ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร | พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว

Effect of Protein and Baking Conditions on Quality of Rice-Flour Bread

นามผู้วิจัย นางสาวฐิติมา ธันวราคม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ้งชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ **เดือน** _____ **พ.ศ.** _____

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว

Effect of Protein and Baking Conditions on Quality of Rice-Flour Bread

โดย

นางสาวฐิติมา ธันวราคม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฐิติมา ธันวราคม 2557: ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D. 85 หน้า

โดยปกติแล้วขนมปังทำมาจากแป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ การพัฒนาขนมปังที่ทำมาจากแป้งข้าวถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ปลายข้าวหักและลดการนำเข้าแป้งสาลี อย่างไรก็ตามขนมปังที่ทำมาจากแป้งข้าวต้องมีการเติมโปรตีนเข้าไปเพื่อให้เกิดลักษณะของขนมปังที่ดี ในการวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาผลของโปรตีนจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ทั้งฟอง และสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าว ในการอบขนมปังแป้งข้าวแบบลมร้อน พบว่า การเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว) ลงในโดทำให้ค่า b* (24.05 - 27.31) ความแข็ง (7.49 - 9.36 นิวตัน) และความสามารถในการรวมตัวกัน (0.81 - 0.89) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในทางกลับกัน ค่าปริมาตรจำเพาะ (1.01 - 1.16 ซม^3/กรัม) และ L* (42.08 - 60.38) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น (2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว) ทำให้ปริมาตรจำเพาะ (1.42 - 1.48 ซม^3/กรัม) เพิ่มขึ้น แต่ความยากง่ายในการเคี้ยว (43.21 - 51.31 นิวตัน) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) การเติมไข่ไก่ทั้งฟอง (17 - 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว) ทำให้ค่า b* (26.58 - 30.93) ความแข็ง (10.18 - 12.21 นิวตัน) และความยากง่ายในการเคี้ยว (81.45 - 96.77 นิวตัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) แต่ความชื้น (65.29 - 66.68 ร้อยละฐานแห้ง) และค่า L* ของสีเปลือกขนมปัง (40.16 - 56.33) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยการเติมโปรตีนทุกชนิดช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาล (70.19 - 80.14) ลงเมื่อเทียบกับขนมปังแป้งข้าวที่ไม่เติมโปรตีน (80.34) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสภาวะในการอบมีผลต่อค่าคุณภาพของขนมปัง โดยการอบแบบลมร้อนทำให้ได้ขนมปังที่มีค่าปริมาตรจำเพาะ (1.01 - 1.43 ซม^3/กรัม) ค่า L* ของเปลือกขนมปัง (37.38 - 60.38) และความแข็ง (4.22 - 12.21 นิวตัน) ต่ำที่สุด ($P\leq0.05$) แต่ทำให้ค่าปริมาณความชื้น (65.29 - 85.82 ร้อยละฐานแห้ง) สูงที่สุด ($P\leq0.05$) การอบแบบไมโครเวฟทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะ (1.11 - 1.55 ซม^3/กรัม) ค่า L* ของเปลือกขนมปัง (72.90 - 82.55) และความแข็ง (6.24 - 15.50 นิวตัน) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) แต่ทำให้ค่าความชื้น (41.41 - 72.76 ร้อยละฐานแห้ง) และค่าดัชนีน้ำตาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่อบแบบลมร้อน ในทำนองเดียวกันการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟทำให้ปริมาตรจำเพาะ (1.03 - 1.53 ซม^3/กรัม) และความแข็ง (4.27 - 14.50 นิวตัน) เพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้ค่าความชื้น (43.64 - 74.78 ร้อยละฐานแห้ง) ลดลง ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 วัน ส่งผลให้ความชื้นและความยืดหยุ่นลดลง แต่ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีน้ำตาล ($P>0.05$)

_____ / _____ / _____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Thitima Tanvarakom 2014: Effect of Protein and Baking Conditions on Quality of Rice-Flour Bread. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Nantawan Therdthai, Ph.D. 85 pages.

Bread is usually made from wheat flour which was imported from oversea. Development of the rice flour bread could increase value to broken rice and reduce wheat flour importion. However rice flour dough needed some protein to creat good attributes of the rice flour bread. In this study, effect of protein (soy protein isolate, whey protein concentrate and whole egg) and baking condition on quality of rice flour bread was determined. In hot air baking (HA), it was found that addition of 2 - 6 g soy protein isolate/100 g flour into dough could increase color L* (24.05 - 27.31), hardness (7.49 - 9.36 N) and cohesiveness (0.81 - 0.89) significantly ($P \leq 0.05$). In the contrary, it decreased specific volume (1.01 - 1.16 cm^3/g) and crust L* (42.08 - 60.38) significantly ($P \leq 0.05$). Addition of 2 - 6 g whey protein concentrate/100 g flour improved specific volume (1.42 - 1.48 cm^3/g) but decreased chewiness (43.21 - 51.31 N) significantly ($P \leq 0.05$). Addition of 17 - 51 g whole egg/100 g flour increased crumb b* (26.58 - 30.93), hardness (10.18 - 12.21 N) and chewiness (81.45 - 96.77 N), but decreased moisture content (65.29 - 66.68 % dry basis) and crust L* (40.16 - 56.33) significantly ($P \leq 0.05$). Regardless of types, addition of protein to rice flour bread caused a decreased glycemic index (70.19 - 80.14), compared with the glycemic index of the rice flour bread without protein (80.34). Variation of baking methods caused variation of quality of bread. HA produced the lowest specific volume (1.01 - 1.43 cm^3/g), crust L* (37.38 - 60.38) and hardness (4.22 - 12.21 N) but the highest moisture content (65.29 - 85.82 % dry basis). Microwave baking (MW) increased specific volume (1.11 - 1.55 cm^3/g), crust L* (72.90 - 82.55) and hardness (6.24 - 15.50 N) but decreased moisture content (41.41 - 72.76 % dry basis) and glycemic index (60.53 – 79.24), compared with HA. Similarly, hot air assisted microwave baking (HA-MW) could increase specific volume (1.03 - 1.53 cm^3/g) and hardness (4.27 - 14.50 N) but decrease moisture content (43.64 - 74.78 % dry basis). During storage at ambient temperature (30 °C) for 3 days, moisture content and springiness of bread were decreased, but hardness was increased significantly ($P \leq 0.05$). Nontheless glycemic index was not changed ($P > 0.05$).

_____ / _____ / _____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายที่ยินดีให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้า ขอขอบคุณ รศ.ดร. นันทวัน เทอดไทย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ปิติพร ฤทธิเรืองเดช กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆและน้องๆทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืออย่างยิ่งในการปฏิบัติงาน คอยเป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆจนงานสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตา ยาย พี่สาวรวมทั้งผู้มีพระคุณที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่านสำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจและกำลังใจที่มีมาให้กันตลอดจนสำเร็จการศึกษา และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์ให้แด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ฐิติมา ธันวราคม

มิถุนายน 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบาญ

หน้า

สารบาญ	(1)
สารบาญตาราง	(2)
สารบาญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	79
ภาคผนวก ข วัตถุดิบและอุปกรณ์ในการผลิตขนมปังแป้งข้าว	83
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติตางๆ ของแปงขาวเจา	6
2	คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ	7
3	สมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิ (ขนาดของเม็ดแป้ง <100 เมช) โดยเครื่องวัดความหนืด Rapid Viscosity Analyses	7
4	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในอาหารตามค่า GI	18
5	สูตรต่างๆของขนมปัง	26
6	ปริมาตรจำเพาะและค่าความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	33
7	ปริมาตรจำเพาะและค่าความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	34
8	ปริมาตรจำเพาะและค่าความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่	35
9	คุณภาพด้านกายภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	37
10	คุณภาพด้านกายภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่ที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	38
11	คุณภาพด้านกายภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่	39
12	ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในสภาวะการอบต่างๆ	49
13	ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในสภาวะการอบต่างๆ	50
14	ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่ในสภาวะการอบต่างๆ	51
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน	53
16	ค่าความแข็งของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน	55
17	ค่าความยืดหยุ่นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน	56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

18 ค่าความสามารถในการรวมตัวกันของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 57

19 ค่าความยากง่ายในการเคี้ยวของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 58

20 ค่าความสามารถในการกลับสู่สภาพเดิมของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 59

21 ค่า D_0 ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 61

22 ค่า K ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 62

23 ค่า GIHI90 ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 63

24 ค่า GIHI ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 64

24 ค่าเฉลี่ย GI ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน 65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบาญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1	สูตรทางเคมีของ 2-แอซิทิล-1-ไพร์รอลีน	3
2	กระบวนการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิแบบโม่แห้ง	5
3	วิธีการเตรียมขนมปังแป้งข้าว	27
4	โครงสร้างและลักษณะปรากฏเนื้อในขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	41
5	โครงสร้างและลักษณะปรากฏเนื้อในขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	42
6	โครงสร้างและลักษณะปรากฏเนื้อในขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่	43
7	ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยลมร้อน	45
8	ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยไมโครเวฟ	46
9	ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	46
10	ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยลมร้อน	47
11	ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยไมโครเวฟ	47
12	ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	48

ภาพผนวกที่

ข1	แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ยี่ห้อ เพชรพานทอง	84
ข2	เตาอบไฟฟ้า	84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว

Effect of Protein and Baking Conditions on Quality of Rice-Flour Bread

คำนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมอบเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้นเนื่องจากวิถีชีวิตของคนไทยเปลี่ยนไปจากเดิมโดยเฉพาะสังคมเมืองที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วส่งผลกระทบโดยตรงในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคของประชากรซึ่งขนมปังถือเป็นอาหารหลักที่มีคุณค่า ให้พลังงานแก่ร่างกาย (มปช, 2552) แต่ขนมปังใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตซึ่งสมบัติของแป้งสาลีเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะได้โครงสร้างของโปรตีนที่เรียกว่า กลูเตน (gluten) อันเป็นปัญหาประการหนึ่งของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีเนื่องจากกลูเตนเป็นสารก่อภูมิแพ้ (allergen) ชนิดหนึ่งที่อาจก่อให้เกิดโทษต่อผู้ที่แพ้ได้ (Ciacci *et al*., 2007) ดังนั้น การหาวัตถุดิบเพื่อทดแทนแป้งสาลีเป็นแนวทางหนึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตข้าวขนาดใหญ่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น เหมาะสมกับผู้ที่แพ้กลูเตนและผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ข้าวไทยมีหลากหลายสายพันธุ์แตกต่างไปตามแหล่งที่ปลูก ชนิดที่เป็นที่นิยมและมีชื่อเสียงติดอันดับโลกคือ ข้าวหอมมะลิ (ศิโรจน์ และคณะ, 2553) ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำแป้งข้าวซึ่งได้จากส่วนเหลือของกระบวนการสีข้าวมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขนมปัง (พรวีนัส, 2544) ปาท่องโก๋ (พจนีย์, 2546) ขนมสาลี่ (ชุติมา, 2549) และสโคน (ปาริชาติ, 2553) เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มความหลากหลายจากข้าวได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งข้าวล้วนปราศจากกลูเตน โดยศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังซึ่งมีผลต่อการย่อยของระบบทางเดินอาหาร ค่าดัชนีน้ำตาลของอาหารต่ำเกี่ยวข้องกับการป้องกันและควบคุมเกี่ยวกับการเผาผลาญอาหารและโรคหลอดเลือดอาหาร เช่น โรคเบาหวานและกล้ามเนื้อหัวใจตาย (Franca and Andrea, 2007) เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1 เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณโปรตีนที่มีต่อลักษณะและคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวหลังการอบและระหว่างการเก็บ

2. เพื่อศึกษาผลของสภาวะการอบที่มีต่อลักษณะและคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวหลังการอบและระหว่างการเก็บ

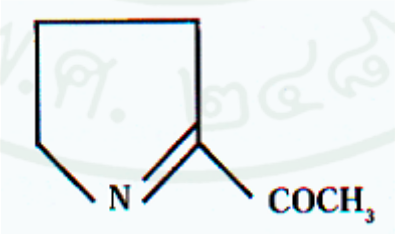
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวหอมมะลิ

1.1 ลักษณะทั่วไปและถิ่นกำเนิด

ข้าวหอมมะลิ (*Oryza sativa* L.) โดยรวมถึงข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสงซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี (มกอช, 2546) ข้าวหอมมะลิไทย (Thai hom mali rice) มักระบุชื่อเป็น Fragrance rice, Jasmine rice หรือ Scented rice ซึ่งหมายถึง ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ผลิตในประเทศไทย ที่กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศรับรอง เช่น พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ กข 15 พันธุ์คลองหลวง 1 ที่มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวยแล้ว เมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม (งามชื่น, 2541) กลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิมาจากสาร 2-แอซิทิล-1-ไพร์รอลีน (2-acetyl-1-pyroline) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าวเป็นสารหอมชนิดเดียวกันกับที่พบในใบเตย ข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องจะมีสารนี้ประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ข้าวสารมีเพียง 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (ชุติมา, 2549) ข้าวหอมมะลิไทยแบ่งเป็น 3 ชั้น ตามอัตราการปนของข้าวเจ้าพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิไทย ดังนี้ ข้าวหอมมะลิไทยชั้นดีเลิศ (prime quality) ข้าวหอมมะลิไทยชั้นดีพิเศษ (superb quality) และข้าวหอมมะลิไทยชั้นดี (premium quality) อาจมีข้าวเจ้าพันธุ์อื่นปนน้อยกว่าร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



ภาพที่ 1 สูตรทางเคมีของ 2-แอซิทิล-1-ไพร์รอลีน

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

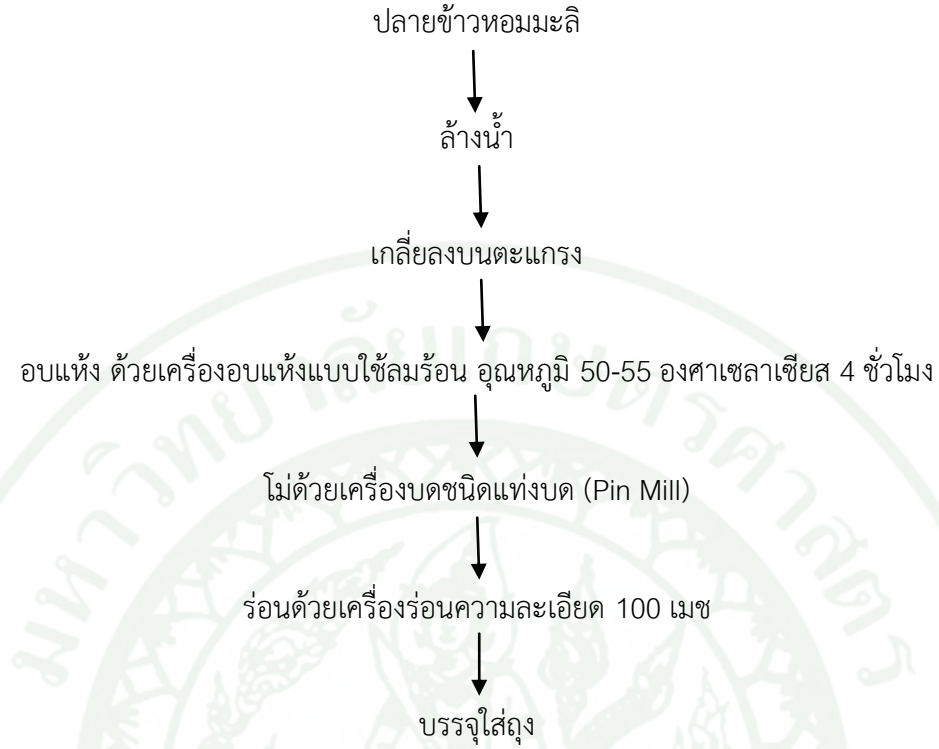
ข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีคุณภาพดีที่สุดและราคาแพงที่สุดของประเทศไทยเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ประเทศที่เป็นลูกค้าข้าวหอมมะลิ ได้แก่ ฮ่องกง สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา คุณสมบัติที่ส่งให้ข้าวหอมมะลิเป็นข้าวคุณภาพสูง คือ ข้าวเปลือกเรียวยาวได้ขนาดมาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวเรียว ยาว ขาวใส เป็นเงาแกร่งและมีท้องไข่น้อย มีกลิ่นหอม เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะรสชาติดี ซึ่งข้าวหอมมะลิจัดเป็นข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 12-18 ทำให้ข้าวสุกมีความอ่อนนุ่ม

2. แป้งข้าว

แป้งข้าวมีทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวซึ่งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวจัดเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมูลฐานของผลิตผลทางการเกษตร ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่จับกันเป็นก้อน ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 13 สัดส่วนของแอมิโลเพกตินแตกต่างไปตามชนิดของแป้ง โดยแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงและมีแอมิโลสอยู่ประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันไปตามพันธุ์ของข้าว (สายสนม, 2537) ข้าวหอมมะลิหากนำมาทำเป็นแป้งข้าวจะมีปริมาณแอมิโลสต่ำร้อยละ 10-20 (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543) ปัจจุบันมีเพียงข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เท่านั้นที่มีการผลิตและจำหน่ายเชิงการค้า (วิชัย, 2538)

ข้าวที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวจะเป็นข้าวหักหรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง วิธีการโม่แป้งแบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ วิธีโม่น้ำ วิธีโม่แห้งและวิธีผสมซึ่งการผลิตแป้งโดยวิธีการโม่แห้งเนื่องจากวัตถุดิบเป็นปลายข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวสาร ดังนั้นมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก การแยกสิ่งเจือปนอาจใช้วิธีร่อนแป้งเพื่อแยกสิ่งที่มีน้ำหนักเบากว่าข้าวออกแต่เนื่องจากขนาดของปลายข้าวมีขนาดค่อนข้างเล็กจึงยังคงมีสิ่งเจือปนเหลือค้างอยู่ ดังนั้นแป้งที่ได้จึงมีความสะอาดน้อย เมล็ดข้าวยังมีความแกร่งอยู่มากทำให้ลำบากที่จะทำให้แตกละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจึงมักเป็นแป้งหยาบ นอกจากนี้ไข่แมลงที่ติดมากับเมล็ดข้าวยังสามารถพัฒนาเป็นหนอนเมื่อเก็บไว้ในช่วงระยะเวลาไม่นาน อีกทั้งไขมันที่ยังเหลือในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย ในประเทศไทยจึงไม่ค่อยนิยมใช้แป้งข้าวชนิดโม่แห้ง ในต่างประเทศมีรายงานการใช้แป้งชนิดนี้ในการทำขนมเค้ก ขนมปังกรอบ วิธีโม่แห้งในการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิ ดังภาพที่ 2 (งามชื่น, 2541)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิแบบโม่แห้ง

ที่มา: งามชื่น (2541)

การผลิตแป้งโดยวิธีการโม่น้ำเป็นวิธีการผลิตแป้งที่แพร่หลายในปัจจุบัน การผลิตเริ่มจากการนำปลายข้าวมาแยกสิ่งสกปรกอาจมีการสีขัดเอาผิวนอกของเมล็ดออก เมื่อขัดผิวนอกที่มีกลิ่นหืนออกไป ขั้นตอนต่อไปจึงนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำ จะมีการกวนข้าวเพื่อให้สิ่งเจือปนลอยขึ้นมาและตักออก การล้างข้าวนี้จะล้างหลายๆครั้งจนน้ำที่ล้างใส หลังจากนั้นจึงทำการแช่ข้าวต่อไปเพื่อให้ข้าวดูดซับน้ำไว้ทำให้ข้าวอ่อนตัวลงซึ่งอาจใช้เวลา 3 - 4 ชั่วโมงแล้วจึงระบายน้ำออกให้ข้าวสะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นจึงนำข้าวเข้าเครื่องโม่พร้อมกับน้ำโดยควบคุมอัตราการเติมน้ำให้เหมาะสมเองให้ได้แป้งละเอียดตามต้องการ น้ำแป้งที่ได้จะถูกนำเข้าระบบการกรองหรือเครื่องแยกน้ำแป้ง ในปัจจุบันนี้โรงงานผลิตแป้งนิยมใช้เครื่องกรองระบบ filter plate หลังจากกรองน้ำออกจากแป้งหมาดจะค้างอยู่ในชั้นของแผ่นกรองเป็นก้อน ก่อนที่จะนำแป้งไปอบลดความชื้นจำเป็นต้องเข้าเครื่องตีเพื่อตีให้ก้อนแป้งมีขนาดเล็กลง สะดวกที่จะลดความชื้น ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูง ซึ่งประหยัดเวลาและแป้งมีคุณภาพดีขึ้น การใช้อุณหภูมินี้ทำให้ผิวนอกของก้อนแป้งสุกบางส่วน (gelatinized) ทำให้คุณภาพของแป้งต่างจากวิธีการโม่แห้งซึ่งเป็นแป้งดิบ เมื่อลดความชื้นของแป้งลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถึงระดับที่ต้องการ (ประมาณร้อยละ 9 - 10) จึงนำแป้งแห้งนี้ไปโม่อีกครั้งให้ละเอียดเป็นผงและร่อนให้มีคุณภาพดีมีความละเอียดและมีสิ่งเจือปนน้อย เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตแป้งโดยวิธีโม่น้ำนี้มีการพัฒนาต่อเนื่องมาช้านาน ซึ่งในสมัยก่อนข้าวเจ้าไทยส่วนใหญ่เป็นข้าวที่มีแอมิโลสสูง ดังนั้นการผลิตแป้งในปัจจุบันจึงยังคงมุ่งเน้นการผลิตแป้งข้าวเจ้าชนิดแอมิโลสสูง การผลิตแป้งข้าวเหนียวก็ใช้วิธีโม่น้ำเช่นกัน

สมบัติทั่วไปของแป้งข่าวเจ่า คือ ไมสามารถละลายไดในน้ำเย็นแตสามารถที่จะพองตัวไดในน้ำอุน ซึ่งปริมาณการพองตัวของแป้งนั้นขึ้นอยูกับอุณหภูมิของน้ำที่ใช่และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะมีการพองตัวจนสูงสุดและแตกออกซึ่งจะเปนอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนซ คุณลักษณะและสมบัติของแป้งขาวเจา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติตางๆ ของแป้งขาวเจา

สมบัติ	แป้งขาวเจา
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	6.8[a]
กำลังการพองตัว (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	19[c]
การละลาย (รอยละ) (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	18[c]
ปริมาณแอมิโลส (โมเลกุล)	18-27[a]
ขนาดของแอมิโลส (โมเลกุล)	900-1,100[b]
อุณหภูมิเริ่มตนเกิดเจลาทิไนซ (องศาเซลเซียส)	60[a]
อุณหภูมิสุดทายที่เกิดเจลาทิไนซ (องศาเซลเซียส)	77[a]

ที่มา: [a] Ellis and Gudmundsson (1996)

[b] Hizukuri (1996)

[c] Leach *et al*. (1959)

Sew-eaw (2007) ทำการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิมีค่าคุณภาพด้านกายภาพและทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2 และได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer แสดงดังตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ

คุณภาพแป้ง (ขนาดของเม็ดแป้ง <100 เมช)	แป้งข้าวหอมมะลิ
ค่าสี L*	93.18
a*	-0.35
b*	5.47
a_w	0.46
ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	11.73
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	0.61
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	0.38
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	7.10
ใยอาหาร (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	2.33
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	91.57
ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	12.66

ที่มา: Sew-eaw (2007)

ตารางที่ 3 สมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิ (ขนาดของเม็ดแป้ง <100 เมช) โดยเครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer

คุณสมบัติ	แป้งข้าวหอมมะลิ
ค่าความหนืดสูงสุด (cP)	4,322.67
ค่าความหนืดต่ำสุด (cP)	2,095.00
ความหนืดต่ำสุด (cP)	2,237.67
ค่าความหนืดสุดท้าย (cP)	4,150.33
ค่าการคืนตัว (cP)	-182.33
อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (องศาเซลเซียส)	74.35

ที่มา: Sew-eaw (2007)

แป้งที่แตกต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน นันทพร (2546) ได้แบ่งแป้งตามสมบัติในการหุงต้มและรับประทานเป็น 2 พวก คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1 แอมิโลส

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage แป้งที่มีโมเลกุลของแอมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติแอมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543) แอมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ไม่ละลายในน้ำ โดยแอมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard and Bowler, 1987) นอกจากนี้แอมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของแอมิโลส

2.2 แอมิโลเพกติน

แอมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage แอมิโลเพกตินมีความสำคัญมากกว่าแอมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมีแอมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน (Oates, 1997)

นอกจากแอมิโลสและแอมิโลเพกตินแล้ว แป้งยังประกอบด้วยสารตัวกลาง ซึ่งมีเป็นส่วนน้อยในแป้งบางชนิดและส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง เช่น ไขมัน ไนโตรเจน (โปรตีน) เถ้า และฟอสฟอรัส (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

3. ไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส (HPMC)

Hydroxypropyl methyl-cellulose (HPMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยเกิดจากเซลลูโลสซึ่งเป็นสายพอลิเมอร์สายตรงที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ β-(1,4)-D-anhydroglucose ซึ่งแต่ละหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy) 3 หมู่ ที่มีความสามารถไปทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ โดยปกติแล้วเซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้แต่ในการนำเซลลูโลสมาใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะของอาหาร จำเป็นที่จะต้องทำให้เซลลูโลสละลายน้ำได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงให้เซลลูโลสละลายน้ำได้โดยการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับอัลคิลีนออกไซด์ (alkylene oxide) เกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซีของเซลลูโลสได้เป็นอนุพันธุ์ของเซลลูโลสซึ่งจะอยู่ในรูปของเซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether) (Imeson, 1997)

HPMC มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำเย็นแต่ไม่ละลายในน้ำร้อนเพราะเมื่อสารละลายได้รับความร้อน ประมาณ 50 - 90 องศาเซลเซียส จะเกิดการก่อตัวของเจลขึ้น ในขณะที่ความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการก่อตัวของเจลจะเกิดการตกตะกอนขึ้นโดยอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของ HPMC จะอยู่ในช่วง 60 - 90 องศาเซลเซียส การที่สารละลายตกตะกอนนั้นเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์กับโมเลกุลของน้ำแตกออกและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเองเกิดการอ่อนตัวลงแต่สามารถลดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายตกตะกอนได้ด้วยการเติมเกลือลงในสารละลายและเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ความหนืดของสารละลาย HPMC นั้นจะไม่ขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบสเพราะสามารถทนความเป็นกรดเบสได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 2 - 13 (Imeson, 1997)

ในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นจะใช้อนุพันธุ์เซลลูโลสทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัว สารนี้จะชวยเชื่อมประสานสวนผสมอาหารให้แนนขนพอเหมาะ ทำให้อาหารมีความชื้น ได้รสดีและเป็นสารยืดอายุการเก็บ เป็นต้น การเติม CMC และ MC ลงไปในขนมอบทำให้ระหว่างการอบ CMC และ MC จะมีการสูญเสียความชื้นไปและเกิดการก่อตัวเป็นเจลขึ้น ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์มากในการทำขนมอบ เช่น ใช้ในการทำขนมที่ปราศจากกลูเตน ซึ่งในขนมปังที่ปราศจากกลูเตนจะทำให้เวลาในการผสมโดเพิ่มขึ้น ปริมาตรของขนมปังลดลงและทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังหยาบและไม่น่ารับประทาน แต่ถ้าเติม HPMC ลงไปร้อยละ 0.1 - 0.5 จะช่วยกักเก็บความชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้นและเนื้อสัมผัสน่ารับประทานมากขึ้น (Imeson, 1997)

4. โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการเพื่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างภูมิคุ้มกันโรคและฮอร์โมนหลายชนิด คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในอาหารจะแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารนั้น โปรตีนคุณภาพสูง (high quality) หรือโปรตีนชนิดสมบูรณ์ (complete protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นและมีอยู่ในสัดส่วนที่ร่างกายต้องการ กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) นั้นเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเองได้ ดังนั้นต้องได้กรดอะมิโนเหล่านี้จากอาหาร แหล่งของโปรตีนคุณภาพสูง ได้แก่ นม เนื้อสัตว์ ถั่วเหลือง (ภัทรินทร์, 2535)

การพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการสำหรับโปรตีนนั้นแตกต่างจากสารอาหารอย่างอื่น คือ ต้องคิดถึงคุณภาพมากกว่าปริมาณ เช่น พืชบางอย่างอาจมีโปรตีนมากกว่าไข่ แต่คุณภาพโปรตีนด้อยกว่า ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงถือว่าพืชนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนด้อยกว่าไข่ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณค่าอาหารโปรตีน ได้แก่ ประเภทของโปรตีน ความสามารถของร่างกายในการย่อยโปรตีน และคุณสมบัติเสริมหรือการส่งเสริมซึ่งกันและกันของโปรตีน (เสาวณีย์, 2542) ความสามารถของร่างกายในการย่อยโปรตีน (digestibility) หมายถึงปริมาณของโปรตีนที่ร่างกายดูดซึมได้ โปรตีนในอาหารแต่ละชนิด ย่อยได้มากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นใยของโปรตีนหรือกากของเซลลูโลส ถ้าอาหารมีกากมากจะกระตุ้นกระเพาะให้ทำงานเร็วขึ้น อาหารจะผ่านออกเร็ว ย่อยได้ไม่เต็มที่ ถั่วเมล็ดแห้งดิบย่อยไม่ได้ดีเท่าถั่วเมล็ดแห้งที่ผ่านการหุงต้มแล้ว

โปรตีนแต่ละประเภทมีส่วนประกอบและปริมาณของกรดอะมิโนในโมเลกุลต่างกัน ทำให้คุณค่าทางโภชนาการต่างกัน สามารถแบ่งโปรตีนได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. โปรตีนประเภทสมบูรณ์ (complete proteins) เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบทุกตัวและมีจำนวนเพียงพอที่ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตได้เต็มที่หรือช่วยบำรุงรักษาร่างกาย ถ้ารับประทานโปรตีนชนิดใดแล้วสามารถนำไปสร้างเนื้อเยื่อได้ร้อยเปอร์เซนต์ ถือว่ามีคุณค่าทางชีววิทยา (biological value หรือ B.V.) เท่ากับ 100 โปรตีนดังกล่าวจะเป็น ideal protein ซึ่งมีคุณค่าแก่ร่างกายมากที่สุด มีชนิดและอัตราส่วนของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับที่พบในเนื้อเยื่อของคนแต่ยังไม่มีโปรตีนที่ว่าปรากฏขึ้นมาจริงเนื่องจากเมื่อกินเข้าไปแล้วจะต้องผ่านการย่อย การดูดซึมและการสูญเสีย ในปัจจุบันจึงให้โปรตีนในน้ำนมมารดามีคุณค่าทางชีววิทยาสูงสุด คือ 100 ไข่ 94 - 96 ถั่วเหลือง 75 (เสาวณีย์, 2542) สำหรับไข่นั้นมักใช้เป็นโปรตีนมาตรฐานเปรียบเทียบ (reference protein) กับอาหารอื่น โปรตีนในพืชที่มีคุณค่าทางชีววิทยาที่สูงสุดและสูงใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ ได้แก่ ถั่วเหลือง

2. โปรตีนประเภทไม่สมบูรณ์ (incomplete proteins) เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายไม่ครบทุกตัวหรือมีปริมาณต่ำ (limiting amino acids) ไม่เหมาะสมในการสร้างโปรตีนของร่างกาย ดังนั้นถ้ากินโปรตีนนี้อย่างเดียวร่างกายจะเจริญเติบโตไม่เต็มที่และเกิดโรคขาดโปรตีนได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรตีนจากพืชทุกชนิดยกเว้นถั่วเหลืองมีคุณค่าทางชีววิทยาต่ำเพราะมักมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายต่ำ เช่น ข้าวมีไลซีนต่ำ ข้าวสาลีมีไลซีนและไอโซลูซีนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไข่

โปรตีนในถั่วเหลือง เปนแหลงที่สำคัญของกรดอะมิโนที่จำเปน ยกเวน เมไทโอนินและทริปโตเฟน พบวามีปริมาณไลซีนคอนขางสูงจึงเสริมความขาดแคลนไลซีนในพวกขาวได โปรตีนในถั่วเหลืองสามารถละลายไดดีในน้ำหรือในน้ำเกลือเจือจางที่พีเอชต่ำกวาหรือสูงกวาจุดไอโซอิเล็กตริก (pl) เปนโปรตีนในกลุมโกลบูลิน (Grandison, 2001) การเกิดเจลของนมถั่วเหลืองเกิดจากสารละลายโปรตีนไดรับความรอนสูงจากการตม โดยทั่วไปจะมีการตมน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อทำลายทริปซินอินฮิบิเตอรและฮีแมกกลูตินิน ความรอนจะทำลายโครงสรางแบบจตุรภูมิ จึงทำใหโปรตีนแปลงสภาพจากธรรมชาติซึ่งมีระดับการแปลงสภาพแตกตางกันไปตั้งแตสารละลายมีลักษณะหนืดมากขึ้น มีการตกตะกอนจนถึงการเกิดเจล การเกิดเจลเกิดจากโมเลกุลที่คลายตัวเนื่องจากความรอนจากนั้นมีการเชื่อมโยงกันใหมเปนรางแหแลวอุมน้ำไวในรางแห ปจจัยที่มีผลตอการเกิดเจลของสารละลายโปรตีนมีดังตอไปนี้ คือ

1. สารละลายโปรตีนตองมีความเขมขนของโปรตีนอยางนอยรอยละ 8

2. ความเปนกรดเปนดาง ที่พีเอชต่ำมาก เชนที่ 1 หรือ 2 หรือที่พีเอชสูงกวา 10 จะไมเกิดเจล จะเกิดเจลไดดีที่ 4.6 ซึ่งเปนจุดไอโซอิเล็กตริกของโปรตีนจากถั่วเหลือง เชน การทำเตาหูหลอดกรดที่ไดจากการสลายตัวของกลูโคโน-เดลตา-แลกโตนทำใหโปรตีนตกตะกอนเปนเจล

3. อุณหภูมิการตมสารละลายโปรตีนที่อุณหภูมิตางๆจะมีผลทำใหหนวยยอยของโมเลกุล (subumit) แตกอออกจากกัน จากนั้นจึงมีการสรางพันธะใหม เชน พันธะไอออนิก พันธะไดซัลไฟดรวมทั้งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก จึงเกิดเจล

4. ปริมาณสารที่ทำใหเกิดประจุบวกในสารละลายโปรตีนเชน เกลือของแคลเซียมหรือเกลือของแมกนีเซียม เชน การทำเตาหูแข็งและเตาฮวยมีการใชเกลือแคลเซียมคลอไรดและแมกนีเซียมซัลเฟต

โปรตีนเวย หลังจากการตกตะกอนของเคซีนออกจากน้ำนมแลว สวนที่เปนของเหลวที่เหลือเรียกวา เวย (whey) โปรตีนหลักในเวยประกอบไปดวยบีตา-แลกตัลบูมินและแอลฟา-แลกตัลบูมิน บีตา-แลกตัลบูมิน มีโครงสรางโมเลกุลสองแบบ คือ มอโนเมอรและไดเมอร มอโนเมอรจะมีน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โมเลกุล 18,000 ดาลตัน มีเสถียรภาพที่พีเอชต่ำกวา 3.5 และสูงกวา 7.5 แตที่พีเอชในชวง 3.5 ถึง 7.5 โครงสรางโมเลกุลเปนแบบไดเมอรมีน้ำหนักโมเลกุล 36,000 ดาลตัน เสถียรภาพของบีตา-แลกตัลบูมินถูกทำลายเมื่อไดรับความรอนสูง หรือมีปริมาณแคลเซียมไอออนในน้ำนมสูงกวาปกติหรือน้ำนมมีพีเอชสูงกวา 8.6 จะทำใหน้ำนมตกตะกอนจึงทำใหกระบวนการฆาเชื้อในน้ำนมเปนแบบพาสเจอรไรเซชันหรือแบบยูเอชที (Ultra high heat treatment, UHT) นอกจากนี้บีตา-แล็กโตโกลบูลินประกอบดวยหมูของซัลฟไฮดริล ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนซิสเตอีนซึ่งใหกลิ่นที่ไดจากการตมน้ำนม (cooked flavor) เมื่อน้ำนมไดรับความรอนสูง เชน ในกระบวนการทำนมผง การทำน้ำนมขน และการทำน้ำนมสเตอริไลซ เปนตน (Regenstein, 1984)

โปรตีนในไขเปนโปรตีนที่พบในไขขาวและไขแดง ไขขาวมีโปรตีน 8 ชนิด บางชนิดมีสมบัติพิเศษเชน ไลโซไซมเปนสารปฏิชีวนะ โอโวมิวคอยสเปนสารตอตานการทำงานของเอ็นไซมทริปซิน (trypsin inhibitor) อะวิดินจับกับไบโอตินซึ่งเปนวิตามินบีชนิดหนึ่งทำใหรางกายไมสามารถใชประโยชนจากไบโอตินได ไขขาวมีปริมาณโปรตีนรอยละ 10 - 11 ของน้ำหนักไข แตเมื่อทำเปนไขผงจะมีปริมาณโปรตีนรอยละ 83 แตเนื่องจากไขขาวมีปริมาณกลูโคสเล็กนอยจึงมีการกำจัดกลูโคสดวยกลูโคสออกซิเดสกอนการนำไขขาวไปทำเปนไขผงเพื่อปองกันสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลารด ไขขาวมีสมบัติที่ดีในการเกิดโฟมจึงใชในการขึ้นฟูของขนมเคกและขนมไข โดยสมบัติในการเกิดโฟมจะลดลงเมื่อไขมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเพราะไขจะมีความหนืดลดลงและมีพีเอชเพิ่มขึ้น ไขแดงมีปริมาณโปรตีนรอยละ 17.5 ของน้ำหนักไขและมีไขมันสูงกวาองคประกอบชนิดอื่นๆ และไขมันสวนหนึ่งเปนองคประกอบของโปรตีนอยูในรูปไลโพโปรตีน ซึ่งเปนตัวกออิมัลชันที่ดี (DeMan, 1990)

ลดาวัลย์ (2547) ได้ทำการพัฒนาแป้งขนมปังพร้อมใช้เสริมโปรตีนและใยอาหาร พบว่าสามารถทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิได้ร้อยละ 37.5 และสามารถใช้ถั่วแดงผงร้อยละ 3 กากถั่วเหลืองผงร้อยละ 6 ไข่แดงผงร้อยละ 3 และงาขาวร้อยละ 3 ของปริมาณแป้งผสม 100 กรัม ค่าความแข็งของขนมปังลดลงเมื่อปริมาณน้ำและเนยขาวเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณเนยขาว 8 กรัมและน้ำ 65 กรัมเป็นปริมาณที่เหมาะสม โดยขนมปังที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยแป้งสาลีร้อยละ 62.5 แป้งข้าวหอมมะลิร้อยละ 37.5 ถั่วแดงผงร้อยละ 3.55 กากถั่วเหลืองผงร้อยละ 7.1 ไข่แดงผงร้อยละ 3.55 งาขาวร้อยละ 3.55 ยีสต์ร้อยละ 1.2 น้ำตาลร้อยละ 11.8 เกลือร้อยละ 2.1 นมผงร้อยละ 4.7 น้ำร้อยละ 76.5 เนยขาวร้อยละ 9.4 และสารเสริมคุณภาพร้อยละ 1.2 ของปริมาณแป้งผสม 100 กรัม ขนมปังมีค่าความแข็ง 1.14 นิวตัน ค่าความทนทานต่อการเคี้ยว 2.04 Nmm ปริมาตรจำเพาะ 3.02 ซม^3/กรัม มีโปรตีนร้อยละ 14.44 และใยอาหารร้อยละ 18.60 ของ Thai RDI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. กระบวนการอบ

การอบ คือ การทำอาหารให้สุกโดยใช้ความร้อนแห้ง การอบให้ความร้อนกับแบทเทอร์ สามารถทำได้โดยการแผ่รังสี การพาความร้อน และการนำความร้อน โดยแต่ละวิธีจะให้อัตราการส่งผ่านความร้อนที่หลากหลาย ขึ้นกับสภาวะของตัวแปรกระบวนการ อุปกรณ์ที่ใช้อบ เช่น เตาอบ และไมโครเวฟ เป็นต้น

5.1 การอบโดยใช้เตาอบลมร้อน

ระหว่างการอบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารในด้านต่างๆ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ผิวนอกแห้งแข็งส่วนภายในนุ่มและชื้นเนื่องจากความร้อนระหว่างการอบทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ทั้งแบบการพาความร้อน และนำความร้อน ร่วมกับการแผ่รังสี ไปที่ผิวหน้าของอาหาร ระหว่างการอบการระเหยเป็นการถ่ายเทมวลของน้ำออกจากบริเวณผิวของอาหาร ในขณะเดียวกันก็จะเกิดการถ่ายเทความชื้นจากภายในวัตถุดิบไปยังพื้นผิวของวัตถุดิบนั้น ส่วนความร้อนจะถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในชิ้นอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของอาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของอาหาร โดยส่วนใหญ่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิววัตถุดิบเข้าไปภายในผิวของวัตถุดิบนั้นทำให้บางชนิดเกิดเปลือกแข็งรักษาความชื้นภายในอาหารไว้ บางชนิดถูกอบจนความชื้นต่ำเกิดเหมือนเปลือกแข็งทั่วทั้งชิ้น (นิธิยา, 2544; วิไล, 2552)

ผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยทั่วไปจะอบด้วยเตาอบธรรมดา ซึ่งความร้อนจะแผ่กระจายจากต้นกำเนิดของความร้อนซึ่งอาจเป็นก๊าซหรือไฟฟ้ามายังผลิตภัณฑ์ขนมอบเหล่านั้นทั้งในรูปการกระจายความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรืออากาศ (convection) การส่งผ่านความร้อนด้วยการสัมผัส (conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีกลิ่นรสและสีผิวด้านนอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจากกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (caramelization) (อรอนงค์, 2539) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของขนมอบ ต่อมาเริ่มมีการนำไมโครเวฟเข้ามาใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนในอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ใช้สะดวก รวดเร็วกว่าเตาอบธรรมดาจึงเริ่มนำไมโครเวฟเข้ามาใช้ประโยชน์กับอาหารหลายประเภท รวมทั้งนำมาใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆ เช่น ขนมปัง ขนมเค้ก คุ้กกี้ บิสกิต เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 การอบโดยใช้ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อยู่ในช่วงคลื่นวิทยุซึ่งเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นแสงที่ตาเห็น มีความถี่สูงถึง 2,500 เมกะเฮิรตซ์ มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สั้นกว่า ส่วนสำคัญของเตาไมโครเวฟ คือ ตัวแม็กนิตรอนที่จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ มี 3 ประการ คือ การสะท้อนกลับ (Reflection) การส่งผ่าน (Transmission) และการดูดกลืน (Absorption) การสะท้อนกลับเกิดกับวัสดุโลหะ การส่งผ่านในวัสดุ แก้ว เซรามิก และพลาสติก และการดูดกลืนถูกดูดกลืนโดย น้ำ ไขมัน และ น้ำตาล แล้วพลังงานคลื่นที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเนื่องจากโมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน (ชวน, 2545; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552)

การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ทำให้ความร้อนระหว่างที่ผิวหน้ากับภายในชิ้นอาหารไม่แตกต่างกัน โดยความร้อนไม่ได้เคลื่อนที่จากด้านนอกเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารแต่เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเตาไมโครเวฟผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารซึ่งทำให้เกิดความร้อน ข้อดีของไมโครเวฟ คือ อัตราการให้ความร้อนสูง มีประสิทธิภาพ ให้ความร้อนได้สม่ำเสมอทั้งชิ้น วิธีการใช้และการควบคุมทำได้ง่าย ปลอดภัยและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (นิธิยา, 2544) ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหารแทนวิธีการต้ม เช่น ไก่ มันเทศ การอบ เช่น ขนมปัง โดนัท การทำแห้ง เช่น พาสต้า หอมใหญ่และการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์เซชั่น เช่น ผลิตภัณฑ์จากขนมปัง (นันทพร, 2546; นิรนาม, 2527)

ระบบการทำงานของตู้ไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทุกทางโดยรอบของผนังตู้ด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหารจึงให้ความร้อนได้สม่ำเสมอ ในอาหารประกอบไปด้วยโมเลกุลที่เป็นบวกและลบ คลื่นไมโครเวฟที่มีครึ่งวงจรเป็นบวกเมื่อแทรกซึมเข้าสู่อาหาร อนุภาคลบในอาหารจะถูกดึงและเรียงตัวตามอนุภาคบวก เมื่อคลื่นไมโครเวฟเปลี่ยนเป็นครึ่งวงจรที่เป็นลบ อนุภาคลบจะถูกผลักออกไปและดึงอนุภาคบวกเข้ามาทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน กลไกเหล่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่อคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหารไดโพลของน้ำจะพยายามจัดเรียงตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นพลังงานจลน์และกลายเป็นพลังงานความร้อน อัตราการให้ความร้อนสูง ทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยระบบอื่นๆ แตกต่างจากการประกอบอาหารด้วยตู้อบธรรมดา กล่าวคือ ตู้อบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยใช้เปลวไฟแบบตู้อบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน คือ การนำ การพาและการแผ่รังสี นอกจากนี้วิธีการใช้และการควบคุมทำได้ง่าย ปลอดภัย และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สีที่ได้สวย แป้งจะหลุดร่อนน้อยกว่าวิธีการโดยทั่วไป และจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารน้อยกว่าวิธีการอื่น (ชวน, 2545; นันทพร, 2546; คณิตตา, 2553)

Patel *et al.* (1980) กล่าวว่า ในประเทศสหรัฐอเมริกาบริโภคขนมปังมากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งขนมปังปกติจะเก็บได้ประมาณ 2 - 3 วัน โดยขนมปังจะมีลักษณะเป็นขนมปังเก่าโดยจะสูญเสียกลิ่นรส และความนุ่ม ต่อมาจึงมีการใช้การแช่เยือกแข็งโดและผลิตภัณฑ์ขนมปังที่พร้อมบริโภคแล้วเข้าสู่ซุปเปอร์มาร์เก็ตโดยจะใช้พลังงานความร้อนจากไมโครเวฟในการให้ความร้อน ซึ่งจะเป็นการประหยัดต้นทุน มีการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์น้อย สามารถควบคุมต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมปังและการจัดจำหน่ายโดยจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมือนขนมปังใหม่โดยคุณภาพของขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและผ่านการให้ความร้อนกลับมีความเหมาะสมในการเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอททิลีน Polyethylene (PE) โดยมีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 3 นาที จะทำให้สูญเสียความชื้นต่ำสุด โดยผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงและมีต้นทุนด้านพลังงานต่ำสุดด้วย

5.3 การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับกระบวนการอบแบบลมร้อน

การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถแทรกผ่านเข้าไปยังชั้นในของอาหารได้อย่างรวดเร็ว และน้ำในอาหารสามารถดูดซับคลื่นไว้ ทำให้น้ำเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วชิ้นอาหาร ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้อัตราเร็วในการทำแห้งสูงจึงใช้เวลาการอบแห้งสั้น แต่การอบแห้งแบบลมร้อนนั้นอาหารได้รับความร้อนจากลมที่พาความร้อน (convection) มาที่ผิวอาหาร ก่อนส่งผ่านชั้นของอาหารเข้าไปให้น้ำในชิ้นอาหารเกิดความร้อนและระเหยออกทางผิวหน้าอาหาร ทำให้มีอัตราการการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำจึงใช้เวลาในการอบแห้งนาน

การอบแบบลมร้อนนั้นมีข้อเสียคือ อัตราการอบต่ำเมื่อความชื้นในอาหารลดลง เกิดการสูญเสียรงควัตถุและวิตามินจากการใช้ความร้อนสูง และเกิดการแห้งของผิวหน้าของอาหารและแข็งตัว (Lin et al., 1999) ดังนั้นจึงมีการนำไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการอบแบบลมร้อน เนื่องจากไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้นทั้งชิ้น จะช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนและลดการเกิดลักษณะแห้งและแข็งของผิวหน้าได้ (Maskan, 2000) อย่างไรก็ตามระหว่างการอบจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น protein denature, starch gelatinization, mass diffusion และ evaporation เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุก มีโครงสร้างและเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไป และมีปริมาณความชื้นลดลงอาจมีการพัฒนาสีและกลิ่นรส จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Zhou and Therdthai, 2008) รูปแบบการให้ความร้อน อุณหภูมิ และเวลาการอบ จึงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

5.4 ผลของการอบต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขณะอบ

การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในขณะที่อบ เกิดจากการที่ต้นกำเนิดแผ่ความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระยะต้นความร้อนจะแผ่กระจายไปยังอาหาร ไขมัน น้ำตาล เริ่มละลายตัว และสารขึ้นฟู เช่น ผงฟู เบคกิ้งโซดา และแอมโมเนีย เป็นต้น เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการทางเคมี คือ สลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (สุรัชนา, 2552) ส่วนยีสต์จะใช้น้ำตาลจากแป้ง ความร้อนในช่วงแรกของการอบจะกระตุ้นการทำงานของยีสต์และเอนไซม์ให้เกิดกระบวนการหมักเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ ซึ่งโดยปกติยีสต์จะหยุดการทำงานที่ 43 องศาเซลเซียส และจะตายที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส และเมื่อได้รับความร้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีแรงดันน้ำกลายเป็นไอและแอลกอฮอล์ขยายตัวก็จะดันตัวออกมาระหว่างเนื้อโครงสร้างทำให้เกิดรูพรุน จะมีผลทำให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ต่อมาเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นน้ำในผลิตภัณฑ์ใกล้ถึงจุดเดือดทำให้โปรตีนจับตัวกันแน่นเป็นโครงร่าง เนื่องจากส่วนผสมมีน้ำอยู่น้อย สตาร์ชในแป้งบางส่วนที่อุ้มน้ำได้จะเกิดการพองตัวกลายเป็นเจลและกลายเป็นโครงร่าง น้ำส่วนที่เหลือจะระเหยกลายเป็นไอดันโครงสร้างออกไป ทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ระยะสุดท้าย เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นลักษณะของโครงสร้างจะคงที่ เนื่องจากโปรตีนและสตาร์ชเปลี่ยนรูปร่างสมบูรณ์ สตาร์ชที่เกิดเจลนั้นจะดึงน้ำมาทำให้กลูเตนสูญเสียน้ำ เปลี่ยนสภาพจากเดิมที่เคยยืดหยุ่นกลับแข็งตัวขึ้น ได้โครงร่างของเซลล์มีรูพรุน ผนังเซลล์บางเป็นใยเชื่อมติดกัน ในบางผลิตภัณฑ์จะมีความยืดหยุ่นจากไขมันน้ำตาลยังคงมีลักษณะเหลว ผิวนอกจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจากกระบวนการเกิดสีน้ำตาลคาราเมลไลเซชั่น เนื่องจากความร้อนทำให้น้ำตาลเปลี่ยนสภาพเป็นสีน้ำตาลและการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด จากน้ำตาลและกรดอะมิโนให้เกิดสารสีน้ำตาลและเกิดเปลือกแข็ง (crust) ที่ผิวของของอาหารพร้อมเกิดสารให้กลิ่นรสและสุกในที่สุด สตาร์ชจะเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะแอมิโลสจะเคลื่อนย้ายออกจากเม็ดสตาร์ช เมื่อทำให้อาหารเย็นและทิ้งไว้นานแอมิโลสจะเปลี่ยนแปลงกลับ มีลักษณะขุ่นเป็นตะกอนขาวอีกครั้ง (สุรัชนา, 2552; วิไล, 2552) จากกระบวนการอบเป็นการเปลี่ยนสภาพส่วนประกอบของอาหารที่ยังดิบให้สุกโดยการใช้ความร้อน ซึ่งทั่วไปแล้วเตาอบจะมีอุณหภูมิระหว่าง 191 - 232 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบขึ้นอยู่กับขนาดและส่วนผสมของอาหารแต่ละชนิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index, GI)

คาร์โบไฮเดรตถือเป็นกลุ่มอาหารที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับผู้ป่วยเบาหวานมากที่สุดและเป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญแก่ร่างกายซึ่งอาจได้จากอาหารหลายๆอย่าง เช่น จากแป้งข้าว ขนมปัง ถั่ว นม ผลไม้ มันฝรั่ง คุกกี้ สปาเกตตี้ ข้าวโพด เป็นต้น แม้ว่าอาหารเหล่านี้อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีมากที่สุด ได้แก่ น้ำตาล เส้นใยและแป้ง ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของคาร์โบไฮเดรตก็คือ น้ำตาล โมเลกุลของน้ำตาลนี้จะมาเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ซึ่งอาจสั้นหรือยาว เป็นเส้นตรงหรือมีลักษณะเป็นกิ่งก็ได้ จากลักษณะของโครงสร้างสามารถแบ่งคาร์โบไฮเดรตได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ Simple carbohydrate ซึ่งจะรวมถึงน้ำตาลจากผลไม้ (ฟรุกโตส น้ำตาลข้าวโพด น้ำตาลจากองุ่น) น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลซูโคส และ Complex carbohydrate ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นเกิดจากน้ำตาลตั้งแต่ 3 โมเลกุลขึ้นไปมาเรียงต่อกัน (วิภา, 2555) อย่างไรก็ตามเมื่อคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้เข้าสู่กระแสเลือดที่เรียกว่า Blood Sugar ยกเว้นใยอาหารซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตเช่นกันแต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อระดับน้ำตาลในเลือด เนื่องจากไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยระบบน้ำย่อยปกติในร่างกาย ในบางครั้งอาจพบว่าอาหารที่มีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรทที่ซับซ้อนมีอัตราการย่อยที่เร็วกว่าอาหารที่มีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตแบบง่ายได้ เช่น การรับประทานมันฝรั่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเร็วกว่าการรับประทานผลไม้บางชนิดที่มีสารเยื่อใยสูงเนื่องจากเส้นใยจะทำให้อัตราการดูดซึมของคาร์โบไฮเดรตลดลงโดยการรวมตัวกับคาร์โบไฮเดรตเกิดเป็นสารข้นหนืดในลำไส้เล็ก ดังนั้นถ้าปริมาณการรวมตัวของคาร์โบไฮเดรตและสารเยื่อใยมีค่าสูง การดูดซึมของสารประเภทคาร์โบไฮเดรตก็ยิ่งน้อยลงด้วย (วิภา, 2555)

ค่าดัชนีน้ำตาลเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตโดยวิเคราะห์ว่าคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคจะย่อยสลายยากง่ายและเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดในเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากรับประทานและเข้าสู่ระบบการย่อยและการดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อยโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ น้ำตาลกลูโคส หรือขนมปังขาวซึ่งมีค่า GI เท่ากับ 100 โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มอาหารซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตตามค่า GI ออกเป็น 3 กลุ่ม (FAO/WHO, 1998) ดังแสดงในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในอาหารตามค่า GI

กลุ่ม	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือด	ตัวอย่าง
1. อาหารที่มีค่า GI ต่ำ	≤ 55 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน	ถั่วชนิดต่างๆ ผักและอาหารที่มีเส้นใยสูง ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ โยเกริต์ไขมันต่ำและไม่หวาน เกรฟฟรุต แอปเปิลและมะเขือเทศ
2. อาหารที่มีค่า GI ปานกลาง	56-69 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน	อาหารประเภทเส้น(pasta) ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอรี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ซุปถั่ว โฮลวีต และข้าวกล้อง
3. อาหารที่มีค่า GI สูง	≥ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน	ขนมปังขาว คอนเฟลค ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่งอบ มันฝรั่งทอด เค้กแป้งข้าว ไอศกรีม ลูกเกด ผลไม้อบแห้ง กล้วย แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน เช่น แตงโม

ที่มา: วิภา (2555)

จากเกณฑ์ดังกล่าว จึงประเมินได้ว่าการรับประทานอาหารที่มีค่า GI สูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดอย่างรวดเร็วและสูงมาก ในขณะที่การรับประทานอาหารที่มีค่า GI ต่ำจะมีการปลดปล่อยของน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆและสม่ำเสมอทำให้ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามการนำค่า GI เพียงอย่างเดียวมาใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดของอาหารเพื่อบริโภคจะให้ผลที่ไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า GI ของอาหาร เช่น วิธีการปรุง รวมทั้งองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้นๆ (วิภา, 2555) การรับประทานอาหารที่มีคาดัชนีน้ำตาลสูงในปริมาณมาก คารโบไฮเดรตในอาหารจะถูกยอยเปนกลูโคสและถูกดูดซึมอยางรวดเร็วมีผลไปกระตุ้นใหมีการหลั่งฮอรโมนอินซูลินซึ่งเปนฮอรโมนที่ทำใหกลูโคสถูกนำเขาสูเซลลตางๆในรางกายเพื่อเผาผลาญใหเปนพลังงานแตหลังจากการรับประทานอาหารไปแลว 2 - 4 ชั่วโมง ปริมาณอาหารที่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารลดลง แตฤทธิ์ของอินซูลินยังคงอยู ทำใหระดับน้ำตาลในเลือดลดลงมากจนอาจทำใหระดับน้ำตาลในเลือดต่ำและทำใหรูสึกอยากอาหาร สวนคนที่รับประทานอาหารที่มีคาดัชนีน้ำตาลต่ำ ระดับน้ำตาลในเลือดยังคงอยูในระดับปกติ หลังจากการรับประทานอาหาร 4 - 6 ชั่วโมง รางกายจะหลั่งฮอรโมนบางชนิดออกมาเพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือดใหคงที่โดยกระตุนการสลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไกลโคเจนซึ่งเปนคารโบไฮเดรตที่สะสมอยูในรางกายและเพิ่มการสรางกลูโคสจากแหลงอาหารอื่น เช่น ไขมัน การรับประทานอาหารที่มีคาดัชนีน้ำตาลสูงจึงมีผลใหระดับกรดไขมันในเลือดเพิ่มขึ้นมากกวาการรับประทานอาหารที่มีคาดัชนีน้ำตาลต่ำ (Frost *et al*., 1999) ดังนั้น ผูปวยที่เป็นโรคเบาหวานควรคำนึงถึงคา GI ของอาหารที่บริโภค ซึ่งผูปวยโรคเบาหวานควรบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (low GI) เพราะนอกจากประโยชนอื่นๆที่เกิดจากการยอยและดูดซึมช่ายังเปนอาหารที่ชวยใหรูสึกอิ่มงายและนาน ซึ่งทำใหเกิดผลดีในดานระดับอินซูลินและไขมันในเลือดที่เหมาะสมทำใหเกิดผลดีตอสุขภาพในระยะยาว ซึ่งในปจจุบันไดมีผูหันมาสนใจและนำมาใช่กับผูปวยเบาหวานและปรากฏวาการเลือกอาหารที่มีคาดัชนีน้ำตาลต่ำใหผูปวยเบาหวานจะสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดไดดียิ่งขึ้น (สมาคมโรคเบาหวานแหงประเทศไทย, 2550)

การศึกษาอัตราการยอยสตารชโดยใช่เอนไซมและจำลองการยอยในรางกายมนุษยและวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เวลา 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 นาที โดยใชสามโมเดลในการย่อย (Duggleby, first - order kinetic และ Peleg models) เพื่ออธิบาย digestograms (Mahasukhonthachat *et al*., 2010) ซึ่งการยอยแปงเปนไปตาม first - order kinetic และ modified first - order exponential model และ Peleg model adequately (คาเฉลี่ยโมดูลัสเบี่ยงเบนสัมพัทธ <10%) ซึ่งจะใชสมการที่ 1

$$DS = \frac{0.9 \times G_G \times 180 \times V}{W \times S\,(100 - M)} \qquad (1)$$

เพื่อหาอัตราการยอยแปงและนำคาที่ไดมาทำสมการทำนายคา โดยใชสมการที่ 2

$$D_t = D_0 + D_{\infty-0}\,(1 - \exp(-kt)) \qquad (2)$$

ซึ่งวิธีการนี้จะบอกไดถึงคา D_0 ที่เรียกวา very rapidly digested starch ซึ่งจะเกิดการยอยอยางรวดเร็วในชวงต่นของการยอยที่เกิดโดยเอนไซมแอลฟา-แอมิเลสในปาก ซึ่งในการวิเคราะหหาอัตราการยอยจะเกิดขึ้นในชวงไมเกิน 1 นาที

การวิเคราะห์ Hydrolysis Index และ Estimated Glycemic Index เป็นการหาอัตราการย่อยแป้งจากพื้นที่ใต้กราฟในระหว่างปฏิกิริยาการย่อยแป้ง (Hydrolysis curve หรือ AUC) โดยการคำนวณจากสมการที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$AUC = C_{\alpha} (t_f - t_0) - (C_{\alpha} / kX) [1 - \exp [-k (t_f - t_0)]] \quad (3)$$

โดยที่เวลา t_f คือ เวลาสุดท้ายที่ใช้ในการย่อยและ t_0 คือ เวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการย่อยจะได้ค่า Hyhrolysis Index (HI) ของตัวอย่างอาหารจากสมการโดยอ้างอิงจากค่า GI เท่ากับ 100 ของขนมปังขาว

การวัดค่า GI สามารถทำได้ 2 วิธีการหลักๆ คือ การวัดโดยวิธี *In vivo* จะใช้ผู้ทดสอบที่สุขภาพร่างกายแข็งแรงซึ่งการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบรับประทานอาหารที่ต้องการทดสอบและวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดและเปรียบเทียบกับอาหารที่มีค่า GI เท่ากับ 100 ได้แก่ ขนมปังขาวหรือน้ำตาลกลูโคส แต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน (สุชาดา, มปป. อ้างถึง Wiseman *et al.*, 2000) อีกวิธีการหนึ่ง คือ วิธี *In vitro* ซึ่งเป็นการวัดอัตราการย่อยของแป้งในหลอดทดลอง Goni *et al.* (1997) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่า GI ที่วัดด้วยวิธี *In vitro* กับวิธี *In vivo* การวิเคราะห์ทำโดยวิธีการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ α - amylase และเอนไซม์ amyloglucosidase อัตราการย่อยแป้งแสดงในรูปของร้อยละ total starch ที่ถูกย่อยในเวลาต่างกัน จากนั้นนำมาเขียนกราฟ hydrolysis เพื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve, AUC) จาก 0-180 นาที จากนั้นคำนวณหา hydrolysis index (HI) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง AUC ของอาหารและ AUC ของขนมปังขาวที่ใช้เป็นอาหารอ้างอิงพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า HI และ GI ได้เป็นสมการที่ 4

$$GI = 39.21 + 0.803 (H_{90}) \quad (4)$$

โดยค่า H_{90} คือ ร้อยละของแป้งที่ถูกย่อยเมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

7.1 ผลของส่วนประกอบไขมัน โปรตีนและสารอื่นๆต่อค่าดัชนีน้ำตาล

การเติมไขมันหรือโปรตีนลงในคาร์โบไฮเดรตสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดลงได้เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว (Pi-Sunyer *et al.*, 2002) ในทำนองเดียวกัน Gannon *et al.*, (1998) พบว่าอาหารที่มีโปรตีนสูงจะช่วยลดน้ำตาลในเลือดลงและเพิ่มการควบคุมระดับน้ำตาลโดยรวม Wolver (2006) ระบุว่าอัตราการย่อยของโปรตีน การดูดซึมของกรดอะมิโนและการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เผาผลาญของกรดอะมิโนอาจส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล เป็นไปได้ว่าทั้งอินซูลินและการหลั่งฮอร์โมนจะเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับผลของโปรตีนต่อค่าดัชนีน้ำตาล (Folyd *et al.*, 1968)

สุชาดา (2553) ทำการพัฒนาคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดคาดัชนีน้ำตาลด้วยสารทดแทนความหวานและเสนใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลสมโอโดยวัตุดิบที่ใช้ในการผลิตคุกกี้ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า เนยสด น้ำตาลทราย มอลติตอล ไซลิทอล โซเดียมไบคาร์บอเนต เกลือ นมสด วนิลา เนยขาว และไข่ไก่ จากนั้นนำไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่า การใช้มอลติตอลในผลิตภัณฑคุกกี้มีคาดัชนีน้ำตาลลดลง คือ มีคา GI เทากับ 62 โดยลดลงจากการใช้ซูโครสรอยละ 27 จากนั้นนำคุกกี้ที่ทดแทนซูโครสด้วยมอลติตอลมาพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑคุกกี้จากแปงข้าวเจาที่ลดคาดัชนีน้ำตาลด้วยเสนใยอาหารจากเปลือกสมโอพบวา สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยแปงข้าวเจา ไขมันเนยและเสนใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลสมโอเทากับรอยละ 53.32, 33.41 และ 8.27 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑคุกกี้ที่พัฒนาได้จะมีปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 37.89 เมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้ที่ไมใช้เสนใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลสมโอและมีคาดัชนีน้ำตาลต่ำเทากับ 53.47 โดยมีค่าดัชนีน้ำตาลแบบถวงน้ำหนักในปริมาณหนึ่งหนวยบริโภคจะมีคา GL เทากับ 3.56

Franca and Andrea (2007) ทำการศึกษาขนมปังและบิสกิตที่เติมใยอาหารเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน พบว่า กราฟดัชนีน้ำตาลของขนมปังที่เติมใยอาหารมีจุดสูงสุดต่ำกว่าสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ที่ 15, 30 และ 75 นาที ส่วนบิสกิตมีระดับค่ากลูโคสคล้ายกันทั้งสูตรพื้นฐานและสูตรที่เติมไฟเบอร์ที่ 0 และ 15 นาที แต่สูตรที่เติมไฟเบอร์มีความเข้มข้นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ที่ 45, 60 และ 90 นาทีหลังการบริโภค ถ้าเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของขนมปังและบิสกิตทุกสูตรพบว่าลดลงระหว่าง 15-90 นาทีหลังจากได้รับคาร์โบไฮเดรตเข้าไป โดยเฉพาะสูตรที่มีอาหารเสริม ความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดมีค่าต่ำกว่าสูตรพื้นฐาน ค่า GI เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของผลิตภัณฑ์และกลูโคส ค่า GI ของขนมปังสูตรพื้นฐาน, ขนมปังไฟเบอร์, บิสกิตสูตรพื้นฐานและบิสกิตที่เติมไฟเบอร์มีค่าเท่ากับ 76, 60, 44 และ 26 ตามลำดับ ไฟเบอร์ที่เติมลงไปนั้นมีผลทำให้ค่า GI ของขนมปังและบิสกิตลดลงร้อยละ 21 และ 41 ตามลำดับ

Nishita *et al*. (1976) ได้ทำการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้สารยึดเกาะโดยสารยึดเกาะที่ใช้คือ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), locust bean gum, carrageenan และ xanthan gum พบว่า hydroxypropyl methylcellulose เท่านั้นที่ให้ผลดี ส่วนสารยึดเกาะตัวอื่นทำให้ขนมปังมีปริมาตรต่ำซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุนทร (2533) ที่ได้ทดลองใช้สารยึด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกาะได้แก่ กัม กลูเตนผง และกัมเสริมกลูเตนผง ในขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าชนิดโม่แห้ง พบว่า กัมที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารยึดเกาะในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าคือ hydroxypropyl methylcellulose (Methocel, E4M) ซึ่งใช้ในอัตรา 2.5 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม ปริมาณน้ำที่ใช้ 80 มิลลิลิตร ขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรสูงเต็มพิมพ์ เปลือกนอกสีน้ำตาลเข้มและแข็ง ผิวบนแตกเล็กน้อย เนื้อในนุ่มเหนียว มีเม็ดแป้งอยู่บนเปลือก สากเล็กน้อยและการทดลองที่ใช้กัมและเติมกลูเตนผงลงไปเสริม พบว่าสามารถเสริมกลูเตนผงลงไปได้ 5 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม ขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรสูงเต็มพิมพ์ ผิวบนเรียบไม่แตก เนื้อในนุ่มเหนียว เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้กัมอย่างเดียว สูตรนี้จะมีปริมาตรเล็กกว่า แต่ผิวบนไม่แตก และเนื้อในจะเหนียวนุ่มขึ้น ลักษณะค่อนมาทางขนมปังจากแป้งสาลี แต่ในทางกลับกัน Ylimaki *et al.* (1988) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง CMC, HPMC และน้ำ โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology (RSM) พบว่า จะต้องใช้ CMC น้อยกว่าร้อยละ 0.44 และน้ำมากกว่าร้อยละ 88.5 จึงจะสามารถผลิตขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะใกล้เคียงกับขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีได้ ซึ่งพบว่าปริมาณของ HPMC ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาตรจำเพาะนี้ ในขณะที่ Lazaridou *et al.* (2006) ได้มีการศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อสมบัติการไหลของโดและขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีส่วนผสมของแป้งข้าว แป้งข้าวโพดและโซเดียมคาซิเนตเป็นหลัก โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 5 ชนิด ได้แก่ เพกทิน CMC อากาโรส แซนแทนกัมและบีต้ากลูเคน พบว่าการเพิ่มปริมาณของแซนแทนกัมจะยิ่งทำให้โดมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยมีคุณสมบัติการไหลเหมือนกับโดที่ทำมาจากแป้งสาลี นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จะทำให้โดมีความยืดหยุ่นทนต่อการเสียรูปจากการกดได้ดีโดยเฉพาะแซนแทนกัม รองลงมาคือ CMC เพคติน อากาโรสและบีต้ากลูเคน ตามลำดับ

7.2 ผลของกระบวนการอบต่อค่าดัชนีน้ำตาล

Francisco *et al.* (2010) ได้รายงานว่าวิธีการอบขนมปังมีผลต่อการย่อยแป้งและการทำนายค่าดัชนีน้ำตาล การอบเค้กปอนด์ในเครื่องไมโครเวฟสองรอบเทียบกับเตาอบธรรมดา ดัชนีการย่อยสลายของเค้กปอนด์ที่อบจากเตาอบไมโครเวฟ (60.67 ± 3.96) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) จากการอบจากเตาอบธรรมดา (65.94 ± 4.09) แต่ Maria et al. (2007) พบว่าการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของเค้กที่อบด้วยไมโครเวฟ (59.13) น้อยกว่าอบด้วยลมร้อน (77.92) ผลลัพธ์เหล่านี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Foster-Powell et al. (2002) ว่าการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของเค้กอบด้วยลมร้อนเท่ากับ 77.00 ถึง 80.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 แป้งข้าว (amylose = 23.04%, ขนาด 100 เมช) ตราเพชรพานทอง จังหวัดร้อยเอ็ด

1.2 น้ำตาลทราย ตรา มิตรผล ประเทศไทย

1.3 เกลือป่น ตรา ปรุงทิพย์

1.4 ยีสต์แห้งชนิดผง ตรา บรักกีมาน ประเทศเบลเยี่ยม

1.5 เนยจืด ตรา อลาวรี่

1.6 เวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) บริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด

1.7 โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) บริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด

1.8 ไข่ไก่ เบอร์ 1 (60 กรัม) ตรา ซีพี ประเทศไทย

1.9 Hydroxypropyl methycellulose (Methocel K4M) บริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

2.1 อุปกรณ์เครื่องครัว

2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (±0.01 g) ยี่ห้อ Shinko Denrhi รุ่น VIBRA ประเทศญี่ปุ่น

2.3 เครื่องผสม ยี่ห้อ Kitchen Aid รุ่น 5K 566 ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น บริษัท สยาม อินคูเบเตอร์ ซีสเต็ม จำกัด ประเทศไทย

2.5 เตาอบ ยี่ห้อ LG รุ่น Solardom ประเทศไทย

3. สารเคมีและเอนไซม์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล

3.1 Artificial Saliva α-amylase from porcine pancreas (รหัส A3176) ยี่ห้อ Sigma Aldrich® ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 Carbonate-bicarbonate buffer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 Pepsin from porcine gastric (รหัส P6887) ยี่ห้อ Sigma Aldrich® ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4 HCl (0.02M)

3.5 NaOH (0.02M)

3.6 Acetate buffer

3.7 Pancreatin from porcine pancreas (รหัส P1750) ยี่ห้อ Sigma Aldrich® ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.8 Ethanol (80% v/v)

3.9 Thermostable α-amylase ยี่ห้อ Megazyme

3.10 MOPs sodium salt buffer (รหัส M9381) ยี่ห้อ Sigma Aldrich® ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.11 Sodium acetate buffer

3.12 Amyloglucosidase from *Aspergillus niger* (รหัส A7420) ยี่ห้อ Sigma Aldrich® ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.13 GOPOD Reagent Buffer ยี่ห้อ Megazyme

3.14 D-glucose standard solution ยี่ห้อ Megazyme

4. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

4.1 คุณภาพทางกายภาพ

4.1.1 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ประเทศญี่ปุ่น

4.1.2 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA-XT Plus, Stable Micro System ประเทศอังกฤษ

4.1.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM5600 LV โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

4.1.5 เครื่อง Critical point dryer (CPD) ยี่ห้อ Emitech รุ่น K850 ประเทศอังกฤษ

4.1.6 เครื่องฉาบทอง (Ion coater) รุ่น IB-2 บริษัท Eiko engineering Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 คุณภาพทางเคมี

4.2.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD-115 ประเทศเยอรมัน

4.2.2 เครื่องตรวจน้ำตาลในเลือด (Blood glucose meter) ยี่ห้อ Glucocheck easy รุ่น TD-4230 ประเทศเยอรมัน

4.2.3 Blood glucose test strip ยี่ห้อ Glucochek easy ประเทศเยอรมัน

4.2.4 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

4.2.5 ตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช

4.2.6 เครื่องปรับค่าความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมัน

4.2.7 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Binder รุ่น FD115 ประเทศเยอรมัน

4.2.8 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Hettich รุ่น Rotina380R ประเทศเยอรมัน

4.2.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB114 ประเทศเยอรมัน

4.2.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB22 ประเทศเยอรมัน

4.2.11 UV-Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-160A ประเทศญี่ปุ่น

4.2.12 Vortex mixer ยี่ห้อ ประเทศสหรัฐอเมริกา

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลข้อมูล

5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows รุ่น 12.0

5.2 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ระบบปฏิบัติการ Windows รุ่น 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การเตรียมขนมปัง

ศึกษาการผลิตขนมปังแป้งข้าว โดยใช้สูตรขนมปังพื้นฐานดัดแปลงจากพรวีนัส (2544) อ้างถึง ผาณิต (2539) ซึ่งประกอบด้วย แป้งข้าว 100 กรัม ยีสต์ 1.6 กรัม น้ำตาล 18 กรัม เกลือ 1 กรัม น้ำ 95 กรัม เนยจืด 20 กรัม และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) 4 กรัม จากนั้นเติมโปรตีน 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) เวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) และไข่ทั้งฟอง (whole egg) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สูตรของขนมปังแป้งข้าว

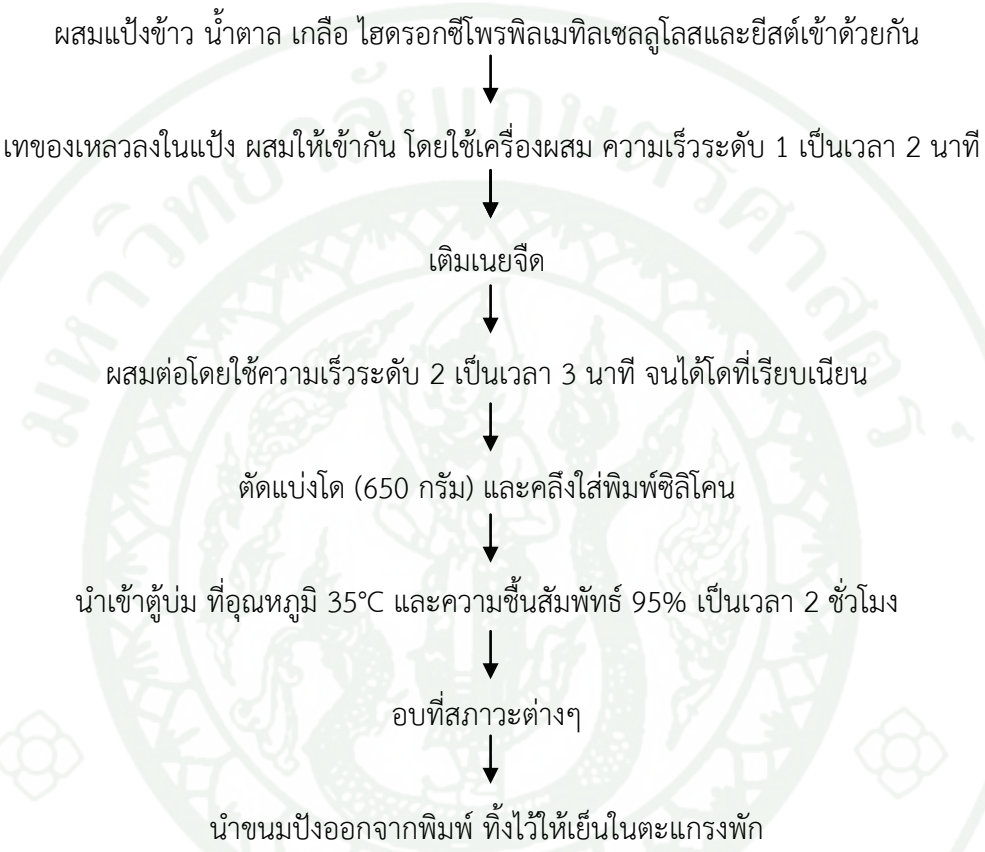
ส่วนประกอบ (กรัม)	สูตรพื้นฐาน*	โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง			เวย์โปรตีนเข้มข้น			ไข่ทั้งฟอง		
		ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	สูง
แป้งข้าว	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ยีสต์	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
น้ำตาล	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
เกลือ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HPMC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
น้ำ	95	85	95	105	85	95	105	65	55	45
เนยจืด	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	-	2	4	6	-	-	-	-	-	-
เวย์โปรตีนเข้มข้น	-	-	-	-	2	4	6	-	-	-
ไข่ทั้งฟอง	-	-	-	-	-	-	-	17	34	51

*ดัดแปลงจากพรวีนัส (2544) อ้างถึง ผาณิต (2539)

เตรียมขนมปังโดยเริ่มจากร่อนแป้งข้าว จากนั้นนำไปผสมกับน้ำตาล เกลือ HPMC และยีสต์เข้าด้วยกัน จากนั้นเทส่วนผสมของเหลวลงไป ผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมความเร็วระดับ 1 เป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เวลา 2 นาที เติมเนยจืดแล้วผสมต่อโดยใช้ความเร็วระดับ 2 จนได้โดที่เรียบเนียน ใช้เวลาประมาณ 5 - 8 นาที ตัดแบ่งโดก้อนละ 650 กรัม จากนั้นคลึงโดแล้วนำไปวางในพิมพ์ซิลิโคน นำเข้าตู้บ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35°C และความชื้นสัมพัทธ์ 95% แล้วอบที่อุณหภูมิ 195°C เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วิธีการเตรียมขนมปังแป้งข้าว

ที่มา: ดัดแปลงจากพรวีนัส (2544) อ้างถึง ผาณิต (2539)

2. ศึกษาผลของโปรตีนและสภาวะการอบที่มีต่อลักษณะของขนมปังแป้งข้าว

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำโดที่ได้จากการเตรียมตามสูตรในตารางที่ 5 มาผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95% และนำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่ 3 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยลมร้อนที่ 195 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ set power 600 วัตต์ เป็นเวลา 12 นาที และการอบด้วยลมร้อนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส และ set power 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำการวัดกำลังวัตต์ในเตาอบไมโครเวฟโดยใช้วิธี IMPI 2-Liter test (Buffler, 1993) นำน้ำกลั่นเทใส่บีกเกอร์ 1 ลิตร จำนวน 2 บีกเกอร์ ปรับอุณหภูมิให้ได้ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเข้าไปไว้ที่กึ่งกลางของเตาไมโครเวฟ เปิดเครื่องตามกำลังวัตต์ที่ต้องการวัดเป็นเวลา 2 นาที 2 วินาที นำออกมาวัดอุณหภูมิและจดบันทึกค่า กำลังหาได้จากสมการที่ 5

$$P(W) = 70 \times \frac{(\Delta T_1 + \Delta T_2)}{2} \quad (5)$$

โดย P(W) = กำลัง (วัตต์)

ΔT_1 = อุณหภูมิที่วัดได้ของน้ำกลั่นในบีกเกอร์ที่ 1

ΔT_2 = อุณหภูมิที่วัดได้ของน้ำกลั่นในบีกเกอร์ที่ 2

จากนั้นนำขนมปังที่ผ่านการอบที่สภาวะต่างๆมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

2.1.1 การหาปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (AACC, 2000)

ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างขนมปังหลังจากที่เย็นแล้วและหาปริมาตรขนมปังด้วยวิธีการแทนที่งา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาปริมาตรจำเพาะโดยใช้สมการที่ 5

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ}(\text{ซม}^3/\text{กรัม}) = \frac{\text{ปริมาตรงาเริ่มต้น} - \text{ปริมาตรงาหลังแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์}} \quad (6)$$

2.1.2 การวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมปัง

การวัดค่าความแข็งของขนมปัง ขนาดตัวอย่าง 15x15x15 มิลลิเมตร โดยเครื่องวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร วางตัวอย่างกลางแท่งวางตัวอย่าง ทำการวัดโดยให้หัววัดกดลงบนชิ้นตัวอย่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (test speed) 20 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นระยะทาง 9 มิลลิเมตร (60% deformation) ค่าความแข็งคำนวณจากค่าแรงสูงสุด (hardness) ทำการทดลองวัดค่าจำนวน 20 ซ้ำ (Barrett *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของขนมปัง (SEM)

เตรียมตัวอย่างขนมปังตามวิธีของ Rewthong *et al.* (2011) โดยนำตัวอย่างไประเหยน้ำออก (dehydrate) ด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 30%, 50%, 70%, 90% และ 100% โดยปริมาตร เป็นเวลา 15 นาทีในแต่ละระดับความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้น 100% ทำ 3 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง (EMITECH K850, UK) แล้วนำไปเคลือบทองวิเคราะห์โครงสร้างเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวด้วยเครื่อง scanning electron microscope (JEOL, JSM-5600 LV, Tokyo, Japan) แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

2.1.4 การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในระบบ CIE L* a* b*

นำตัวอย่างขนมปังมาวัดค่าสีโดยใช้แสงสะท้อน (Reflectance) ใช้ target mask ขนาด 8 มิลลิเมตร ในการวัดใช้มุมสังเกตที่ 2° โดย L* หมายถึง ค่าความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 - 100, a* หมายถึง ค่าสีแดง (เป็นบวก) หรือสีเขียว (เป็นลบ) และ b* หมายถึงค่าสีเหลือง (เป็นบวก) หรือสีน้ำเงิน (เป็นลบ) โดยทำการวัดเปลือกด้านบนขนมปัง (crust color) และเนื้อในของขนมปัง (crumb color) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 3 ครั้ง

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

2.2.1 การวัดค่าปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.2.2 การวัดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเครื่อง Glucose assay kit by SIGMA- Aldrich (GAGO-20)

คาดัชนีน้ำตาล (glycemic index) วิเคราะหจากอัตราการยอยแปง (in vitro starch digestibility) ตามวิธีของ Mahasukhonthachat *et al.* (2010) โดยชั่งตัวอยางบดละเอียด 0.5 กรัม ใสในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม artificial saliva 1 มิลลิลิตร เติมเอนไซม pepsin ใน 0.02 M HCl (pH = 2) จำนวน 5 มิลลิลิตร ภายในเวลา 15 - 20 วินาที จากนั้นนำไปบมในอางควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่มีการเขยา 85 รอบตอนาที เปนเวลา 30 นาที ทำการปรับ pH ให่เปนกลางด่วย 0.02 M NaOH จำนวน 5 มิลลิลิตร เติม acetate buffer 25 มิลลิลิตร และเอนไซม pancreatin ใน acetate buffer จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปบมในอางควบคุมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

37 องศาเซลเซียส ที่มีการเขยา 85 รอบตอนาที วัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วย glucometer ที่เวลา 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 นาที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการยอยแปงและประเมินคาดัชนีน้ำตาลจากสมการที่ 4 ตามวิธีการของ Goni *et al.* (1997)

วิเคราะห์ปริมาณสตารชทั้งหมด (total starch) ตามวิธีการของ AACC (2000) โดยชั่งตัวอยางบดละเอียด 0.1 กรัม ใสในหลอดทดลองขนาด 16×120 มิลลิเมตร เคาะตัวอยางให้อยู่ก้นหลอด เติม ethanol 0.2 มิลลิลิตร เขยาหลอดทดลองด้วย vortex mixer แล้วเติมเอนไซม์ α-amylase 3 มิลลิลิตรทันที ทำการแชในอางควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 12 นาที โดยทำการเขยาหลอดทดลองทุกๆ 4 นาที จนครบ 12 นาที เติม sodium acetate buffer 4 มิลลิลิตร ตามด้วย amyloglucosidase 0.1 มิลลิลิตร เขย่าหลอดทดลองด้วยเครื่อง vortex mixer จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ดูดตัวอยางที่ได้ใสหลอดทดลอง 0.1 มิลลิลิตร เติม GOPOD reagent 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในอางควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที นำตัวอยางที่ได้ไปวัดคาการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดยมีตัวอยางควบคุม คือ D-glucose standard

3. ศึกษาผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อลักษณะของขนมปังระหว่างการเก็บ

นำขนมปังที่ได้จากข้อ 2 มาบรรจุใส่ภาชนะอลูมิเนียมฝาปิดที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 วัน ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของขนมปังแป้งข้าว ดังนี้

3.1 การวัดค่าปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.2 การวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมปัง (Barrett *et al.*, 2000)

3.2 การวัดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเครื่อง Glucose assay kit by SIGMA- Aldrich (GAGO-20) ตามวิธีของ Mahasukhonthachat *et al*. (2010) และ Goni *et al*. (1997)

4. สถานที่ทำการวิจัย

- อาคารอุตสาหกรรมเกษตร 1 ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
- ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ผลของโปรตีนและสภาวะการอบที่มีต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวหลังการอบ

1.1 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าว

จากการศึกษาคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวที่ไม่ใส่และใส่โปรตีน 3 ชนิด คือ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่ไม่ใส่โปรตีนจะมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าขนมปังแป้งข้าวที่ใส่โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว) หรือไข่ (17 - 34 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว) ในทุกสภาวะการอบซึ่งสอดคล้องกับยุพร (2554) ที่พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดต่ำลง เมื่อมีการใช้โอคารา (กากถั่วเหลือง) ทดแทนแป้งสาลี ค่าความยืดหยุ่นของโดจะมีผลต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคารา โดที่มีความยืดหยุ่นต่ำ ปริมาตรของขนมปังจะลดลงไปด้วย นอกจากนี้ ค่าความชื้นของขนมปังลดลง เมื่อมีการใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี การที่เป็นเช่นนี้เกิดจากโดที่ใช้โอคารามีปริมาณกลูเตนลดลง จึงทำให้ความสามารถในการเก็บกักก๊าซและความชื้นลดลง ปริมาตรจำเพาะจึงต่ำลงด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้ขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่ซึ่งเป็นของเหลว ปริมาณน้ำที่เติมลงในสูตรจึงลดลง ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแป้งข้าวจึงลดลง การใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแป้งข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทุกสภาวะการอบ เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่ใส่โปรตีนใดๆ เนื่องจากเวย์โปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและรวดเร็ว ส่งผลให้การเกิดโฟมของโปรตีนเกิดได้ดี สามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆและแข็งแรงที่สามารถกักเก็บอากาศได้ (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้ ขนมปังแป้งข้าวที่ใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นมีค่าปริมาตรจำเพาะและมีปริมาณความชื้นสูงกว่าขนมปังแป้งข้าวที่ใส่โปรตีนถั่วเหลืองและไข่ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณของทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและเวย์โปรตีนเข้มข้นจาก 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าวทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงขึ้น ทั้งในสภาวะการอบแบบลมร้อน การอบแบบไมโครเวฟและการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟดังตารางที่ 6 - 8

ในการศึกษาของ Faubion and Hoseney (2010) รายงานว่า การเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองร้อยละ 1 - 8 ในแป้งสาลีทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนทำให้เซลล์อากาศมีความคงตัวแข็งแรง แต่เมื่อเติมมากขึ้นเป็นร้อยละ 10 ทำให้ปริมาตรจำเพาะลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เช่นเดียวกัน Guy (1999) รายงานว่า ปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ขนมปังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมันและกรรมวิธีการแปรรูป ในการศึกษาครั้งนี้ การเพิ่มปริมาณของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นในทุกสภาวะการอบ เนื่องจากเมื่อเพิ่มโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว ปริมาณน้ำในโดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพื่อให้สามารถขึ้นรูปโดขนมปังได้ เป็นผลทำให้ปริมาณความชื้นของ ขนมปังเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ลดาวัลย์ (2547) ที่กล่าวว่า เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจาก 60 กรัมเป็น 65 กรัม ต่อแป้งผสม (แป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ) 100 กรัม ปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 6 - 8 ในขนมปังที่ใส่ไข่ที่ระดับ 17 - 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เมื่ออบด้วยลมร้อนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 1.30 - 1.43 ซม^3/กรัม และมีปริมาณความชื้นร้อยละฐานแห้งเท่ากับ 65.29 - 66.68 เมื่ออบด้วยไมโครเวฟขนมปังแป้งข้าวมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 1.33 - 1.51 ซม^3/กรัม และมีปริมาณความชื้นร้อยละฐานแห้งเท่ากับ 41.41 – 56.75 เมื่ออบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟขนมปังแป้งข้าวมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 1.33 - 1.49 ซม^3/กรัม และมีปริมาณความชื้นร้อยละฐานแห้งเท่ากับ 43.64 - 59.44 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไข่เป็น 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว ทำให้ได้ปริมาตรจำเพาะสูงกว่าขนมปังที่ไม่ใส่โปรตีน ($P \leq 0.05$) ในทุกสภาวะการอบ เนื่องจากไข่มีส่วนช่วยในการให้โครงร่างแก่ขนมอบ ซึ่งอาศัยการขึ้นฟูจากการตีไข่ (U.S. Department of Agriculture, 1978) แต่ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงในทุกสภาวะการอบ เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการทำขนมปังแป้งข้าวที่เพิ่มปริมาณไข่ร้อยละ 17 - 51 ซึ่งเป็นของเหลว ต้องลดปริมาณน้ำที่เติมลงเพื่อไม่ให้โดแฉะจนเกินไป

เมื่อศึกษาสภาวะในการอบขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยไมโครเวฟมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุดแต่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนมีปริมาตรจำเพาะต่ำสุดแต่มีค่าความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากการอบแบบไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (ชวน, 2545) จึงทำให้อาหารสุกจากภายในสู่ผิวเปลือกขนมปัง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการเร่งให้ก้อนขนมปังขยายตัวและชะลอการเกิดเปลือกของขนมปังให้ช้าลง ทำให้ขนมปังมีระยะเวลาในการขยายตัวได้นานขึ้น ขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้น และมีปริมาตรจำเพาะมาก อย่างไรก็ตาม การอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าการอบแบบไมโครเวฟเพราะการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟเป็นการทำให้ขนมปังสุกอย่างรวดเร็ว คงลักษณะของผลิตภัณฑ์ไว้ได้โดยไม่เกิดการยุบตัว โดยเฉพาะขนมปังที่มีระดับของโปรตีนสูง ซึ่งเป็นไปได้ว่าการอบแบบลมร้อนทำให้เกิดเปลือกขนมปังระหว่างที่การอบด้วยไมโครเวฟทำให้ขนมปังสุก ดังนั้น เปลือกขนมปังจำกัดการขยายปริมาตรขนมปัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Sumnu, 2001) ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่อบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจึงมีค่าน้อยกว่า ขนมปังที่อบด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ 6 ปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.38±0.00^{a}	1.01±0.01^{c}	1.03±0.06^{c}	1.16±0.01^{b}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	79.83±0.64^{b}	72.93±0.39^{c}	79.39±0.16^{b}	85.62±0.87^{a}
ไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.01^{a}	1.11±0.00^{c}	1.13±0.01^{c}	1.24±0.01^{b}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	65.31±0.45^{a}	59.79±0.19^{b}	62.47±0.23^{ab}	66.62±0.29^{a}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.02^{a}	1.03±0.00^{cd}	1.09±0.00^{c}	1.20±0.02^{b}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	70.08±1.22^{a}	62.44±0.37^{c}	66.21±0.38^{b}	69.21±1.17^{a}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.38±0.00^{c}	1.42±0.01^{b}	1.45±0.01^{ab}	1.48±0.00^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	79.83±0.64^{b}	72.99±0.16^{c}	78.45±0.09^{b}	85.82±0.04^{a}
ไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.01^{cd}	1.43±0.01^{c}	1.52±0.00^{b}	1.55±0.03^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	65.31±0.45^{bc}	63.91±0.20^{c}	67.85±0.22^{b}	72.76±0.39^{a}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.02^{d}	1.43±0.01^{c}	1.50±0.01^{b}	1.53±0.01^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	70.08±1.22^{b}	67.41±0.24^{c}	69.47±0.82^{b}	74.78±0.89^{a}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	ไข่ทั้งฟอง (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	17	34	51
ลมร้อน	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.38±0.00^{b}	1.30±0.01^{d}	1.34±0.02^{c}	1.43±0.01^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	79.83±0.64^{a}	66.68±0.18^{b}	66.15±0.22^{b}	65.29±0.06^{b}
ไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.01^{b}	1.33±0.01^{c}	1.38±0.01^{bc}	1.51±0.02^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	65.31±0.45^{a}	56.75±0.24^{b}	54.06±0.40^{b}	41.41±0.23^{c}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	1.40±0.02^{b}	1.33±0.01^{cd}	1.36±0.01^{c}	1.49±0.01^{a}
	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	70.08±1.22^{a}	59.44±0.21^{b}	57.74±0.15^{b}	43.64±0.07^{c}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

1.2 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งข้าว

ขนมปังที่ไม่ใส่โปรตีนจะมีค่าความแข็ง (hardness) และความสามารถในการรวมตัวกัน (cohesiveness) ต่ำกว่าขนมปังที่ใส่โปรตีนในทุกสภาวะการอบแสดงว่าขนมปังแป้งข้าวที่ไม่ใส่โปรตีนมีลักษณะร่วน ไม่เกาะกัน เมื่อเติมโปรตีน พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่ใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นมีค่าความแข็งและความยืดหยุ่น (springiness) ต่ำกว่าขนมปังแป้งข้าวที่ใส่โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและไข่ดังตารางที่ 9 - 11

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างขนมปังแป้งข้าวทั้ง 3 โปรตีน พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่ที่ระดับ 17 - 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว มีค่าความแข็ง และความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) สูงสุด แต่มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการรวมตัวกันต่ำที่สุดในทุกสภาวะการอบ เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ระดับ 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าวและเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว แสดงว่าขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่จะมีลักษณะแน่นแข็ง เนื่องจากไข่ทำให้เกิดโครงสร้างของขนมปัง เป็นตัวยึดเกาะทำให้ลักษณะเนื้อแน่นขึ้น (เกษราและคณะ, มปป.) ขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว มีค่าความแข็ง (4.22 - 11.65 นิวตัน) ความยากง่ายในการเคี้ยว (37.43 - 120.30 จูล) ต่ำที่สุด ความสามารถในการรวมตัวกันสูงที่สุด (0.38 - 0.42) แสดงว่าเนื้อขนมปังที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น มีลักษณะนุ่มและไม่ร่วน ขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ระดับ 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว มีค่าความแข็ง 7.49 - 13.37 นิวตัน และความยากง่ายในการเคี้ยว 65.97 - 109.94 จูล แสดงว่า เนื้อขนมปังที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีลักษณะนุ่มปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่จะมีผลทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีค่าความแข็ง ความยากง่ายในการเคี้ยวลดลงในทุกสภาวะการอบเพราะการเพิ่มโปรตีนทำให้ส่วนผสมที่เป็นของเหลวในสูตรเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความแข็งสอดคล้องกับลดาวัลย์ (2547) ที่กล่าวว่า เมื่อปริมาณน้ำและเนยขาวเพิ่มขึ้นที่ 65 กรัมและ 8 กรัม ตามลำดับ ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) อีกทั้งโปรตีนยังสามารถช่วยในการกักเก็บน้ำของโดขนมปังระหว่างการอบได้ทำให้ขนมปังมีความนุ่ม (ธีรพรและคณะ, 2550)

เมื่อศึกษาสภาวะในการอบขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยไมโครเวฟมีค่าความแข็ง ค่าความยากง่ายในการเคี้ยวสูงที่สุด ความยืดหยุ่นต่ำที่สุด ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนมีค่าความแข็ง ค่าความยากง่ายในการเคี้ยวต่ำที่สุด ความยืดหยุ่นสูงที่สุด (ตารางที่ 9 - 11) เนื่องจากการอบแบบไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนจากภายในสู่ภายนอกทำให้น้ำภายในขนมปังระเหยออกไปมากกว่าการอบแบบลมร้อนจึงส่งผลให้ขนมปังที่อบแบบไมโครเวฟมีค่าความแข็งมากกว่าขนมปังที่อบแบบลมร้อน (Sumnu, 2001) ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีค่าความแข็งมากกว่าขนมปังที่อบแบบลมร้อนแต่น้อยกว่าขนมปังที่อบแบบไมโครเวฟ ค่าความยืดหยุ่นความสามารถในการรวมตัวกันและความยากง่ายในการเคี้ยวน้อยกว่าขนมปังที่อบแบบลมร้อนแต่มากกว่าขนมปังที่อบแบบไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	ความแข็ง (นิวตัน)	4.73±0.65^{d}	9.36±3.64^{a}	8.05±1.05^{b}	7.49±1.44^{c}
	ความยืดหยุ่น	10.46±1.05^{a}	9.30±2.56^{b}	10.18±0.33^{a}	10.18±0.25^{a}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.78±0.02^{c}	0.81±0.13^{c}	0.89±0.07^{a}	0.87±0.09^{ab}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	64.47±4.05^{bc}	66.16±31.42^{bc}	73.16±10.25^{b}	65.97±11.88^{bc}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.40±0.02^{a}	0.38±0.05^{ab}	0.40±0.03^{a}	0.37±0.02^{ab}
ไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	9.82±0.82^{d}	13.37±1.27^{a}	12.21±1.11^{b}	10.72±0.93^{c}
	ความยืดหยุ่น	10.20±2.47^{a}	9.55±1.02^{ab}	9.33±0.49^{b}	8.67±1.05^{c}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.64±0.10^{c}	0.80±0.06^{a}	0.71±0.05^{b}	0.74±0.07^{b}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	64.47±4.05^{b}	66.16±31.42^{b}	73.16±10.25^{a}	65.97±11.88^{b}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.40±0.02^{a}	0.38±0.05^{ab}	0.40±0.03^{a}	0.37±0.02^{ab}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	7.49±0.99^{d}	11.99±2.27^{a}	10.28±0.62^{b}	9.72±0.75^{c}
	ความยืดหยุ่น	10.18±0.25^{a}	8.77±1.13^{d}	9.70±0.78^{b}	9.18±2.59^{c}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.87±0.09^{a}	0.68±0.13^{d}	0.74±0.06^{c}	0.84±0.15^{b}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	65.97±11.88^{c}	74.20±11.83^{a}	73.93±9.50^{a}	70.42±35.02^{b}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.37±0.02^{b}	0.39±0.05^{a}	0.36±0.02^{b}	0.39±0.05^{a}

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	ความแข็ง (นิวตัน)	4.73±0.65^{b}	5.63±0.46^{a}	5.39±0.30^{a}	4.22±0.46^{c}
	ความยืดหยุ่น	10.46±1.05^{a}	10.04±0.32^{a}	9.90±0.54^{b}	9.04±0.05^{c}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.78±0.02^{c}	0.90±0.06^{a}	0.85±0.07^{b}	0.73±0.01^{d}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	64.47±4.05^{a}	51.31±7.43^{b}	45.37±5.18^{c}	43.21±0.42^{c}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.40±0.02^{a}	0.38±0.02^{a}	0.40±0.02^{a}	0.39±0.03^{a}
ไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	9.82±0.82^{b}	11.65±0.33^{a}	10.18±0.54^{b}	6.24±0.99^{c}
	ความยืดหยุ่น	10.20±2.47^{a}	10.44±0.15^{a}	10.16±0.39^{a}	10.11±0.22^{a}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.64±0.10^{c}	0.99±0.31^{a}	0.85±0.07^{b}	0.91±0.05^{a}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	66.66±1.49^{c}	120.30±7.54^{a}	87.57±10.29^{b}	57.35±11.84^{d}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.32±0.04^{c}	0.42±0.02^{a}	0.38±0.03^{b}	0.38±0.02^{b}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	7.49±0.99^{b}	10.23±0.68^{a}	6.19±0.30^{c}	4.27±0.21^{d}
	ความยืดหยุ่น	10.18±0.25^{a}	9.96±0.71^{ab}	9.73±0.81^{ab}	9.70±0.98^{ab}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.87±0.09^{ab}	0.83±0.15^{b}	0.92±0.12^{a}	0.84±0.16^{b}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	65.97±11.88^{b}	81.39±6.87^{a}	55.74±9.38^{c}	37.43±4.50^{d}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.37±0.02^{b}	0.39±0.03^{a}	0.39±0.02^{a}	0.40±0.02^{a}

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	ไข่ (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	17	34	51
ลมร้อน	ความแข็ง (นิวตัน)	4.73±0.65^{c}	12.21±1.11^{a}	11.54±1.34^{a}	10.18±0.54^{b}
	ความยืดหยุ่น	10.46±1.05^{a}	9.33±0.49^{ab}	10.10±0.44^{a}	10.16±0.39^{a}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.78±0.02^{b}	0.71±0.05^{c}	0.83±0.07^{a}	0.85±0.07^{a}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	64.47±4.05^{d}	81.45±11.56^{c}	96.77±13.88^{a}	87.57±10.29^{b}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.40±0.02^{a}	0.37±10.02^{a}	0.37±0.04^{a}	0.38±0.03^{a}
ไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	9.82±0.82^{b}	15.50±1.70^{a}	15.38±1.55^{a}	15.30±1.02^{a}
	ความยืดหยุ่น	10.20±2.47^{a}	8.46±1.93^{b}	9.88±0.71^{ab}	9.86±0.82^{ab}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.78±0.02^{a}	0.61±0.06^{bc}	0.68±0.07^{b}	0.57±0.06^{c}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	64.47±4.0^{c}	80.62±27.64^{b}	117.70±19.23^{a}	85.63±8.27^{b}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.32±0.04^{a}	0.33±0.02^{a}	0.31±0.03^{a}	0.33±0.02^{a}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	ความแข็ง (นิวตัน)	7.49±0.99^{c}	14.50±2.23^{a}	13.37±2.41^{ab}	12.00±2.24^{b}
	ความยืดหยุ่น	10.18±0.25^{a}	6.38±4.03^{c}	10.07±0.42^{a}	9.32±1.00^{b}
	ความสามารถในการรวมตัวกัน	0.87±0.09^{a}	0.65±0.14^{c}	0.81±0.06^{b}	0.79±0.07^{b}
	ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	65.97±11.88^{c}	64.85±48.14^{c}	109.60±22.44^{a}	86.87±16.00^{b}
	ความสามารถกลับสู่สภาพเดิม	0.37±0.02^{a}	0.31±0.06^{b}	0.38±0.04^{a}	0.39±0.02^{a}

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

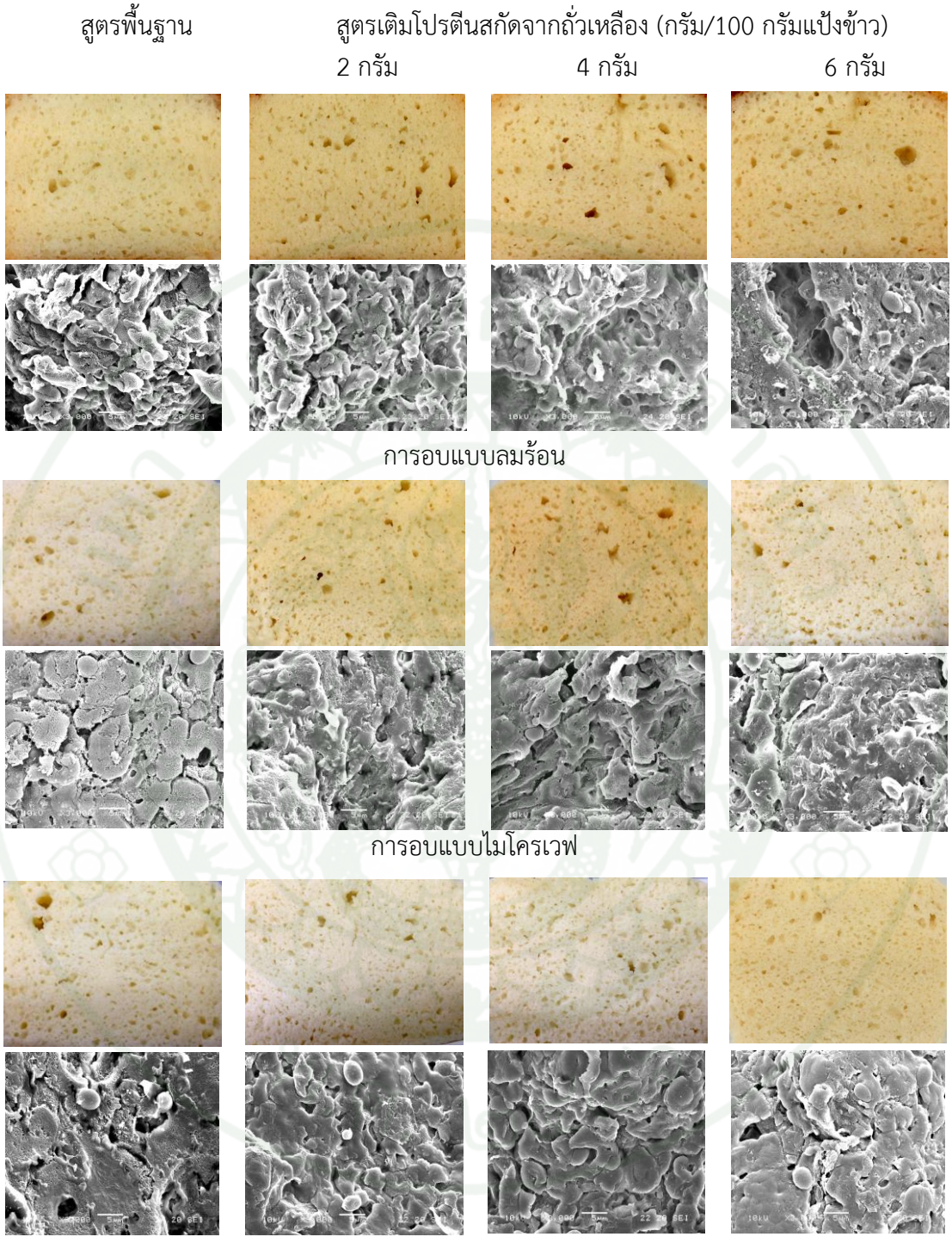
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อโครงสร้างของขนมปังแป้งข้าว

เมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกของขนมแป้งข้าวโดยวิธีการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4 - 6 พบว่าการเติมโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่มีผลต่อลักษณะทางจุลภาคของเนื้อในขนมปังแป้งข้าว โดยมีลักษณะเป็นร่างแหที่ชัดเจนขึ้นเนื่องจากโปรตีนช่วยให้ขนมปังยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ซึ่งขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองจะมีความแน่นของโครงสร้างขนมปังมาก เนื่องจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการสร้างเจลได้สูง ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่มีลักษณะของช่องอากาศใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาตรจำเพาะที่วัดได้ในข้อ 1.1 ที่มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระดับการเติมโปรตีนในขนมปังแป้งข้าว ลักษณะโครงสร้างของขนมปังแน่นมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ อรรถพร (2553) ที่รายงานว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนจากใบมะรุมผง ทำให้เซลล์อากาศของขนมปังมีขนาดเล็กลง ขนมปังมีเนื้อที่แน่นขึ้นและมีการกระจายตัวของเซลล์อากาศที่ลดลง

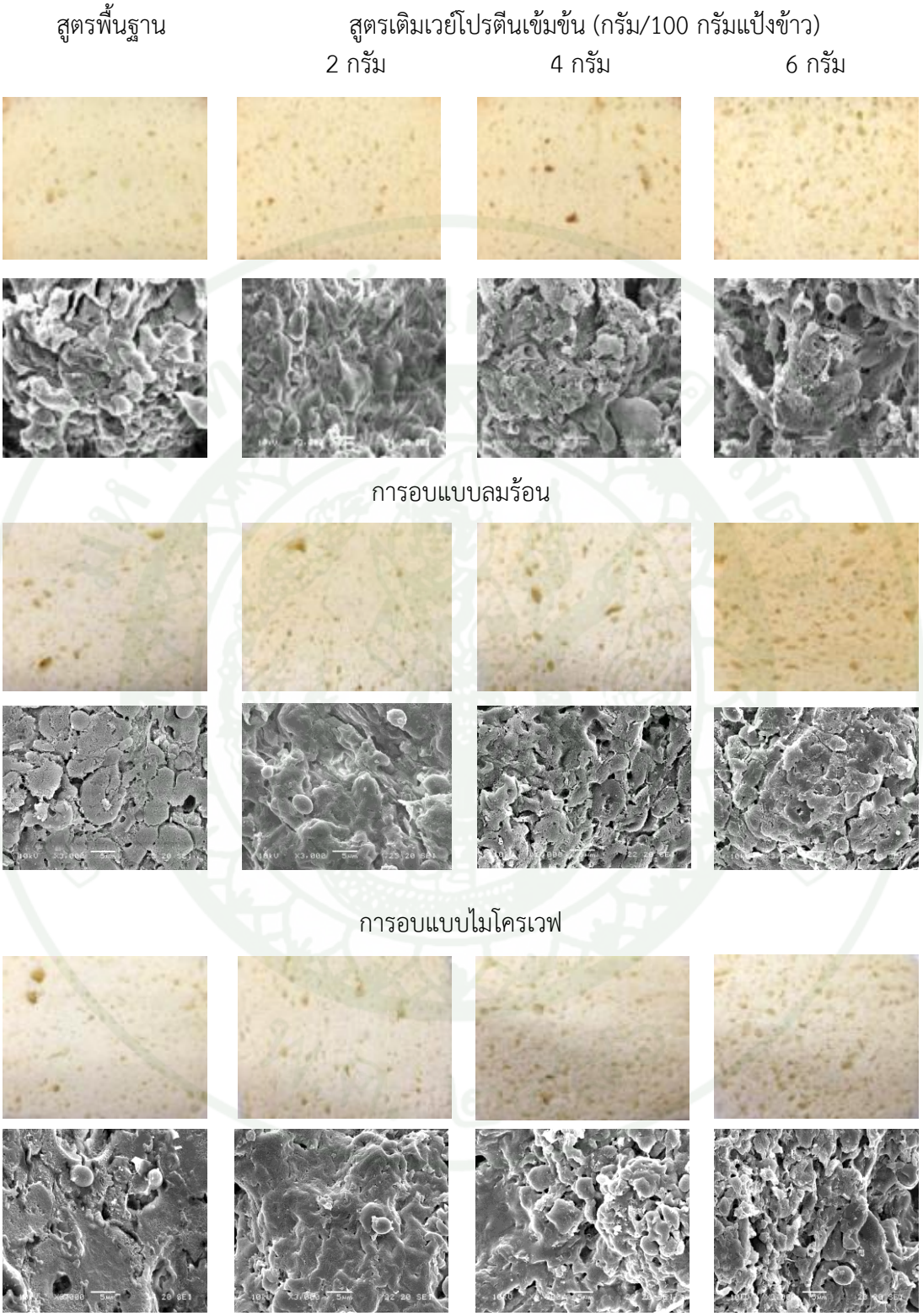
เมื่อศึกษาสภาวะการอบ พบว่า การอบด้วยลมร้อนทำให้รูพรุนของเนื้อในขนมปังมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม อย่างไรก็ตามการอบแบบไมโครเวฟมีผลทำให้รูพรุนมีลักษณะที่เป็นทั้งทรงกลมและทรงรีนอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นร่างแหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อกันของเซลล์ก๊าซ รูพรุนของเนื้อในขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบไมโครเวฟมีมากกว่าขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบลมร้อนซึ่งคล้ายกับ Ozkoc *et al.* (2009) ที่รายงานว่าการอบขนมปังแบบไมโครเวฟร่วมกับอินฟาเรดทำให้พื้นที่รูพรุนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการอบขนมปังแบบลมร้อน การเพิ่มขึ้นของรูพรุนสามารถอธิบายได้จากการที่แรงดันไอน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วในระหว่างการอบแบบไมโครเวฟ อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของความร้อนในระหว่างการอบทำให้เม็ดแป้งเสียรูปร่างไป เม็ดแป้งจะสูญเสียลักษณะเฉพาะและกระจัดกระจายไปเมื่อถูกอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ แป้งที่ถูกเจลาติไนซ์มีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งปรากฏให้เห็นอยู่ในสภาวะการอบทั้งแบบไมโครเวฟและไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



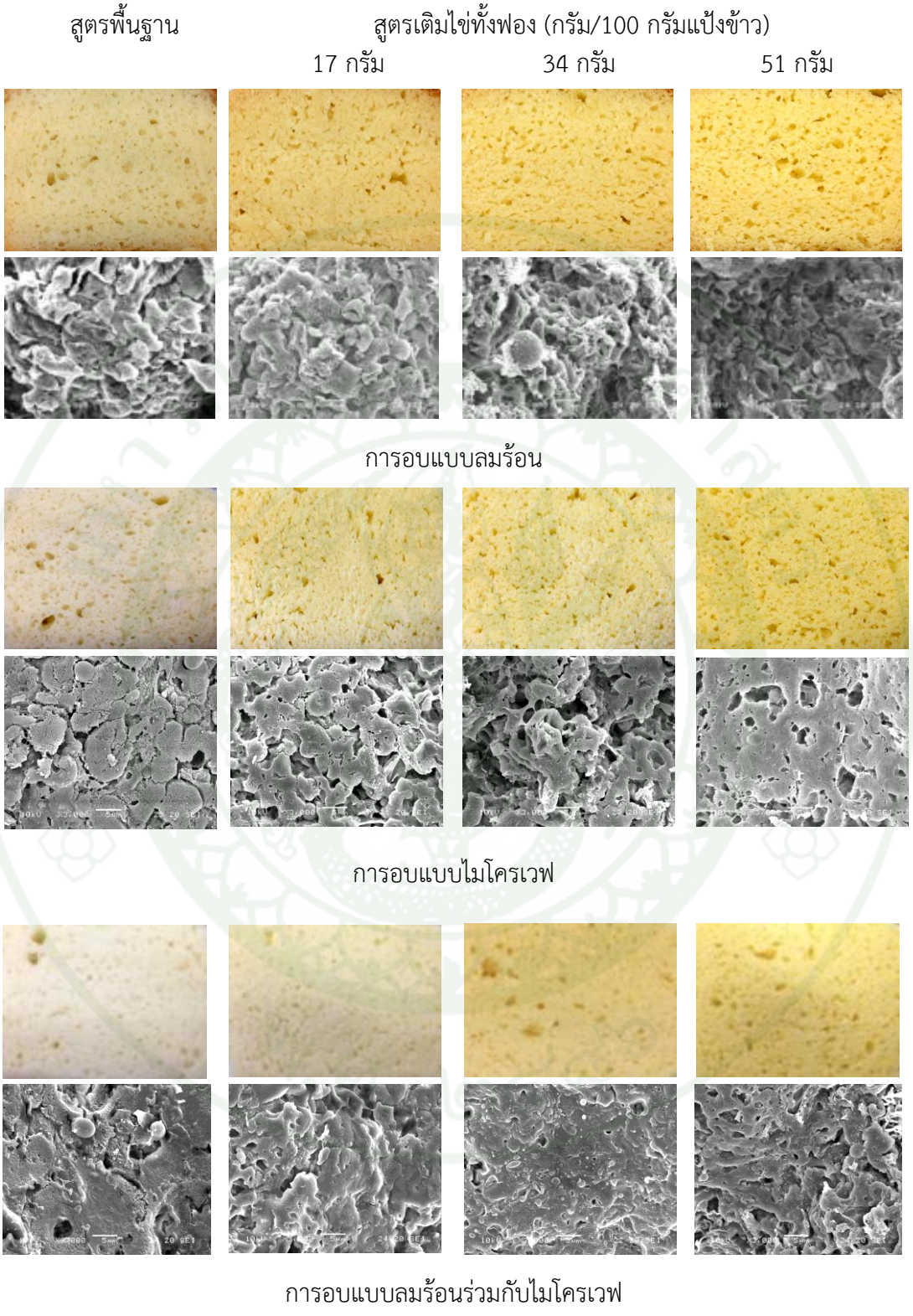
ภาพที่ 4 โครงสร้างและลักษณะปรากฏของเนื้อในขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 โครงสร้างและลักษณะปรากฏของเนื้อในขนมปังแป้งข้าวเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 โครงสร้างและลักษณะปรากฏของเนื้อในขนมปังแป้งข้าวเติมไข่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อค่าสีของเนื้อและเปลือกขนมปังแป้งข้าว

จากการศึกษาค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวดังแสดงในภาพที่ 7 - 9 พบว่า ขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานที่อบแบบไมโครเวฟจะมีค่าความสว่างของเปลือกสูงสุด ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ขนมปังที่ผ่านการอบแบบลมร้อนจะมีค่าความสว่างของเปลือกต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ เปลือกขนมปังแป้งข้าวจะมีค่า L* ลดลงในทุกสภาวะการอบซึ่งสอดคล้องกับธีรพร (2549) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเปลือกขนมปังจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากการที่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจาก Maillard reaction ระหว่างการอบเร็วขึ้น (Stanley and Linda, 2006) ขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ระดับ 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าวและไข่ที่ระดับ 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เมื่อผ่านการอบแบบลมร้อน เปลือกขนมปังมีค่า a* และค่า b* สูงสุด ส่วนเปลือกขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานและอบแบบไมโครเวฟมีค่า a* และ b* ต่ำที่สุด โดยเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและไข่ส่งผลให้เปลือกขนมปังมีค่า a* และค่า b* เพิ่มขึ้น เพราะความร้อนมีผลต่อค่าการเร่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดจากโปรตีนและน้ำตาล

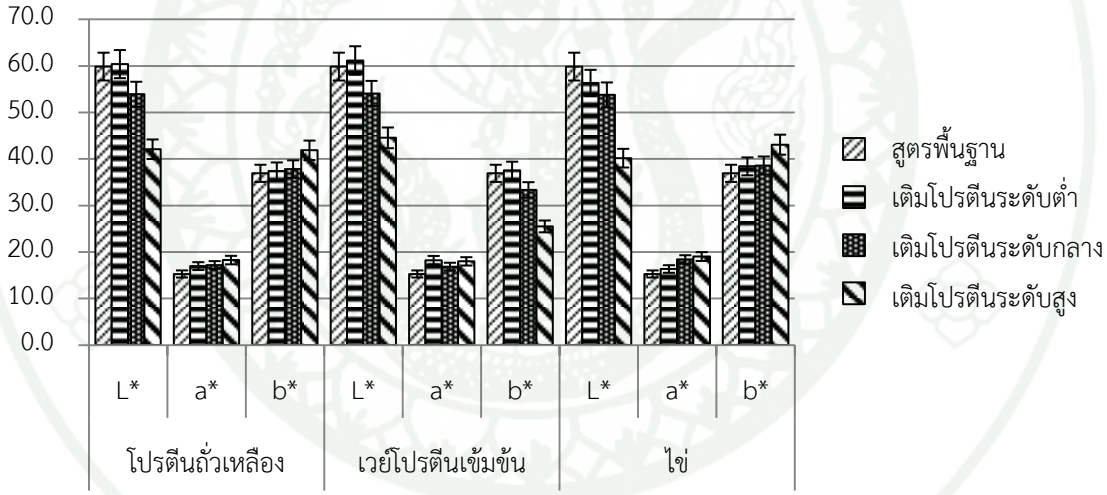
เมื่อศึกษาสภาวะในการอบขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบไมโครเวฟมีเปลือกขนมปังที่มีค่า L* สูงสุดแต่มีค่า a* และ b* ต่ำสุด ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบลมร้อนมีเปลือกขนมปังที่มีค่า L* ต่ำสุดแต่มีค่า a* และค่า b* สูงสุดเพราะขนมปังแป้งข้าวอบแบบลมร้อนมีการให้ความร้อนจากข้างนอกไปสู่ข้างในขนมปัง (Vanin, 2009) อีกทั้งใช้เวลาในการอบนานจึงทำให้เปลือกขนมปังมีความเข้มของสีค่อนไปทางค่าความเป็นสีน้ำเงินมากกว่า ส่วนการอบขนมปังแบบไมโครเวฟนั้นเป็นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาไม่เพียงพอที่จะทำให้ขนมปังเกิดสีน้ำตาล (Datta, 1990) ซึ่งถือเป็นข้อดีในการลดการเกิดสารที่ทำให้ก่อมะเร็ง เช่น acrylamide

จากการศึกษาค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวดังแสดงในภาพที่ 10 - 12 พบว่า ค่า L* ของเนื้อในขนมปังแป้งข้าวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ขนมปังแป้งข้าวที่เติมปริมาณโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ระดับ 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว และไข่ที่ระดับ 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าวแล้วอบแบบลมร้อนจะมีค่า L* ของเนื้อในต่ำสุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 68.71, 69.88 และ 67.19 ตามลำดับ ส่วนขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานจะมีค่า L* ของเนื้อในสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 73.83 เมื่อเพิ่มโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ เนื้อในขนมปังแป้งข้าวจะมีค่า L* ลดลง ค่า a* และค่า b* เพิ่มมากขึ้น ขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่ 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เนื้อในขนมปังมีค่า a* และค่า b* สูงสุด ($P \leq 0.05$) ในทุกสภาวะการอบ ส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

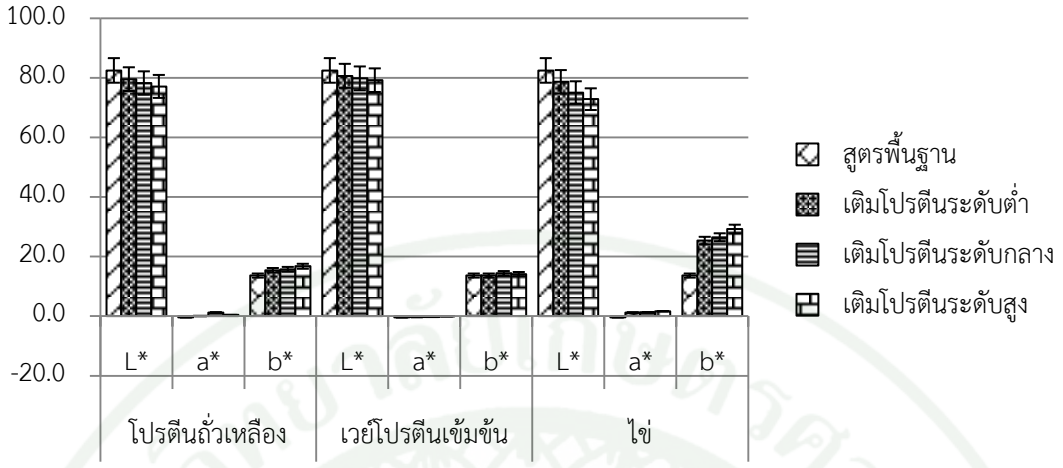
ขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานเนื้อในขนมปังมีค่า a* และ b* ต่ำที่สุดในทุกสภาวะการอบ เนื่องจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีความเป็นสีเหลืองจากเดดซีน (daidzein) ซึ่งเป็นไอโซฟลาโวน (isoflavone) และเป็นสารรงควัตถุชนิดหนึ่งที่พบในถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นเป็นผงสีเหลืองอ่อนตามลักษณะของรงควัตถุที่ออกมากับนม และไข่ซึ่งมีรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ทำให้เกิดสีเหลืองหรือสีแดง (นิธิยา, 2545) เมื่อใส่โปรตีนเหล่านี้เข้าไปจึงทำให้เนื้อในขนมปังมีค่า a* และค่า b* มากขึ้น

เมื่อศึกษาสภาวะในการอบขนมปังแป้งข้าว พบว่า เนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบไมโครเวฟ มีค่า L* สูงสุดและมีค่า a* และ b* ต่ำสุด ส่วนเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่อบแบบลมร้อนมีค่า L* ต่ำสุดแต่มีค่า a* และค่า b* สูงสุดเพราะการอบแบบไมโครเวฟนั้นใช้เวลาน้อย ส่วนการอบแบบลมร้อนใช้เวลาในการทำให้ขนมปังสุกนานจึงทำให้มีสีที่เข้มกว่า

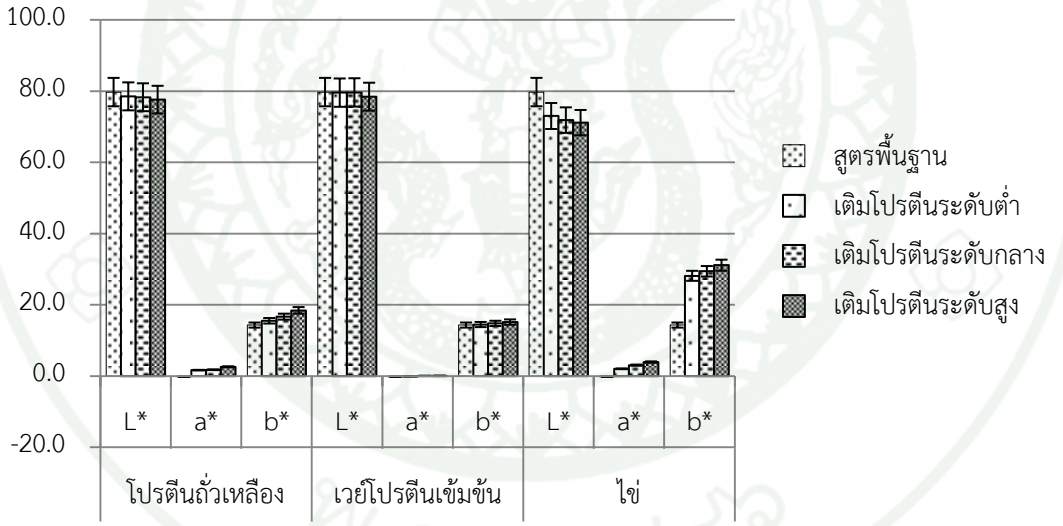


ภาพที่ 7 ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆในสภาวะการอบแบบลมร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

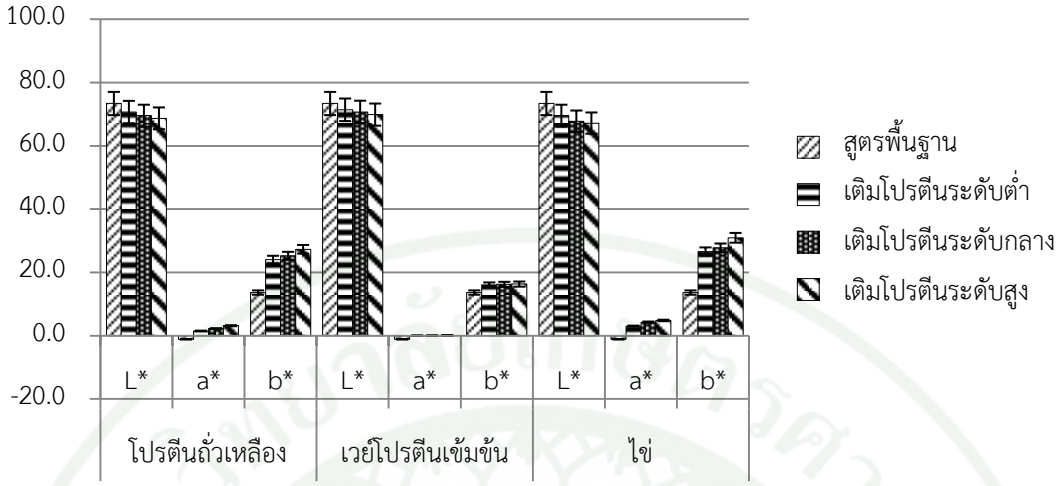


ภาพที่ 8 ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆ ในสภาวะการอบแบบไมโครเวฟ

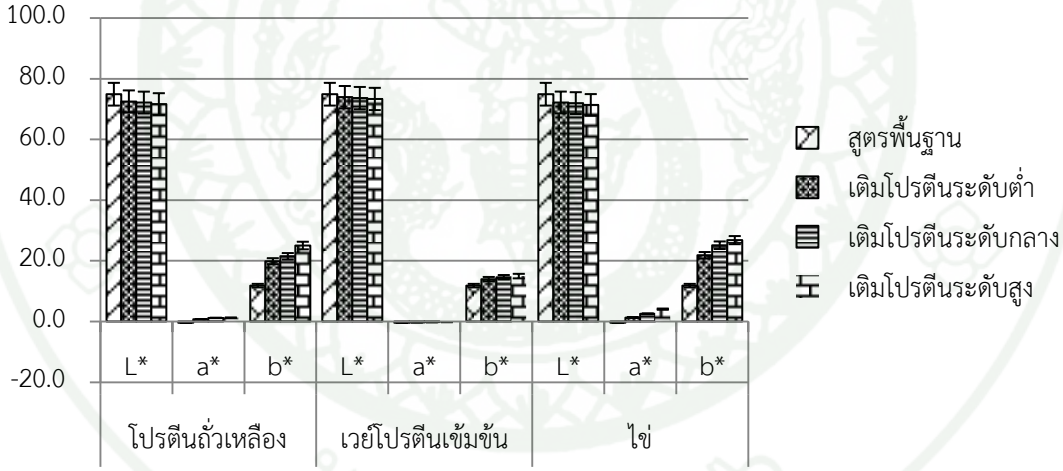


ภาพที่ 9 ค่าสีเปลือกของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆ ในสภาวะการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

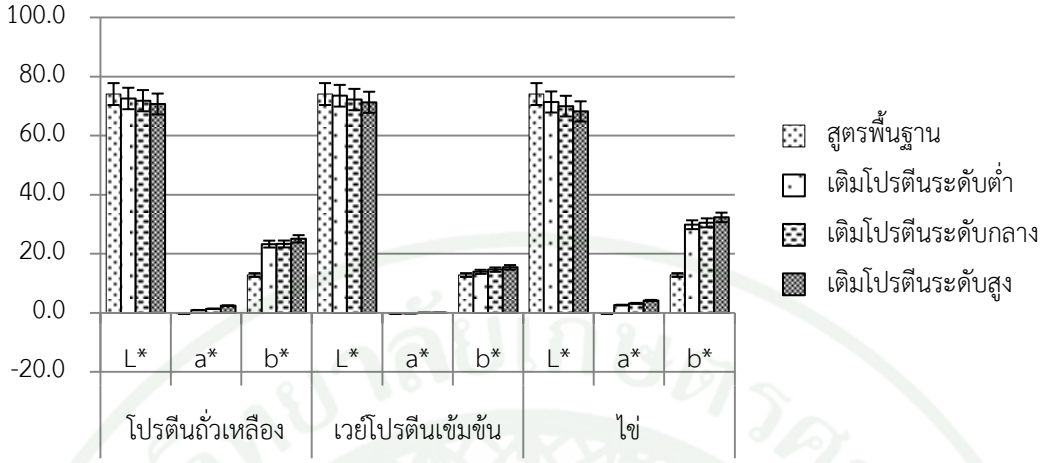


ภาพที่ 10 ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆ ในสภาวะการอบแบบลมร้อน



ภาพที่ 11 ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆ ในสภาวะการอบแบบไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ค่าสีเนื้อในของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ที่ระดับต่างๆ ในสภาวะการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

1.5 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าว

จากการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานที่อบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีค่า D_0 (การย่อยแป้งที่เวลา 0 นาที) และค่า GI (ค่าดัชนีน้ำตาล) สูงที่สุด เท่ากับ 43.86 และ 84.60 ตามลำดับ โดยค่า D_0 บ่งชี้อัตราการย่อยสตาร์ชที่เรียกว่า very rapidly digested starch ซึ่งจะเกิดจากการย่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการย่อยที่เกิดโดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในปาก ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนที่ระดับสูงสุดทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองหรือเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าวหรือไข่ 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าวมีค่า D_0 และค่า GI ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนที่ระดับต่ำ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณของโปรตีนทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีค่า D_0 และค่า GI ลดลงในทุกสภาวะการอบ ซึ่งเป็นไปได้ว่าโปรตีนสามารถไปขัดขวางการย่อยของแป้งทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลมีค่าลดลง

เมื่อศึกษาสภาวะในการอบขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยไมโครเวฟมีค่า D_0 และค่า GI ต่ำที่สุดเพราะเกิดรีโทรเกรเดรชันทำให้ย่อยได้ยาก (Czuchajowska and Pomeranz, 1989) ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจะมีค่าเหล่านั้นสูง (ตารางที่ 12 - 14) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วด้วยการอบแบบไมโครเวฟและเนื่องจากมีอัตราการให้ความร้อนทั้งภายในและภายนอกของขนมปังแป้งข้าวจากการอบแบบลมร้อนร่วมกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไมโครเวฟทำให้เม็ดแป้งเสียรูปร่าง เกิดการย่อยของแป้งเร็วขึ้นเป็นผลทำให้ขนมปังที่อบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีค่าเฉลี่ย GI สูง เป็นไปได้ว่าการอบแบบลมร้อนทำให้มีอัตราการเกิดเจลและการเสียรูปร่างของเม็ดแป้งน้อยกว่าขนมปังที่อบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ดังนั้นค่าเฉลี่ย GI ของการอบแบบลมร้อนจึงมีค่าน้อยกว่าการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

ตารางที่ 12 ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในสภาวะการอบต่างๆ

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	D_0 (g /100 g starch)	34.66±4.29^{a}	31.15±0.67^{b}	28.72±0.00^{c}	29.33±0.47^{c}
	K (min^{-1})	0.05±0.03^{b}	0.08±0.00^{b}	0.14±0.01^{a}	0.13±0.00^{a}
	GIHI90	67.50±0.68^{a}	67.53±0.72^{a}	64.00±0.71^{b}	60.58±0.16^{c}
	GIHI	93.18±1.07^{a}	91.43±1.40^{a}	86.16±0.60^{b}	79.80±0.23^{c}
	Avg GI	80.34±0.88^{a}	79.48±0.34^{a}	75.08±0.66^{b}	70.19±0.04^{c}
ไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	30.27±1.57^{b}	32.67±4.26^{a}	27.89±0.51^{c}	18.51±0.70^{d}
	K (min^{-1})	0.05±0.02^{bc}	0.14±0.14^{a}	0.07±0.02^{b}	0.09±0.02^{b}
	GIHI90	65.98±1.65^{a}	62.27±0.59^{b}	61.51±0.05^{b}	55.04±0.18^{c}
	GIHI	90.31±1.61^{a}	83.33±1.20^{b}	82.20±0.27^{b}	69.59±0.27^{c}
	Avg GI	79.24±0.80^{a}	72.80±0.89^{b}	71.86±0.11^{b}	62.32±0.22^{c}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	43.86±0.82^{a}	39.79±0.44^{b}	31.92±0.16^{c}	26.59±0.64^{d}
	K (min^{-1})	0.07±0.04^{a}	0.06±0.01^{ab}	0.03±0.01^{c}	0.04±0.00^{b}
	GIHI90	70.39±0.94^{a}	69.01±0.04^{a}	67.25±0.55^{b}	58.10±0.24^{c}
	GIHI	98.81±2.44^{a}	96.74±0.86^{ab}	92.10±0.71^{b}	75.53±0.71^{c}
	Avg GI	84.60±2.07^{a}	82.87±0.45^{a}	79.67±0.63^{b}	66.81±0.47^{c}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในค่าคุณภาพเดียวกันที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในสภาวะการอบต่างๆ

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	2	4	6
ลมร้อน	D_0 (g /100 g starch)	34.66±4.29^{a}	27.92±0.74^{b}	28.81±1.86^{b}	23.26±4.50^{c}
	K (min^{-1})	0.05±0.03^{ab}	0.04±0.01^{ab}	0.07±0.00^{a}	0.05±0.02^{ab}
	GIHI90	67.50±0.68^{a}	66.49±0.87^{a}	63.69±3.13^{b}	60.68±1.23^{c}
	GIHI	93.18±1.07^{a}	90.93±1.13^{b}	90.09±0.29^{b}	80.24±2.17^{c}
	Avg GI	80.34±0.88^{a}	78.71±1.00^{b}	76.89±1.71^{b}	70.46±1.70^{c}
ไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	30.27±1.57^{a}	27.03±0.69^{b}	23.44±7.67^{c}	20.64±3.70^{cd}
	K (min^{-1})	0.05±0.02^{c}	0.09±0.00^{b}	0.14±0.04^{a}	0.09±0.03^{b}
	GIHI90	65.98±1.65^{a}	60.94±0.86^{b}	56.84±1.31^{c}	54.24±0.96^{cd}
	GIHI	90.31±1.61^{a}	80.85±1.64^{b}	72.62±3.14^{c}	68.60±1.83^{d}
	Avg GI	79.24±0.80^{a}	70.90±1.20^{b}	64.73±2.22^{c}	61.67±0.69^{cd}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	43.86±0.82^{a}	38.16±6.56^{b}	35.55±2.87^{b}	27.81±1.54^{c}
	K (min^{-1})	0.07±0.04^{a}	0.05±0.03^{b}	0.07±0.02^{a}	0.04±0.03^{b}
	GIHI90	70.39±0.94^{a}	65.54±1.08^{b}	61.50±1.03^{bc}	57.65±0.42^{c}
	GIHI	98.81±2.44^{a}	83.45±2.69^{b}	81.93±1.96^{b}	73.10±0.71^{c}
	Avg GI	84.60±2.07^{a}	72.99±1.88^{b}	71.72±1.50^{b}	66.12±1.37^{c}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในค่าคุณภาพเดียวกันที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่ในสภาวะการอบต่างๆ

สภาวะการอบ	ค่าคุณภาพ	ไข่ (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
		0	17	34	51
ลมร้อน	D_0 (g /100 g starch)	34.66±4.29^{b}	39.62±0.12^{a}	32.97±0.61^{c}	32.97±0.08^{c}
	K (min^{-1})	0.05±0.03^{c}	0.06±0.01^{c}	0.14±0.01^{b}	0.38±0.02^{a}
	GIHI90	67.50±0.68^{a}	67.37±0.12^{a}	61.80±0.10^{b}	61.46±0.09^{b}
	GIHI	93.18±1.07^{a}	92.91±0.03^{a}	82.68±0.46^{b}	82.28±0.44^{b}
	Avg GI	80.34±0.88^{a}	80.14±0.05^{a}	72.24±0.28^{b}	71.87±0.18^{b}
ไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	30.27±1.57^{b}	34.89±0.78^{a}	26.16±3.83^{c}	23.71±0.64^{cd}
	K (min^{-1})	0.05±0.02^{c}	0.04±0.18^{c}	0.13±0.05^{b}	0.94±0.08^{a}
	GIHI90	65.98±1.65^{a}	60.84±0.10^{b}	57.13±0.90^{bc}	54.10±0.77^{c}
	GIHI	90.31±1.61^{a}	80.57±0.06^{b}	73.62±1.72^{c}	66.95±0.20^{d}
	Avg GI	79.24±0.80^{a}	70.70±0.08^{b}	65.37±1.31^{c}	60.53±0.49^{d}
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	D_0 (g /100 g starch)	43.86±0.82^{a}	40.19±3.69^{b}	33.85±0.47^{c}	26.55±1.41^{d}
	K (min^{-1})	0.07±0.04^{c}	0.13±0.08^{b}	0.09±0.17^{c}	0.17±0.02^{a}
	GIHI90	70.39±0.94^{a}	62.77±0.75^{b}	62.18±1.98^{b}	57.41±0.61^{c}
	GIHI	98.81±2.44^{a}	84.33±1.43^{b}	81.63±1.53^{b}	74.30±1.37^{c}
	Avg GI	84.60±2.07^{a}	73.55±1.09^{b}	71.90±1.76^{b}	65.85±0.99^{c}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในค่าคุณภาพเดียวกันที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาค่าคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของขนมปังแป้งข้าวดังแสดงในหัวข้อที่ 1 พบว่าขนมปังแป้งข้าวสูตรที่ใส่เวย์โปรตีน 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว มีค่าปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด มีค่าความแข็งและค่าดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะและคุณภาพที่ดี เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งข้าวลดค่าดัชนีน้ำตาล จึงนำมาทำการศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บในหัวข้อต่อไป

2. ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวระหว่างการเก็บ

2.2 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเก็บขนมปังแป้งข้าวทั้งสูตรพื้นฐานและสูตรที่ใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นไว้นานขึ้นจากวันที่ 1 - 3 เป็นผลมาจากความเสื่อมเสียจากการสูญเสียความชื้น เกิดความแหงจะทำให้เนื้อในของขนมปงมีลักษณะแนนและแข็งขึ้น การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้เรียกวาการเกิดสเตลลิ่ง (staling) (จิตธนา และอรอนงค, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับ He and Hoseney (1991) ที่กล่าวว่าการเกิดสเตลลิ่งของเนื้อในของขนมปง (crumb staling) สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากการสูญเสียความชื้นและเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยขนมปงมีปริมาณความชื้นลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีอายุการเก็บนานขึ้นทำให้เนื้อในเริ่มแหงและกระด้างขึ้นภายในเวลาไมกี่วันโดย Pyler (1973) รายงานว่าเมื่อเก็บขนมปงแป้งสาลีไว้จะเกิดสเตลลิ่งภายใน 3 - 4 วัน

เมื่อศึกษาผลของสภาวะในการอบต่อคุณภาพในระหว่างการเก็บของขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนมีค่าปริมาณความชื้นลดลงจากการเก็บ 3 วันมากกว่าขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ดังตารางที่ 15 - 17 เนื่องจากขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยลมร้อนมีเปลือกที่หนากว่า จึงชะลอการสูญเสียน้ำได้เมื่อเทียบกับขนมปังที่อบด้วยไมโครเวฟซึ่งมีเปลือกที่ไม่สมบูรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขนมปังแป้งข้าวเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)	ลมร้อน	วันแรก	79.71±0.25^{Ab}	72.98±0.11^{Ac}	78.49±0.13^{Ab}	86.02±0.80^{Aa}
		วันที่สอง	76.22±0.77^{ABb}	68.95±0.17^{Bc}	74.15±0.21^{Bb}	83.02±0.42^{Aa}
		วันที่สาม	71.17±0.39^{Bb}	64.33±0.64^{BCc}	68.99±0.61^{CDbc}	78.94±0.43^{Ba}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	64.98±0.25^{CDc}	63.08±0.14^{BCc}	66.63±0.30^{CDb}	71.39±0.11^{Ca}
		วันที่สอง	60.96±0.27^{DEc}	60.94±0.50^{Cc}	64.65±0.41^{Db}	68.21±0.60^{CDa}
		วันที่สาม	57.39±0.6^{Eb}	57.03±0.59^{Db}	61.61±0.14^{DEab}	63.91±0.31^{Ea}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	68.50±0.82^{BCbc}	66.96±0.26^{Bc}	70.52±0.76^{Cb}	73.68±0.65^{Ca}
		วันที่สอง	66.72±0.25^{Cb}	63.08±0.76^{BCc}	67.95±0.44^{CDb}	70.33±0.61^{Ca}
		วันที่สาม	62.49±1.10^{Db}	61.32±0.50^{Cb}	63.98±0.32^{Db}	67.22±0.70^{CDa}

$^{A-E}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2.3 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อค่าเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งข้าวระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังแป้งข้าวระหว่างการเก็บ พบว่าค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่มีค่าความยืดหยุ่น ความสามารถในการรวมตัวกัน ความเหนียว ความยากง่ายในการเคี้ยวและความสามารถในการกลับสู่สภาพเดิมลดลง เมื่อเก็บขนมปังแป้งข้าวทั้งสูตรพื้นฐาน (ไม่ใส่โปรตีน) และสูตรที่ใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นไว้นานขึ้นจากวันที่ 1 - 3 แสดงว่าขนมปังที่เก็บไว้ 3 วัน เนื้อสัมผัสมีแนวโน้มที่แข็งขึ้น เป็นผลมาจากการผลิตภัณฑ์แป้งข้าวเกิดรีโทร เกรเดชั่นได้ง่ายเนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูง (นันทพร, 2546) อีกทั้งขนมปังแป้งข้าวที่เก็บไว้สูญเสียความชื้นภายในขนมปังและยังเกิดจากความแตกตางของความดันระหวางภายในและภายนอกของขนมปังอีกด้วย กล่าวคือหลังจากที่ขนมปังผานกระบวนการอบแล้วทิ้งไวให้เย็นลงอยางชาๆ พบวาที่บริเวณเปลือกนอก (crust) ของขนมปังมีอุณหภูมิต่ำกวาเนื้อในของขนมปังทำให

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความดันไอของน้ำภายใน ก่อนขนมปง ยอมสูงกวาที่บริเวณเปลือกนอกจึงเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำจากเนื้อในไปยังเปลือกนอก ทำให้เปลือกนอกของขนมปงซึ่งเดิมกรอบและเปราะมีความนุมและเหนียวมากขึ้น สวนเนื้อในของขนมปงจะมีลักษณะแห้งและแข็งขึ้น (Eliasson and Larson, 1993) นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในก่อนขนมปงที่เรียกว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตารช (starch retrogradation) ทำให้เนื้อในขนมปงในชวงนี้มีลักษณะขุนและแนน ขึ้นอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ค่าความแข็งของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความแข็ง (นิวตัน)	ลมร้อน	วันแรก	4.74±0.66^{Db}	5.60±0.32^{Da}	5.36±0.27^{Ca}	4.14±0.13^{Cc}
		วันที่สอง	5.14±0.52^{Db}	5.88±0.30^{Da}	5.65±0.35^{Ca}	4.37±0.29^{Cc}
		วันที่สาม	5.44±0.40^{Db}	6.09±0.15^{Da}	6.20±0.41^{BCa}	4.59±0.23^{Cc}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	7.46±0.53^{Cb}	10.25±0.39^{BCa}	6.14±0.86^{BCb}	4.21±0.11^{Cc}
		วันที่สอง	8.03±0.56^{BCb}	12.10±1.17^{ABa}	7.74±1.20^{BCb}	6.08±1.02^{Bc}
		วันที่สาม	13.18±1.25^{Ab}	15.29±0.77^{Aa}	9.71±0.75^{Bc}	8.93±0.97^{Ad}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	9.81±0.94^{BCb}	11.64±0.76^{BCa}	10.22±1.20^{Bb}	6.23±0.77^{Bc}
		วันที่สอง	10.07±0.80^{ABb}	12.57±1.11^{ABa}	12.05±1.06^{ABa}	6.24±0.98^{Bc}
		วันที่สาม	11.70±1.39^{ABb}	14.99±1.59^{Aa}	15.58±1.94^{Aa}	6.24±0.97^{Bc}

$^{A-D}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ค่าความยืดหยุ่นของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความยืดหยุ่น	ลมร้อน	วันแรก	1.80 ± 0.96^{Bb}	9.99 ± 0.31^{Aa}	9.73 ± 0.49^{Aa}	1.10 ± 0.12^{Bc}
		วันที่สอง	9.57 ± 0.77^{Aab}	9.69 ± 0.54^{Aa}	9.39 ± 0.60^{Ab}	9.50 ± 0.95^{Aab}
		วันที่สาม	9.34 ± 0.30^{Ab}	9.43 ± 0.49^{Aa}	9.04 ± 0.24^{Ac}	9.02 ± 0.03^{Ac}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	10.18 ± 1.18^{Aa}	9.91 ± 0.68^{Aa}	9.78 ± 0.51^{Aab}	9.68 ± 0.13^{Aab}
		วันที่สอง	9.76 ± 0.76^{Aa}	9.52 ± 0.58^{Ab}	9.51 ± 0.71^{Ab}	9.55 ± 0.62^{Ab}
		วันที่สาม	9.30 ± 0.18^{Aab}	9.22 ± 0.49^{Aab}	9.43 ± 0.25^{Aa}	9.32 ± 0.71^{Aab}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	2.15 ± 0.96^{Bb}	10.45 ± 0.61^{Aa}	10.15 ± 1.16^{Aa}	10.14 ± 0.93^{Aa}
		วันที่สอง	1.97 ± 1.03^{Bc}	9.24 ± 1.29^{Ab}	9.53 ± 0.61^{Ab}	10.11 ± 0.21^{Aa}
		วันที่สาม	1.93 ± 1.48^{Bd}	8.81 ± 0.86^{Ac}	9.32 ± 0.79^{Ab}	10.11 ± 0.22^{Aa}

$^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ค่าความสามารถในการรวมตัวกันของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความสามารถในการรวมตัวกัน	ลมร้อน	วันแรก	0.74 ± 0.15^{Ab}	0.91 ± 0.15^{Aa}	0.89 ± 0.06^{Aa}	0.73 ± 0.05^{Ab}
		วันที่สอง	0.69 ± 0.08^{ABc}	0.89 ± 0.07^{Aa}	0.79 ± 0.10^{Ab}	0.70 ± 0.04^{ABc}
		วันที่สาม	0.60 ± 0.16^{ABc}	0.86 ± 0.04^{Aa}	0.72 ± 0.06^{ABb}	0.67 ± 0.05^{ABc}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	0.88 ± 1.50^{Aab}	0.84 ± 0.09^{Aab}	0.90 ± 0.02^{Aa}	0.84 ± 0.08^{Aab}
		วันที่สอง	0.86 ± 0.09^{Aab}	0.82 ± 0.09^{Ab}	0.88 ± 0.08^{Aa}	0.80 ± 0.09^{Ab}
		วันที่สาม	0.83 ± 0.04^{Aa}	0.79 ± 0.12^{Ab}	0.84 ± 0.10^{Aa}	0.79 ± 0.09^{Ab}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	0.64 ± 0.07^{ABc}	0.98 ± 0.26^{Aa}	0.84 ± 0.07^{Ab}	0.88 ± 0.08^{Ab}
		วันที่สอง	0.62 ± 0.12^{ABd}	0.97 ± 0.05^{Aa}	0.83 ± 0.11^{Ac}	0.91 ± 0.05^{Ab}
		วันที่สาม	0.59 ± 0.08^{Bd}	0.94 ± 0.09^{Aa}	0.75 ± 0.14^{ABc}	0.91 ± 0.05^{Ab}

$^{A-B}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ค่าความยากง่ายในการเคี้ยวของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความยากง่ายในการเคี้ยว (นิวตัน)	ลมร้อน	วันแรก	36.44±3.47^{Cc}	50.52±6.76^{Ea}	43.89±3.66^{Db}	33.34±0.35^{Cc}
		วันที่สอง	35.51±2.65^{Cc}	47.27±6.06^{EFa}	41.14±3.66^{Db}	32.83±0.32^{Cd}
		วันที่สาม	34.43±1.22^{Cbc}	44.11±4.45^{Fa}	38.25±1.96^{DEb}	32.54±0.12^{Cc}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	66.59±9.69^{Ab}	84.80±13.86^{Ca}	54.02±1.78^{Cc}	34.29±2.33^{Cd}
		วันที่สอง	63.03±8.04^{Ab}	78.58±8.60^{Da}	54.39±5.20^{Cc}	33.61±3.28^{Cd}
		วันที่สาม	58.61±5.27^{Bb}	74.48±9.96^{Da}	53.56±3.67^{Cb}	31.97±2.60^{Cc}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	13.99±8.49^{Dd}	120.74±9.08^{Aa}	86.55±7.76^{Ab}	52.85±10.57^{Bc}
		วันที่สอง	11.52±5.09^{Dd}	100.10±14.08^{Ba}	79.73±4.90^{Bb}	57.35±11.84^{Ac}
		วันที่สาม	11.15±8.74^{Dd}	85.95±8.00^{Ca}	76.98±5.99^{Bb}	57.35±11.84^{Ac}

$^{A-F}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ค่าความสามารถในการกลับสู่สภาพเดิมของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
ความสามารถในการกลับสู่สภาพเดิม	ลมร้อน	วันแรก	0.39 ± 0.10^{Aa}	0.35 ± 0.03^{ABab}	0.38 ± 0.06^{Aa}	0.38 ± 0.02^{Aa}
		วันที่สอง	0.38 ± 0.11^{Aa}	0.35 ± 0.03^{ABb}	0.36 ± 0.03^{Aa}	0.36 ± 0.02^{Aa}
		วันที่สาม	0.32 ± 0.04^{Ba}	0.33 ± 0.04^{Ba}	0.32 ± 0.03^{Ba}	0.35 ± 0.02^{Aa}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	0.36 ± 0.07^{Ab}	0.40 ± 0.03^{Aa}	0.37 ± 0.03^{Aab}	0.36 ± 0.05^{Ab}
		วันที่สอง	0.35 ± 0.04^{ABb}	0.39 ± 0.04^{Aa}	0.37 ± 0.01^{Aa}	0.35 ± 0.03^{Ab}
		วันที่สาม	0.34 ± 0.03^{ABa}	0.36 ± 0.02^{ABa}	0.36 ± 0.02^{Aa}	0.34 ± 0.02^{Aa}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	0.32 ± 0.05^{Bc}	0.41 ± 0.01^{Aa}	0.38 ± 0.05^{Ab}	0.38 ± 0.07^{Ab}
		วันที่สอง	0.32 ± 0.02^{Bc}	0.41 ± 0.03^{Aa}	0.37 ± 0.03^{Ab}	0.38 ± 0.02^{Ab}
		วันที่สาม	0.30 ± 0.07^{BCd}	0.40 ± 0.06^{Aa}	0.35 ± 0.02^{ABc}	0.38 ± 0.02^{Ab}

$^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าวระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาอายุการเก็บของขนมปังแป้งข้าว พบว่า ค่า D_0 และ GI มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเก็บขนมปังแป้งข้าวทั้งสูตรพื้นฐานและสูตรที่ใส่เวย์โปรตีนเข้มข้นไว้นานขึ้นจากวันที่ 1 - 3 เนื่องจากขนมปังแป้งข้าวที่ถูกเก็บไว้นานจะเกิดรีโทรเกรเดชันของสตารช (starch retrogradation) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับเทวี (มปป.) ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวขาวกระป๋องไว้นานขึ้น ค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันจะเพิ่มขึ้นทุกปัจจัยแสดงว่าเกิดรีโทรเกรเดชันมากขึ้น ขนมปังแป้งข้าวที่อบด้วยไมโครเวฟมีค่า D_0 และ GI ลดลงจากการเก็บ 3 วันมากกว่าการอบ ขนมปังแป้งข้าวด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ เนื่องจากการอบด้วยไมโครเวฟเป็นการเร่งการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของขนมปังแป้งข้าว โมเลกุลของแป้งจัดเรียงตัวใหม่ให้ชิดติดกันมากขึ้น ทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีความแข็งมากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการย่อยได้ยาก ค่า D_0 และค่า GI จึงลดลง (Hoover, 1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 ค่า D_0 ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
D_0 (g/100 g starch)	ลมร้อน	วันแรก	35.58 ± 5.59^{Ba}	33.38 ± 1.25^{Ab}	26.21 ± 0.90^{BCc}	25.68 ± 1.04^{Ac}
		วันที่สอง	30.06 ± 2.22^{Ca}	25.54 ± 2.77^{CDb}	29.27 ± 1.21^{Ba}	27.54 ± 2.06^{Aab}
		วันที่สาม	28.52 ± 1.31^{CDab}	30.31 ± 2.66^{ABa}	27.60 ± 1.59^{BCab}	26.13 ± 4.05^{Aab}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	31.15 ± 1.66^{Ca}	23.68 ± 0.22^{Dbc}	26.38 ± 0.24^{BCb}	20.63 ± 3.07^{Bc}
		วันที่สอง	31.35 ± 0.29^{Ca}	31.60 ± 3.87^{ABa}	21.74 ± 2.43^{CDb}	20.61 ± 1.61^{Bb}
		วันที่สาม	31.65 ± 0.71^{Ca}	25.55 ± 1.41^{CDb}	20.36 ± 0.62^{Dc}	21.00 ± 1.63^{Bc}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	40.94 ± 3.19^{Aa}	28.68 ± 4.42^{BCc}	38.16 ± 6.56^{Ab}	25.57 ± 1.63^{Ac}
		วันที่สอง	37.77 ± 1.29^{ABa}	32.66 ± 1.21^{Ab}	30.45 ± 3.89^{Bbc}	27.27 ± 0.77^{Ac}
		วันที่สาม	35.44 ± 3.17^{Ba}	32.51 ± 0.99^{Aa}	24.18 ± 0.91^{Cb}	26.43 ± 0.41^{Ab}

$^{A-D}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 ค่า K ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
K (min^{-1})	ลมร้อน	วันแรก	0.07 ± 0.00^{BCa}	0.06 ± 0.01^{Bb}	0.07 ± 0.00^{CDa}	0.03 ± 0.01^{Dc}
		วันที่สอง	0.07 ± 0.00^{BCb}	0.07 ± 0.00^{Bb}	0.07 ± 0.00^{CDb}	0.10 ± 0.04^{Ba}
		วันที่สาม	0.04 ± 0.01^{Cc}	0.06 ± 0.02^{Bbc}	0.07 ± 0.00^{CDb}	0.09 ± 0.06^{Ba}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	0.09 ± 0.01^{ABa}	0.02 ± 0.00^{Cb}	0.09 ± 0.00^{Ca}	0.10 ± 0.02^{Ba}
		วันที่สอง	0.09 ± 0.00^{ABc}	0.13 ± 0.06^{Aa}	0.11 ± 0.01^{BCb}	0.15 ± 0.01^{Aa}
		วันที่สาม	0.11 ± 0.04^{Ac}	0.10 ± 0.01^{ABc}	0.14 ± 0.00^{Ab}	0.17 ± 0.01^{Aa}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	0.08 ± 0.01^{ABb}	0.11 ± 0.11^{Aa}	0.11 ± 0.02^{BCa}	0.09 ± 0.01^{Bb}
		วันที่สอง	0.07 ± 0.02^{BCb}	0.07 ± 0.06^{Bb}	0.07 ± 0.02^{CDb}	0.10 ± 0.01^{Ba}
		วันที่สาม	0.07 ± 0.00^{BCb}	0.09 ± 0.01^{ABb}	0.04 ± 0.01^{Db}	0.07 ± 0.04^{Ca}

$^{A-D}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 ค่า GIHI90 ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
GIHI90	ลมร้อน	วันแรก	67.15 ± 0.19^{ABa}	66.26 ± 0.50^{Ab}	64.86 ± 0.32^{Ab}	61.08 ± 0.75^{Ac}
		วันที่สอง	66.21 ± 1.14^{Ba}	64.33 ± 2.22^{Aab}	62.92 ± 1.57^{bc}	61.14 ± 1.88^{Ac}
		วันที่สาม	67.03 ± 0.23^{ABa}	64.90 ± 1.08^{Ab}	62.25 ± 1.77^{bc}	60.28 ± 1.99^{Ac}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	66.07 ± 1.49^{Ba}	61.11 ± 0.58^{Bb}	56.75 ± 0.61^{Cc}	54.24 ± 0.96^{Cc}
		วันที่สอง	65.83 ± 2.00^{Ba}	60.27 ± 0.70^{Bb}	55.71 ± 1.11^{Cc}	53.69 ± 0.92^{Cc}
		วันที่สาม	64.51 ± 0.14^{BCa}	58.91 ± 2.00^{Bb}	55.56 ± 0.68^{Cc}	53.66 ± 0.91^{Cd}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	70.00 ± 1.90^{Aa}	63.92 ± 2.75^{ABb}	62.04 ± 1.78^{Ab}	58.37 ± 0.60^{ABc}
		วันที่สอง	68.70 ± 1.36^{Aa}	62.25 ± 2.08^{ABb}	61.93 ± 1.48^{ABb}	58.30 ± 0.92^{ABbc}
		วันที่สาม	70.02 ± 1.87^{Aa}	63.73 ± 3.02^{ABb}	60.74 ± 1.41^{Bc}	57.40 ± 0.69^{Bd}

$^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 ค่า GIHI ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
GIHI	ลมร้อน	วันแรก	92.68±0.36^{Ba}	90.96±0.94^{Aab}	88.31±0.62^{Ab}	80.66±0.95^{Ac}
		วันที่สอง	91.36±1.50^{Ba}	88.06±2.95^{Ab}	85.11±3.61^{ABc}	80.33±0.89^{Ad}
		วันที่สาม	90.93±1.13^{Ba}	88.41±2.15^{Aab}	84.08±2.34^{ABb}	80.43±1.13^{Ac}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	90.62±2.83^{Ba}	80.20±0.71^{Cb}	72.89±1.16^{Cc}	68.10±1.83^{Cd}
		วันที่สอง	89.59±3.02^{BCa}	79.68±1.20^{Cb}	70.90±2.12^{Cc}	67.06±1.74^{Cd}
		วันที่สาม	87.40±0.08^{Ca}	78.34±1.92^{Cb}	71.08±0.65^{Cc}	67.00±1.74^{Cd}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	98.19±3.48^{Aa}	86.51±2.38^{Bb}	81.50±1.98^{Bc}	74.07±0.67^{Bd}
		วันที่สอง	96.11±0.54^{Aa}	90.07±2.17^{Ab}	78.15±1.92^{Bc}	73.85±1.01^{Bd}
		วันที่สาม	97.63±2.86^{Aa}	89.09±2.14^{Ab}	79.24±1.15^{Bc}	74.31±1.01^{Bd}

$^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ย GI ของขนมปังแป้งข้าวที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในทุกสภาวะการอบระหว่างการเก็บ 3 วัน

ค่าคุณภาพ	สภาวะการอบ	อายุการเก็บ	เวย์โปรตีนเข้มข้น (กรัม/100 กรัมแป้งข้าว)			
			0	2	4	6
Avg GI	ลมร้อน	วันแรก	79.91±0.27^{Ba}	78.61±0.72^{Aa}	76.59±0.47^{Ab}	70.87±0.85^{Ac}
		วันที่สอง	78.79±1.32^{Ba}	76.17±2.58^{Bb}	74.01±2.59^{Bc}	70.73±1.39^{Ad}
		วันที่สาม	78.98±0.68^{Ba}	76.66±1.61^{Bab}	73.17±2.05^{Bb}	70.36±0.43^{Ac}
	ไมโครเวฟ	วันแรก	78.34±2.16^{Ba}	70.65±0.65^{Cb}	64.82±0.88^{Dc}	61.17±1.40^{Cd}
		วันที่สอง	77.71±2.51^{Ba}	69.97±0.95^{Cb}	63.30±1.62^{Dc}	60.37±1.33^{Cd}
		วันที่สาม	75.95±0.03^{Ca}	68.62±1.96^{Cb}	63.31±0.66^{Dc}	60.32±1.33^{Ccd}
	ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	วันแรก	84.62±1.95^{Aa}	75.22±2.56^{Bb}	71.99±1.88^{BCc}	66.22±0.64^{Bd}
		วันที่สอง	82.40±0.41^{Aa}	76.16±2.12^{Bb}	70.04±1.70^{BCc}	66.07±0.99^{Bd}
		วันที่สาม	83.83±2.36^{Aa}	76.41±2.57^{Bb}	69.99±1.28^{Cc}	65.88±0.85^{Bcd}

$^{A-D}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิเคราะห์ผลของโปรตีนและสภาวะการอบต่อคุณภาพของขนมปังแป้งข้าว โดยมีการดำเนินงาน คือ การเตรียมขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานและสูตรที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว เวย์โปรตีนเข้มข้น 2 - 6 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว และไข่ 17 - 51 กรัม/100 กรัมแป้งข้าว ทำการอบด้วย 3 สภาวะ ได้แก่ การอบแบบลมร้อน แบบไมโครเวฟและแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อนำไปศึกษาผลของโปรตีนและสภาวะการอบที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีซึ่งรวมถึงการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลในขนมปังแป้งข้าว โดยสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ขนมปังแป้งข้าวที่ไม่ได้เติมโปรตีนมีค่าปริมาตรจำเพาะ 1.38 - 1.40 ซม^3 /กรัม ปริมาณความชื้นร้อยละฐานแห้ง 65.31 - 79.83 ค่า L*, a* และ b* ของเปลือกขนมปังเท่ากับ 59.80 - 82.60, -0.40 - 15.30 และ 13.70 - 36.90 ตามลำดับ ค่า L*, a* และ b* ของเนื้อในขนมปังเท่ากับ 73.40 - 74.90, -1.10 - -0.30 และ 11.80 - 13.60 ตามลำดับ ค่าความแข็ง 4.73 - 9.82 นิวตัน ความสามารถในการรวมตัวกัน 0.64 - 0.87 ความเหนียว 3.67 - 6.47 ค่า D_0 30.27 - 43.86 กรัม/100 กรัมแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล 79.24 - 84.60

2. การเติมโปรตีนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เวย์โปรตีนเข้มข้นและไข่ทั้ง - ฟอง ส่งผลต่อค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้ การเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะต่ำ ความแข็ง ความสามารถในการรวมตัวกันสูง และค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นทำให้ขนมปังมีค่าปริมาตรจำเพาะสูง ความแข็ง ความเหนียว และค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าขนมปังแป้งข้าวที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและไข่ ส่วนขนมปังแป้งข้าวที่เติมไข่จะมีค่าปริมาตรจำเพาะต่ำ มีค่าความแข็งสูงและค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ระดับปานกลางถึงสูง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโปรตีนแต่ละชนิดมีข้อดีแตกต่างกันไป กล่าวคือ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้มีความเหนียว ความยืดหยุ่นและสีที่ดีขึ้น เวย์โปรตีนเข้มข้นช่วยทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงและลดค่าดัชนีน้ำตาลลง ขณะที่ไข่ทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรง ปรับปรุงกลิ่นรสของขนมปังและช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาลได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การอบที่สภาวะต่างๆกันส่งผลต่อค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้ การอบแบบไมโครเวฟทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีปริมาตรจำเพาะมากกว่าการอบแบบลมร้อนและการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ แต่ทำให้เนื้อในของขนมปังแป้งข้าวมีค่าความชื้นต่ำที่สุด นอกจากนี้การอบแบบไมโครเวฟทำให้ได้ขนมปังที่มีค่า L* และค่า b* ต่ำที่สุด ในขณะที่การอบแบบลมร้อนทำให้ขนมปังมีค่า L* ต่ำสุดและค่า b* สูงที่สุด จากการศึกษาดัชนีน้ำตาลของขนมปังแป้งข้าว พบว่า ขนมปังแป้งข้าวสูตรพื้นฐานที่อบด้วยลมร้อนมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงที่สุด เมื่อเปลี่ยนการอบเป็นการอบด้วยไมโครเวฟ พบว่า ค่าดัชนีน้ำตาล มีแนวโน้มลดลง โดยการอบแบบลมร้อนมีข้อดี คือ ทำให้ขนมปังแป้งข้าวมีสีเปลือกที่สมบูรณ์และมีเนื้อสัมผัสนุ่ม ในขณะที่การอบแบบไมโครเวฟมีข้อดี คือ ลดระยะเวลาในการทำให้ขนมปังสุกได้มาก ลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ขึ้นที่เปลือกขนมปังซึ่งเป็นสาเหตุของการสร้างสารก่อมะเร็ง (เช่น Acrylamide) และลดค่าดัชนีน้ำตาล สำหรับการอบแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีข้อดีคือ ลดระยะเวลาในการทำให้ขนมปังสุกได้แต่ยังคงทำให้เกิดสีเปลือกของขนมปังได้เล็กน้อยเพื่อลักษณะปรากฏและกลิ่นรสของขนมปัง

4. ในการพัฒนาขนมปังแป้งข้าวเพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาล ควรใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นในการช่วยลดค่า GI เนื่องจากเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติที่เป็น low glycemic index ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ทำให้รู้สึกอิ่มนานขึ้น และใช้วิธีการอบแบบไมโครเวฟเนื่องจากใช้เวลาในการผ่านกระบวนการน้อยที่สุดและสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลลงได้ ส่งผลให้ขนมปังแป้งข้าวถูกดูดซึมและย่อยได้ช้าลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะมีการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีทดสอบแบบ In *vivo* ในมนุษย์
2. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บในสภาวะต่างๆเพิ่มเติม เช่น เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
3. ควรทดสอบการยอมรับผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งข้าวล้วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลาณรงค ศรีรอต และ เกื้อกูล ปยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแปง.** พิมพครั้งที่ 2. สำนักพิมพมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร, กรุงเทพฯ.

เกษรา มานันตพงศ์, พงษ์ศักดิ์ ทรงพระนามและอรอุมา คำแดง. ม.ป.ป. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริมเกสรดอกบัวหลวง.** สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

คณิตตา พัฒนาภา. 2553. **การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2541. **ขาวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปกวยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ**. ในโครงการฝกอบรมการพัฒนาเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมกวยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใชเทคโนโลยีสะอาด. สถาบันคนควาและพัฒนาผลิตภัณฑอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร, กรุงเทพฯ.

จิตธนา แจมเมฆ และ อรอนงค นัยวิกุล. 2541. **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องตน.** มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร, กรุงเทพฯ.

ชนิดา ครูส่ง และ อรสา สุริยาพันธ์. 2553. **ผลของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพของขนมเมล็ดขนุนกวน.** วิทยาศาสตร์เกษตร. 253-256.

ชวน คล้ายปาน. 2545. **เตาอบไมโครเวฟ**. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_2_2546_microwave.pdf. 22 พฤศจิกายน 2553.

ชุติมา มโนธรรม. 2549. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมสาลี่จากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นันทพร สมัครรัตน. 2546. **การพัฒนาผลิตภัณฑโดนัทแปงขาวหอมมะลิทดแทนแปงสาลีหนาพิซซ่าแชเยือกแข็ง.** วิทยานิพนธปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร.

นิธิยา รัตนาปนนท. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องตน**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร.

นิธิยา รัตนาปนนท. 2545. **เคมีอาหาร**. ครั้งที่ 1. โอ เอส พริ้นติ้ง เฮาส. กรุงเทพฯ

นิรนาม. 2527. **"การใชไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร"**. วารสารเพื่อความกาวหนาทางอุตสาหกรรมเกษตร. 3 (กันยายน 2527) : 32-40.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2539. **เอกสารการสอนวิชาเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ขนมอบ.** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. กรุงเทพฯ.

พจนีย พงศพงัน. 2546. **การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาทองโกจากแปงขาวหอมมะลิไทยผสมแปงสาลี.** วิทยานิพนธปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร. กรุงเทพฯ.

พรวีนัส ปนหยา. 2544. **การพัฒนาผลิตภัณฑขนมปงจากแปงสาลีผสมแปงขาวหอมมะลิ.** วิทยานิพนธปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร. กรุงเทพฯ.

ภัทรินทร์ สวนศิลป์พงศ์. 2535. **น้ำพริกทาขนมปังที่มีใยอาหารสูง โปรตีนคุณภาพสูงและพลังงานต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

ยุพร พืชกมุทร. 2554. **การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี.** วารสารพระจอมพระนครเหนือ.

ลดาวัลย์ เจริญรัตนศรีสุข. 2547. **การพัฒนาแป้งขนมปังเสริมโปรตีนและใยอาหารพร้อมใช้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิชัย หฤทัยธนาสันติ์. 2538. **ลูทางการพัฒนาผลิตภัณฑขาว,** น. 30-35. ใน รายงานครบรอบ 4 ป สถาบันผลิตผลเกษตรฯ. สถาบันคนควาและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล รังสาดทอง. 2552. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุชาดา นกเถื่อน และ ยุทธนา พิมลศิริผล. 2553. **คุณภาพและคาดัชนีน้ำตาลของคุกกี้ปราศจากกลูเตนที่ใชสารใหความหวานตางชนิด**. การประชุมวิชาการเกษตรนเรศวรครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2552. **วิทยาศาสตร์ในเตาไมโครเวฟ.** แหล่งที่มา: http://www.vcharkarn.com/varticle/38375, 7 กันยายน 2554.

สุนทร สหัสโพธิ์. 2533. **ความสำคัญของอะมิโลสและสารยึดเกาะในการผลิตขนมปงโดยใชแปงขาวเจา**. วิทยานิพนธปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร. กรุงเทพฯ.

สมาคมโรคเบาหวานแหงประเทศไทย. 2550. **เบาหวาน VS ดัชนีน้ำตาลในอาหาร**. [ระบบออนไลน]. แหล่งที่มา http://www.happydm.org/html. (5 พฤศภาคม 2550).

สายสนม ประดิษฐดวง. 2537. **ผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากแป้งข้าว,** 19-24. ใน การประชุมวิชาการ : ศักยภาพข้าวไทยทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม 4 กุมภาพันธ์ 2537. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรัชนา โปร่งจันทึก. 2552. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตสำหรับเด็กจากแป้งผสมจากข้าวกล้องและข้าวสาลี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เสาวนีย์ จักรพิทักษ์. 2542. **หลักโภชนาการปัจจุบัน.** โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑอุตสาหกรรม. 2546. **มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน คุกกี้ มผช.** 118-2546. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑอุตสาหกรรม.

อรรถพร แสงฉาย, กัญศิญา กาวีระ และ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2553. **ผลของการเสริมใบมะรุมต่อคุณภาพของขนมปัง.** วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41, 3/1(พิเศษ): 349-352.

อรอนงค์ วินัยกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

AACC. 2000. **Measurement of volume by rapeseed displacement.** Approved Methods Of the American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, Minnesota. 10-05.01.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC international. 17th ed**. The Association of Official Analytical Chemists. Code 941.25.

Barrett, A.H., A.V. Cardello, L. mair, P. Maguire, L.L. Lesher, M. Richardson, J.Briggs and I.A. Taub. 2000. Textural optimization of shelf-stable bread: Effect of Glycerol Content and Dough-forming Technique. **Cereal Chemistry.** 77(2): 169-176

Buffler, C. R. 1993. Microwave cooking and processing. **Engineering Fundamentals for the Food Scientist.** Van Nostrand Reinhold, New York, NY.

Ciacci, C., Maiuri, L., Caporaso, N., Bucci, C., Del Giudice, L., Rita Massardo, D., Pontieri, P., Di Fonzo, N., Bean, S. R., Ioerger, B. and Londei, M. 2007. Celiac disease: *In vitro* and *in vivo* safety and palatability of wheat-free sorghum food products. **Clinical Nutrition**. 26: 799-805.

Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y. 1989. Differential Scanning Calorimetry, Water Activity, and Moisture Contents in Crumb Center and Near-Crust Zones of Bread During Storage. **Cereal Chemistry.** 66: 305-309.

Datta, A.K. 1990. Heat and mass transfer in the microwave processing of food. **Chemical Engineering Progress.** 86: 47-53.

DeMan, J.M. 1990. **Priciples of Food Chemistry.** 2nd ed**.** Van Nostrand Reinhold, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Eliasson, A.C. and K. Larsson. 1993. Bread, p. 342. In A.C. Eliasson and K. Larsson (eds.). **Cereal in Breadmaking.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Ellis, A. and Gudmundsson, M. 1996. Starch: Physiochemical and functional aspects. In A. Elisson (Ed.). **Carbohydrate in Food Marcel**. Dekker, Inc.. New York. 431-503.

FAO/WHO. 1998. Cabohydrates in human nutrition. **Food and Agriculture Organization**. 66: 1-140.

Faubion, J.M. and R.C. Hoseney. 2010. High-temperature, short-time extrusion cooking Of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and Flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry.** 59: 529-533.

Foster-Powell K, Holt SHA and Brand-Miller JC. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values. **The American Journal of Clinical Nutrition.** 76(1): 5-56.

Frost, G., Leeds, A.A., Dore, C.J., Madieros, S., Brading, S. and Dornhorst, A. 1999. Glycaemic index as a determinant of serum HDL-cholesterol concentration. **The Lancet**. 353: 1045– 1048.

Galliard,T. and Bowler, P. 1987. Morphology and composition of starch, in Galliard, T., starch: protential. **Critical reports on applied chemistry.** vol. 13. New York. pp 55-78.

Gannin, P. J., Holloway, R. L., Boardfield, D. C., & Braun, A. R. 1998. Asymmertry of chimpanzee planum temporale: Human-like brain pattern of Wernicke's area homolog. **Science.** 279:220-1.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Goni I, Garcia AA, Saura CF. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**. 17: 427–437.

Grandison, A. 2001. Food protein: processing and functionality. **Food Protein.** Food Science and technology. Agro-Industry. Chaingmai University.

Guy, R.C.E., and A.W. Horne. 1999. Extrusion and co-extrusion of cereals. p. 331- 349. In Food Structure—**Its Creation and Evaluation. J.M.V. Blanshard and J.R. Mitchell, eds. Butterworths** : London.

He, H. and R.C. Hoseney. 1991. Gas retention in bread dough during baking. **Cereal Chemistry.** 68(4): 521 – 525

Hizukuri, S. 1996. Starch: Analytical aspects. In A. Elisson (Ed.). **Carbohydrate in Food.** Marcel Dekker Inc., New York. pp. 347-429.

Hoover, R. 1995. Starch retrogradation. **Food Reviews International.** 11(2): 331-346.

Imeson, A. 1997. Thickening and Gelling Agent for Food. 2nd ed. **St Edmundsbury Press**. Great Britain.

Institute of Nutrition. 1998. **Food Composition Database for Inmucal Program.** Mahidol University. Bangkok, Thailand.

Lazaridou A., D. Duta, M. Papageorgiou, N. Belc and C.G. Biliaderis. 2006. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering.** On press.

Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule. **Cereal Chemistry**. 36: 534–544.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lin, T.M., T.D. Durance and C.H. Scaman. 1999. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International.** 31: 111-117.

Mahasukhonthachat K, Sopade PA and Gidley MJ. 2010. Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. **Journal of Food Engineering**. 96: 18-28.

Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering.** 44: 71-78.

Nishita, K.D., Roberts, R.L. and Bean, M.M. 1976. Development of yeast-leavened rice bread formula. **Cereal Chemistry**. 53(5): 626-635.

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

Ozkoc OS, Sumnu G and Sahin S. 2009. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. **Food Hydrocolloids**. 23: 2182-2189.

Patel, G.B.., A. W. Khan., B.J. Agnew and J. R. Colvin. 1980. Isolation and Characterization of an Anaerobic, Cellulolytic Microorganism, *Acetivibrio cellolyticus* gen. nov., sp. nov. Internation **Journal. Of Systematic and Evolutionary Microbiology.** 179-185.

Pei, D.C. 1982. Microwave baking: New developments. **Bakers Digest.** 56: 8-12.

Pi-Sunyer, FX. Glycemic index and disease. **American Journal Clinic Nutrition.** 2002; 76: 290S-298S.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pyler, E.J. 1973. Baking Science and Technology Vol I. **Siebel Publishing Co.,** Chicago.

Regenstein, C.E. 1984. Food Protein Chemistry. **Academic Press**, Inc.,Orlando.

Rewthong, O., Soponronnarit, S., Taechapairoj, C., Tungtrakul, P. & Prachayawarakorn, S. (2011) Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice. **Journal of Food Engineering.** 103, 258-264.

Rokosky, J. 1989. Protein additives in food service preparation. **AVI Book**. Van Nostrand Reinhold, New York.

Sew-eaw, A. 2007. **Thai Hommali rice flour characterization on quality of cake mixed flour.** Ph.D. Thesis. Kasetsart University.

Stanley PC and Linda SY. 2006. Baked products: Science, technology and practice. 1st ed. **Blackwell Publishing Ltd**. 228p: 36-37.

Sumnu G. 2001. A review on microwave baking of foods. **International Journal of Food Science and Technology**. 36: 117–127.

Vanin, F.M., Grenier, D., Doursat, C., Flick, D., Trystram, G., & Lucas, T. 2009. Water loss and crust formation during bread baking. II. Technological insights from a sensitivity analysis. submitted to. **Journal of Food Engineering.**

Wiseman, J. ; Nicol, N. T. ; Norton, G., 2000. Relationships between apparent metabolizable energy (AME) value and *in vivo/in vitro* digestibility of wheat for broilers. World Poult. **Journal of Food science**., 56 (4): 1-14

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ylimaki, G., Z. J. Hawrysh, R. T. Hardin and A. B. R. Thomson. 1988. Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: Objective measurements. **Journal of Food Science**. 53(6): 1800-1805.

Zhou, W. and N. Therdthai. 2008. Heat and mass transfer during baking of sweet goods. *In.* Sumnu, H. ed. **Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods**. Taylor and Francis, LLC.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะหปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

การหาปริมาณความชื้นโดยใชเตาอบลมรอน โดยอบ Moisture can และฝา ดวยตูอบลมรอนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เปนเวลา 30 นาที แลวปลอยใหเย็นในโถดูดความชื้นนาน 15 นาที ชั่งน้ำหนัก Moisture Can และฝา โดยชั่งน้ำหนักดวยเครื่องชั่ง (Satorius A102S, Germany) ที่ความละเอียด 4 ตำแหนง ชั่งน้ำหนักตัวอยางที่บดละเอียดแลวประมาณ 2 กรัม ใสลงใน Moisture can นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เปนเวลา 13 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแลวนำไปใสไวในโถดูดความชื้นปลอยใหเย็นเปนเวลา 30 นาที นำไปอบตอและนำมาชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นหนวยเปนรอยละ

$$\text{ปริมาณความชื้น (รอยละของน้ำหนัก)} = \frac{[(W_1 - W_2)] * 100}{W_1 - W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของภาชนะใสตัวอยางที่ผานการอบแลว

W_1 คือ น้ำหนักของภาชนะใสตัวอยางและตัวอยางกอนอบ

W_2 คือ น้ำหนักของภาชนะใสตัวอยางและตัวอยางหลังอบ

2. การวัดคาสีในระบบ CIE L* a* b*

ระบบนี้จะวัดคาสีในรูปคาสี L*, a* และ b* โดยคา L* แสดงถึงความมืดสวาง (Darkness/Lightness) คา a* แสดงถึงสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และคา b* แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยมีการกำหนดความหมายของคาที่วัดได ดังนี้

คา L* มีคาเทากับ 0 หมายถึงความมืด (Darkness) มีคาเทากับ 100 หมายถึงความสวาง (Lightness)

คา a* มีคาเปนบวก (+) หมายถึงสีแดง (Redness) มีคาเปนลบ (–) หมายถึงสีเขียว (Greenness)

คา b* มีคาเปนบวก (+) หมายถึงสีเหลือง (Yellowness) มีคาเปนลบ (–) หมายถึงสีน้ำเงิน (Blueness)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กอนการวัดคาสีทุกครั้งตองทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) กอน โดยใชแผนกระเบื้องสีขาวมาตรฐาน (White blank; L* = 97.67, a* = -0.18 และ b* = 1.84) แล้วจึงทำการวัดคาสีของตัวอยาง ทำการวัดคาสีทั้งหมด 3 ครั้ง แลวนำไปหาค่าเฉลี่ย

3. การวิเคราะหปริมาณสตารชทั้งหมด (total starch) ตามวิธีของ AACC (2000)

นำคาตางๆ ที่ไดจากการทดลองมาคำนวณหาปริมาณสตารชทั้งหมด ดังนี้

$$\text{ปริมาณสตารช (รอยละ)} = \Delta A \times F \times \frac{FV}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$= \Delta A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0.9$$

โดยที่ ΔA = คาการดูดกลืนแสงเมื่อเทียบกับสารละลายที่เปน Blank

F = 100 (ไมโครกรัมดี-กลูโคส) /คาการดูดกลืนแสงของกลูโคส 100 µg

FV = ปริมาตรสุดทาย

0.1 = ปริมาณตัวที่วิเคราะห

$\frac{1}{1000}$ = ตัวคูณกลับเพื่อเปลี่ยนหนวยจาก µg เปน mg

$\frac{100}{W}$ = คาที่แสดงถึงสตารชเมื่อเทียบเปนรอยละของน้ำหนักแปง

W = น้ำหนักแห้งของแปงที่วิเคราะหหนวยเปน mg

$\frac{162}{180}$ = การปรับจากดีกลูโคสเปนแอนไฮโดรดี-กลูโคส (ที่ปรากฏในสตารช)

4. การวิเคราะหอัตราการยอยแปง (in vitro starch digestibility) ตามวิธีของ Mahasukhonthachat et al. (2010)

นำคาตางๆ ที่ไดจากการทดลองมาคำนวณหาอัตราการยอยแปง ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{ปริมาณอัตราการยอยแปง, DS} = \frac{0.9 \times G_G \times 180 \times V}{W \times S(100\text{-}M)}$$

เมื่อ G_G = ปริมาตรน้ำตาลกลูโคสที่อานได (มิลลิกรัมตอเดซิลิตร)

0.9 = stoichiometric constant for starch from glucose contents

V = ปริมาตรของน้ำยอย (มิลลิลิตร)

S = ปริมาณสตารชทั้งหมดของตัวอยาง (รอยละ น้ำหนักแหง)

M = ปริมาณความชื้นของตัวอยาง (รอยละ)

180 = น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคส

จากนั้นนำขอมูลอัตราการยอยแปงมาสรางสมการความสัมพันธระหวางเวลากับอัตราการยอยแปงตามสมการ the modified first-order kinetic ดังนี้

$$D_t = D_0 + D_{\infty-0}(1 - \exp[-Kt])$$

โดยที่คา D_0 = อัตราการยอยสตารชที่เวลา t = 0

D_∞ = อัตราการยอยสตารชที่เวลา t = ∞

k = อัตราการยอยตอนาที

t = เวลา (นาที)

พื้นที่ใต้กราฟ (AUCexp) คำนวณโดยใช้สมการ ดังนี้

$$AUC_{exp} = \left[D_\infty t + \frac{D_{\infty-0}}{K}\exp(-Kt)\right]_{t_1}^{t_2}$$

แลวนำไปคำนวณคาดัชนีน้ำตาลจากสมการ GI = 39.21+(0.803 X H_{90}) ตามวิธีการของ Goni et al. (1997)

$$GI_{avg} = \left[\frac{\left((39.21 + 0.803H_{90}) + (39.51 + 0.573HI)\right)}{2}\right]$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

วัตถุดิบและอุปกรณ์ในการผลิตขนมปังแป้งข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ข1 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ยี่ห้อ เพชรพานทอง

ภาพผนวกที่ ข2 เตาอบเตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ LG

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ–นามสกุล นางสาวฐิติมา ธันวราคม

วัน เดือน ปีที่เกิด 28 สิงหาคม 2530

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2554

ผลงานทางวิชาการ

1. Tanvarakom, T. and Therdthai, N. 2014. Effect of egg and microwave baking on quality of rice-flour bread. **Food and Applied Bioscience Journal**. (Accepted).
2. Tanvarakom, T. and Therdthai, N. 2014. Effect of egg and microwave baking on quality of rice-flour bread. Presentation at the 2nd International Conference on Food and Applied Bioscience, 6 – 7 Febuary 2014. Chiang Mai, Thailand.

ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนวิจัยโครงการจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(The Thai Research Fund)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์