่ก็หมายความว่าบะหมี่สุก (Hou, 2001) ความชื้นของบะหมี่นึ่งแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ความชื้นของเส้นบะหมี่แป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ ภายหลังกการนึ่งด้วยเวลาแตกต่างกัน

Sample	Steaming time (min)				
	0	5	10	15	20
WF	35.02±0.23b	51.69±0.14b	54.04±0.43b	54.33±0.27c	58.05±0.49b
SF:PSF(70:30)	39.46±0.03a	55.19±0.74a	64.88±0.29a	60.90±0.33a	60.90±0.33a
SF:PSF(50:50)	34.94±0.07b	43.88±0.50d	55.74±1.32b	57.06±0.33b	55.17±0.72c
SF:PSF(30:70)	34.70±0.13b	49.52±0.25c	55.18±0.12b	56.75±0.53b	54.31±1.61c

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 19 ความชื้นของเส้นบะหมี่เริ่มต้นมีค่าระหว่างร้อยละ 34.70-39.46 เมื่อนำไปนึ่งพบว่าความชื้นของเส้นบะหมี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการนึ่งนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจน สตาร์ชแกรนูลจึงสามารถดูดน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากขึ้น ปริมาณความชื้นของเส้นบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างมีความแตกต่างจากบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีเพียงเล็กน้อย ยกเว้นบะหมี่ SF:PSF(70:30) ที่พบว่ามีปริมาณความชื้นสูงกว่าบะหมี่สูตรอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าบะหมี่ SF:PSF(70:30) ใช้ปริมาณน้ำสูงกว่าสูตรอื่นๆ ในขั้นตอนการเตรียม หรืออาจเป็นเพราะว่าในบะหมี่ SF:PSF(70:30) มีปริมาณแป้งข้าวฟ่างที่ไม่ผ่านการตัดแปรเป็นส่วนผสมมากกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งแป้งข้าวฟ่างที่ไม่ผ่านการตัดแปร สตาร์ชแกรนูลจะยังคงสมบูรณ์จึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดีกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการตัดแปร โดยวิธีพรีเจลลาทีไนซ์ ซึ่ง

เมื่อผ่านการตัดแปรรูปสารจะถูกทำให้แตกออก (Yan and Zhenghiao, 2010) ดังนั้นมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างไม่ดี

ตารางที่ 20 ค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ผ่านการนึ่งด้วยเวลาแตกต่างกัน

	sample	Steaming time (min)			
		5	10	15	20
Force (g)	WF	16.53±0.37a	19.08±0.42a	15.35±0.16b	17.22±0.58a
	SF:PSF(70:30)	7.15±0.04c	8.52±0.23c	9.79±1.20c	9.21±0.28c
	SF:PSF(50:50)	16.85±0.86a	13.06±1.42b	14.32±1.85bc	12.52±0.62b
	SF:PSF(30:70)	13.65±0.32b	20.40±0.50a	19.27±1.50a	11.79 ±1.00b
Distance (mm)	WF	39.34±6.89a	25.17±7.03a	16.52 ±1.56b	23.05±4.84a
	SF:PSF(70:30)	6.51±0.33b	10.87±2.85b	11.28±1.03c	11.81±2.55b
	SF:PSF(50:50)	10.33±1.65b	22.40±2.33a	19.29±3.85b	19.19±3.42a
	SF:PSF(30:70)	10.22±0.66b	23.38±1.22a	26.79±1.90a	15.51±0.37a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากนั้นนำบะหมี่ที่ผ่านการนึ่งระยะเวลาต่างๆ มาตรวจสอบสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส โดยพิจารณาจากค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุดในการดึง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 20 จากการทดลองพบว่า การนึ่งด้วยระยะเวลาสั้นคือ 5 นาที บะหมี่ทั้ง 4 สูตรยังไม่เกิดเจลลาทีไนซ์ที่สมบูรณ์ เพราะเมื่อทดสอบเส้นบะหมี่โดยกดด้วยกระจกใดยังพบแกนกลางที่เป็นสีขาว และเมื่อเพิ่มเวลาในการนึ่งเป็น 10 นาที พบว่าบะหมี่ทั้ง 4 สูตรเกิดเจลลาทีไนซ์ที่สมบูรณ์ เพราะไม่พบไตขาวในเส้นบะหมี่ทั้งสี่สูตร จากการพิจารณาทั้งค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึง พบว่าการนึ่งเป็นเวลา 10 นาที บะหมี่ WF จะมีค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุดในการดึงสูงสุด คือ 19.08 กรัม และ 25.17 มม. ตามลำดับ ส่วนบะหมี่ SF:PSF(70:30) SF:PSF(50:50) และ SF:PSF(30:70) ใช้เวลาในการนึ่งเป็น 15 นาที จึงจะทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุด และ ระยะทางสูงสุดในการดึงที่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งแต่ละสูตรมีค่าแรงดึงสูงสุด คือ 9.79 14.32 และ 19.27 กรัม ตามลำดับ ส่วนค่าระยะทางดึง

สูงสุด คือ 11.28 19.29 และ 26.79 มม. ตามลำดับ (ตารางที่ 20) จากผลการทดลองนี้สรุปว่า ระยะเวลาในการนึ่งมีผลต่อความแข็งแรงและความสามารถในการดึงยึดของเส้น โดยระยะเวลานึ่งที่เหมาะสมของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างคือ 15 นาที

ตารางที่ 21 ค่าพีเอช และปริมาณร้อยละการดูดน้ำของบะหมี่ที่ผ่านการนึ่ง

Treatments	pH <sup>ns</sup>	Water uptake (%)
WF	10.09±0.16	45.50±3.46b
SF:PSF(70:30)	10.01±0.11	59.44±1.31a
SF:PSF(50:50)	10.08±0.01	47.72±3.75b
SF:PSF(30:70)	10.10±0.08	50.23±4.56b

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ )

– ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 21 ค่าพีเอชของบะหมี่นึ่งมีค่าประมาณ 10 ซึ่งไม่แตกต่างกับบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการต้ม ในขณะที่ปริมาณร้อยละการดูดน้ำของบะหมี่ข้าวฟ่างนึ่งมีค่าระหว่าง 47.72-59.44 ซึ่งต่ำกว่าบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการต้ม (59.41-94.89) (ดังตารางที่ 17) อาจเป็นเพราะว่าการต้มเป็นการทำให้บะหมี่ได้สัมผัสกับน้ำที่ใช้ต้มโดยตรง ดังนั้นน้ำจึงแพร่เข้าสู่เส้นบะหมี่ได้ง่าย ในขณะที่การนึ่งเป็นการทำให้บะหมี่สุกโดยใช้ไอน้ำร้อน

เวลาที่เหมาะสมของบะหมี่หมายถึงเวลาที่ใช้ในการนึ่งแล้วทำให้บะหมี่มีค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงมีค่าสูงที่สุด จากการทดลองพบว่าเวลาในการนึ่งของบะหมี่ WF เท่ากับ 10 นาที ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF 70:30 50:50 และ 30:70 เท่ากับ 15 นาที (ตารางที่ 20) เมื่อนึ่งบะหมี่ตามเวลานึ่งที่เหมาะสมแล้วนำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีค่าความเค้นต่ำกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF(50:50) และ SF:PSF(30:70) มีค่าความเค้นไม่แตกต่างกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่หนึ่งที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Treatments	Texture parameters	
	Stress (kPa)	Strain
WF	164.90±26.87a	0.69±0.14ab
SF:PSF(70:30)	46.34±4.35c	0.37±0.03c
SF:PSF(50:50)	73.76±4.05bc	0.53±0.03bc
SF:PSF(30:70)	97.72±4.02b	0.73±0.04a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

บะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาทีไนซ์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้บะหมี่ที่ผลิตได้มีค่าความเค้นและความเครียดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการผสมแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ในปริมาณสูงทำให้ส่วนผสมมีความแน่นเนื้อมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้บะหมี่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น การนี้จะมีผลทำให้สตาร์ชภายในเส้นบะหมี่พองตัวและเกิดเจลลาทีไนซ์ ภายหลังการนี้จะต้องนำบะหมี่มาล้างน้ำเย็นเพื่อให้บะหมี่นุ่มขึ้น (Nagao, 1996) Mestres *et al.* (1988) กล่าวว่าความแข็งแรงของเส้นบะหมี่ที่ปราศจากโปรตีนกลูเตนโดยส่วนมากจะมาจากสตาร์ชที่เกิดเจลลาทีไนซ์ในระหว่างการหุงต้ม โดยสตาร์ชที่พองตัวจะมีส่วนของเอมิโลสที่ละลายออกมาแล้วเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่ให้ความแข็งแรงกับเส้นบะหมี่

#### 4. ผลของการเติมสารรีดิวซิงต่อคุณภาพของบะหมี่

เนื่องจากโปรตีนข้าวฟ่างมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนซิสเตอีน (Hamaker and Bugusu, 2003) ซึ่งในโมเลกุลมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ซิสเตอีนจึงมีหมู่ซัลไฟด์ (-SH) ที่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นพันธะไดซัลไฟด์ได้ระหว่างกรดอะมิโนซิสเตอีนที่อยู่ภายในสายพอลิเพปไทด์เดียวกันหรือต่างสายกัน (นิธิยา, 2549) เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ที่มีปริมาณสูงเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นแข็ง ขาดความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงได้ทดลองดัดแปรโครงสร้างของโปรตีนโดยใช้สารรีดิวซิง (ซิสเตอีน) เพื่อให้โปรตีนเกิดการคลายตัวได้มากขึ้น เนื่องจากซิสเตอีนมีคุณสมบัติ

ลดความแข็งของโค โดยสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะไดซัลไฟด์ (disulphide bond) ทำให้โมเลกุลที่เชื่อมด้วยพันธะดังกล่าวแยกออกจากกัน (Bellido and Hatcher, 2009) ทั้งนี้ในงานวิจัยได้เลือกบะหมี่ SF:PSF อัตราส่วน 50:50 มาศึกษาผลของการเติมรีดิวซิ่ง เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้ภายหลังการนึ่งแล้วพบว่ามีความเค้นและความเครียดสูงกว่า SF:PSF(70:30) และมีลักษณะปรากฏของเส้นดึกว่าบะหมี่ SF:PSF(30:70) ตารางที่ 23 แสดงผลของการเติมสารรีดิวซิ่งต่อปริมาณร้อยละการดูดน้ำของบะหมี่

**ตารางที่ 23** ปริมาณร้อยละการดูดน้ำภายหลังการนึ่งของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมซิสเตอีนปริมาณต่าง ๆ

Sample	Water uptake (%) <sup>ns</sup>
SF:PSF(50:50)	43.54±5.68
SF:PSF(50:50)+0.005 Cysteine	45.99±2.91
SF:PSF(50:50)+0.01 Cysteine	45.98±2.91
SF:PSF(50:50)+0.02 Cysteine	45.68±2.51
SF:PSF(50:50)+0.04 Cysteine	45.09±0.13

**หมายเหตุ** – 0.005–0.04 Cysteine คือ ปริมาณซิสเตอีนที่เติมลงไปในตัวอย่าง โดยมีหน่วยเท่ากับ กรัม/100 กรัมแป้ง  
 – ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

จากตารางที่ 23 พบว่าการเติมซิสเตอีนปริมาณ 0.005-0.04 กรัม/ 100 กรัมแป้งไม่มีผลต่อปริมาณการดูดน้ำกลับของบะหมี่ ทั้งนี้บะหมี่ SF:PSF(50:50) ทั้งที่เติมและไม่เติมสารซิสเตอีนมีปริมาณการดูดน้ำกลับระหว่างร้อยละ 43.54- 45.99 ซึ่ง Majzoobi *et al.* (2011) รายงานว่าการเติมซิสเตอีนในปริมาณ 63 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัมน้ำหนักสตาร์ชไม่มีผลต่อสมบัติด้านความร้อน (thermal properties) และระดับความเป็นผลึกของสตาร์ชแป้งสาลี เพียงแต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของสตาร์ช

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นซิสเตอินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างโดยใช้ซิสเตอินปริมาณ 0.005 0.01 0.02 และ 0.04 กรัม/ 100 กรัมแป้ง จากตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังการนึ่งของบะหมี่ที่เติมซิสเตอินปริมาณต่าง ๆ

Sample	Texture parameters	
	Stress (kPa) <sup>ns</sup>	Strain
SF:PSF(50:50)	87.51±1.58	0.64±0.04b
SF:PSF(50:50)+0.005 Cysteine	86.60±1.95	0.67±0.03ab
SF:PSF(50:50)+0.01 Cysteine	85.43±3.32	0.68±0.02ab
SF:PSF(50:50)+0.02 Cysteine	79.52±0.24	0.67±0.04ab
SF:PSF(50:50)+0.04 Cysteine	89.68±8.33	0.73±0.04a

หมายเหตุ – 0.005–0.04 Cysteine คือ ปริมาณซิสเตอินที่เติมลงไปในตัวอย่าง โดยมีหน่วยเท่ากับ กรัม/100 กรัมแป้ง

– ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

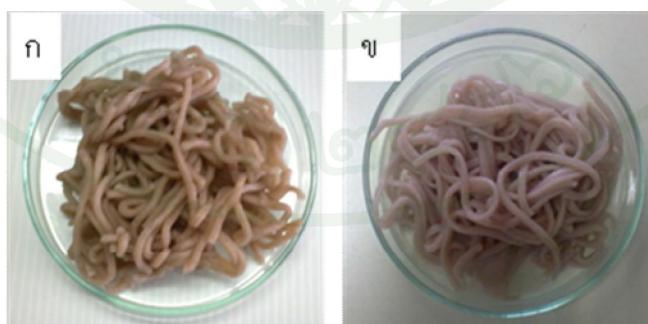
– ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การเติมสารซิสเตอินปริมาณ 0.02 กรัม/ 100 กรัมแป้ง มีผลทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเค้นลดลงเล็กน้อย แต่การเติมสารซิสเตอินมีผลต่อค่าความเครียดมากกว่าค่าความเค้น จากตารางที่ 24 พบว่าการเติมสารซิสเตอินปริมาณ 0.04 กรัม/100 กรัมแป้ง ทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเค้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่ไม่ได้เติมสารซิสเตอิน เนื่องจากว่าซิสเตอินเป็นสารรีดิวซิงทำให้เกิดการแตกออกของพันธะไดซัลไฟด์และไปสนับสนุนการเกิด disulfide-sulfhydryl exchange reaction ซึ่งการตัดพันธะไดซัลไฟด์เป็นการลดความแน่นของโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัวได้มากขึ้น จึงทำให้บะหมี่มีความสามารถในการดึงยึดได้มากขึ้น

## 5. ศึกษาผลของการเติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผงต่อคุณภาพพะหมี่

งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าหากต้องการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพะหมี่ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นต้องปรับสมบัติโปรตีนต้องใช้ซีสเทอีนในปริมาณสูง ดังนั้นในงานวิจัยส่วนนี้จึงได้มีแนวคิดเพิ่มโปรตีนจากแหล่งอื่น โดยในงานวิจัยได้ศึกษาผลของการเติมไข่ขาวทั้งไข่ขาวสดและไข่ขาวผงต่อคุณภาพของเส้นพะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง เนื่องจากไข่ขาวมีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น สมบัติด้านการเกิดเจล มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความสามารถในการเกิดโฟม และเป็นสารให้ความคงตัว ซึ่งสมบัติด้านการเกิดเจล และความสามารถในการกักเก็บน้ำ เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ไข่ขาวถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ซูริมี และผลิตภัณฑ์พะหมี่ (Handa *et al.*, 2001) Hou (2001) กล่าวว่า การเติมไข่ในรูปแบบไข่สด ไข่แช่แข็ง หรือไข่ผงในผลิตภัณฑ์พะหมี่ สามารถเพิ่มรสชาติ เพิ่มความยืดหยุ่น และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นพะหมี่ โดยในงานวิจัยได้ทดลองเติมไข่ขาวสดปริมาณร้อยละ 30 และ 50 ในพะหมี่ที่มีอัตราส่วน SF:PSF(70:30) เพราะว่าพะหมี่สูตรนี้เมื่อนำไปทำให้สุกโดยการต้มจะมีลักษณะเส้นที่ละเอียด และเหนียวจนติดกันจนไม่สามารถวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้

นอกจากนี้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การเติมเบสไม่มีผลต่อค่าแรงดึงสูงสุด และระยะทางสูงสุดในการดึงของเส้นพะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง (ผลไม่ได้แสดง) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกที่จะไม่ใส่สารละลายต่าง เพราะการไม่ใส่สารละลายต่างทำให้ลักษณะสีของพะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีลักษณะที่ดีขึ้นคือมีความเป็นสีแดงคล้ำลดลง



ภาพที่ 9 พะหมี่แป้งข้าวฟ่าง ก) SF:PSF(70:30) และ ข) SF:PSF(70:30) เติมไข่ขาวสดปริมาณร้อยละ 50 ภายหลังจากต้มสุก

ลักษณะเส้นบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ในอัตราส่วน 70:30 ทั้งที่ไม่เติมและเติมไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 50 แสดงดังภาพที่ 9 พบว่าภายหลังทำให้บะหมี่สุก โดยการต้มบะหมี่ที่ไม่เติมไข่ขาวดิบจะมีลักษณะค่อนข้างละเอียด และ และมีเส้นที่เหนียวติดกัน แต่เมื่อเติมไข่ขาวดิบเส้นบะหมี่จะมีลักษณะดีขึ้น คือ เส้น ไม่ละเอียด และ ไม่เหนียวติดกัน ส่วนสีของบะหมี่ทั้งสองแบบทั้งเติมและไม่เติมไข่ขาวจะมีสีชมพูอ่อนลง การเติมไข่ขาวช่วยลดความเหนียวเหนอะหนะของเส้นบะหมี่ได้ เป็นเพราะว่าเมื่อให้ความร้อนจะทำให้ไข่ขาวเกิดโครงสร้างตาข่ายโปรตีนที่มีความแข็งแรงช่วยห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชไว้ (Khouryieh *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงช่วยลดการละลายของโมเลกุลสตาร์ชในระหว่างการหุงต้ม จึงทำให้ผิวบะหมี่มีความเหนียวลดลง

เนื่องจากบะหมี่ SF:PSF(70:30) เมื่อนำเส้นสดไปต้มในน้ำเดือดจะทำให้เส้นบะหมี่มีลักษณะและ จนไม่สามารถนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ และเมื่อทดลองเติมไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 30 และ 50 พบว่าการเติมไข่ขาวสดมีผลทำให้บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีความแข็งแรงของเส้นมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากเมื่อเติมไข่ขาวสดทำให้บะหมี่ SF:PSF(30:70) สามารถนำไปต้มในน้ำเดือดได้โดยเส้นไม่ละเอียด และเมื่อนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 50 มีความเส้นสูงกว่าการเติมไข่ขาวสดร้อยละ 30 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 25)

**ตารางที่ 25** ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 30 และ 50 ภายหลังต้มสุก

Treatments	Texture parameters	
	Stress(kPa) <sup>ns</sup>	Strain <sup>ns</sup>
SF:PSF(70:30)	-	-
SF:PSF(70:30) + 30% egg white	18.61±3.69	0.52±0.11
SF:PSF(70:30) + 50% egg white	21.02±3.94	0.51±0.08

หมายเหตุ – ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

– สัญลักษณ์ - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้

เนื่องจากการใช้ไข่ขาวสดเป็นส่วนผสมทำให้ยากต่อการควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในเดิมเพื่อผลิตบะหมี่ ดังนั้นจึงได้ศึกษาการเติมไข่ขาวผงในบะหมี่แป้งข้าวฟ่าง โดยได้เปรียบเทียบผลของการเติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผลิตได้ โดยได้ควบคุมตัวอย่างให้มีปริมาณของแข็ง (โปรตีน) เท่ากัน ซึ่งการใช้ไข่ขาวสดในปริมาณร้อยละ 50 จะมีปริมาณของแข็งเท่ากับร้อยละ 7.18

ตารางที่ 26 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ต้มที่เติมไข่ขาวสด และไข่ขาวผง

Treatment	Texture parameters	
	Stress (kPa)	Strain
SF:PSF(70:30) + 50 % egg white	21.31±3.99b	0.51±0.80b
SF:PSF(70:30) + 7.18% egg white powder	22.60±6.38b	0.50±0.14b
SF:PSF(50:50) + 7.18% egg white powder	39.63±10.88a	0.62±0.04a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 26 เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมไข่ขาวสด และไข่ขาวผงในผลิตภัณฑ์บะหมี่ SF:PSF(70:30) พบว่าการเติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผงที่มีปริมาณของแข็งเท่ากัน ทำให้ความเค้นและและความเครียดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่การเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 7.18 ในสูตรบะหมี่ SF:PSF(50:50) มีผลทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้มีค่าความเค้นและความเครียดสูงกว่าบะหมี่ SF:PSF(70:30) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อาจเป็นเพราะการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวฟ่างพรีเจลลาคีไนซ์ในส่วนผสมมากขึ้นทำให้บะหมี่มีความแน่นเนื้อมากขึ้น

จากการทดลองเติมไข่ขาวผงปริมาณร้อยละ 7.18 ในบะหมี่ SF:PSF(70:30) และ SF:PSF(50:50) พบว่าบะหมี่ SF:PSF(50:50) มีค่าความเค้นและความเครียดสูงกว่า SF:PSF(70:30) (ตารางที่ 26) ดังนั้นการทดลองถัดไปจึงเลือกเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 ในบะหมี่ SF:PSF(50:50) เพื่อหาปริมาณไข่ขาวผงที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง ลักษณะปรากฏของบะหมี่ดิบและบะหมี่สุกแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์เติมไข่ขาวผง ในระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ก่อนและหลังต้มสุก

จากภาพที่ 10 บะหมี่ SF:PSF(50:50) ที่ไม่เติมไข่ขาวผง เส้นดิบจะเรียบและมีสีคล้ำ เมื่อผ่านการต้มสุก จะมีผิวเรียบ เปราะ และขาดง่าย เมื่อมีการเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5-15 ลักษณะเส้นดิบมีลักษณะเรียบ สีคล้ำ ไม่แตกต่างกับบะหมี่ SF:PSF(50:50) ที่ไม่ได้เติมไข่ขาวผง และเมื่อผ่านการต้มสุก บะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5-15 มีลักษณะเส้นที่เรียบ มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อเทียบกับบะหมี่ที่ไม่ได้เติมไข่ขาวผง และเมื่อเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 20 พบว่าโคมีลักษณะเหนียวมากขึ้น ยากต่อการรีดให้เป็นเส้น เมื่อผ่านการตัดเส้นจะมีลักษณะหักงอ ผิวค่อนข้างขรุขระ และเมื่อผ่านการต้ม เส้นจะมีลักษณะ เรียบ แข็ง และมีความยืดหยุ่นต่ำ

ตารางที่ 27 ปริมาณร้อยละการดูดน้ำ และปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างหุงต้มของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวผงในระดับร้อยละ 5 10 15 และ 20

Treatments	Water uptake (%)	Cooking loss (%)
WF	183.34±4.12a	7.32±0.52b
SF:PSF(50:50)	86.37±3.68c	9.32±1.05c
SF:PSF(50:50)+5% egg white powder	110.43±8.15b	7.00±0.91b
SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	112.10±1.55b	5.26±0.38a
SF:PSF(50:50)+15% egg white powder	120.86±5.02b	4.64±0.16a
SF:PSF(50:50)+20% egg white powder	126.22±12.93b	6.00±0.58b

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์นี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 27 พบว่าการเติมไข่ขาวผงทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณร้อยละการดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณร้อยละการดูดน้ำของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่เติมไข่ขาวผงยังคงมีค่าต่ำกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี อาจเป็นเพราะว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีมีโครงสร้างกลูเตนในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างจึงทำให้มีปริมาณร้อยละการดูดน้ำสูงกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่ซึ่งปราศจากโครงสร้างกลูเตน ในขณะที่การเติมไข่ขาวผงทำให้ปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มมีค่าลดลง ทั้งนี้พบว่าการเติมไข่ขาวผงปริมาณร้อยละ 10 -15 ทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มต่ำกว่าบะหมี่แป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

บะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงในระดับร้อยละ 10 และร้อยละ 15 มีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มต่ำกว่าบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงในระดับร้อยละ 5 และร้อยละ 20 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการเติมไข่ขาวจะทำให้โครงสร้างตาข่ายโปรตีนมีความแข็งแรงช่วยห่อหุ้มเม็ดสตาร์ช และกักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นบะหมี่ (Khouryieh *et al.*, 2006) จึงทำให้บะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงมีปริมาณร้อยละการดูดน้ำเพิ่มขึ้น และมีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มลดลง แต่ถ้าเติมไข่ขาวในปริมาณมากเกินไปตัวไข่ขาวเองอาจจับกลุ่มกันเองแล้วแยกเฟสที่เป็นสตาร์ชออกมาจึงทำให้ง่ายที่สตาร์ชจะละลายออกมาในระหว่างการหุงต้ม จึงทำให้ตัวอย่างที่เติมไข่ขาวในปริมาณร้อยละ 20 มีปริมาณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เติมไข่ขาวในปริมาณร้อยละ 10 และ 15

**ตารางที่ 28** ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่าง ปริมาณไขมันในอัตราส่วน 50:50 ที่เติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักแป้ง

Treatments	Texture parameters	
	Stress (kPa)	Strain
WF	64.11±9.74a	0.99±0.03a
SF:PSF(50:50)	17.94±12.08c	0.29±0.14c
SF:PSF(50:50)+5% egg white powder	25.78±9.70bc	0.54±0.02b
SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	44.96±5.66ab	0.64±0.05b
SF:PSF(50:50)+15% egg white powder	44.67±10.88ab	0.57±0.08b
SF:PSF(50:50)+20% egg white powder	44.14±6.33ab	0.55±0.04b

**หมายเหตุ** – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ทดลองเติมไข่ขาวผงในบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างปริมาตรไขมันในอัตราส่วน 50:50 โดยทดลองเติมไข่ขาวผงในระดับร้อยละ 5 10 15 และ 20 จากนั้นนำบะหมี่ไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าการเติมไข่ขาวผงปริมาณร้อยละ 10-20 มีผลทำให้บะหมี่มีค่าความเค้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ความเครียดของบะหมี่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติม

ไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5-20 และเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีพบว่า การเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 10-20 ทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีความเค้นไม่แตกต่างกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากโครงสร้างของเส้นบะหมี่ที่ปราศจากกลูเตนจะมีสตาร์ชที่เกิดเจลลาตินไนซ์แล้วเป็น โครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรงแก่เส้นบะหมี่ และเมื่อมีการเติมโปรตีนไข่ขาวเข้าไปในระบบ โปรตีนไข่ขาวจะเกิดเจลเมื่อให้ความร้อนและไปช่วยเสริมให้โครงสร้างตาข่ายของสตาร์ชมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Schoenlechner *et al.*, 2010)

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าการเติมไข่ขาวผงทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าปริมาณการคูดน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณการสูญเสียของแข็งระหว่างการหุงต้มลดลง ค่าความเค้นและความเครียดเพิ่มขึ้น

## 6. การแช่เยือกแข็งบะหมี่

กระบวนการแช่เยือกแข็งถูกนำมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บของบะหมี่ ในงานวิจัยนี้เลือกการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องมือสองชนิดคือ ตู้แช่เยือกแข็ง (Chest freezer) ที่อุณหภูมิ  $-16 \pm 1$  องศาเซลเซียส อัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 0.03 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งเรียกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า และเครื่องไครโอจินิก (Cryogenic freezer) ที่อุณหภูมิ  $-35 \pm 3$  องศาเซลเซียส อัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 1.38 องศาเซลเซียสต่อนาทีซึ่งเรียกว่าการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว ภายหลังจากการแช่เยือกแข็งพบว่าบะหมี่มีการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งแสดงดังตารางที่ 29-30

- สีของบะหมี่หลังแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็ว

จากตารางที่ 29 พบว่าภายหลังจากนึ่งบะหมี่ WF มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) สูง ในขณะที่บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างฟรีเจลลาตินไนซ์มีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) สูง และเมื่อนำบะหมี่แป้งสาลีมาผ่านการแช่เยือกแข็ง พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว ไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) แต่การแช่เยือกแข็งทั้งสองแบบมีผลให้ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 29 ค่าสีของบะหมี่หลังนึ่ง และหลังแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบรวดเร็ว

		WF	SF:PSF(70:30)	SF:PSF(50:50)	SF:PSF(30:70)
Before freezing		64.20±0.58a	38.45±0.28a	39.15±0.50a	40.77±1.06a
Slow freezing	L*	63.25±0.81a	35.50±0.12b	35.65±1.15b	35.62±1.43b
Fast freezing		53.51±1.30b	27.33±1.20c	25.52±1.12c	25.33±0.48c
Before freezing		4.09±0.33c	4.25±0.19a	4.02±0.22a	5.36±0.40a
Slow freezing	a*	4.88±0.03b	2.57±0.16b	2.69±0.25b	2.76±0.58b
Fast freezing		6.16±0.04a	4.71±0.05a	4.72±0.20a	5.15±0.17a
Before freezing		26.04±0.60ns	4.14±0.13ns	3.76±0.49ns	4.20±1.05a
Slow freezing	b*	24.21±0.09ns	1.42±0.13ns	1.59±0.22ns	1.60±0.42b
Fast freezing		25.07±1.79ns	3.53±1.72ns	3.56±1.06ns	4.88±0.55a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มของค่าสีเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 – อักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มของค่าสีเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 – ค่า L\* เป็นค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า a\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีแดง (+) หรือความเป็นสีเขียว (-) และค่า b\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีเหลือง (+) หรือความเป็นสีน้ำเงิน

ส่วนบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีในชั้นนั้น พบว่าการแช่เยือกแข็งทั้งสองแบบมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L\*) ลดลง และการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a\*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b\*) ไม่แตกต่างกับสีของบะหมี่ก่อนแช่เยือกแข็ง ความเป็นสีแดงของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมาจากสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีที่ไม่มี ความคงตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ ความเข้มข้น พีเอช แสง ระยะเวลาในการเก็บรักษา และ ออกซิเจน ซึ่ง Coggins and Chamul (2004) กล่าวว่า การแช่เยือกแข็งผลสตรอบเบอร์รี่สด และน้ำสตรอบเบอร์รี่ทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลง ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการที่บะหมี่ที่แช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วทำให้ค่าความเป็นสีแดงของบะหมี่ข้าวฟ่างไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งแบบช้าอาจเป็นเพราะว่าการแช่เยือก

แข็งด้วยอัตราเร็วทำให้ตัวอย่างสัมผัสกับออกซิเจนสั้นกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่าสีของบะหมี่หลังผ่านการแช่เยือกแข็ง อาจเป็นเพราะว่าบะหมี่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นแป้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อสตาร์ชที่ผ่านการเจลาทิไนเซชันแล้วถูกนำมาไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลเอมิโลสขนาดเล็กจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) (Smith, 1979) ซึ่งส่งผลให้บะหมี่มีความชุ่มเพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อค่าการหักเหของแสงเมื่อนำมาวัดค่าสี

- ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่หลังแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็ว

ผลของการแช่เยือกแข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่แสดงดังตารางที่ 30 ภายหลังการละลายน้ำแข็งโดยใช้ไมโครเวฟแล้วนำบะหมี่ไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าการแช่แข็งทั้งสองแบบไม่มีผลต่อค่าความเค้นและความเครียดของบะหมี่ WF และ SF:PSF(50:50) ส่วนบะหมี่ SF:PSF(30:70) มีค่าความเค้นและความเครียดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองแบบ ในขณะที่บะหมี่ SF:PSF(70:30) เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าแล้วนำมาละลาย พบว่าบะหมี่มีลักษณะเส้นที่อ่อนแอมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ การเกิดผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างอาหารภายหลังการแช่เยือกแข็งเป็นส่วนสำคัญในการทำลายโครงสร้างของอาหารทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ปริมาณและขนาดผลึกน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในอาหารและอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็ง ซึ่งตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นสูงย่อมมีปริมาณผลึกน้ำแข็งที่มากกว่าและสามารถทิ่มทำลายโครงสร้างของอาหารได้มากกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างบะหมี่ SF:PSF(70:30) ที่มีปริมาณความชื้นในเส้นสูงสุด ดังนั้นเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งจึงทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนแอมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่อลักษณะของเนื้อสัมผัสของบะหมี่ภายหลังการแช่เยือกแข็งนั้น พบว่าบะหมี่ที่ผ่านการแช่เยือกแบบรวดเร็วมีค่าความเค้นและความเครียดสูงกว่าบะหมี่ที่แช่เยือกแข็งแบบช้า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าขั้นตอนการลดอุณหภูมิในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งจะมีผลต่อลักษณะของการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในโครงสร้างอาหาร คือ การลดอุณหภูมิแช่แข็งแบบช้าๆ ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่ได้มีปริมาณน้อยแต่มีขนาดใหญ่จึงสามารถทำลายโครงสร้างของอาหารได้มาก ตรงกันข้ามกับการแช่เยือกแข็งที่มีการลดอุณหภูมิลดอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีจำนวนมากและมีขนาดเล็กซึ่งลดการทำลายโครงสร้างของอาหาร (Londahl *et al.*, 1995)

ตารางที่ 30 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่นึ่งก่อนและภายหลังการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบรวดเร็ว

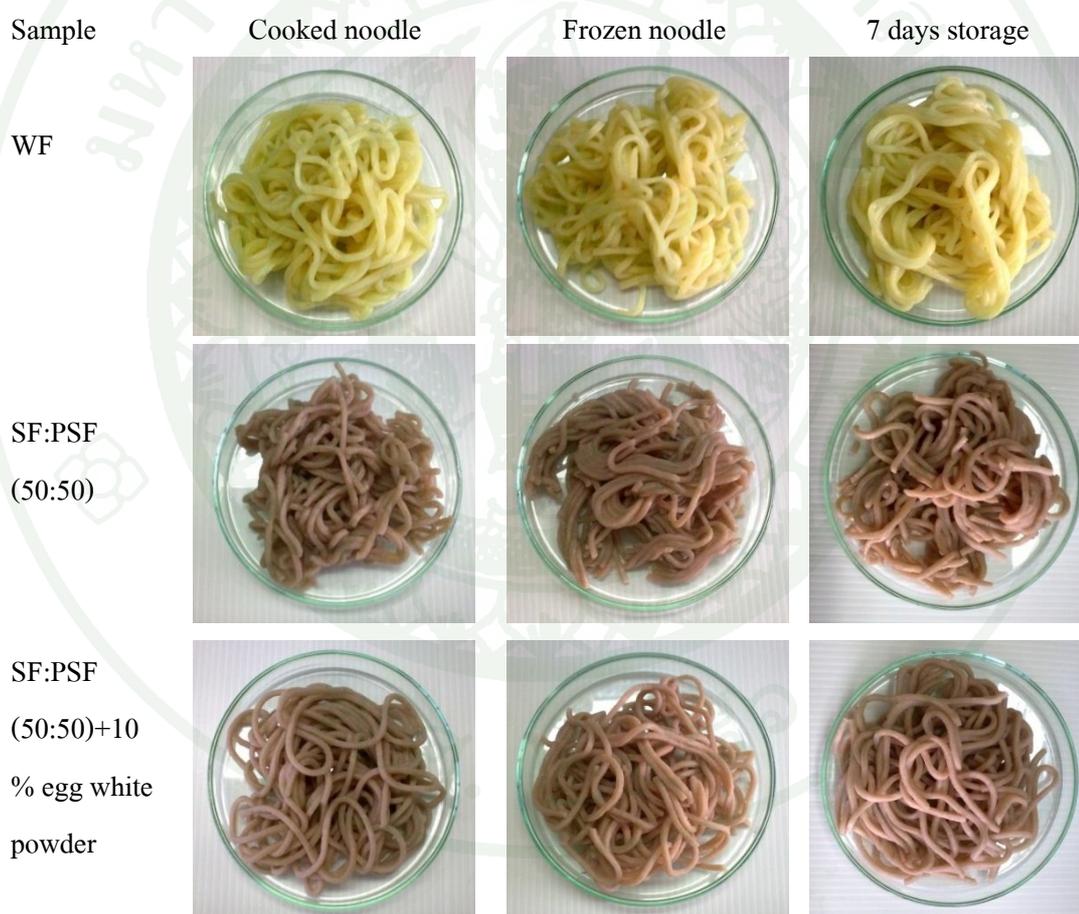
	Sample	Before freezing	Slow freezing	Fast freezing
Stress (kPa)	WF	131.70±25.53a(NS)	87.31±19.96a(NS)	90.60±3.87a(NS)
	SF:PSF(70:30)	42.57±9.06b(NS)	-	30.23±5.64c(NS)
	SF:PSF(50:50)	74.52±22.52ab(NS)	35.67±2.57b(NS)	49.88±11.79bc(NS)
	SF:PSF(30:70)	115.06±18.58ab(A)	43.06±10.66b(B)	52.06±5.53b(B)
Strain	WF	0.69±0.20ab(NS)	0.66±0.01a(NS)	0.69±0.01a(NS)
	SF:PSF(70:30)	0.37±0.04b(NS)	-	0.21±0.05c(NS)
	SF:PSF(50:50)	0.57±0.12ab(NS)	0.29±0.03c(NS)	0.43±0.08b(NS)
	SF:PSF(30:70)	0.73±0.05a(A)	0.36±0.09b(B)	0.47±0.00b(AB)

หมายเหตุ – อักษร a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มของปัจจัยเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 – อักษร (A)-(B) หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 – อักษร NS หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 – สัญลักษณ์ – หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้

เมื่อเปรียบเทียบผลของการแช่เยือกแข็งต่อลักษณะของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง พบว่าการแช่เยือกแข็งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีน้อยกว่าบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่าง (ตารางที่ 30) เนื่องจากเมื่อนำสตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลมาในเซชันมาเก็บในสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีผลให้เกิดปรากฏการณ์การจัดเรียงตัวกันใหม่ของเอมิโลสและเอมิโลเพกตินที่เคาะกระจายกันอยู่ ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบ เรียกว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน ดังนั้นเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากองค์ประกอบของบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีมีส่วน โครงสร้างกลูเตนที่ยังมีความแข็งแรงจึงทำให้เนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง (Aminlari and Majzoobi, 2002) ซึ่งไม่เหมือนกับบะหมี่ที่

ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างซึ่งมีส่วนที่เป็นสตาร์ชเป็นโครงสร้างหลักของเส้นบะหมี่ ดังนั้นเมื่อสตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันจึงทำให้เนื้อสัมผัสของบะหมี่อ่อนแอลงมากกว่า

จากผลการศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 30 พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมีผลทำให้ค่าความเค้นและความเครียดของบะหมี่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า ดังนั้นในการศึกษาถัดไปจึงเลือกใช้การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วเพื่อศึกษาผลของการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่างที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผง



ภาพที่ 11 บะหมี่สุกก่อนแช่เยือกแข็ง หลังแช่เยือกแข็ง และหลังเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 7 วัน

ลักษณะปรากฏของบะหมี่ WF และบะหมี่ SF:PSF(50:50) ที่ไม่ได้เติมไข่ขาวผงและเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 10 ทั้งก่อนแช่เยือกแข็ง หลังแช่เยือกแข็งและหลังการเก็บรักษาหลังแช่เยือกแข็งในตู้แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังภาพที่ 11 พบว่า บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีมีสีเหลืองสว่าง ซึ่งลักษณะสีของบะหมี่ไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษา ส่วนลักษณะเส้นนั้นพบว่าภายหลังการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาเส้นบะหมี่ค่อนข้างไม่ติดกัน ซึ่งแตกต่างกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่ไม่มีการเติมไข่ขาวผง ที่พบว่าภายหลังการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษา เส้นบะหมี่ค่อนข้างติดกัน แต่เมื่อเติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 10 เส้นบะหมี่มีลักษณะดีขึ้น คือไม่ติดกันเหมือนบะหมี่ที่ไม่ได้เติมไข่ขาวผง

- สีของเส้นบะหมี่หลังแช่เยือกแข็งและหลังเก็บรักษา

จากการศึกษาผลของแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาต่อลักษณะสีของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี และบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างทั้งที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 31 พบว่า บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีก่อนแช่เยือกแข็งบะหมี่จะมีค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) และค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูง ในขณะที่บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) สูง ทั้งนี้พบว่า การเติมไข่ขาวผงปริมาณร้อยละ 10 ในบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ของบะหมี่

การเปลี่ยนแปลงค่าสีบะหมี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ภายหลังจากแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน มีผลทำให้บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีมีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ลดลง เมื่อเทียบกับสีของบะหมี่ก่อนแช่เยือกแข็ง ส่วนค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ก่อนแช่เยือกแข็ง ส่วนบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างทั้งที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผง พบว่าการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่าง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของบะหมี่ก่อนแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 31)

ตารางที่ 31 สีของบะหมี่แป้งสาลี และบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผง ก่อนแช่เยือกแข็ง หลังแช่เยือกแข็งและหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

	WF	SF:PSF(50:50)	SF:PSF(50:50)+10% egg white powder
Before freezing	71.16±0.21ns	54.55±0.46ns	57.15±1.92ns
Frozen noodle L*	71.07±0.57ns	54.86±0.27ns	56.33±0.54ns
7 days storage	72.23±0.34ns	56.08±1.21ns	58.28±0.53ns
Before freezing	0.45±0.00a	6.84±0.33ns	6.57±0.47ns
B Frozen noodle a*	0.17±0.06b	7.00±0.59ns	6.42±0.04ns
7 days storage	0.16±0.03b	6.40±0.08ns	6.56±0.39ns
Before freezing	16.87±0.02ns	6.75±0.18ns	6.91±0.14ns
Frozen noodle b*	17.57±0.48ns	7.74±1.48ns	7.02±0.06ns
7 days storage	17.19±0.15ns	6.66±0.79ns	7.29±0.27ns

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มของค่าสีเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

– อักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มของค่าสีเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

– ค่า L\* เป็นค่าที่บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า a\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีแดง (+) หรือความเป็นสีเขียว (-) และค่า b\* คือค่าที่ใช้บอกความเป็นสีเหลือง (+) หรือความเป็นสีน้ำเงิน (-)

- ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่หลังแช่เยือกแข็งและหลังเก็บรักษา

จากผลการศึกษาค่าการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาหลังการแช่เยือกแข็งต่อสมบัติของบะหมี่แป้งข้าวฟ่างที่เติมและไม่เติมไข่ขาวผง จากผลการทดลองพบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีมีความเค้นลดลงภายหลังการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาแต่ความเค้นไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมไข่ขาวผงปริมาณร้อยละ 10 มีค่าความเค้นและความเค้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ภายหลังการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษา ในขณะที่บะหมี่แป้ง

ข้าวฟ่างที่ไม่เติมไข่ขาวผงภายหลังการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษา เส้นบะหมี่มีความอ่อนแอมากจนไม่สามารถวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 32 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ต้มก่อนและหลังแช่เยือกแข็ง และภายหลังเก็บรักษา 7 วัน ในตู้แช่เยือกแข็ง

	Sample	Cooked noodle	Frozen noodle	7 days storage
Stress (kPa)	WF	71.80±8.25a(A)	49.20±1.79a(B)	58.24±4.81a(AB)
	SF:PSF(50:50)	19.54±7.83c	-	-
	SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	47.60±6.12b(A)	26.37±8.47b(B)	23.40±12.13b(B)
Strain	WF	1.05±0.03a(NA)	0.82±0.23a(NA)	1.01±0.01a(NA)
	SF:PSF(50:50)	0.33±0.10c	-	-
	SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	0.64±0.05b(A)	0.41±0.02b(B)	0.39±0.09b(B)

หมายเหตุ – อักษร a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์ของปัจจัยเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

– อักษร (A)-(B) หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

– สัญลักษณ์ – หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้

ทั้งนี้การที่บะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างผสมแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีในซมีค่าความเค้นและความเครียดลดลงมากเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี น่าจะเกิดจากบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีสตาร์ชเป็นโครงสร้างหลัก เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งสตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันจึงทำให้เส้นบะหมี่อ่อนแอลง ซึ่งเมื่อเทียบกับบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีที่มีโครงสร้างของโปรตีนกลูเตนที่ยังคงทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเส้นบะหมี่เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง และอีกปัจจัยหนึ่งอาจเกิดจากการตัดแปรรูปด้วยวิธีพรีเจลาทีในเซชันจะทำให้แป้งมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายลดลง เนื่องจากมีการแตกหักของโมเลกุลเอมิโลสและเอมิโลเพกตินบางส่วน ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจทำให้สามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้กันเป็นไปได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิด

การกินตัวได้มากขึ้น ส่งผลให้ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายได้น้อยลง (สุภารัตน์ และคณะ, 2542) ในขณะที่ไข่ขาวเองเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งก็จะทำให้เกิดลักษณะเหนียว (tough) หรือเหนียวเป็นยาง (rubbery) และอาจทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำภายในโครงสร้างอาหารได้ (Cotterill, 1995)



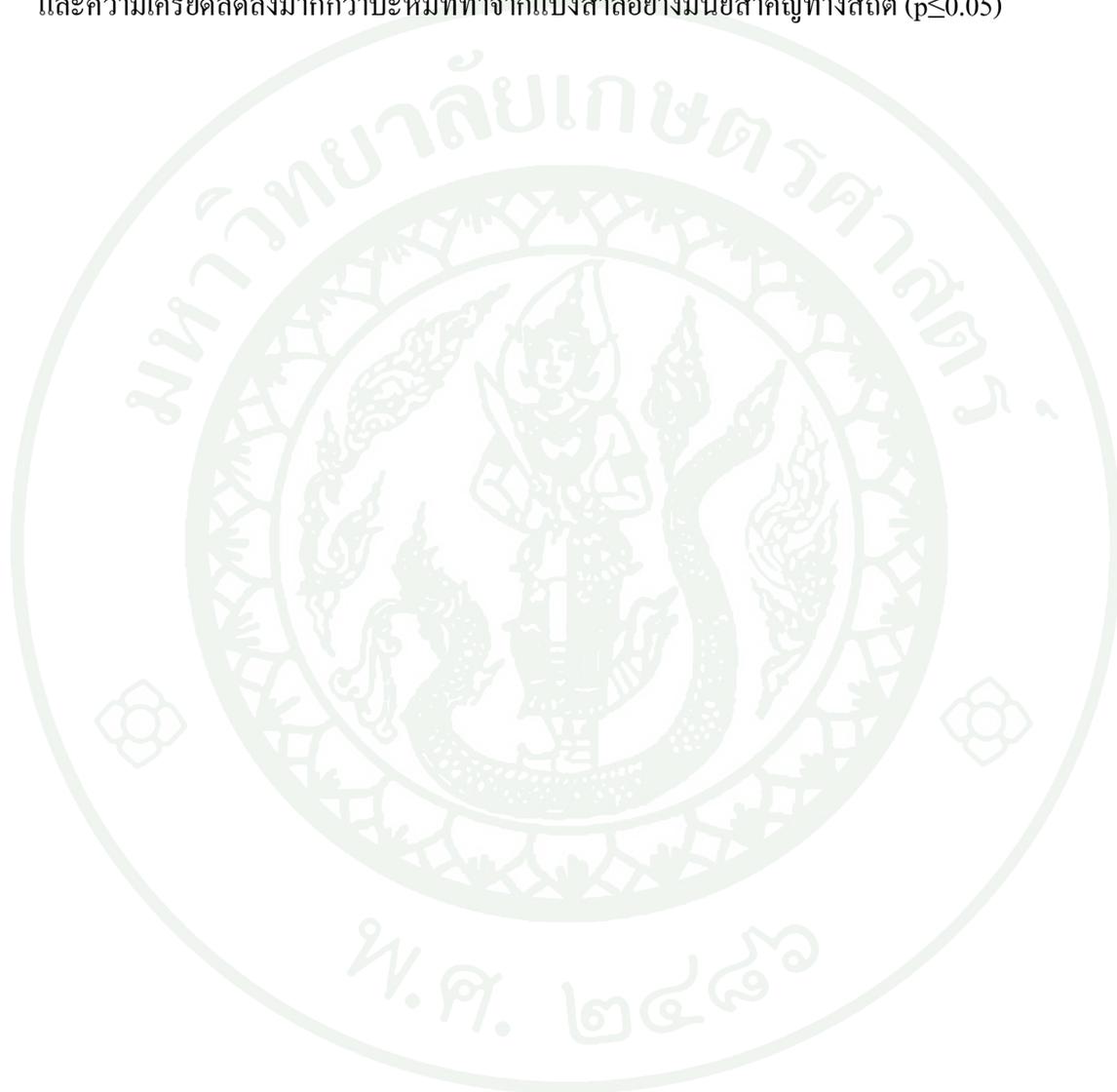
## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ พบว่าแป้งข้าวฟ่างที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้าเส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 8.10 0.27 0.54 0.63 และ 90.46 ตามลำดับ นอกจากนี้แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 21.79 แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) สูง การตัดแปรแป้งข้าวฟ่างโดยใช้ลูกกลิ้งคู่ทำให้แป้งข้าวฟ่างมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น ในแป้งข้าวฟ่างพบแอนโทไซยานินประมาณ 0.02 กรัม/กรัม แป้ง ภายหลังการตัดแปรแบบพรีเจลาทีไนซ์แป้งข้าวฟ่างมีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายสูงขึ้น เมื่อวิเคราะห์สมบัติความหนืดพบว่า การตัดแปรทำให้แป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ให้ความหนืดได้ทันที และมีความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ส่วนช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งข้าวฟ่างมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันระหว่าง 71.04-79.85 องศาเซลเซียส และค่าเอนทัลปีเท่ากับ 11.85 จูลต่อกรัม

การผสมแป้งข้าวฟ่าง (SF) และแป้งข้าวฟ่างพรีเจลาทีไนซ์ใน อัตราส่วน 70:30 50:50 และ 30:70 สามารถผลิตเป็นเส้นบะหมี่ได้ ลักษณะเส้นบะหมี่ดิบมีสีแดงคล้ำ ในขณะที่บะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลี (WF) มีสีเหลืองสว่าง เมื่อนำบะหมี่ไปต้มในน้ำเดือดทำให้บะหมี่ SF:PSF(70:30) มีลักษณะเปื่อยยุ่ย อ่อนแองจนไม่สามารถนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ แต่เมื่อนำบะหมี่มาทำให้สุกโดยการนึ่งพบว่าบะหมี่นี้มีความคงตัวมากขึ้น เวลาในการนึ่งที่เหมาะสมของบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างเท่ากับ 15 นาที ปริมาณการดูดน้ำ ค่าความเครียดของ SF:PSF(30:70) ไม่แตกต่างกับบะหมี่จากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การเติมซีสเตอีนปริมาณ 0.005-0.04 กรัม/100 กรัม แป้ง ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดน้ำของบะหมี่แป้งข้าวฟ่าง แต่การเติมซีสเตอีนปริมาณ 0.04 กรัม/ 100 กรัม แป้ง ทำให้บะหมี่แป้งข้าวฟ่างมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การเติมไข่ขาวผงทำให้ปริมาณการดูดน้ำเพิ่มขึ้น และลดปริมาณการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้ม ปริมาณไข่ขาวผงที่เหมาะสมในการเติมในบะหมี่ SF:PSF(50:50) คือร้อยละ 10 ทำให้บะหมี่ที่ได้มีค่าความเค้นไม่แตกต่างกับบะหมี่จากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาผลของการแช่เยือกแข็ง พบว่า การแช่เยือกแข็งบะหมี่แบบรวดเร็วสามารถรักษาสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า และบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าบะหมี่ที่ไม่เติมไข่ขาวผงเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว แต่เมื่อเก็บรักษาบะหมี่ในตู้แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 7 วัน พบว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างมีค่าความเคঁ้นและความเครียดลดลงมากกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แชนแทนกัม กัวร์กัม เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวฟ่างเพิ่ม เพราะสารไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติในการเป็นสารยึดเกาะที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของเส้นบะหมี่ที่ทำจากแป้งที่ปราศจากกลูเตนได้
2. การตัดแปรรูปด้วยวิธีฟรีเจลาทีไนซ์ทำให้แป้งมีความทนต่อการแช่เยือกแข็งต่ำ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการตัดแปรรูปแบบความร้อนร่วมกับความชื้น หรือแบบพันธะเชื่อมข้ามเพื่อให้แป้งมีความทนต่อการแช่เยือกแข็ง

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลพรรณ วิวัฒน์วานิชย์. 2547. ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ กูเทน และเบส ต่อคุณภาพของบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กมลทิพย์ มั่นภักดี. 2542. การตัดแปรสตาarchในแป้งข้าวเพื่อทำแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร (เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กีนจันทร์ ณ นคร. 2552. ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาarchข้าวพรีเจลาตีไนซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำริญ อัจฉราภิรักษ์. 2537. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมีแบบเชื่อมข้าม (cross-linking) ร่วมกับวิธีอะซิไทลเลชัน (acetylation) และพรีเจลาตีไนเซชัน (pregelatinization). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุลีกร วัชรารัตน์. 2549. ผลิตภัณฑ์บะหมี่จากแป้งข้าวพร้อมบริโภคนแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

วนิดา เทวารุทธ์. 2552. การสกัดสารแอนโทไซยานินในธัญพืชมีสี. วารสารอาหาร. 39: 293- 298.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร. 2539. ไข่และผลิตภัณฑ์, หน้า 230-247. ใน **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวาพร ศิวเวช. 2533. **ผลิตภัณฑ์จากข้าวฟ่าง เล่ม 1**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 40 หน้า.

\_\_\_\_\_. 2542. การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. **วารสารอุตสาหกรรมเกษตร**. 10: 55-58.

ธีรศิลป์ โพธิ์สูง. 2530. **การปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง**. เอกสารวิชาการ โครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง (ศ.2.1). ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. **วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร**. โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

ลัดดา ยังประสิทธิ์พร. 2532. **การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีนซ์ในขนมจีน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2534. **การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบชนิดต่างๆ**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2540. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร, น. 131–163. ใน **คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, ผู้รวบรวม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภรัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, วารุณี วารุญญานนท์ และ ชมดาว สิกขะมณฑล. 2542. การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่นคุณภาพของบะหมี่และแผ่นกึ่งว ใน **รายงานชุดโครงการวิจัยการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหาร** คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สั้มพันธ์ คัมภีรานนท์. 2546. แอนโทไซยานิน สีสัันเพื่อโลกสวย. **UPDATE**. 186: 53-56.

หทัยชนก ชะนะปาโมกโข. 2551. สัมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์และการเกิดเจลของสตาร์ชและแป้งข้าว ฟ้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หทัยชนก บั้ววาริ. 2553. เคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ้างที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีพรีเจ ลาทีในเซชันที่แตกต่างกัน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_, อนุวัตร แจ้งซัด, น้ำฝน ลำดับวงศ์, วีระสิทธิ์ กัลป์ยากฤต และอนุกุล วัฒนสุข.  
2548. การปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว ใน รายงานผลการวิจัยฉบับ สมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัย การปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว. คณะ อดุทธสาหรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AACC. 2000. **Approved Method of the American Association of Cereal Chemist**. 10<sup>th</sup> ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Alamprese, C., E. Casiraghi and M. A. Pagani. 2007. Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. **European Food Research and Technology**. 225: 205-213.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 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.

Alexander, R. J. 1995. Pregelatinized starches-what are they all about?. **Cereal Foods World**. 40: 769-770.

- Aminlari, M. and M. Majzoobi. 2002. Effect of chemical modification, pH change, and freezing on the rheological, solubility, and electrophoretic pattern of wheat flour proteins. **Journal of Food Science**. 67: 2502-2506.
- Anglani, C. 1998. Sorghum for human food—A review. **Plant Foods for Human Nutrition**. 52: 85-95.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis**. AOAC International, Maryland.
- Awika, J. M. and L. W. Rooney. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**. 65: 1199-1221.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and R. D. Waniska. 2004. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**. 90: 293-301.
- Badi, S. M. and R. C. Hoseney. 1976. Use of sorghum and pearl millet flours in cookies. **Cereal Chemistry**. 53: 733-738.
- Bail, A. L. 2004. Freezing Processes: Physical Aspects. *In* Y. H. Hui, P. Cornillin, I. G. Legaretta, M. H. Lim, K. D. Murrell and W. K. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods**. Marcel Dekker, USA.
- Batterman-Azcona, S. J., J. W. Lawton and B. R. Hamaker. 1999. Effect of specific mechanical energy on protein bodies and  $\alpha$ -zeins in corn flour extrudates. **Cereal Chemistry**. 76: 316-320.
- Batpho, K., T. Sroythong and S. Charoenrein. 2554. Effect of freezing rate and thawing method on the quality of frozen Kanom Chun, pp. 275-281. *In* **The Proceeding of 49<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference**. Kasetsart University, Thailand.

- Bellido, G. G and D. W. Hatcher. 2009. Stress relaxation behaviour of yellow alkaline noodles: Effect of deformation history. **Journal of Food Engineering**. 93: 460-467.
- Belton, P. S., I. Delgadillo, N. G. Halford and P. R. Shewry. 2006. Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science**. 44: 272-286.
- Benjakul, S., C. Thongkaew and W. Visessanguan. 2005. Effect of reducing agents on physicochemical properties and gel-forming ability of surimi produced from frozen fish. **European Food Research and Technology**. 220: 316-321.
- Berglund, P. T., D. R. Shelton and T. P. Freeman. 1991. Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles. **Cereal Chemistry**. 68: 105-107.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorghum starch properties. **Cereal Chemistry**. 78: 417-420.
- Boettger, M. 1963. Recent study show the effect of pregelatinized starches on cake quality. **Cereal Science Today**. 8: 106-108.
- Bugusu, B. A., O. Campanella and B. R. Hamaker. 2001. Improvement of sorghum-wheat composite dough rheological properties and breadmaking quality through zein addition. **Cereal Chemistry**. 78: 31-35.
- Cauvain, S. P. 1998. Other cereals in breadmaking, pp. 330-346. *In* S. P. Cauvain and L. S. Young, eds. **Technology of Breadmaking**. Blackie Academic & Professional, London.
- Chang, H. C. and L. -C. Wu. 2008. Texture and quality properties of Chinese fresh egg noodles formulated with green seaweed (*Monostroma nitidum*) powder. **Journal of Food Science**. 73: 398-404.

- Chillo, S., J. Laverse, P. M. Falcone and M. A. Del Nobile. 2007. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. **Journal of Food Engineering**. 83: 492-500.
- Chinnasarn, S., K. Limroongreungrat, A. Sangnak and W. Yuenyongputtakal. 2006. **Development of healthy chip from jackfruit seed flour**. Research Report, Faculty of Science Burapha University, Thailand.
- Coggins, P. C. and R. S. Chamul. 2004. Food sensory attributes. *In* Y. H. Hui, P. Cornillon, I. G. Legaretta, M. H. Lim, K. D. Murrell and W. -K. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods**. Marcel Dekker, Inc. , USA.
- Colonna, P., J. L. Doublier, J.P. Melcion, F. de Monredon and C. Mercier. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**. 61: 538-543.
- Cooke, D. and M. J. Gidley. 1992. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: Origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**. 227: 103-112.
- Cui, S. W. 2005. Starch Modification and Application. *In* S. W. Cui, ed. **Food Carbohydrate: Chemistry, Physical Properties, and Application**. Taylor & Francis Group, United States of America.
- 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.

- Dendy, D. A. V. 1995. Sorghum and the millets: Production and importance, pp.11-26. *In* D. A. V. Dendy, ed. **Sorghum and Millets: Chemistry and Technology**. American Association. Cereal Chem. St. Paul, MN.
- \_\_\_\_\_. 2001. Rice, pp. 276-308. *In* D. A. V. Dendy and B. J. Dobraszczyk, eds. **Cereal and Cereal Products: Chemistry and Technology**. An aspen publication, USA.
- Doublier, J. L., P. Colonna and C. Mercier. 1986. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. ii. rheological characterization of starch pastes. **Cereal Chemistry**. 63: 240-246.
- Duodu, K. G., J. R. N. Taylor, P. S. Belton and B. R. Hamaker. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**. 38: 117-131.
- Dykes, L and L. W. Rooney. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**. 44: 236-251.
- Edwards, N. M., M. S. Izydorczyk, J. E. Dexter and C. G. Biliaderis. 1993. Cooked pasta texture: Comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. **Cereal Chemistry**. 70: 122-126.
- Eliasson, A. C. and M. Gudmundsson. 2006. Starch: physicochemical and functional aspects, pp. 391-470. *In* A. C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. 2<sup>nd</sup> ed. Taylor & Francis Group, New York.
- El Nour, I. N. A., A. D. Peruffo and A. Curioni. 1998. characterization of sorghum kafirins in relation to their cross-linking behavior. **Journal of Cereal Science**. 28: 197-207.

- Ezeogu, L. I., K. G. Duodu, M. N. Emmambux and J. R. N. Taylor. 2008. Influence of cooking conditions on the protein matrix of sorghum and maize endosperm flours. **Cereal Chemistry**. 85: 397-402.
- Ferrero, C., M. N. Martino and N. E. Zaritzky. 1993. Effect of freezing rate and xanthan gum on the properties of corn starch and wheat flour pastes. **International Journal of Food Science and Technology**. 28: 481-498.
- Fu, B. X. 2008. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. **Food Research International**. 41: 888-902.
- \_\_\_\_\_, M. I. P. Kovacs and C. Wang. 1998. A Simple wheat flour swelling test. **Cereal Chemistry**. 25: 566-567.
- Glicksman, M. 1969. **Gum Technology in the Food Industry**. New York: Academic Press.
- Gordon, J. and E. A. Davis. 1998. Biochemical process: Carbohydrate instability, pp. 105-124. *In* I. A. Taub, ed. **Food Storage Stability**. CRC Press, USA.
- Gous, F. 1989. **Tannins and Phenols in Black Sorghum**. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University: College Station, TX.
- Hamaker, B. R. and B. A. Bugusu. 2003. **Overview: Sorghum proteins and food quality**. Afripro Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets. P. S. Belton and J. R. N. Taylor, eds. Available Source: <http://www.afripro.org.uk/papers/paper08Hamaker.pdf>.
- \_\_\_\_\_, and V. K. Griffin. 1990. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chemistry**. 67: 216-264.

- 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 Agriculture and Food Chemistry**. 49: 3957-3964.
- Hatcher, D. W. 2001. Asian noodle processing, pp. 131-157. *In* G. Owens, ed. **Cereal Processing Technology**. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, New York.
- \_\_\_\_\_. 2004. Influence of frozen noodle processing on cooked noodle texture. **Journal of Texture Studies**. 35: 429-444.
- \_\_\_\_\_, J. E. Kruger and M. J. Anderson. 1999. Influence of water absorption on the processing and quality of oriental noodles. **Cereal Chemistry**. 76: 566-572.
- Hibberd, C. A., D. G. Wagner, R. L. Schemm, E. D. Mitchell, Jr., D. E. Weibel and R. L. Hintz. 1982. Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. **Journal of Animal Science**. 55: 1490-1497.
- Hoseney, R. C. 1994. **Principles of Cereal Science and Technology**. 2<sup>nd</sup> ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
- Hou, G. 2001. Oriental noodles. **Advances in Food and Nutrition Research**. 43: 141-193.
- \_\_\_\_\_ and M. Kruk. 1998. Asian noodle technology. **Asian Noodle**. 20: 1-10.
- Hsu, C. -L., W. Chen, Y. -M. Weng and C. Y. Tseng. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. **Food Chemistry**. 83: 85-92.

- Hui, Y. H., M. H. Lim, W. K. Nip, J. S. Smith and P. H. F. Yu. 2004. Principle of Food Processing, pp. 3-30. *In* J. S. Smith and Y. H. Hui, eds. **Food Processing: Principles and Applications**. Blackwell, USA.
- Jonagh, G., T. Slim and H. Greve. 1968. Bread without gluten. **Baker's Digest**. 6: 24-29.
- Jun, W. J., P. A. Seib and O. K. Chung. 1998. Characteristics of noodle flours from Japan. **Cereal Chemistry**. 75: 820-825.
- Kato, A., K. Minaki and K. Kobayashi. 1993. Improvement of emulsifying properties of egg white proteins by the attachment of polysaccharide through maillard reaction in a dry state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 41: 540-543.
- Khouryeh, H., T. Herald and F. Aramouni. 2006. Quality and sensory properties of fresh egg noodles formulated with either total or partial replacement of egg substitutes. **Journal of Food Science**. 71: 433-437.
- Kim, S.K. 1996. Instant noodle technology. **Cereal Foods World**. 41: 213-218.
- Kim, W. S. and P. A. Seib. 1993. Apparent restriction of starch swelling in cooked noodles by lipid in some commercial wheat flours. **Cereal Chemistry**. 70: 367-372.
- Kim, Y. S., D. P. Wiesenborn, J. H. Lorenzen and P. Berglund. 1996. Suitability of edible bean and potato starches for starch noodles. **Cereal Chemistry**. 73: 302-308.
- Konik, C. M., D. M. Miskelly and P. W. Gras. 1992. Contributions of starch and non-starch parameters to the eating quality of Japanese white salted noodles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 58: 403-406.

- Kruger, J. E., M. H. Anderson and J. E. Dexter. 1994. Effect of flour refinement on raw cantonese noodle color and texture. **Cereal Chemistry**. 71: 177–182.
- Liu, Q. 2005. Understanding starches and their role in food. In S. W. Cui, ed. **Food Carbohydrate: Chemistry, Physical Properties, and Application**. Taylor & Francis Group, United States of America.
- Liu, L. 2009. **Evaluation of Four Sorghum Hybrids in a Gluten-Free Noodle System**. Manhattan, KS: Kansas State University. Available from: <http://krex.k-state.edu>.
- Londahl, G., S. Goransson, S. Sundsten, A. Andersson, and E. Tornberg. 1995. Quality differences in fast freezing, pp. 197–204. In **Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Congress of Refrigeration**, vol. I. Le Hague, The Netherlands.
- Majzoobi, M., A. Farahnaky, J. Jamalian and M. Radi. 2011. Effect of L-Cysteine on some characteristics of wheat starch. **Food Chemistry**. 124: 795-800.
- McPherson, A. E. and J. Jane. 1999. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. **Carbohydrate Polymers**. 40: 57-70.
- Mestres, C., P. Colonna and A. Buleon. 1988. Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mungbean starch vermicelli. **Journal of Food Science**. 53: 1809-1812.
- Miche, J. C., R. Alary, M. F. Jeanjean and J. Abecassis. 1977. Potential use of sorghum grains in pasta processing, pp. 27-35. In D. A. V. Dendy, ed. **Sorghum and Milletes for Human Food**. Tropical Products Institute, London.

- Miskelly, D. M. 1996. The use of alkali for noodle processing, pp. 227-273. *In* J. E. Kruger, R. B. Matsuo and J. W. Dick, eds. **Pasta and Noodle Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- \_\_\_\_\_ and H. J. Moss. 1985. Flour quality requirements for Chinese noodle manufacture. **Journal of Cereal Science**. 3: 379-387.
- Mitaru, B. N. and R. Blair. 1984. The influence of dietary fibre sources growth, feed efficiency and digestibilities of dry matter and protein in rats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 35: 625-631.
- Mohammed, M.A.E.R., H.M.M. Makki and A.E.M.I. Mustafa. 2009. Effect of cooking and drum drying on the nutritive value of sorghum-pigeon pea composite flour. **Pakistan Journal of Nutrition**. 8: 988-992.
- Moss, R., P. J. Gore and I. C. Murray. 1987. The influence of ingredients and processing variables on the quality and microstructure of Hokkien, Cantonese and instant noodles. **Food Microstructure**. 6: 63-74.
- Nagao, S. 1996. Processing technology of noodle products in Japan. pp. 169 – 194. *In* J. E. Kruger, R. B. Matsuo and J. W. Dick, eds. **Pasta and Noodle Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- \_\_\_\_\_, S. Ishibashi, S. Imai, T. Sato, Y. Kanbe, Y. Kaneko and H. Otsubo. 1977. Quality characteristics of soft wheats and their utilization in Japan. II. Evaluation of wheats from the United States, Australia, France, and Japan. **Cereal Chemistry**. 54: 198-204.
- Navarro, A. S., M. N. Martino and N. E. Zaritzky. 1995. Effect of freezing rate on the rheological behaviour of systems based on starch and lipid phase. **Journal of Food Engineering**. 26: 481-495.

- Oda, M., Y. Yasuda, S. Okazaki, Y. Yamauchi and Y. Yokoyama. 1980. A method of flour quality assessment for Japanese noodles. **Cereal Chemistry**. 57: 253-254.
- Oh, N. H., P. A. Seib, C. W. Deyoe and A. B. Ward. 1983. Noodles: I. Measuring the textural characteristics of cooked noodles. **Cereal Chemistry**. 60: 433-438.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, A. B. Ward and C. W. Deyoe. 1995. Noodles. IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. **Cereal Chemistry**. 62: 441-446.
- Olivera, D. F. and V. O. Salvadori. 2009. Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. **Journal of Food Engineering**. 90: 271-276.
- Oom, A., A. Pettersson, J. R. N. Taylor and M. Stading. 2008. Rheological properties of kafirin and zein prolamins. **Journal of Cereal Science**. 47: 109-116.
- Park, C. S. and B. -K. Baik. 2004. Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylose content of wheat. **Cereal Chemistry**. 81: 165-171.
- Pomeranz, Y. 1991. **Functional Properties of Food Components**. 2<sup>nd</sup> 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.
- Ragae, S., and E. -S. M. Abdel Aal. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**. 95: 9-18.

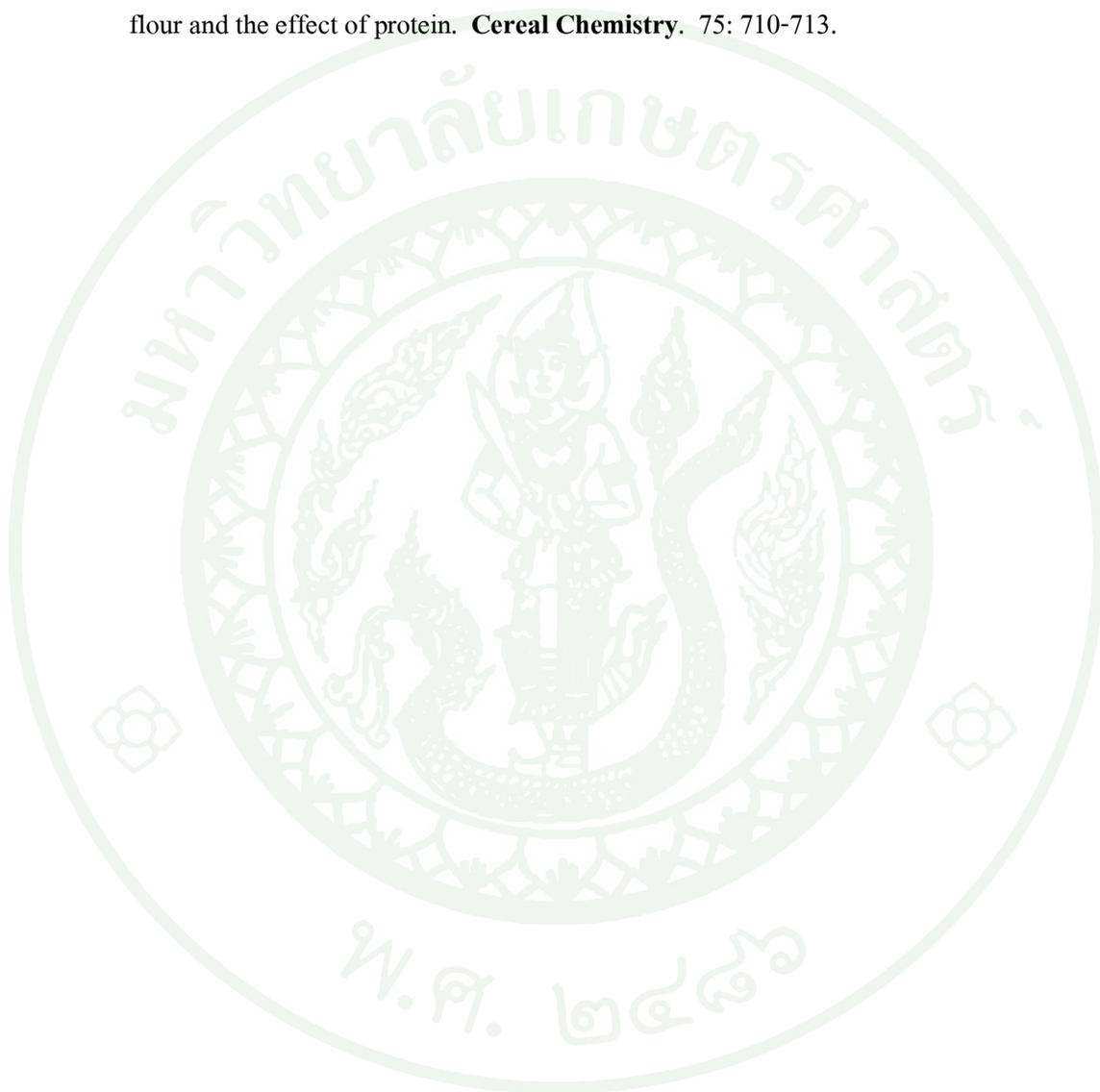
- Ramesh Yadav, A., M. Guha, R. N. Tharanathan and R. S. Ramteke. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. **LWT-Food Science and Technology**. 39: 20-26.
- Rho, K. L., P. A. Seib, O. K. Chung and C. W. Deyoe. 1988. Noodles. VII. investigating the surface firmness of cooked oriental dry noodles made from hard wheat flours. **Cereal Chemistry**. 65: 320-326.
- Rom, D. L., J. M. Shull, A. Chandrashekar and A. W. Kirleis. 1992. Effects of cooking and treatment with sodium bisulfite on in vitro protein digestibility and microstructure of sorghum flour. **Cereal Chemistry**. 69: 178-181.
- Rooney, L. W. 1978. Sorghum and pearl millet lipids. **Cereal Chemistry**. 55: 584-590.
- Sasaki, T. and J. Matsuki. 1998. Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal Chemistry**. 75: 525-529.
- Schoenlechner, R., J. Drausinger, V. Ottenschlaeger, K. Jurackova and E. Berghofer. 2010. Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. **Plant Foods for Human Nutrition**. 65: 339-349.
- Shelke, K., J. W. Dick, Y. F. Holm and K. S. Loo. 1990. Chinese wet noodle formulation: a response surface methodology study. **Cereal Chemistry**. 67: 338-342.
- Shull, J. M., J. J. Watterson and A.W. Kirleis. 1992. Purification and immunocytochemical localization of kafirins in *Sorghum bicolor* (L. Moench) endosperm. **Protoplasma**. 171: 64-74.

- Singh, N., J. Singh, L. Kaur, N. S. Sodhi and B. S. Gill. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**. 81: 219-231.
- Smith, R. J. 1979. **Food Carbohydrate**. The AVI publishing Co., Westport, Connecticut : 416 p.
- Sozer, N. 2009. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. **Food Hydrocolloids**. 23: 849-855.
- Stable Micro Systems. 1995. **Operating Manual of Texture Analyzer (TA.XT2)**. Stable Micro System, UK.
- Stonestreet, N. J. M., S. Alavi and S. R. Bean. 2010. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. **Journal of Food Science**. 75: 90-104.
- Suhendro, E. L., C. F. Kunitz, C. M. McDonough, L. W. Rooney and R. D. Waniska. 2000. Cooking characteristics and quality of noodles from food sorghum. **Cereal Chemistry**. 77: 96-100.
- 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.
- Tang, J., J. Lelievre, M. A. Tang and Y. Zeng. 1994. Polymer and ion concentration effects on gel strength and strain. **Journal of Food Science**. 59: 216-220.
- Tan, H. -Z., Z. -G. Li and B. Tan. 2009. Starch noodles: history, classification materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. **Food Research International**. 42: 551-576.

- Taylor, J. R. N., L. Novellie, and N.v.d.W. Liebenberg. 1984. Sorghum protein body composition and ultrastructure. **Cereal Chemistry**. 61: 69-73.
- Unnikrishnan, K.R. and K.R. Bhattacharya. 1981. Swelling and solubility behavior of parboiled rice flour. **International Journal of Food Science and Technology**. 16: 403-408.
- Varavinit, S., S. Anuntavatikul and S. Shobsngob. 2000. Influence of freezing and thawing technique on stability of sago and tapioca starch pastes. **Starch/starke**. 52: 214-217.
- Waggle, D. H. and C. W. Deyoe. 1966. Relationship between protein level and amino acid composition of sorghum grain. **Feedstuffs**. 38: 18-19.
- Were, L., N. S. Hettiarachchy and M. Coleman. 1999. Properties of cysteine-added soy protein-wheat gluten films. **Journal of Food Science**. 64: 514-518.
- Whistler, R. L. and J. R. Daniel. 1984. Molecular structure of starch, pp.153 –182. *In* R. L. Whistler, J. N. Bemiller and E. F. Paschall, eds. **Starch Chemistry and Technology**. Academic Press, New York.
- Xu, A. and P. Seib. 1993. Structure of tapioca pearls compared to starch noodles from mung beans. **Cereal Chemistry**. 70: 463-470.
- Yadav, B. S., R. B. Yadav and M. Kumar. 2011. Suitability of pigeon pea and rice starches and their blends for noodle making. **Food Science and Technology**. 44: 1415-1421.
- Yadav, R., M. Guna, R. N. Tharanathan and R. S. Ramteke. 2006. Influence of drying conditions on functional properties of potato flour. **European Food Research and Technology**. 223: 553-560.

Yan, H. and G. U. Zhenghiao. 2010. Morphology of modified starches prepared by different methods. **Food Research International**. 43: 767-772.

Zhang, G. and B. R. Hamaker. 1998. Low  $\alpha$ - amylase starch digestibility of cooked sorghum flour and the effect of protein. **Cereal Chemistry**. 75: 710-713.





ภาคผนวก



## 1. การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

### 1.1 วิธีการวิเคราะห์

ทำแห้งภาชนะใส่ตัวอย่างพร้อมฝาในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ภาชนะกันความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างแบ่งในภาชนะใส่ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม นำไปใส่ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเปิดฝาภาชนะไว้ เมื่อครบเวลาแล้วนำออกจากตู้อบ ปิดภาชนะและนำมาใส่ในภาชนะกันความชื้นทันที ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (moisture)} = (A/B) \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักที่หายไป (กรัม)  
B = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

## 2. การหาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 เครื่องย่อยสลาย Buchi
- 2.1.2 หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย
- 2.1.3 เครื่องกลั่นอัต โนมัตติ Buchi

### 2.2 สารเคมี

- 2.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
- 2.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40
- 2.2.3 สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
- 2.2.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล

2.2.5 คอปเปอร์ซัลเฟต

2.2.6 โพแทสเซียมซัลเฟต

2.2.7 อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมทิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

### 2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด

2.3.2 ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร

2.3.3 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อย ทำการย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)

2.3.4 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2.3.5 รองรับสิ่งกลั่นด้วยขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยกลั่นประมาณ 5 นาที

2.3.6 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายสีเทา (จุดยุติ) บันทึกปริมาณกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของไนโตรเจน

หมายเหตุ ให้ทำแบลนก์ควบคู่ไปด้วย โดยไม่มีตัวอย่างในหลอดย่อย

### 2.4 วิธีการคำนวณ

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

W

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

เมื่อ S = ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

- B = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับเบส  
 N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน  
 W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

### 3. การหาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

#### 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 กระดาษกรองWhatman เบอร์ 1  
 3.1.6 ภาชนะกันความชื้น (desiccator)

#### 3.2 สารเคมี

- 3.2.1 ปีโตรเลียมอีเธอร์ที่มีจุดเดือดในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส

#### 3.3 วิธีการวิเคราะห์

- 3.3.1 อบ extraction cup และทิ้งให้เย็นในภาชนะกันความชื้น ชั่งน้ำหนักไว้ (W1)  
 3.3.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ลงบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (W2) แล้วนำมาใส่ลงใน thimble  
 3.3.3 นำ thimble ใส่ใน extraction unit แล้วเติมปีโตรเลียมอีเธอร์ จำนวน 45 มิลลิลิตรลงใน extraction cup  
 3.3.4 นำ extraction cup เข้าไปในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 20 นาที และทำการชะล้างเป็นเวลา 45 นาที นำ extraction cup ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป ทิ้ง extraction cup ให้เย็นในภาชนะกันความชื้น และชั่งน้ำหนัก (W3)

### 3.4 วิธีการคำนวณ

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

- เมื่อ
- W1 = น้ำหนัก extraction cup หน่วยเป็นกรัม
  - W2 = น้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์ หน่วยเป็นกรัม
  - W3 = น้ำหนัก extraction cup และ ไขมันที่สกัดได้ หน่วยเป็นกรัม

## 4. การหาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

### 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 4.1.1 เตา muffle furnace
- 4.1.2 เตาไฟฟ้าให้ความร้อนแบบแผ่นราบ
- 4.1.3 เป้า (crucible)
- 4.1.4 ภาชนะกันความชื้น (desiccator)

### 4.2 วิธีการวิเคราะห์

- 4.2.1 เเผาเป้าในเตา muffle furnace ที่ตั้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก
- 4.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในเป้า แล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จน

หมดควัน

- 4.2.3 นำไปเผาในเตา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกว่าได้เถ้าเป็น

สีขาวหรือสีเทา

- 4.2.4 นำเป้าออกมาใส่ในภาชนะกันความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

### 4.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W2 - W0)}{(W1 - W0)} \times 100$$

- เมื่อ
- W0 = น้ำหนักของเบ้า หน่วยเป็นกรัม
  - W1 = น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างก่อนเผา หน่วยเป็นกรัม
  - W2 = น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ หน่วยเป็นกรัม

## 5. การหาปริมาณเส้นใยหยาบ (AOAC, 2000)

### 5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 5.1.1 เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (fibertec, Tecator)
- 5.1.2 เครื่องทำความเย็น
- 5.1.3 เบ้าบรรจุสาร (crucible)
- 5.1.4 ภาชนะกันความชื้น (desiccator)
- 5.1.5 เตา muffle furnace

### 5.2 สารเคมี

- 5.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.255 นอร์มัล
- 5.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 นอร์มัล
- 5.2.3 ออกทานาล (n-octanal)
- 5.2.4 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) ร้อยละ 95

### 5.3 วิธีการวิเคราะห์

- 5.3.1 เเผาเบ้าบรรจุสารที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในภาชนะกันความชื้น

5.3.2 ชั่งตัวอย่าง 1.0 กรัม ในเบ้าบรรจุสาร ชั่งน้ำหนักแน่นอน

5.3.3 นำเบ้าบรรจุสารวางลงในตำแหน่งบรรจุเบ้าของเครื่อง Fibertec Hot

ExtractionUnit

5.3.4 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.255 นอร์มัล ที่ต้มเดือดปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ และหยดออกทานาล 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง จากนั้นให้ความร้อนเพื่อทำการสกัดนาน 30 นาที

5.3.5 เมื่อครบเวลาปล่อยสารละลายกรดซัลฟิวริกออกจากคอลัมน์ทั้งหมด เติมน้ำเดือด (น้ำกลั่น) เพื่อล้างกรดให้หมด

5.3.6 ปล่อยน้ำเดือดออกจากคอลัมน์จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 นอร์มัล ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนเพื่อทำการสกัดนาน 30 นาที

5.3.7 เมื่อครบเวลาปล่อยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากคอลัมน์ทั้งหมด จากนั้นเติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้หมด

5.3.8 นำเบ้าบรรจุตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและด่างออกจากเครื่อง Fibertec Hot Extraction แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในภาชนะกันความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักแน่นอน ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จนน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม

5.3.9 นำเบ้าบรรจุตัวอย่างที่อบและหาคำนวณน้ำหนักแน่นอนแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปล่อยให้เย็นในภาชนะกันความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักแน่นอน ทำซ้ำอีก 2 ครั้งจนน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม

#### 5.4 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละเส้นใยหยาบ} = \frac{(W1 - W2)}{W} \times 100$$

W

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W1 = น้ำหนักเบ้าบรรจุตัวอย่าง + กาก หลังอบ

W2 = น้ำหนักเบ้าบรรจุตัวอย่าง + ถ้ำ หลังเผา

## 6. วิธีคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) =  $100 - (\text{ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของโปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{ความชื้น} + \text{เส้นใยหยาบ})$

## 7. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสด้วยชุดตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสหลังตกตะกอน แอมิโลเพกตินด้วย Con-A (Amylose/Amylopectin assay kit, Megazyme)

### 7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 7.1.1 หลอดหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 7.1.2 หลอด eppendorf ขนาด 2 มิลลิลิตร
- 7.1.3 ขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 7.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
- 7.1.5 อ่างน้ำเดือด
- 7.1.6 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส
- 7.1.7 เครื่องผสมสาร
- 7.1.8 เครื่องหมุนเหวี่ยง

### 7.2 สารเคมี

7.2.1 DMSO (dimethyl sulphoxide)

7.2.2 เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95

7.2.3 Concentrated ConA Solvent เข้มข้น 600 มิลลิโมลาร์ พีเอช 6.4 เตรียมโดยชั่งแอนไฮดรัสโซเดียมแอซิเตท 49.2 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 175.5 กรัม แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 กรัม แมกนีเซียมคลอไรด์ 0.7 กรัม และแมงกานีสคลอไรด์ 0.7 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 900 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 6.4 ด้วยกรดแอซิดิกกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น สามารถเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์

หมายเหตุ ไม่ควรปรับพีเอชต่ำกว่า 6.4 เพราะจะเกิดการตกตะกอน และไม่สามารถนำสารละลาย

ไปใช้ได้

7.2.4 Con A Solvent เตรียมโดยปีเปตสารละลาย Concentrated ConA Solvent ที่เตรียมจากข้อ 7.2.3 มา 30 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อใช้)

7.2.5 Con A Solution เตรียมโดยละลายผง Freeze dried Con A ปริมาณ 200 มิลลิกรัม ที่อยู่ในชุดตรวจวิเคราะห์ ด้วยสารละลาย ConA solvent ที่เตรียมจากข้อ 7.2.4 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แบ่งสารละลาย Con A Solution ใส่หลอด eppendorf ขนาด 2 มิลลิลิตร สามารถเก็บได้มากกว่า 2 ปี ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

7.2.6 โซเดียมแอสซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ พีเอช 4.5 เตรียมโดยปีเปตกรดแอสซิดิกปริมาณ 5.9 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาณ 900 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 4.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ เติมโซเดียมเอไซด์ 0.2 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

7.2.7 GOPOD Reagent เตรียมโดยเจือจางสารละลาย GOPOD Reagent Buffer ที่อยู่ในชุดตรวจวิเคราะห์ ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปละลายผง GOPOD Reagent Enzyme ที่อยู่ในชุดตรวจวิเคราะห์ เก็บสารละลายในขวดโพลีโพรพิลีน (polypropylene) หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสงแดด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียสได้นาน 3 เดือน หรือ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 12 เดือน

### 7.3 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ (starch pretreatment)

7.3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.0250 กรัม (25 มิลลิกรัม) แตกต่างกันไม่เกิน 0.0001 ในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร

7.3.2 ค่อยๆ เติม DMSO 1 มิลลิลิตร และเขย่าเบาๆ จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดจนกระทั่งตัวอย่างกระจายตัวอย่างสมบูรณ์ (ประมาณ 1 นาที) ต้องแน่ใจว่าไม่เกิด lump

7.3.3 นำหลอดมาเขย่าอย่างรุนแรงโดยใช้ความเร็วสูง จากนั้นนำไปให้ความร้อนในน้ำเดือดเป็นเวลานาน 15 นาที เขย่าด้วยความเร็วสูงเป็นครั้งคราวระหว่างให้ความร้อน

7.3.4 ตั้งหลอดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 5 นาที เติม เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร พร้อมๆ กับเขย่าอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเติมอีก 4 มิลลิลิตร กลับหลอดผสมไปมาแล้วตั้งหลอดทิ้งไว้ 15 นาที

7.3.5 นำหลอดไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 g นาน 5 นาที เทส่วนใสทิ้ง คั่ว

หลอดบนกระดาษทิชชู่นาน 10 นาที ต้องแน่ใจว่ากำจัดแอลกอฮอล์ออกจนหมด

7.3.6 จากนั้นเติม DMSO ปริมาตร 2 มิลลิลิตร พร้อมๆ กับเขย่าเบาๆ นำไปให้ความร้อนในน้ำเดือดนาน 15 นาที และเขย่าอย่างต่อเนื่อง ต้องแน่ใจว่าไม่เกิด lump

7.3.7 เติม Con A solvent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร พร้อมเขย่า จากนั้นถ่ายสารละลายใส่ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้ Con A solvent ในการถ่ายสารและปรับปริมาตร ตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนนี้ เรียกว่า Solution I

**หมายเหตุ** ควรนำ Solution1 ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสและ Total starch ภายใน 60 นาที ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 60 นาที

#### 7.4 การตกตะกอนแอมิโลเพกตินด้วย Con A และนำมาวัดปริมาณแอมิโลส

7.4.1 ปิเปต Solution I มา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอด eppendorf ขนาด 2 มิลลิลิตร เติม Con A solution ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปิดฝา eppendorf ผสมให้เข้ากัน โดยกลับ eppendorf ขึ้นลง พยายามอย่าให้เกิดฟอง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง

7.4.2 จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,000 g นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

7.4.3 ปิเปตส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดและเติมโซเดียมแอสซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ซึ่งมีพีเอช เท่ากับ 4.5 นำไปให้ความร้อนในน้ำเดือดนาน 5 นาที

7.4.4 จากนั้นนำหลอดมาวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จึงเติม amyloglucosidase/amylase mixture ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และบ่มต่อที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 g เป็นเวลานาน 5 นาที

7.4.5 ปิเปตส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดและเติม GOPOD reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สำหรับ reagent blank จะใช้โซเดียม-แอสซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติม GOPOD reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

7.4.6 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

## 7.5 การวัดค่า Total starch

7.5.1 ปิเปต Solution I มา 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอด และเติม โซเดียมแอสซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ซึ่งมีฟิเอช เท่ากับ 4.5 นำมาวางในอ่างน้ำควบคุม อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

7.5.2 เติม amyloglucosidase/ amylase mixture ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และบ่มต่อที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

7.5.3 ถ่ายส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่หลอด และเติม GOPOD reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สำหรับ reagent blank จะใช้โซเดียมแอสซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติม GOPOD reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

7.5.4 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

## 7.6 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละเอมิโลส} = \frac{A \times 6.15 \times 100}{B \times 9.2 \times 1}$$

เมื่อ

A = ค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสหลังจากการตกตะกอนเอมิโลเพกตินด้วย Con A

B = ค่าการดูดกลืนแสงของส่วนที่เป็น Total starch

## 8. การวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

### 8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

8.1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer: model genesys 10s, Thermo electron corporation, USA)

8.1.2 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerate Centrifuge, himac CR20B2, Japan)

8.1.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (SPB31, Scale tech, Germany)

8.1.4 หลอดหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร

8.1.5 เครื่องแก้ว

8.1.6 คิวเวต

## 8.2 สารเคมี

8.2.1 กรดไฮโดรคลอริก ( Hydrochloric acid; HCl: Analytical grade, Merck KGaA, Germany)

8.2.2 เมทานอล (Methanol; CH<sub>3</sub>OH: Analytical grade, Merck KGaA, Germany)

8.2.3 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl: Analytical grade, Ajax Finechem, New Zealand)

8.2.4 โซเดียมอะซิเตตไฮเดรต (Sodium acetate hydrate; C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>3</sub>: Analytical grade, Sigma, US)

## 8.3 การสกัดตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ ( ดัดแปลงจาก Awika *et al.*, 2004)

8.3.1 ชั่งตัวอย่างแป้ง 3 กรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 ml จากนั้นเติมสารสกัด 1% HCl ในเมทานอล ปริมาตร 10 ml

8.3.2 นำหลอดที่ใส่ตัวอย่างมาเขย่าด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

8.3.3 นำหลอดตัวอย่างมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส โดยเก็บในที่มืด ข้ามคืน

8.3.4 นำหลอดตัวอย่างมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง หมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ความเร็ว 70000g เป็นเวลา 10 นาที

8.3.5 ถ่ายส่วนใสเก็บไว้ในขวดสีชา

8.3.6 ส่วนตัวอย่างที่อยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยงให้เติมสารสกัดปริมาตร 10 ml แล้วนำ หลอดตัวอย่างมาเขย่าเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 7000g เป็นเวลา 10 นาที เท ส่วนใสผสมกับตัวอย่างที่ได้ในรอบแรก ทำอย่างนี้อีก 1 รอบ

8.3.7 ปรับปริมาตรสารสกัดด้วยสารละลาย 1% HCl ในเมทานอลให้ครบ 30 มิลลิลิตร

8.3.8 เก็บตัวอย่างที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส จนกว่านำไปวิเคราะห์

#### 8.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์สำหรับการวัดค่าการดูดกลืนแสง

##### 8.4.1 สารละลายบัฟเฟอร์ค่าพีเอช 1.0

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.86 กรัม และน้ำกลั่น 980 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ วัดค่าพีเอชและปรับให้มีค่าพีเอช 1.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

##### 8.4.2 สารละลายบัฟเฟอร์ค่าพีเอช 4.5

ชั่งโซเดียมอะซิเตตไฮเดรต 54.43 กรัม และน้ำกลั่น 960 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ วัดค่าพีเอช และปรับให้มีค่าพีเอช 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### 8.5 วิธีการวิเคราะห์

นำสารสกัดตัวอย่างมาเจือจางด้วยบัฟเฟอร์พีเอช 1 และ 4.5 ก่อนนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 468 และ 700 nm จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

#### 8.5 การคำนวณปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของ Apigeninidin (AOAC, 2000)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/กรัม)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l}$$

เมื่อ  $A = (A_{468\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{468\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 4.5}$

$MW =$  น้ำหนักของ Apigeninidin ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30,40

$\epsilon =$  โมลาร์แอบซอร์บติวิตีของ Apigeninidin ซึ่งมีค่าเท่ากับ 255.07

$DF =$  Dilution factor ของสารละลาย



## 1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด

### 1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA3D, Newport Scientific Instrument & Engineering, Australia)

### 1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ตัวอย่างแป้งที่ใช้วิเคราะห์ต้องผ่านการบดให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า หรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำแป้งไปหาความชื้นตามวิธี AOAC (2000) ก่อนการวิเคราะห์

1.2.2 ชั่งตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก และตวงน้ำปริมาตร 25.0 มิลลิตร ( $\pm 0.1$  มิลลิตร) ใส่ในถ้วยทรงกระบอก (จำนวนที่ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์) แต่ถ้าตัวอย่างมีความชื้นไม่เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณปริมาณน้ำและตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามสูตร

$$\text{สำหรับปริมาณสตาร์ชหรือแป้ง (s)} = \frac{86 \times 3}{100 - m}$$

สำหรับปริมาณน้ำ  $w = 25 + (3.0 - s)$

เมื่อ  $s =$  น้ำหนักตัวอย่างที่ปรับค่าแล้ว (กรัม)

$w =$  น้ำหนักน้ำที่ปรับค่าแล้ว (กรัม)

$m =$  ปริมาณความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (เปอร์เซ็นต์)

1.2.3 ใส่แป้งลงบนผิวหน้าของน้ำในถ้วยทรงกระบอก ใช้ใบพายเขย่าตัวอย่างในถ้วยทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง แต่ถ้าแป้งยังคงอยู่บนผิวหน้าหรือติดบนใบพาย ให้เขย่าตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง

1.2.4 ใส่ใบพายในถ้วยทรงกระบอก และสวมใบพายเข้ากับที่ยึด โดยให้ใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่องมือลง สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาดังนี้

ตารางผนวกที่ ข1 สภาวะที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที:วินาที)
คงที่ที่ 50.0	1:00
เพิ่มจาก 50.0 เป็น 95.0	7:30
คงที่ที่ 95.0	5:00
ลดจาก 95.0 เป็น 50.0	7:30
คงที่ที่ 50.0	4:00
สิ้นสุดการทดลอง	25:00

สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้ คือ 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที คงที่ตลอดการทดสอบ

1.2.5 บันทึกอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด ขณะร้อน (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุด และค่าเซตแบค (setback) เป็นความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด



## 1. การตรวจสอบคุณภาพของบะหมี่ด้านการหุงต้ม (Cooking quality)

### 1.1 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม (Cooking time) (AACC, 2000)

#### วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างบะหมี่ 25 กรัม ต้มในน้ำกลั่นเดือดปริมาตร 300 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อน (Hot plate) เริ่มจับเวลา ใจขณะที่ต้มให้กวนตัวอย่างเพื่อป้องกันเส้นติดกัน ทำการต้มเส้นจนแกนกลางสีขาวหายไป ซึ่งตรวจสอบโดยใช้กระจกนาฬิกา 2 แผ่นบีบเส้นบะหมี่ หยุดเวลาเป็นระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม

### 1.2 ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (Cooking loss) (AACC, 2000)

#### วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุกตามระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วสะเด็ดน้ำผ่านกระชอน แล้วใช้น้ำกลั่นล้างบะหมี่ รวบรวมน้ำต้มบะหมี่และน้ำล้างบะหมี่ทั้งหมดมาระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ระเหยน้ำจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม จากสูตร

$$\text{การสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}}$$

### 1.3 ร้อยละของการดูดน้ำ (Water uptake)

#### วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ต้มจากข้อ 1.2 มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละของการดูดน้ำ

$$\text{ค่าการดูดน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม (กรัม)} - \text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม (กรัม)}} \times 100$$

#### 1.4 ค่าพีเอชของบะหมี่ (Shelke *et al.*, 1990)

##### วิธีวิเคราะห์

นำบะหมี่ 10 กรัม ใส่ในเครื่องปั่นผสม (blender) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปั่นผสมเป็นเวลา 1 นาที นำของผสมที่ได้มาตรวจวัดค่าพีเอชของบะหมี่

## 2. วิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่

##### วิธีวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุก ตามระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยใช้หัววัด spaghetti tensile grips (ใช้ Load Cell 5 กิโลกรัม)

### 2.1 การวัดเนื้อสัมผัสของบะหมี่โดยใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR)

##### การตั้งค่า

Mode: Measure Force in Tension

Option: Return to Start

Pre-Test Speed: 3.0 mm/s

Test Speed: 3.0 mm/s

Post-Test Speed: 5.00 mm/s

Distance: 80 mm

Trigger Type: Auto 5 g

2.2 การคำนวณค่า Stress และ Strain (ดัดแปลงจาก Tang *et al.*, 1994)

$$\text{Stress} = \frac{F_{\max} * (L + \Delta L)}{AL}$$

- เมื่อ Stress = ค่าความเค้น (Pa)  
 F<sub>max</sub> = แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึง (N)  
 L = ความยาวของตัวอย่างเริ่มต้น (m)  
 ΔL = ระยะทางสูงสุดที่ดึงให้ขาด (m)  
 A = พื้นที่ของตัวอย่าง (หนา × กว้าง)

$$\text{Strain} = \ln [1 + (\Delta L_{\max} / L)]$$

- เมื่อ Strain = ค่าความเครียด  
 ΔL<sub>max</sub> = ระยะทางสูงสุดที่ดึงให้ขาด (m)  
 L = ความยาวของตัวอย่างเริ่มต้น (m)

## ตารางผนวกที่ ค1 ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หลังต้ม

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
WF	1.60±0.17	2.09±0.20
SF:PSF(70:30)	-	-
SF:PSF(50:50)	1.54±0.19	1.72±0.12
SF:PSF(30:70)	1.54±0.10	2.70±0.56

**ตารางผนวกที่ ค2** ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หลังนึ่ง

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
WF	1.76±0.08	1.88±0.08
SF:PSF(70:30)	1.80±0.04	1.76±0.07
SF:PSF(50:50)	1.84±0.21	1.99±0.08
SF:PSF(30:70)	2.09±0.09	2.77±0.28

**ตารางผนวกที่ ค3** ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่หนึ่งหลังการเติมซิสเตอีน

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
SF:PSF(50:50) (control)	1.86±0.04	1.99±0.10
SF:PSF(50:50) +0.005 Cysteine	1.86±0.04	2.02±0.01
SF:PSF(50:50) +0.01 Cysteine	1.84±0.01	1.98±0.02
SF:PSF(50:50) +0.02 Cysteine	1.87±0.02	1.98±0.01
SF:PSF(50:50) +0.04 Cysteine	1.85±0.01	2.00±0.01

**ตารางผนวกที่ ค4** ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดปริมาณร้อยละ 30 และ 50

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
SF:PSF(70:30)	1.78±0.12	1.98±0.02
SF:PSF(70:30) + 30% egg white	1.80±0.01	2.00±0.00
SF:PSF(70:30) + 50% egg white	1.82±0.01	1.98±0.01

**ตารางผนวกที่ ค5** ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผง

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
SF:PSF(70:30) + 50 % egg white	1.78±0.12	1.96±0.01
SF:PSF(70:30) + 7.18% egg white powder	1.82±0.04	1.98±0.04
SF:PSF(50:50) + 7.18% egg white powder	1.80±0.04	1.98±0.01

**ตารางผนวกที่ ค6** ความหนาและความกว้างของเส้นบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผงในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20

Treatments	Thickness (mm)	Width (mm)
WF	1.78±0.06	1.97±0.05
SF:PSF(50:50)	1.82±0.15	2.00±0.01
SF:PSF(50:50)+5% egg white powder	1.84±0.14	1.98±0.06
SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	1.82±0.12	2.04±0.12
SF:PSF(50:50)+15% egg white powder	1.84±0.02	2.00±0.05
SF:PSF(50:50)+20% egg white powder	1.88±0.01	2.02±0.10

**ตารางผนวกที่ ค7** ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการต้ม

Treatments	Force (g)	Distance (mm)
WF	7.89±0.55a	46.20±6.80a
SF:PSF(70:30)	-	-
SF:PSF(50:50)	5.99±0.27b	5.44±3.91c
SF:PSF(30:70)	7.34±1.00a	15.32±6.09b

**หมายเหตุ** – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

– สัญลักษณ์ - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้

**ตารางผนวกที่ ค8** ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่ทำให้สุกโดยการนึ่ง

Treatments	Force (g)	Distance (mm)
WF	19.08±0.42a	25.17±7.03a
SF:PSF(70:30)	9.79±1.20c	11.28±1.03b
SF:PSF(50:50)	14.32±1.85ab	19.29±3.85ab
SF:PSF(30:70)	19.27±1.50a	26.79±1.90a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

**ตารางผนวกที่ ค9** ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมซิสเตอีน

Treatments	Force (g)	Distance (mm)
SF:PSF(50:50) (control)	17.10±0.05a	22.22±1.63b
SF:PSF(50:50) +0.005 Cysteine	16.53±0.13ab	24.06±1.33ab
SF:PSF(50:50) +0.01 Cysteine	16.65±1.27a	24.43±1.41ab
SF:PSF(50:50) +0.02 Cysteine	14.87±0.47b	24.15±1.40ab
SF:PSF(50:50) +0.04 Cysteine	15.44±0.57ab	27.10±2.01a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

**ตารางผนวกที่ 10** ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสด

Treatments	Force (g) <sup>ns</sup>	Distance (mm) <sup>ns</sup>
SF:PSF(70:30)	-	-
SF:PSF(70:30) + 30% egg white	3.65±0.24	17.11±3.16
SF:PSF(70:30) + 50% egg white	4.21±0.33	16.73±2.28

หมายเหตุ – อักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์ของค่าเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

**ตารางผนวกที่ 11** ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมไข่ขาวสดและไข่ขาวผง

Treatments	Force (g)	Distance (mm)
SF:PSF(70:30) + 50 % egg white	4.21±0.33b	16.73±2.28b
SF:PSF(70:30) + 7.18% egg white powder	4.49±0.46b	16.26±4.09b
SF:PSF(50:50) + 7.18% egg white powder	7.55±1.24a	21.40±1.43a

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ค12 ค่าแรงดึงสูงสุดและระยะทางสูงสุดในการดึงของบะหมี่ที่เติมไข่ขาวผง

Treatments	Force (g)	Distance (mm)
WF	7.89±0.67a	42.48±1.53a
SF:PSF(50:50)	4.55±1.81c	8.67±3.26d
SF:PSF(50:50)+5% egg white powder	5.33±1.35b	17.76±0.58c
SF:PSF(50:50)+10% egg white powder	8.35±0.49a	22.58±1.54b
SF:PSF(50:50)+15% egg white powder	8.91±1.05a	19.18±2.45bc
SF:PSF(50:50)+20% egg white powder	9.04±0.68a	18.22±1.14bc

หมายเหตุ – ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

### 3. การวัดค่าสี

#### วิธีวิเคราะห์

ทำการวัดสีของบะหมี่ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CM-3500d โดยใช้แหล่งแสงระบบ CIE ตรวจวัดค่า L\*, a\* และ b\* โดยใช้แผ่น target mask ขนาดที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการวัด ในการทดลองนี้ใช้แผ่นที่มีรูขนาดเล็ก ทำการ calibrated ด้วย zero calibration และ white calibration โดยทำการตั้งค่าการวัดดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดแสง D light (Day Light)
- ค่ามุม 10 องศา
- ทำการวัดแบบหาค่าเฉลี่ย (average) 3 จุด

นำตัวอย่างบะหมี่ใส่ Petri-dish พยายามบรรจุให้แน่นที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวอย่าง วางตัวอย่างบะหมี่ที่บรรจุใส่ Petri-dish ลงบนแผ่น target mask วัดค่า 3 จุดต่อ 1 ตัวอย่าง อ่านค่าสีที่วัดได้ในระบบ L\* a\* และ b\* (ค่า L\* คือ ค่าความสว่าง ถ้าค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมาก ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวอย่างมีความคล้ำมาก ค่า a\* คือค่าความเป็นสีแดง/เขียว ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีแดง ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็น

สีเขียว ค่า  $b^*$  คือค่าความเป็นสีเหลือง/น้ำเงิน ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีเหลือง ถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีน้ำเงิน)



## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - สกุล	นางสาวพิลัยพร คีมโชค
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วท. บ. (เทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ) คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-