



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาเบรตstickจากแป้งข้าวเจ้า^๗

DEVELOPMENT OF BREAD STICK FROM RICE FLOUR

นางสาวสุธิดา เนติปัญญา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

Development of Bread Stick from Rice Flour

นามผู้วิจัย นางสาวสุธิดา เนติปัญญา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph. D)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph. D)

กรรมการ

(อาจารย์ชุติมา ไวศรายุทธ์, Ph. D)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล วุฒิจำนงค์, Ph. D)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเบรคstickจากแป้งข้าวเจ้า

Development of Bread Stick from Rice Flour

โดย

นางสาวสุธิดา เนติปัญญา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2777-7

สุธิดา เนติปัญญา 2549: การพัฒนาเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์วัน เทอดไทย, Ph.D. 106 หน้า
ISBN 974-16-2777-7

เบรคสติกเป็นขนมปังเนื้อเหนียวนุ่ม โดยปกติแล้วทำมาจากแป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เบรคสติกโดยใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลี เพื่อลดการนำเข้าแป้งสาลี โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) เพื่อศึกษา 4 ปัจจัยเชิงปริมาณ ได้แก่ น้ำ ไขมัน ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) และแซนแทนกัม (xanthan gum) นำผลการทดลองมาสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ กับคุณภาพที่ได้ ซึ่งได้แก่ ความแข็ง ครรชนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ สีเปลือก และสีเนื้อในของเบรคสติก โดยมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง และค่า mean square error (MSE) จากผลของการสร้างแบบจำลอง (modeling) ของค่าความแข็ง ค่าครรชนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ ค่า L^* ของสีเปลือก และสีเนื้อในของเบรคสติก พบว่าแต่ละแบบจำลองมีค่า r เท่ากับ 0.9937, 0.8072, 0.9786, 0.9109 และ 0.9046 ตามลำดับ และมีค่า MSEs เท่ากับ 11.6000, 0.0011, 0.0037, 3.4028 และ 0.8300 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อการทวนสอบแบบจำลอง (validation) ของค่าความแข็ง ค่าครรชนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ ค่า L^* ของสีเปลือก และสีเนื้อในของเบรคสติกอีกครั้ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า r และ MSE ที่ได้ในขั้นตอนการสร้างและการทวนสอบ พบว่า แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในระดับที่ดีพอสมควร ดังนั้นจึงได้นำแบบจำลองที่พัฒนาได้มาคำนวณสูตรที่สามารถผลิตเบรค สติกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีค่าคุณภาพใกล้เคียงกับเบรค สติกที่ทำจากแป้งสาลี และมีราคาต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด พบว่าสูตรที่เหมาะสมเมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณแป้ง (โดยที่แป้งทั้งหมดประกอบด้วยแป้งข้าวร้อยละ 72.92 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.50 และแป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.58) ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 59.64 ไขมันร้อยละ 11.09 HPMC ร้อยละ 2.01 แซนแทนกัมร้อยละ 1.65 น้ำตาลร้อยละ 12.89 เกลือร้อยละ 2.03 ยีสต์ร้อยละ 3.61 และไขมันร้อยละ 33.33 จากนั้นศึกษาเวลาในการผสมโด พบว่าเวลาที่เหมาะสมคือ 7 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีค่าความแข็งเท่ากับ 6.33 นิวตัน ค่าครรชนความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.87 ค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2.20 ลบ.ซม.ต่อกรัม ค่า L^* ของสีเปลือก และสีเนื้อในเท่ากับ 59.47 และ 75.46 ตามลำดับ ต้นทุนวัตถุดิบเท่ากับ 10.91 บาท ต่อ โดเบรคสติก 250 กรัม จากการทดสอบการยอมรับ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง และ ผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 89.73 จะเห็นว่าเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าได้รับการยอมรับค่อนข้างดี ดังนั้นจึงสามารถนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำเบรคสติกเพื่อลดการนำเข้า และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับแป้งข้าวเจ้าต่อไปได้

Sutida Netipunya 2006: Development of Bread Stick from Rice Flour. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Nantawan Therdthai, Ph.D. 106 pages.
ISBN 974-16-2777-7

Bread stick is the soft-tough bread typically produced from wheat flour. To reduce importing wheat flour as well as increase value of rice, this study was aimed to develop a rice-flour based bread stick. To improve quality of the rice-flour based bread stick, effect of some major ingredients including water, fat, hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) and xanthan gum on the product quality was studied by using the central composite design (CCD). According to the experimental data, empirical models were established to express the relationship between the ingredients and quality factors including hardness (N), springiness index, specific volume (cm^3/g), crust color (L^* -value) and crumb color (L^* -value). Model performance was evaluated by using correlation coefficient (r) between actual values and modeled values and mean square error (MSE). Rs of hardness, springiness index, specific volume, crust color and crumb color models were 0.9937, 0.8072, 0.9786, 0.9109 and 0.9046 respectively. MSEs were 11.6000, 0.0011, 0.0037, 3.4028 and 0.8300 respectively. For validation, additional experiments were conducted. According to the results during modeling and validation, the model performance was reasonably good. Therefore, the developed models were used for optimization using least square criterion. In order to minimize raw material cost and keep the quality similar to the commercial wheat-flour bread stick, the optimal rice-flour based bread stick formula should be composed of 59.64% water, 11.09% fat, 2.01% HPMC, 1.65% xanthan gum, 12.89% sugar, 2.03% salt, 3.61% yeast and 33.33% eggs, based on flour content (flour consisted of 72.92% rice flour, 12.50% tapioca flour and 14.58% potato flour). After that the optimized formula was used to study dough mixing time. It was found that the mixing time should be 7 minutes. Based on the developed formula with 7 minutes mixing time, hardness and springiness index of the optimized bread stick were 6.33 N and 0.87 respectively. The specific volume was $2.20 \text{ cm}^3/\text{g}$. L^* -value of crust color and crumb color were 59.47 and 75.46 respectively. The estimated raw material cost was 10.91 baht per 250g dough. According to consumer test, likeness values of the rice-flour based bread stick appearance, softness and overall were moderate and 89.73 % of consumers accepted the product. Therefore rice flour could be used for substituting wheat flour in breadstick, in order to reduce importing wheat flour and increase rice value.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทวัน เทอดไทย ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. กมลวรรณ แจ่มชัด กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ดร. ชุติมา ไวศรายุทธ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และรองศาสตราจารย์ ดร. ปรีศนา สุวรรณภรณ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งเจ้าหน้าที่ในภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ช่วยแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ดาวเคมีคอลประเทศไทย ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สาร HPMC บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย - จีน และบริษัท เซนเซียส ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์กลิ่นสีส และกลิ่นกระเทียม เพื่อใช้ในการทดลอง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง ญาติ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุธิดา เนติปัญญา

กันยายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
สรุป	78
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก สูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรเบรคสตักพื้นฐานจากแป้งข้าวเจ้า	89
ภาคผนวก ข แบบสอบถามสำหรับการทดสอบผู้บริโภค	97
ภาคผนวก ค แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	102
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลี	5
2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลี	11
3 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	36
4 ค่าคุณภาพทางเคมีของเบรคสตีกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	38
5 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	40
6 สัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ของค่าเนื้อสัมผัสระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือและการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	42
7 คะแนนจากการทดสอบความชอบของเบรคสตีกจากท้องตลาด	43
8 องค์ประกอบและปริมาณอะมิโนของแป้งข้าวเจ้า	44
9 ปริมาตรจำเพาะและลักษณะปรากฏของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ 1 - 7	45
10 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ 1, 5 และ 7	49
11 ผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐาน	50
12 ตารางแผนการทดลองแบบ CCD	52
13 แสดงผลที่ได้จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสและสี ของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกเพื่อใช้ในการ สร้างแบบจำลอง	53
14 การทดลองที่ใช้ในการทวนสอบสมการ	56
15 แสดงผลจากการวัดค่าเนื้อสัมผัสและสี ของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกเพื่อใช้ในการ ทวนสอบแบบจำลอง	57
16 สมการและประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง	58
17 ราคาของส่วนประกอบของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า	60
18 คุณลักษณะต่าง ๆ ของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการทำนายผลจากแบบจำลอง	62
19 การทดลองที่ใช้ในการทวนสอบสูตรที่เหมาะสม	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	เปรียบเทียบคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองจริงและจากแบบจำลองของสูตรที่เหมาะสม	64
21	คุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีเวลาการผสมแตกต่างกัน	65
22	ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคทั่วไปต่อเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีเวลาในการผสมแตกต่างกัน	66
23	คุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับเบรคสตีกยี่ห้อ A	69
24	คุณภาพทางเคมีของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับเบรคสตีกยี่ห้อ A	69
25	คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	72
26	ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า	73
27	การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า	74
28	ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	75
29	การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าหลังจากได้รับข้อมูล	77
30	ความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าหลังจากได้รับข้อมูล	77

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการออกแบบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ	27
2	เบรคสตีกของยี่ห้อ A	37
3	เบรคสตีกของยี่ห้อ B	37
4	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 1	46
5	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 2	46
6	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 3	47
7	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 4	47
8	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 5	47
9	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 6	48
10	เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 7	48
11	สรุปกรรมวิธีการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า	67
12	ผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า	68

การพัฒนาเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

Development of Bread Stick from Rice Flour

คำนำ

เบรคสตีก (bread stick) เป็นขนมปังประเภทหนึ่งที่ทำจากแป้งพืชมะพร้าวที่ไม่มีหน้าแต่มีการทาน้ำมันที่แต่งกลิ่นรสเฉพาะ รับประทานคู่กับดิปปิงซอส (dipping sauce) ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมรับประทานเบรคสตีกเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบในร้านพืชมะพร้าว

โดยทั่วไปแป้งที่ใช้ในการทำเบรคสตีก คือแป้งสาลีซึ่งผลิตมาจากข้าวสาลีที่มีการปลูกกันมากทางแถบฝั่งประเทศตะวันตก และมีปลูกบ้างในบางส่วนของประเทศไทยที่มีอากาศอบอุ่น และเย็น (ณรงค์, 2538) แต่ยังมีปลูกในปริมาณที่น้อย เพราะฉะนั้นการผลิตขนมปังในประเทศไทยจะต้องมีการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก การศึกษาการใช้แป้งข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ มาทดแทนแป้งสาลีเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อีกทั้งในปัจจุบันนี้ความนิยมในอาหารเพื่อสุขภาพมีมากขึ้นทำให้มีการผลิตแบบพิเศษขึ้นมา เช่น ขนมปังเพื่อสุขภาพที่มีใยสูง ปราศจากยีสต์ หรือ ปราศจากกลูเตน (gluten) จากการศึกษาอย่างกว้างขวางในคุณลักษณะของกลูเตน พบว่ากลูเตนในแป้งข้าวสาลีประกอบด้วยโครงร่างเกี่ยวพันของโปรตีนที่มีชื่อว่า ไกลอะดิน (gliadin) และ กลูเตนิน (glutenin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำและกักคาร์บอนไดออกไซด์ได้เมื่อทำขนมปัง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่น ช่วยทำให้ขนมปังนุ่ม และคงตัวเมื่อขึ้นฟู ในขณะที่แป้งข้าวไม่มีกลูเตน เมื่อนำมาทำขนมปัง พบว่าแป้งโดที่ได้จากการนวดแป้งข้าวกับน้ำนั้น ขาดลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น ดังนั้นในการหมักขนมปัง โครงสร้างของก้อนโดไม่สามารถเก็บกักคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ได้ (Gujral and Rosell, 2004) ทำให้ขนมปังหลังจากการอบมีปริมาตรจำเพาะ (specific volume) น้อย เนื้อขนมปังจะมีลักษณะแห้ง แข็ง เนื้อแน่น และมีสีซีดกว่าขนมปังทั่วไปที่ใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก (Gallagher *et al.*, 2003)

ข้าว เป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นอาหารหลักของคนไทย จึงมีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก ซึ่งใช้ทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ทั้งในรูปเมล็ดข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว การแปรรูปข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นจะทำให้ข้าวมีมูลค่าสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้แปรรูป การแปรรูปข้าวไทยยังนับว่ามีน้อยมาก เมื่อคำนึงถึงปริมาณการส่งออก จากตารางการส่งออกปี 2543 มีการส่งออก

ข้าวสารปีละประมาณ 6 – 7 ล้านตัน แต่ผลิตภัณฑ์การแปรรูปจากข้าวไทยมีปริมาณเพียงร้อยละ 2.2 ของปริมาณการส่งออกข้าว ทั้ง ๆ ที่คำนวณราคาต่อตันแล้วผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวมีราคาสูงกว่าข้าวอย่างเด่นชัด ถึงแม้ข้าวคุณภาพดีราคาเฉลี่ยต่อตันก็ยังต่ำกว่าราคาของผลิตภัณฑ์ข้าวถึง 1.7 เท่าตัว (สุพัตรา, ม.ป.ป.)

การศึกษาที่ผ่านมาส่วนมากจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตขนมปังแซนวิช ในการทดลองนี้ได้สนใจการนำแป้งข้าวมาผลิตขนมปังแบบเบรคสตีก ซึ่งต้องการทำแป้งชนิดเดียวกับแป้งพิชซ่า เนื่องจากว่าแป้งข้าวเป็นแป้งที่ไม่มีกลูเตน การขึ้นฟูของโดจึงมีน้อยซึ่งน่าจะเหมาะกับการทำเบรคสตีก นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจผลิตภัณฑ์เบรคสติกและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบรคสติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าสำหรับการทำเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า
3. เพื่อพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตก้อนโดเพื่อผลิตเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า
4. เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า

การตรวจเอกสาร

1. เบรดสติค (Bread stick)

เบรดสติค เป็นขนมปังที่มีวิธีทำแป้งเช่นเดียวกับการทำแป้งพิซซ่า แต่เบรดสติคจะไม่มีการทาหน้าลงบนแป้งด้วยเนื้อสัตว์หรือผักต่าง ๆ แต่จะมีการทาด้านบนด้วยน้ำมันที่มีการปรุงรส และเครื่องเทศเล็กน้อย เช่น ออริกาโน (oregano) และพาร์มีจานชีส (parmesan cheese) จากนั้นนำมาอบแล้วรับประทานกับดิปปิงซอส (dipping sauce) แป้งแป้งของพิซซ่า (pizza dough) นั้นจะมีอยู่หลายแบบด้วยกัน คือบางตำรับจะนุ่มฟู บางตำรับจะเหนียว บางตำรับจะกรอบร้อน ซึ่งแป้งพิซซ่าอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ขึ้นฟูด้วยผงฟู (cracker type dough) โคชชนิดนี้เมื่ออบสุกแล้วจะกรอบร้อน ลักษณะของเนื้อแป้งจะแน่นแต่กรอบ เช่นเดียวกับแป้งพาย (pie crust) และ ประเภทที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์ (yeast type dough) แป้งประเภทนี้จะต่างกันที่ชนิดของแป้งสาลีที่ใช้ ปริมาณของส่วนผสม และวิธีการทำคล้าย ๆ กัน ในการทำเบรดสติคจะต้องคำนึงถึงวัตถุดิบและเทคนิคในการทำ เพราะจะมีส่วนสำคัญต่อคุณลักษณะของเบรดสติค ทั้งในด้านเนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส และการยอมรับของผู้บริโภค (ทัศนีย์, 2537)

1.1 วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการทำเบรดสติค

โดยปกติแล้วในการทำเบรดสติคจะใช้วัตถุดิบเหมือนกับการทำขนมปังซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญที่ขาดไม่ได้คือ แป้งสาลี ยีสต์ น้ำ เกลือ น้ำตาล และไขมัน ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมีบทบาทต่างกัน ดังนี้

1.1.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีจะแบ่งเป็นชนิดที่มีโปรตีนสูง โปรตีนปานกลาง และโปรตีนต่ำ ชนิดที่มีโปรตีนสูงมักจะเรียกว่า แป้งขนมปัง จะมีโปรตีนประมาณ 12 – 14 % นิยมใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมปัง รวมทั้งแป้งพิซซ่าและผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด แป้งจะมีสีครีมไม่ขาว (จิตธนา และ อรอนงค์, 2541) เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาทำแป้งพิซซ่าหรือทำเบรดสติคจะได้แป้งแป้งที่มีลักษณะเหนียวนุ่มและได้ปริมาณใหญ่ (นวรรตน์, มปป.) ในขณะที่แป้งที่มีโปรตีนต่ำจะเรียกว่าแป้งเค้กจะมีโปรตีนประมาณ 7 – 9 % (จิตธนา และ อรอนงค์, 2541) นิยมใช้ทำเค้ก ลูกเกด ชาลาเปา ถ้านำ

แป้งเค้กผสมลงไปนึ่งขนมปังเพื่อทำแป้งพืชมหรือทำเบรดสตีก จะทำให้แป้งที่อบสุกแล้วมีความนุ่มมากกว่าใช้แป้งเค้กทำล้วน ๆ (นวรรตน์, มปป.) และสำหรับแป้งสาลีที่มีโปรตีนปานกลางจะเรียกว่า แป้งสาลีเอนกประสงค์ จะมีโปรตีนประมาณ 10 – 11 % ซึ่งได้จากการนำแป้งขนมปังและแป้งเค้กมาผสมรวมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม นิยมใช้ทำ ขนมปัง ลูกก็๊ เค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เฟสเทรี (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541) การนำแป้งสาลีเอนกประสงค์มาทำแป้งพืชมหรือทำเบรดสตีกจะช่วยทำให้ได้แป้งที่มีความนุ่มมากกว่าการใช้เฉพาะแป้งทำขนมปัง (นวรรตน์, มปป.) แป้งสาลีนั้นจะมีความเหมาะสมในการทำขนมปังเพราะมีคุณสมบัติเฉพาะที่แป้งชนิดอื่นไม่มี กล่าวคือ ในแป้งสาลีจะประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิดคือ ไกลอะดิน และ กลูเตนิน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จะเกิดสารที่มีลักษณะยืดหยุ่น เหนียว ยึดเป็นยาง เรียกว่า กลูเตน มีโครงสร้างเป็นร่างแห สามารถเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักไว้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ยืดหยุ่นเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์หลังจากที่ผ่านการอบแล้ว (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541)

ตารางที่ 1 ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลี

ประเภทของโปรตีน	ปริมาณในโตรเจน (ร้อยละ)
ไกลบูลิน + อัลบูมิน	12 – 18
ไกลอะดิน	20 – 43
กลูเตนิน	6 - 28

ที่มา: Matz (1992)

1.1.2 ยีสต์

ยีสต์เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ อาหารที่จำเป็นคือน้ำตาล ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์ได้ในกระบวนการหมัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักนั้นเป็นสาเหตุให้ก้อนโดขยายตัวพองขึ้น และทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะที่เกิดจากการหมัก (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS, 2535) ยีสต์มี 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ยีสต์สด และยีสต์แห้ง (ศิริลักษณ์ และ กมลวรรณ, 2544) ยีสต์สดจะมีลักษณะเป็นก้อนสีเหลืองห่อด้วยกระดาษตะกั่วหรือพลาสติกที่กั้นน้ำได้ ต้องเก็บไว้ในตู้เย็น อายุ

การเก็บสัณประมาณ 2 สัปดาห์ ใช้ผสมไปพร้อมกับแป้ง (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS, 2535) ยีสต์สดจะให้กลิ่นหมักที่ดี แต่ในประเทศไทยจะหาซื้อยาก จึงไม่นิยม (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541) และยีสต์แห้ง มี 2 แบบ คือ ชนิดเม็ด จะเป็นเม็ดกลม ๆ ท่อนสั้น ๆ ใช้โดยละลายลงในน้ำอุ่นก่อน และชนิดผง เป็นท่อนสั้น ๆ ละเอียด ๆ ผสมลงไปพร้อมกับแป้ง ควรเก็บไว้ในที่แห้งและเย็น ก่อนการทำขนมปังนั้น ควรจะมีการทดสอบการเสื่อมคุณภาพของยีสต์ ซึ่งทำได้โดยละลายน้ำตายทราย 1 ช้อนโต๊ะ ลงในน้ำอุ่น 1 ถ้วยตวง เติมยีสต์ลงไป 1 ช้อนโต๊ะ ทิ้งไว้ประมาณ 5 – 8 นาที ถ้ายีสต์ลอยขึ้นบนผิวหน้าและเกิดก๊าซ แสดงว่ายังใช้ได้ (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS, 2535)

1.1.3 น้ำ

น้ำ เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการทำขนมปัง ซึ่งขาดไม่ได้ในการทำโด เพราะน้ำจะทำหน้าที่ เปลี่ยนสภาพของโปรตีนในแป้งให้เป็นกลูเตน ช่วยละลายเกลือ น้ำตาล และส่วนผสมอื่น ๆ ที่ละลายได้ให้กระจายอย่างทั่วถึง ช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด และช่วยควบคุมความหนืดของโด ทำให้สตาร์ท (starch) เกิดการพองตัว และช่วยทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541)

1.1.4 เกลือ

เกลือที่ใช้ หมายถึง โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือป่นละเอียดที่ใช้ประกอบอาหารทั่ว ๆ ไป (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541) มักใช้ในปริมาณน้อย (ร้อยละ 1.5 – 2.5 ของน้ำหนักแป้ง) แต่ก็มีผลต่อโครงสร้างกลูเตน และการทำงานของยีสต์ ในกรณีที่จะต้องละลายยีสต์ลงในน้ำอุ่นก่อน ไม่ควรใส่เกลือนลงไปในแป้งหรือในชั้นที่ผสมโดจนเกือบได้ที่ (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS, 2535) โดยเกลือมีหน้าที่ช่วยเพิ่มกลีรอสที่มีอยู่ของผลิตภัณฑ์ให้เด่นชัดขึ้น ช่วยให้กลูเตนของโดมีกำลังในการยืดตัว ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ขณะการหมัก และช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541)

1.1.5 น้ำตาล

น้ำตาลที่ใช้ในเบเกอรี่มีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ น้ำตาลทรายแดง หรือน้ำตาลดิบ และน้ำตาลไอซิ่ง นอกจากน้ำตาลประเภทซูโครสที่กล่าวถึงข้างต้นยังมีน้ำตาลเดกซ์โทรสหรือเรียกว่าน้ำตาลข้าวโพด ซึ่งจะมีความหวานประมาณร้อยละ 75 ของน้ำตาลซูโครส

หน้าที่ของน้ำตาลคือ ให้ความหวานและกลั่นรส เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก และช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มข้น (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541) สำหรับแป้งพืชมะพร้าวหรือแป้งที่ใช้ทำเบรดสตีกนั้นจะใช้น้ำตาลในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อเป็นอาหารของยีสต์ ถ้าไม่ใส่น้ำตาลเลยจะทำให้ระยะเวลาในการขึ้นของก้อนแป้งยาวนานขึ้น แป้งที่อบออกมาจะมีสีด้านไม่สวย เนื้อแป้งแห้งกระด้าง (นวรรตน์, มปป.)

1.1.6 ไขมัน

ไขมันที่ใช้มีหลายรูปแบบ ได้แก่ เนยขาว เนยสด มาการีน และน้ำมันพืช ไขมันมีหน้าที่ช่วยให้ความอ่อนนุ่มและกลั่นรสที่ดีแก่ขนมปัง ช่วยเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้น ป้องกันอากาศภายนอก ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้มีการขยายตัวได้ดี ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นได้ (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541)

1.1.7 วัตถุเคมีอื่น ๆ

วัตถุเคมีอื่น ๆ เช่น โซดา ใช้เพื่อเพิ่มรสชาติและคุณค่าของขนมปัง นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดสี และความมันแก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย วัตถุกันเสีย ทำให้ขนมปังมีอายุการเก็บนานขึ้นช่วยป้องกันเชื้อราและแบคทีเรีย เช่น โซเดียมเบนโซเอต ซึ่งจะต้องระมัดระวังในการใช้เป็นอย่างมาก เพราะอาจเกิดอันตรายได้ และกลั่นรส ได้แก่ พวกเครื่องเทศต่าง ๆ เช่น อบเชย ลูกจันทร์ ผิวมะนาว ผิวส้ม กลิ่นเนย กลิ่นวนิลลา เป็นต้น (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS, 2535)

1.1.8 เครื่องเทศที่นิยมใช้ในการโรยหน้าเบรดสตีก

เครื่องเทศที่นิยมใช้ในการโรยหน้าเบรดสตีกมี 2 ชนิด ได้แก่ ออริกาโน เป็นเครื่องเทศที่ใช้กันมากในการปรุงอาหารอิตาลี เช่น การทำพาสต้าซอสโรยหน้าพืชมะพร้าว หรือใส่ในสตูเนอ ทางภาคใต้ของประเทศไทย และ พาร์มีจานชีส เป็นเนยแข็งจากประเทศอิตาลี มีลักษณะเป็นเกร็ดเล็ก ๆ ใช้สำหรับประกอบอาหาร สามารถเก็บได้นานโดยแช่ในตู้เย็น นิยมที่จะนำมาโรยหน้า (นวรรตน์, ม.ป.ป.)

1.2 เทคนิคสำคัญในการทำเบรคสตีก

การนวดแป้งนั้นสามารถทำการนวดผสมแบบขั้นตอนเดียวก็ได้ ช่วยให้ประหยัดเวลาในการผสมและลดขั้นตอนที่ยุ่งยากลงโดยการนำส่วนผสมทุกอย่างมารวมกันแล้วนวดจนกระทั่งเนียน แป้งที่นวดเสร็จแล้วควรได้รับการพักแป้งอย่างน้อยประมาณ 15 นาทีเพื่อให้แป้งคลายตัว ถ้าแป้งได้รับการพักน้อยเกินไปจะทำให้แป้งเกิดการหดตัวในระหว่างการคลึงแป้ง แป้งที่กรุใส่พิมพ์เรียบร้อยแล้วควรใช้ส้อมจิ้มเป็นรูเล็กน้อย เพื่อให้แป้งที่อบออกมามีผิวเรียบไม่โป่งพองเป็นจุด ๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแป้งนั้น จะอยู่ในช่วง 210 องศาเซลเซียส หรือ 450 องศาฟาเรนไฮต์ ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้อาจจะทำให้แป้งแข็งเพราะใช้เวลาอบนานกว่าแป้งจะสุก หรือถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ไขมันแตกตัวออก เหลือแต่ส่วนโปรตีนซึ่งเหนียวกระด้าง (นวรรณ์, ม.ป.ป.)

2. แป้งข้าว (Rice flour)

ข้าวนับเป็นสินค้าทางการเกษตรและสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับข้าวก่อนอย่างแพร่หลาย เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาทำการปรับปรุงคุณภาพของข้าว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการแปรรูปข้าวในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวอีกด้วย แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปข้าวโดยแป้งข้าวจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ ฟลาวข้าว (rice flour) และสตาร์ชข้าว (rice starch) ซึ่งฟลาวข้าว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการนำเอาข้าวหักที่ได้จากการขัดสีมาบดหรือโม่ ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวจึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ หลายชนิดที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิม คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (Luh, 1991) ส่วนสตาร์ชข้าว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาฟลาวข้าวมาผ่านกระบวนการที่ทำให้ได้สตาร์ชบริสุทธิ์ โดยกำจัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีอื่นที่อยู่รวมกับสตาร์ชออกไป ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ผ่านการขัดสี พบว่าจะมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่มากที่สุดโดยมีสูงถึงร้อยละ 90.2 และพบโปรตีนมากเป็นอันดับรองลงมา (ร้อยละ 7.3 – 8.3) ดังนั้นในการผลิตสตาร์ชข้าวจึงต้องมีการกำจัดโปรตีนออกไป (รุ่งนภาและคณะ, 2546)

องค์ประกอบหลักที่สำคัญซึ่งพบในเมล็ดข้าว คือ โพลีแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว และการนำข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสตาร์ช ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นอะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin) ในสัดส่วนต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้มและคุณภาพในการรับประทานต่างกันไป คุณภาพทางเคมีที่สำคัญของข้าวมีดังนี้

2.1. สตาร์ช

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของข้าว สตาร์ชจากข้าวประกอบด้วยอะมิโลส ร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร หรือร้อยละ 8-37 ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ส่วนที่มีมากคืออะมิโลเพกติน ซึ่งอาจมีอยู่ในข้าวเหนียวเกือบร้อยละ 100 เมื่อนำข้าวไปหุงต้มเป็นข้าวสุก พบว่าข้าวที่มีอะมิโลสต่ำจะเป็นข้าวสุกที่เหนียว และจะร่วนขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2538)

ข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้วมาสามารถจำแนกชนิดได้ตามปริมาณของอะมิโลส (รุ่งนภา และคณะ, 2546) ดังนี้ ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก พบว่าร้อยละของน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบเท่ากับ 0 – 2 จะนำไปใช้ในการทำขนมหวาน นอกจากนี้ยังเป็นอาหารหลักของประเทศลาวและทางภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งเตรียมโดยการนำข้าวมาแช่น้ำและนึ่ง ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ มีน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 9 – 20 นำมาใช้ในอาหารเด็ก อาหารเช้า และขนมปังที่ใช้เชื้อยีสต์เพื่อให้ฟู ข้าวที่มีอะมิโลสปานกลาง มีน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 20 – 25 และข้าวที่มีอะมิโลสสูง มีน้ำหนักแห้งของอะมิโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 25 นิยมใช้ในการทำก๋วยเตี๋ยว

เม็ดแป้งประกอบขึ้นจากการจับกันของสายอะมิโลสและอะมิโลเพกตินด้วยพันธะไฮโดรเจนโดยตรงหรืออาศัยน้ำเป็นตัวกลางเชื่อมต่อ เมื่อละลายแป้งในน้ำและให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง โมเลกุลน้ำจะแทรกตัวเข้าทำลายพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ภายในแป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกการพองตัวจะเกิดมากขึ้นจนทำลายส่วนของโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง จนถึงอุณหภูมิหนึ่งที่เป็นอุณหภูมิวิกฤต เม็ดแป้งจะพองตัวมากจนแตกไป ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แบบไม่ผันกลับ เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) ซึ่งจะทำให้แป้งมีความหนืด (viscosity) และมีความโปร่งแสงมากขึ้น อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชัน สามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างและความแข็งแรงภายในโมเลกุลของแป้งได้ แป้งที่มีความแข็งแรงภายในโมเลกุลมากจะมีค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชันมากเนื่องจากต้องใช้ปริมาณความร้อนจำนวนมากในการทำให้เม็ดแป้งทั้งหมดเกิดการพองตัว แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ต่างกัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบและสมบัติทางโครงสร้างที่ต่างกัน หลังจากให้ความร้อนจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อย

ให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการควบแน่นเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเป็นเจลเหนียว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (set back) ซึ่งการคืนตัวของแป้งนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดเบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในแป้ง เป็นต้น (รุ่งนภาและคณะ, 2546)

จากการศึกษาของ Nishita and Bean ในปี 1979 ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีความยาวเมล็ดขนาดสั้น และขนาดกลาง จะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการนำมาผลิตขนมปัง โดย จะมีอะมิโลส ต่ำและมีอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ต่ำ คือมีอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 20 และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส จะได้ข้าวสุกที่เหนียวนุ่ม เมื่อนำมาผลิตขนมปังจะมีเนื้อสัมผัสที่ดี

2.2. โปรตีน

เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่มากรองจากสตาร์ช ปริมาณโปรตีนที่มีในข้าว จะพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนของกลูเตลิน ซึ่งเป็นโปรตีนหลักของข้าว โปรตีนในข้าวกล้องมีอยู่ร้อยละ 7.1 – 8.3 แต่ในข้าวขาวที่ผ่านการขัดสีแล้วจะมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 6.3 – 7.1 ซึ่งจะแตกต่างกันตามพันธุ์ (Juliano, 1972) อย่างไรก็ตามการทำขนมปังจากแป้งข้าวนั้น พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวจะไม่มีผลต่อคุณลักษณะของขนมปังจากแป้งข้าว (Nishita and Bean, 1979)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลี

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งสาลี (ร้อยละ)	แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)
คาร์โบไฮเดรต	60.0 – 68.0	91.5
โปรตีน	7.0 – 18.0	7.6
ไขมัน	1.5 – 2.0	0.3
เถ้า	1.5 – 2.0	0.5
เส้นใยอาหาร	2.0 – 2.5	0.4

ที่มา: Matz (1992)

3. สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

ไฮโดรคอลลอยด์ คือสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์กัม (polysaccharide gum) เป็นพอลิเมอร์จากการที่มีโมเลกุลเดี่ยว ๆ มาต่อกัน ทำให้มีโมเลกุลใหญ่ สายยาว เมื่อนำไปละลายในน้ำ จะได้สารละลายที่มีความหนืดสูง ดังนั้นจึงนิยมใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารเพิ่มความหนืด และเพิ่มความคงตัวในอาหารต่าง ๆ (นิธิยา, 2545) ซึ่งรวมไปถึงอาหารประเภทขนมอบ หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ต่าง ๆ เช่นมีการทดลองใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งได้แก่ โซเดียมแอลจิเนต (sodium alginate) แซนแทนกัม (xanthan gum) แคมปาคาร์จีแนน (k-carrageenan) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethycellulose, HPMC) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง และใช้เป็นสารลดการเกิดสเตลลิง (stalling) ในขนมปังจากแป้งสาลี (Guarda *et al.*, 2004)

โดยปกติแล้วในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบจะใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโครงร่างเกี่ยวพันของโปรตีนที่มีชื่อว่าไกลอะดินและกลูเตนิน เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เมื่อมีการทำขนมปัง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่น ช่วยทำให้ขนมปังนุ่ม และคงตัวเมื่อขึ้นฟู หากมีการเปลี่ยนจากแป้งสาลีเป็นเป็นชนิดอื่น เช่น แป้งข้าวที่ไม่ม่มีโปรตีนประเภทไกลอะดิน (Chartrand *et al.*, 1997) เป็นองค์ประกอบ จึงประกอบเป็นโครงร่างเกี่ยวพันไม่ได้ นั่นจะทำให้ได้ขนมอบที่มีคุณภาพด้อยกว่าขนมอบที่ทำจากแป้งสาลี ด้วยเหตุผลนี้เมื่อนำแป้งข้ามาทำขนมปังจะพบว่า โคที่ไ้จากการนวดแป้งข้ากับน้ำนั้น จะขาดลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น ดังนั้น

ในการหมักขนมปัง โครงสร้างของก้อนโดไม่สามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ได้ (Gujral and Rosell, 2004) ทำให้ขนมปังหลังจากการอบมีปริมาตรจำเพาะ (specific volume) น้อย เนื้อขนมปังจะมีลักษณะแห้ง แข็ง เนื้อแน่น และมีสีซีดกว่าขนมปังทั่วไปที่ใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก (Gallagher *et al.*, 2003) เนื่องจากคุณภาพของขนมอบจากแป้งข้าวดีดต่ำกว่าขนมอบที่ได้จากแป้งสาลีอย่างมาก จึงได้มีการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมอบจากแป้งข้าวให้ดีขึ้น โดยได้มีการศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เข้ามาทำหน้าที่ปรับปรุงโครงสร้างและคุณลักษณะของก้อนโดที่ไม่มีกลูเตนให้ดีขึ้น

สารไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมนำมาศึกษาเพื่อใช้ในขนมอบที่ปราศจากกลูเตน ได้แก่ ลูคัสปีนัม (locust bean gum) กวักกัม (guar gum) คาราจีแนน (carrageenan) แซนแทนกัม (xanthan gum) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose, MC) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose, CMC) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC) เป็นต้น เช่น Gujral *et al.* (2004) ได้ใช้ กวักกัม แซนแทนกัม ลูคัสปีนัม และ HPMC มาช่วยลดอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันในจาปาตี (chapati) ซึ่งเป็นขนมปังชนิดหนึ่งในประเทศอินเดียที่ทำจากแป้งข้าว

ลูคัสปีนัม และกวักกัมเป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืช เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) โดยลูคัสปีนัม (locust bean gum) จะผลิตได้จาก *Ceratonia siligua* และกวักกัม (guar gum) สามารถผลิตได้จาก *Cyamopsis tetragonolobus* สารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้จะประกอบด้วยสาย β (1,4)-linked D-mannose ซึ่งต่อด้วยสาย α - D - galactose เชื่อมโดยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic) ที่ตำแหน่ง C-6 ของแมนโนส (mannose) กวักกัมซึ่งมีอัตราส่วนของกาแลคโตสต่อแมนโนสเป็น 1:2 จะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าลูคัสปีนัมที่มีอัตราส่วนของกาแลคโตสต่อแมนโนสเป็น 1:4 แต่ที่อุณหภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส สารละลายจะเสถียรภาพ หน้าที่หลักของกาแลคโตแมนแนนในอาหารนั้น คือ เพิ่มความข้นหนืด และความคงตัวให้กับอิมัลชัน อีกทั้งยังใช้ในการควบคุม และป้องกันการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) ได้ (Imeson, 1997) นอกจากนี้กาแลคโตแมนแนนยังมีความสามารถในการรวมกับโพลีแซ็กคาไรด์อื่น ๆ ได้ดี เช่น กวักกัมเมื่อรวมกับแซนแทนกัมจะทำให้สารละลายมีความหนืดมากขึ้น (นิธิยา, 2545) ในขณะที่จิราภรณ์ และคณะ (2546) ได้มีการศึกษาการใช้กวักกัมเป็นสารยึดเกาะในการพัฒนาสูตรแป้งข้าวเจ้าสำเร็จรูปเพื่อผลิตขนมปังพบว่าสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจะประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า : โปรตีนถั่วเหลืองสกัด : กวักกัม

เท่ากับ 90:10:0.5 โดยจากการศึกษาจะพบว่าการเติมแก้วกัมมีผลทำให้ปริมาณจำเพาะมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณแก้วกัมจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการอบลดลง

คาราจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง ประกอบด้วยสายหลักของกาแลกโตสที่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก คาราจีแนนนี้มีหลายชนิด ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มเอสเทอร์ซัลเฟต (ester sulphate group) และจำนวนของ 3,6-anhydro-D-galactose ที่อยู่บนสาย (Imeson, 1997) โดยคาราจีแนนจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ซึ่งได้แก่ แคปปา (kappa) ไอโอตา (iota) และแลมบ์ดา (lambda) คาราจีแนนชนิดแคปปาและไอโอตาจะเกิดเจลได้เมื่อมีโพแทสเซียมไอออนอยู่ แต่ชนิดแลมบ์ดานั้นเกิดเจลไม่ได้ (นิธิยา, 2545) คาราจีแนน มีคุณสมบัติที่ละลายน้ำและเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง โดยเจลที่ได้สามารถคงอยู่ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยมากจะใช้คาราจีแนนเป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ก่อให้เกิดเจลในอาหาร (Imeson, 1997) ในขนมปังจากแป้งสาลีที่อบเสร็จใหม่ ๆ นั้นคาราจีแนนสามารถลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษาได้ดี (Guarda *et al.*, 2004) แต่จะไม่มีผลในขนมปังจากแป้งสาลีที่อบแล้วนำไปเก็บโดยการแช่เยือกแข็ง (Barcenas *et al.*, 2004)

แซนแทนกัม เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยเกิดจากกระบวนการหมักของ *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 แซนแทนกัมประกอบด้วยสาย 1,4-linked β -D-glucose ซึ่งต่อด้ายกิ่งก้านที่ประกอบด้วยแมนโนส 2 โมเลกุล และกรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) 1 โมเลกุล (Imeson, 1997) แซนแทนกัมมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี โดยสามารถละลายได้ในช่วงค่าความเป็นกรดเบสที่กว้าง (2.5 – 11) เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้แซนแทนกัมในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ๆ ได้ และสารละลายสามารถคงความหนืดไว้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 10 – 90 องศาเซลเซียส (Imeson, 1997) ในอาหารหลายชนิดจะให้แซนแทนกัมเป็นสารเพิ่มความหนืดและสารเพิ่มความคงตัว (นิธิยา, 2545) แซนแทนกัมมีคุณสมบัติเป็นชูโดพลาสติก คือเมื่อมีการเพิ่มแรงในการกวนสารละลายที่มีแซนแทนกัมอยู่ด้วย จะทำให้ความหนืดของสารละลายนั้นยังลดลงซึ่งเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง เช่น ช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถผสม เท หรือปั๊มได้ง่าย และด้วยคุณสมบัติแบบนี้ ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบ แซนแทนกัมจะช่วยในการ นวดโด และขึ้นรูปโดง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของแป้ง โดยช่วยป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชันและการสูญเสียไอน้ำภายในแป้ง เพราะแซนแทนกัม มีคุณสมบัติกักน้ำได้ดี จึงช่วยในการป้องกันการสูญเสียไอน้ำระหว่างการปรุงอาหาร (Imeson, 1997) ซึ่งพบว่าการเติมแซนแทนกัมเพียงร้อยละ 2 ก็สามารถช่วยยับยั้งการเกิดการแยกชั้นของน้ำได้ (Glickman, 1982) นอกจากนี้แซน

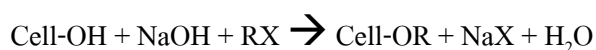
แทนกันยัง ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนมอบให้มีการกระจายตัวของฟองอากาศได้ดีขึ้น (Imeson, 1997)

ในขณะที่ Lazaridou *et al.* (2006) ได้มีการศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อสมบัติการไหลของโดและขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีส่วนผสมของแป้งข้าว แป้งข้าวโพด และโซเดียมคาซิเนตเป็นหลัก โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 5 ชนิด ได้แก่ เพกทิน CMC อากาโรส แชนแทนกัน และเบต้ากลูเคน พบว่าการเพิ่มปริมาณของแชนแทนกันจะยิ่งทำให้โดมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยมีคุณสมบัติการไหลเหมือนกับโดที่ทำมาจากแป้งสาลี นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์จะทำให้โดมีความยืดหยุ่นทนต่อการเสียรูปจากการกดได้ดี โดยเฉพาะแชนแทนกัน รองลงมาคือ CMC เพกทิน อากาโรส และเบต้ากลูเคน ตามลำดับ

MC, CMC และ HPMC เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยเกิดจากเซลลูโลส ซึ่งเป็นสายพอลิเมอร์สายตรงที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ α -(1,4)-D-anhydroglucose ซึ่งแต่ละหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy) 3 หมู่ ที่มีความสามารถไปทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ โดยปกติแล้วเซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่ในการนำเซลลูโลสมาใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะของอาหาร จำเป็นที่จะต้องทำให้เซลลูโลสละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงให้เซลลูโลสละลายน้ำได้ โดยการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับอัลคิลีนออกไซด์ (alkylene oxide) เกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซีของเซลลูโลส ได้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งจะอยู่ในรูปของเซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether) (Imeson, 1997)

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตอนุพันธ์ของเซลลูโลสมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน (Imeson, 1997) คือ วิลเลียมสัน เอสเทอร์ฟิเคชัน (Williamson etherification) และอัลคอกซิเลชัน (Alkoxylation)

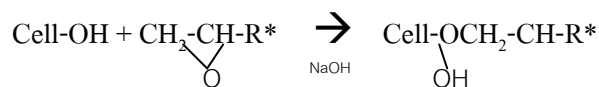
โดยวิลเลียมสัน เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ออร์แกนิกแฮไลด์ (organic halide) เข้ามาทำปฏิกิริยา



เมื่อ : R ได้แก่ CH_3 , CH_2CH_3 , CH_2COOH เป็นต้น

X ได้แก่ Cl, Br

สำหรับอัลคอกซิเลชันนั้น เป็นการทำปฏิกิริยากับสารประกอบพอกซีออกไซด์ (epoxide)



อนุพันธ์ของเซลลูโลส แยกชนิดของอนุพันธ์ตามชนิดของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดย MC เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลส และเมทิลคลอไรด์ (methyl chloride) CMC เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลส และโซเดียมคลอโรอะซิเตต (sodium chloroacetate) และ HPMC เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลส โพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) และเมทิลคลอไรด์ (Imeson, 1997)

MC และ HPMC จะมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำเย็น แต่ไม่ละลายในน้ำร้อน เพราะเมื่อสารละลายได้รับความร้อน ประมาณ 50 – 90 องศาเซลเซียส จะเกิดการก่อตัวของเจลขึ้น ในขณะที่ความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการก่อตัวของเจลจะเกิดการตกตะกอนขึ้น โดยอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายเข้มข้น 0.5% ของ MC ตกตะกอนอยู่ในช่วง 50 – 75 องศาเซลเซียส และสำหรับ HPMC จะอยู่ในช่วง 60 – 90 องศาเซลเซียส การที่สารละลายตกตะกอนนั้นเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์กับโมเลกุลของน้ำ และระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเองเกิดการอ่อนตัวลง แต่สามารถลดอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายตกตะกอนได้ด้วยการเติมเกลือลงในสารละลาย และเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ความหนืดของสารละลายของ MC และ HPMC นั้นจะไม่ขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบส เพราะสามารถทนความเป็นกรดเบส ได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 2–13 สำหรับ CMC นั้นโดยปกติแล้ว CMC ระดับคุณภาพที่ใช้ในอาหาร (food grade) สามารถละลายน้ำได้ โดยความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้น ที่ค่าความเป็นกรดเบส ต่ำกว่า 3 และความหนืดของสารละลายจะลดลงที่ค่าความเป็นกรดเบสมากกว่า 10 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ นอกจากนี้ CMC มีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเกิดการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) ในอาหารได้ (Imeson, 1997)

ในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นจะใช้อนุพันธ์เซลลูโลสทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัว สารยึดอายุการเก็บ เป็นต้น การเติม CMC และ MC ลงไปในขนมอบ ทำให้ระหว่างกระบวนการอบ CMC และ MC จะมีการสูญเสียความชื้นไป และเกิดการก่อตัวเป็นเจลขึ้น ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์มากในการทำขนมอบ เช่น ใช้ในการทำขนมที่ปราศจากกลูเตน ซึ่งในขนมปังที่ปราศจากกลูเตนจะทำให้เวลาในการผสมโดเพิ่มขึ้น ปริมาตรของขนมปังลดลง และทำให้เนื้อสัมผัสของขนม

บ่งหยาบและไม่นำมารับประทาน แต่ถ้าเติม HPMC ลงไปร้อยละ 0.1 – 0.5 จะช่วยให้ปริมาณของขนมปังเพิ่มขึ้น และเนื้อสัมผัสน่ารับประทานมากขึ้น (Imeson, 1997)

ในปี 1975 Nishita *et al.* ได้ทดลองผลิตขนมปังจากแป้งข้าวโดยใช้สารยึดเกาะ (binding agent) เข้ามาช่วยในการเกิดโครงสร้างของขนมปัง และช่วยในการขึ้นฟู สารยึดเกาะที่ใช้ได้แก่ CMC MC HPMC คาราจีแนน แชนแทนกัม ลูคัสบินกัม และกัวกัม พบว่า HPMC เท่านั้นที่ให้ผลดี โดยพบว่า HPMC ร้อยละ 3 สามารถผลิตขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะ 5.3 ลบ.ซม./กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีที่มีปริมาตรจำเพาะ 4-6 ลบ.ซม./กรัม พบว่าขนมปังจากแป้งทั้ง 2 ชนิดให้ปริมาตรจำเพาะที่ใกล้เคียงกัน

Ylimaki *et al.* (1988) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง CMC HPMC และน้ำ โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology (RSM) พบว่า จะต้องใช้ CMC น้อยกว่าร้อยละ 0.44 และ น้ำมากกว่าร้อยละ 88.5 จึงจะสามารถผลิตขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะใกล้เคียงกับขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีได้ แต่พบว่าปริมาณของ HPMC ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาตรจำเพาะนี้

ในขณะที่ Sivaramakrishnan *et al.* (2004) ได้ศึกษาการใช้เฉพาะ HPMC ในการปรับปรุงคุณสมบัติของการไหล (rheological properties) ของก้อนโด ซึ่งพบว่าก้อนโดที่ประกอบด้วย HPMC ร้อยละ 1.5 – 3.0 นั้น มีคุณสมบัติของการไหลที่ใกล้เคียงกับก้อนโดที่ได้จากแป้งสาลี ซึ่งเหมาะสำหรับการทำขนมปัง

นอกจากการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) เป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาเพื่อนำมาปรับปรุงโปรตีนในแป้งข้าว โดยกลูโคสออกซิเดสสามารถลดโปรตีนกลุ่มไทอัล (thiol) และกลุ่มอะมิโน (amino) เป็นผลให้แป้งมีความเหนียวและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น Gujral and Rosell (2004) ได้ศึกษาการใช้กลูโคสออกซิเดสร้อยละ 0.01 ร่วมกับ HPMC ร้อยละ 2 ซึ่งพบว่าขนมปังที่ได้มีปริมาตรจำเพาะมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ใช้เฉพาะ HPMC อย่างเดียว นอกจากนี้ได้มีการค้นคว้าการนำซาวร์โด (sourdough) เข้ามาใช้ปรับปรุงคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตน โดยสูตรที่ใช้ศึกษาจะมีแป้งข้าว ถั่วเหลือง บัควีท และแชนแทนกัมเป็นหลัก พบว่าการใช้ซาวร์โดสามารถปรับปรุงคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตนให้นุ่มขึ้น และมีความสูงกับปริมาตรไม่แตกต่างกับขนมปังปกติ โดยการเติมซาวร์โดลงไปในส่วนผสมจะทำให้โดมีความเหนียวเพิ่มขึ้นได้ และในระหว่างการหมักหั่วเชื้อซาวร์โดที่ทำจากส่วนผสมของแป้งปราศจากกลูเตนพบว่าเมื่อเวลาหมักนานขึ้นความเหนียวของซาวร์โดที่ได้จะลดลงซึ่งมีลักษณะเหมือนกับซาวร์โดที่ทำ

จากแป้งสาลี เพราะฉะนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถทำซาวร์โดซึ่งทำจากแป้งปราศจากกลูเตนแล้วสามารถใช้ซาวร์โดที่ได้นี้ไปทำขนมปังปราศจากกลูเตนให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นได้ (Katina *et al.*, 2005)

จากประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ที่พบ โดยเฉพาะแซนแทนกัม และ HPMC ที่มีความโดดเด่นในเรื่องความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส และปริมาณจำเพาะของขนมปังจากแป้งข้าวให้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกแซนแทนกัม และ HPMC มาใช้ในการศึกษา และปรับปรุงคุณภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าต่อไป

4. สเตลลิง (Staling)

ขนมปังมีการเสื่อมเสียได้หลายสาเหตุ คือ เสื่อมเสียจากเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเสื่อมเสียจากการเกิดความแห้ง โดยการเสื่อมเสียจากเชื้อรามีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาที่ไม่ดีพอ ลักษณะการเน่าเสียจะเห็นได้ชัดเจน คือ เห็นมีเชื้อราอยู่ ส่วนการเน่าเสียของขนมปังที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียซึ่งพบทั่ว ๆ ไปเรียกว่า โรบ (rope) การเน่าเสียนี้จะเห็นได้ชัด คือ ภายในเนื้อของขนมปังจะมีลักษณะเหนียวและสีจะเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนี้กลิ่นยังมีลักษณะคล้ายกับสับปะรดเน่า ในขณะที่ความเสื่อมเสียจากการเกิดความแห้งจะทำให้เนื้อในของขนมปังมีลักษณะแน่น และแข็งขึ้น และเปลือกนอกของขนมปังก็จะเปลี่ยนจากกรอบเป็นเหนียวขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้เรียกว่า การเกิดสเตลลิง (staling) (จิตรนา และอรอนงค์, 2541)

สเตลลิง สามารถนิยามได้ในความหมายที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงเกือบทั้งหมด ซึ่งเกิดขึ้นกับขนมปังระหว่างการเก็บรักษาทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัส (สูญเสียกลิ่นรส ความรู้สึกในปาก) หรือทางกายภาพ (สูญเสียความนุ่มของเนื้อขนมปัง เกิดความร่วน) และการสูญเสียความสดใหม่ในขนมปัง ซึ่งขนมปังที่เกิดสเตลลิงแล้วนั้นจะขายไม่ได้ทำให้เกิดการสูญเสีย และกำไรลดลง จึงมีการทำวิจัยต่าง ๆ มากมายเพื่อไขข้อริบายและยับยั้งการเกิดสเตลลิง (ปริศนา, 2547)

กล่าวกันว่าขนมปังจะมีคุณภาพที่ดีที่สุดหลังจากที่นำออกจากเตาอบประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง เนื่องจากยังสดอยู่แล้วยังมีลักษณะนุ่ม (จิตรนา และอรอนงค์, 2541) หลังจากนั้นเมื่อเก็บไว้ขนมปังจะเกิดสเตลลิง ภายใน 3 – 4 วัน (Pylar, 1973) การเกิดสเตลลิงของเปลือกนอกของขนมปัง (crust

staling) อาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากเนื้อในไปยังเปลือกนอก (Czuchajowska and Pomeranz, 1989) และอาจจะมีส่วนมาจากอากาศที่มีความชื้นสูงโดยรอบ (ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 80) (ศิริลักษณ์ และ กมลวรรณ, 2544) ทำให้เปลือกนอกนุ่มและเหนียวขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นควบคู่ไปกับการระเหยของกลีรอสออกสู่ภายนอกก่อนขนมปัง (Eliasson and Larson, 1993)

ส่วนการเกิดสเตลลิงของเนื้อในของขนมปัง (crumb staling) สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากการสูญเสียความชื้นและเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยขนมปังมีปริมาณความชื้นลดลงเรื่อย ๆ เมื่อมีการเก็บนานขึ้นทำให้เนื้อในเริ่มแห้งและกระด้างขึ้นภายในเวลาไม่กี่วัน (He and Hosney, 1991) การเกิดสเตลลิงของเนื้อในของขนมปังนั้นจะมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนกว่าการเกิดสเตลลิงของเปลือกนอกของขนมปัง ซึ่งมีสาเหตุหลัก ๆ ที่สำคัญ 2 ประการ (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541) คือ สาเหตุจากการสูญเสียความชื้นภายในขนมปัง และสาเหตุจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในก้อนขนมปัง ดังนี้

4.1. สาเหตุจากการสูญเสียความชื้นภายในขนมปัง

โดยทั่วไปแล้ว ขนมปังที่อยู่ในสภาพดีนั้นจะมีความชื้นอย่างต่ำร้อยละ 30 แต่ขนมปังที่ออกจากโรงงานจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 40 – 45 ขนมปังสามารถจะดูดซึมน้ำในบรรยากาศได้ ถ้าหากบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกินร้อยละ 70 และขนมปังจะสูญเสียความชื้นไปถ้าหากในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 70 ดังนั้นขนมปังมีโอกาที่จะสูญเสียความชื้นไปมากต่างจากผลิตภัณฑ์ประเภทคุกกี้หรือบิสกิตซึ่งมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 2 – 3 ซึ่งมีโอกาสจะดูดความชื้นในบรรยากาศได้มาก ขนมปังที่มีความชื้นสูงในช่วงแรกโดยเฉพาะในเนื้อขนมปังนั้นสามารถจะเก็บได้หลายวัน แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าความชื้นในก้อนขนมปังนั้นสูงเพราะถ้าหากเป็นเช่นนี้แล้วจะเกิดการเน่าเสียได้เร็วขึ้นโดยเฉพาะเกิดจากเชื้อรา (จิตรนา และ อรอนงค์, 2541)

การสูญเสียความชื้นภายในขนมปังยังเกิดจากความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกของขนมปังอีกด้วย โดยหลังจากที่ขนมปังผ่านกระบวนการอบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นลงอย่างช้า ๆ พบว่าที่บริเวณเปลือกนอก (crust) ของขนมปังมีอุณหภูมิต่ำกว่าเนื้อในของขนมปังทำให้ความดันไอน้ำภายในก้อนขนมปังย่อมสูงกว่าที่บริเวณเปลือกนอกจึงเกิดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากเนื้อในไปยังเปลือกนอก ทำให้เปลือกนอกของขนมปังซึ่งเดิมกรอบและเปราะมีความนุ่มและเหนียวมากขึ้น ส่วนเนื้อในของขนมปังจะมีลักษณะแห้งและแข็งขึ้น โดยการ

เปลี่ยนแปลงนี้มักเกิดขึ้นพร้อมกับการสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากการระเหยของสารที่ให้กลิ่นรสออกไป และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของสตาร์ชเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น และในที่สุดขนมปังก็เกิดกลิ่นอับ (stale flavor) ขึ้นด้วย (Eliasson and Larson, 1993)

4.2. สาเหตุจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในก้อนขนมปัง

การเกิดสเตลลิงของเนื้อในของขนมปังที่มีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในก้อนขนมปังนั้น ปัจจุบันก็ยังไม่ใช่ที่เข้าใจกันดีนักแต่เชื่อว่าเกิดจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช (starch retrogradation) โดยรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสตาร์ช 2 – 3 สายเริ่มที่จะรวมและจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แล้วต่อมาเกิดเป็นบริเวณกว้างและมีระเบียบขึ้นและเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่มีระเบียบในที่สุด (Atwell *et al*, 1988) และสำหรับขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีนั้นเกิดจากเมื่อน้ำโดเข้าอบและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำจากกลูเตนที่อยู่รอบนอกและเกิดการพองตัวขึ้น จนเมื่อโดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ของสตาร์ช เม็ดสตาร์ชจะเกิดการเจลาตินไนซ์และแตกออกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของอะมิโลสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่มีสาขาบางส่วนจะแพร่ออกจากเม็ดสตาร์ชและจัดเรียงตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนด้วยตัวเอง เกิดเป็นโครงสร้างผลึกฝังตัวในกลูเตนระหว่างเม็ดสตาร์ชขณะขนมปังเย็นลง จึงมีส่วนทำให้เนื้อในขนมปังในช่วงนี้มีลักษณะชุ่มและแน่นขึ้น แต่อะมิโลส สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลาร์ลิพิดที่มีอยู่ในเม็ดสตาร์ชได้ด้วยจึงเป็นการช่วยลดปริมาณอะมิโลสที่จะแพร่ออกไปจัดเรียงตัวของเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ด้วยเหตุนี้ถึงแม้เนื้อขนมปังสดจะมีลักษณะชุ่มและแน่นขึ้นแต่จะยังไม่แข็งจนเกินไป ดังนั้นจึงเชื่อกันว่าส่วนที่ค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นกระด้างเมื่อเก็บขนมปังไว้นั้นจึงเป็นส่วนของอะมิโลเพกทิน (ศิริลักษณ์ และ กมลวรรณ, 2544) โดยส่วนโมเลกุลของอะมิโลเพกทินซึ่งจัดตัวเป็นรูปผลึกนั้นการอบจะทำให้ผลึกหลอมละลายเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูปที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) และแพร่กระจายโดยอิสระอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยมีบางส่วนพยายามแพร่ออกจากเม็ดสตาร์ชแต่ไม่สามารถออกไปได้ทั้งหมดเพราะโมเลกุลมีสาขามากนั้น หลังจากเก็บขนมปังไว้เป็นเวลานานขึ้นโมเลกุลของอะมิโล-เพกทินจะเริ่มกลับมาจัดเรียงตัวและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปผลึกเหมือนเดิม เนื้อในขนมปังจึงมีลักษณะแน่นและแข็งขึ้น (Zobel and Kulp, 1996) แต่ที่อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 60 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอะมิโลเพกทินดังกล่าวจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม คือผลึกของ อะมิโลเพกทินจะหายไป ซึ่งทำให้เราสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่สุดแล้วและเกิดสเตลลิงแล้วนี้เปลี่ยนเป็นสดใหม่ขึ้นมาอีกโดยการนำมาอบใหม่ หรือสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถึงสุกพร้อมอุ่นเสิร์ฟแล้วค่อยนำมาอบต่อเพื่อให้มันสดใหม่ขึ้นมาอีกก็ได้ (ศิริลักษณ์ และ กมลวรรณ, 2544)

การเกาะเกี่ยวกันของโมเลกุลของสตาร์ช ในกรณีของอะมิโลสนั้นเกิดจากการเกาะเกี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างตำแหน่งที่ OH - 2 บนโมเลกุลหนึ่งกับตำแหน่ง O - 6 ของ D - glucosyl residue ของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน หรืออาจไปเกาะเกี่ยวกับอะมิโลเพกตินโดยยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่ตำแหน่ง O - 6 ของอะมิโลส และ OH - 2 ของอะมิโลเพกติน โดยพบในตัวอย่างเจลสตาร์ชข้าวเจ้าที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนอะมิโลเพกตินนั้นจะเกิดการเกาะเกี่ยวขึ้นภายในด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงวานเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) (Tako and Hizukuri, 2000)

สแตลลิงไม่ได้เกิดเฉพาะขนมปังเท่านั้นยังสามารถเกิดในเค้กได้อีกด้วย การเกิดสแตลลิงในเค้กปัจจัยที่สำคัญคือการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ช แต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดนักเพราะการเกิดสแตลลิงจะลดลงที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับปรากฏการณ์การเกิดรีโทรเกรเดชั่น ที่จริงแล้วปฏิกิริยาการเกิดสแตลลิงนั้นปัจจุบันยังไม่มีผู้รู้สาเหตุที่แท้จริงและยังไม่สามารถอธิบายปฏิกิริยาได้ถูกต้องแน่นอน (ปริศนา, 2547)

นอกจากนี้ การเกิดสแตลลิงจากปฏิกิริยาทางเคมียังเกิดได้จากปฏิกิริยาสัมพันธระหว่างกลูเตน - สตาร์ช อีกด้วย โดยภายหลังจากที่เม็ดสตาร์ชแตกออกและโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินบางส่วนแพร่ออกจากเม็ดสตาร์ชแล้วจะเกิดการครอสลิง (crosslink) ระหว่างโปรตีนไฟบริลและเม็ดสตาร์ชขึ้นโดยเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Martin and Hosene, 1991) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้นสามารถเกิดขึ้นได้แม้บรรจุขนมปังในสภาวะปิดผนึก (He and Hosene, 1990) นอกจากสตาร์ชแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ภายในแป้งที่มีบทบาทต่อความแน่นเนื้อ (firmness) ของขนมปัง ได้แก่ โปรตีน เพนโทซาน ไขมัน ชอร์ตเทนนิ่งต่าง อิมัลซิไฟเออร์ น้ำตาล แซคคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ และเอนไซม์ ในขณะที่กระบวนการผลิตซึ่งได้แก่ การจัดการโด (dough handling) กระบวนการหมัก การอบ และสภาวะการเก็บรักษาที่จะมีผลต่อความแน่นเนื้อด้วยเช่นกัน ซึ่งขึ้นกับปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการ เช่น ในขั้นตอนการอบควรจะพิจารณาถึงอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิในเตาอบด้วย เพราะจะมีผลต่อระดับการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและเจลาตินไนซ์ (ปริศนา, 2547)

ปริมาณของน้ำในสูตร อุณหภูมิและเวลาในการอบ ส่งผลให้เกิดการพองตัวของสตาร์ช (pasting) ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของขนมปัง โดยพบว่าเวลาที่ต่างกันในการอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อความแน่นเนื้อและความสามารถในการอุ้มน้ำของขนม

ปัง คือ เมื่อใช้เวลาอบเพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อ และความสามารถในการอุ้มน้ำของขนมปังเพิ่มขึ้น (ปริศนา, 2547)

5. Celiac disease

Celiac disease คือ โรคที่เกี่ยวกับระบบการย่อยไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากลำไส้เล็กถูกทำลายมีผลทำให้ลำไส้เล็กดูดซึมสารอาหารไปใช้ไม่ได้ สาเหตุเกิดจากการแพ้ไกลอะดินในกลูเตน ซึ่งพบในข้าวสาลี ข้าวไรค์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต โดยผู้ป่วยจะออกอาการเมื่อรับประทานอาหารที่มีกลูเตนเข้าไป ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายสร้างสารขึ้นมาต่อต้านซึ่งจะไปทำลายส่วนที่ใช้ดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก ทำให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารเข้าสู่กระแสเลือดไม่ได้ (Pruessner, 1998)

อาการของโรคนี้โดยทั่วไป คือ ท้องบวม และปวด มีอาการท้องร่วงเรื้อรัง น้ำหนักลด อูจระมีสีซีดและกลืนเหนียว โลหิตจาง เป็นตะคริว เหนื่อยง่าย หากเกิดในทารกจะเจริญเติบโตช้า ปวดกระดูกและข้อต่อ ขาหมดความรู้สึก เพราะเส้นประสาทถูกทำลาย มีแผลพุพองในปาก มีผื่นคันที่ผิวหนัง เรียกว่า Dermatitis herpetiformis สำหรับผู้ป่วยประจำเดือนจะไม่มา (เนื่องจากน้ำหนักลด) (Pruessner, 1998)

แนวทางในการรักษามีทางเดียวคือ หลีกเลี่ยงอาหารที่มีกลูเตน (Kelly, 2005) เพราะฉะนั้นจึงมีการคิดสูตรอาหารที่ปราศจากกลูเตนขึ้นมามากมาย โดยหนึ่งในนั้นคือ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบปราศจากกลูเตน ได้มีการพิจารณาใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลีที่มีกลูเตน เช่น แป้งข้าว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพด โดยเฉพาะแป้งข้าวนั้นเป็นแป้งที่นิยมใช้มากในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบปราศจากกลูเตน เพราะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสม คือ ปราศจากกลูเตน มีปริมาณโซเดียม, โปรตีน และไขมันน้อย นอกจากนี้ยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ค่อนข้างง่ายเป็นปริมาณมากอีกด้วย ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมาก (Nishita *et al.*, 1975.)

6. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป โดยจะอาศัยความรู้ ประสบการณ์ และการทดลองที่ผ่านมาเป็นหลัก (ทัศนีย์ และ สมภพ, 2530) แบบจำลองสามารถทำนายค่าบางอย่างแทน

การหาค่าจากสถานการณ์จริง ซึ่งถึงแม้ค่าที่ทำนายได้จะไม่เที่ยงตรงแน่นอน แต่แบบจำลองยังมีประโยชน์ในการช่วยอธิบายแนวโน้ม เพื่อช่วยในการตัดสินใจในบางแผนงานได้ (Giordano *et. al.*, 2003)

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แบบจำลองเข้ามามีบทบาททั้งในการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต เช่น การสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาสูตร และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิต

6.1. การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (model performance)

ในการสร้างแบบจำลองนั้นก่อนที่จะนำแบบจำลองไปใช้งานจริงจะต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองก่อน ซึ่งในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสามารถตรวจสอบได้หลายแบบโดยพิจารณาจากค่าบ่งชี้ต่าง ๆ เช่น ค่า sum square error (SSE) ค่า mean square error (MSE) ค่า relative error ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และการหาความแตกต่าง (different test) ระหว่างค่าจริง (actual value) กับค่าทำนาย (predicted value) (นันทวัน, 2548)

SSE สามารถคำนวณได้จากการหาผลรวมของความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนายยกกำลังสอง และ MSE คำนวณได้จากการนำค่า SSE มาหารเฉลี่ยด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยปกติแล้วจะนิยมใช้ค่า MSE มากกว่าค่า SSE เนื่องการนำค่า SSE ไปใช้นั้นจะต้องบอกจำนวนของข้อมูลประกอบด้วยทุกครั้ง แต่ค่า MSE นั้นเป็นค่าที่เฉลี่ยไว้แล้วจึงนำมาใช้ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ง่ายกว่าค่า SSE ทั้งสองค่านี้จะใช้พิจารณาว่าค่าทำนายนั้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมากน้อยเพียงใด ซึ่งแบบจำลองที่ดีควรมีค่า SSE และ MSE ที่ต่ำ (นันทวัน, 2548) แต่ในบางงานวิจัยจะใช้ค่า root mean square error (RMSE) ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของ MSE (Haglin *et al.*, 2002) มาใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองแทน

Relative error คำนวณจากการนำค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนายมาหารด้วยค่าจริงที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยค่า relative error จะใช้บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของค่าทำนายเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้กำหนดไว้ (นันทวัน, 2548) ซึ่งแบบจำลองที่ดีควรมีค่า relative error ที่ต่ำ

ค่า r หรือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นค่าที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว ในการสร้างแบบจำลองนั้นจะใช้ค่า r พิจารณาความสัมพันธ์และทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนาย ซึ่งแบบจำลองที่ดีควรมีค่า r ที่เป็นบวกเพราะแสดงให้เห็นว่าค่าทำนายมีทิศทางไปในทางเดียวกับค่าจริง แต่ถ้าค่า r เป็นลบนั้นจะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาใช้ไม่ได้เพราะจะทำให้ค่าทำนายมีค่าตรงกันข้ามกับค่าจริง (นันทวัน, 2548) นอกจากนี้ค่า r ควรมีค่าเข้าใกล้หนึ่งเพราะจะแสดงว่าค่าจริงกับค่าทำนายมีความสัมพันธ์กันสูง ถ้าค่า r มีค่าเป็นศูนย์จะแสดงว่าค่าจริงกับค่าทำนายไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของแบบจำลอง (Haglin *et al.*, 2002)

สำหรับการหาความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนายนั้นจะใช้วิธี t -test ในการเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด โดยการคำนวณหาความแตกต่างจะต้องทราบความแปรปรวน (variance) ของข้อมูลทั้ง 2 ชุด ซึ่งสูตรที่จะใช้ในการคำนวณค่า t ของชุดข้อมูลที่มีความแปรปรวนเท่ากัน จะมีสูตรที่แตกต่างไปจากสูตรของชุดที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน เมื่อคำนวณค่า t ได้แล้วให้นำค่า t ไปเปรียบเทียบกับตาราง t -test หากค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแตกต่างกัน แต่ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแบบจำลองที่ดีควรมีค่า t ที่น้อยกว่าค่า t จากตารางเพื่อที่จะแสดงว่าค่าจริงกับค่าทำนายไม่มีความแตกต่างกัน (นันทวัน, 2548)

โดยปกติแล้วการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจะใช้ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปเพื่อยืนยันความถูกต้องและแน่นอนของแบบจำลอง เช่นในการทดลองของ Li *et al.* (2004) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดและจำนวนคาร์บอนอะตอมในแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ได้ใช้ค่าบ่งชี้ 2 ชนิดในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองคือค่า MSE และค่า r ซึ่งพบว่าแบบจำลองให้ค่า MSE ที่มีค่าต่ำ และค่า r ที่มากกว่า 0.9 แสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดี

6.2. การสร้างแบบจำลอง (modeling)

แบบจำลองที่ใช้จะมีหลายแบบ โดยแต่ละแบบก็จะมีเหมาะสมกับแต่ละชุดข้อมูลแตกต่างกันไป เช่น แบบจำลองเอมพิริคัล (empirical model) แบบจำลองทางจลนศาสตร์ (kinetic model) และแบบจำลองดีเทอร์มินิสติก (deterministic model) (นันทวัน, 2548)

แบบจำลองเอมพิริคัลเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามข้อมูลที่มีอยู่จริง ไม่ได้อิงถึงทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ใด ๆ (Yamashita and Hashida, 2003) สามารถใช้เทคนิค data fitting ในการสร้างได้ การที่แบบจำลองเอมพิริคัลสร้างขึ้นตามข้อมูลการทดลองที่มีอยู่จึงทำให้ความถูกต้องของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้และความสามารถในการทำนายก็จะแคบหรือกว้างตามช่วงของข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลองเอมพิริคัลที่สร้างจากเทคนิค data fitting จะสามารถมีตัวแปรต้นได้ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป และมีเทอมได้ตั้งแต่ 1 เทอม (one-term model) ไปจนถึงหลาย ๆ เทอมที่ซับซ้อนหรือที่เรียกว่าสมการพหุนาม (polynomial) (นันทวัน, 2548) ในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์จะนิยมใช้เทคนิคนี้ โดยเฉพาะการพัฒนาสูตรเพราะเป็นเทคนิคที่สามารถอธิบายตัวแปรต้นซึ่งได้แก่ส่วนผสมต่าง ๆ ได้หลายตัว เช่นการทดลองของ Junqueira *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาหาอัตราส่วนของสารป้องกันการเกิดออกซิไดส์ในแป้งสาลี 3 ตัว ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เบนโซิลเปอร์ออกไซด์ และกรดแอสคอร์บิก ที่มีผลต่อค่าสี และพฤติกรรมการไหลของโดแป้งสาลี โดยใช้รูปแบบสมการแบบ cubic model ซึ่งจะประกอบด้วยเทอมกำลังหนึ่งและเทอมปฏิสัมพันธ์ และตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า R^2 พบว่าค่า R^2 มีค่าสูงประมาณ 0.84 – 0.95 จากนั้นหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารทั้ง 3 ชนิดโดยใช้เทคนิค respond surface methodology (RSM) ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมจะประกอบด้วย เอนไซม์ไลพอกซีจีเนสร้อยละ 0.27 เบนโซิลเปอร์ออกไซด์ 4.80 ppm และกรดแอสคอร์บิก 325 ppm สำหรับแบบจำลองเอมพิริคัลที่สร้างโดยวิธี artificial neural network (ANN) เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อน มีการทำงานเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์หรือโครงสร้างที่แน่นอนของแบบจำลอง แต่แบบจำลองประเภทนี้จะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามให้มากที่สุดก่อนที่จะนำแบบจำลองนั้นมาใช้จริง ในบางครั้งแบบจำลองที่สร้างโดยใช้ ANN จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองที่สร้างโดยใช้เทคนิค data fitting เช่นการศึกษาการซึมผ่านของยาเข้าสู่ผิวหนัง (Yamashita and Hashida, 2003) โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างโดยใช้ ANN และแบบจำลองที่สร้างโดยใช้เทคนิค data fitting ซึ่งใช้โครงสร้างของสมการแบบ multiple linear regression (MLR) และตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่า root mean square error (RMSE), R^2 และร้อยละของค่าทำนายที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง จะพบว่า MLR มีค่า RMSE และร้อยละของค่าทำนายที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมากกว่า และมีค่า R^2 น้อยกว่าแบบจำลองที่สร้างจาก ANN ซึ่งค่า RMSE และร้อยละของค่าทำนายที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงที่มีค่ามาก และ R^2 ที่มีค่าน้อยนั้นสามารถแปลผลได้ว่าแบบจำลอง MLR จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ANN

แบบจำลองทางจลนศาสตร์จะเป็นแบบจำลองที่สัมพันธ์กับเวลาโดยจะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเมื่อเวลาเปลี่ยนไป นิยมใช้แบบจำลองชนิดนี้ในการศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ (นันทวัน, 2548) เช่น ใช้ศึกษาวิธีการฆ่าเชื้อ 2 วิธี ได้แก่ การใช้ความดันสูง (600 เมกะปาสคาล, 40 องศาเซลเซียส, 4 นาที) และการพาสเจอร์ไรส์ (80 องศาเซลเซียส, 60 วินาที) ที่มีผลต่ออายุการเก็บของน้ำส้ม (Polydera *et al.*, 2005) โดยพิจารณาที่ปริมาณของวิตามินซีที่จะลดลงไปเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ซึ่งจะมีการใช้แบบจำลองทางจลนศาสตร์มาใช้ในการทำนายระยะเวลาที่ปริมาณวิตามินซีจะลดลงจนถึงระดับที่ไม่ยอมรับ โครงสร้างที่ใช้คือ first-order model และวิธีที่ใช้ในการหาอัตราการสูญเสียวิตามินซี (k) ของสมการคือ least square criterion และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่า R^2 พบว่าการใช้ความดันสูงจะช่วยทำให้ปริมาณวิตามินซีคงเหลือมากกว่าหรือมีอัตราการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการพาสเจอร์ไรส์

แบบจำลองดีเทอร์มินิสติก เป็นแบบจำลองที่สร้างโดยอาศัยทฤษฎีที่มีอยู่แล้ว จะใช้จำนวนข้อมูลน้อยกว่าแบบจำลองเอมพิริคัล แต่มีความสามารถในการทำนายกว้างกว่า โครงสร้างของแบบจำลองนี้ส่วนมากจะพัฒนาจากสมการ difference equation, differential equation และ partial differential equation (นันทวัน, 2548) เช่น การศึกษาการซึมผ่านของยาเข้าสู่ผิวหนังโดยใช้กฎการแพร่ของฟิค (Fick's diffusion law) ซึ่งเป็นกระบวนการของการถ่ายเทมวล (mass transfer) โดยแบบจำลองที่ได้นี้จะช่วยในการออกแบบสูตรยาที่เหมาะสมได้ (Yamashita and Hashida, 2003)

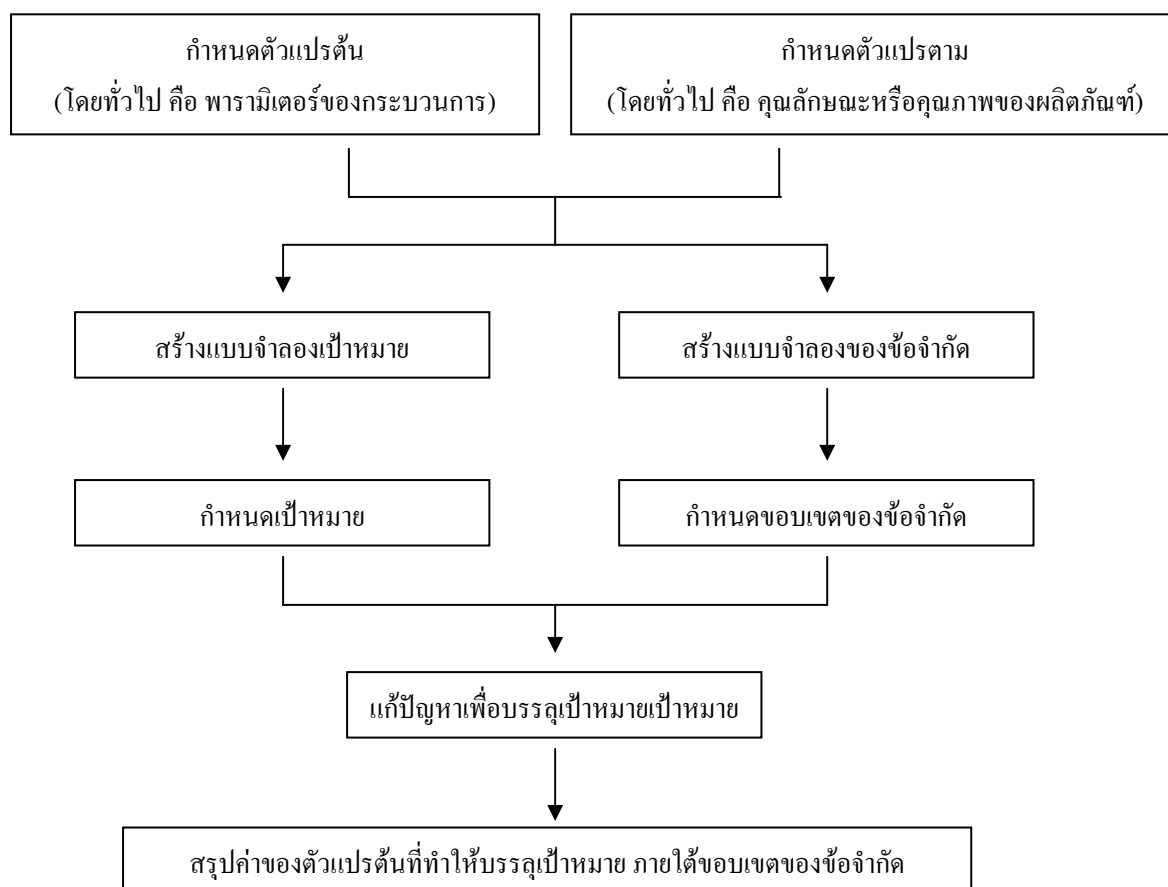
การคำนวณหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของตัวแปรที่อยู่ในสมการสำหรับแบบจำลองแบบเอมพิริคัล (เทคนิค data fitting) และจลนศาสตร์สามารถใช้การวิเคราะห์ (analytical method) ซึ่งมีหลายเทคนิค เช่น chebyshev approximation criterion และ least square criterion โดยเทคนิค chebyshev approximation criterion เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการหาค่าคงที่ของสมการและสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรที่ทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนายที่มากที่สุดมีค่าต่ำที่สุดได้ แต่สำหรับเทคนิค least square criterion จะพิจารณาที่ผลรวมของกำลังสองของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนายให้มีค่าน้อยที่สุด (นันทวัน, 2548)

ในแบบจำลองที่มีตัวแปรต้นหลายตัว หรือในสมการโพลิโนเมียลที่มีหลายเทอม ทำให้บางครั้งเกิดความยุ่งยากในการคำนวณ และการนำไปใช้งาน หรือบางครั้งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำนายลดลง เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการกำจัดเทอมนั้นทิ้งเสีย โดยวิธีการเพิ่มหรือลดเทอมในสมการนั้นมีหลายวิธี ในที่นี้จะขอกกล่าว 4 วิธี (ทัศนีย์ และ สมภพ, 2530) ได้แก่ วิธีอัลโพสทีเบลิรีเกรชชัน (all possible regression) จะเป็นการใช้ตัวแปรต้นทั้งหมดที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ หรือมี

อิทธิพลต่อตัวแปรตาม (ทศนีย์ และ สมภพ, 2530) โดยจะพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบหรือค่า significant ของสถิติทดสอบ (กัลยา, 2546) วิธีแบคเวิร์ดอีลิมีเนชัน (backward elimination) จะเป็นการกำจัดตัวแปรต้นที่ไม่สำคัญออกไปทีละตัว จนเหลือตัวแปรต้นที่มีความสำคัญต่อตัวแปรตามเท่านั้น (ทศนีย์ และ สมภพ, 2530) โดยจะเริ่มจากการนำตัวแปรต้นทุกตัวที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าไปในสมการก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ตัดตัวแปรต้นที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกจากสมการทีละตัว ซึ่งสถิติทดสอบที่ใช้คือ t หรือ F โดยจะทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้วิธีนี้จนกระทั่งไม่สามารถตัดตัวแปรต้นตัวใดออกจากสมการได้แล้ว (กัลยา, 2546) วิธีฟอร์เวิร์ดซีเลกชัน (forward selection) เป็นวิธีที่ตรงกันข้ามกับแบคเวิร์ดอีลิมีเนชันโดยเป็นวิธีที่ใส่ตัวแปรลงในสมการทีละตัว ซึ่งตัวแปรต้นตัวแรกที่ใส่ลงไปจะเป็นตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่สุด แล้วตามด้วยตัวอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์ลดหลั่นกันลงมา (ทศนีย์ และ สมภพ, 2530) และวิธีสเตปไวส์เรเกรสชัน (stepwise regression) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะจะใช้ทั้งเกณฑ์ของฟอร์เวิร์ดซีเลกชันและแบคเวิร์ดอีลิมีเนชันผสมผสานกัน ขั้นตอนแรกจะเริ่มจากเลือกตัวแปรต้นเข้าสมการ โดยจะใช้หลักการของฟอร์เวิร์ดซีเลกชัน และในขณะเดียวกันก็จะใช้หลักการของแบคเวิร์ดอีลิมีเนชันมาพิจารณาตัวแปรต้นที่อยู่ในสมการว่าควรจะถูกเลือกออกหรืออยู่ในสมการต่อไป (กัลยา, 2546)

6.3. การหาสูตรหรือสถานะของกระบวนการที่เหมาะสม (optimization)

ในการคำนวณสูตรหรือสถานะของกระบวนการที่เหมาะสมนั้นจะเป็นขั้นตอนหลังจากที่ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดแล้ว โดยจะเป็นการนำแบบจำลองต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นมากำหนดว่าจะให้แบบจำลองใดเป็นวัตถุประสงค์และและแบบจำลองใดเป็นขอบเขตที่ต้องการ แล้วจึงทำการแก้สมการออกมาเพื่อให้ได้สูตรหรือสถานะที่จะทำให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ (นันทวัน, 2549) ซึ่งขั้นตอนการหาสูตรหรือสถานะของกระบวนการที่เหมาะสมได้แสดงไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ

ที่มา: นันทวัน (2549)

ในวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรเบรคสตีกจากแป้งข้าว โดยจะต้องใช้ตัวแปรต้นหลายตัวซึ่งได้แก่ ส่วนผสมต่าง ๆ ของเบรคสตีก และต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามซึ่งได้แก่ค่าคุณภาพต่าง ๆ ของเบรคสตีกที่ได้จากการวัดค่า จึงได้ใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองเอมพิริคัล และใช้วิธี least square criterion ในการหาค่าคงที่ของสมการและสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรเข้ามาช่วยในการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ เพื่อที่จะได้นำแบบจำลองที่ได้นี้ไปใช้ในการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดของเบรคสตีกจากแป้งข้าว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. รายละเอียดอุปกรณ์วัตถุดิบ

- 1.1. แป้งข้าวจากปลายข้าวหอมมะลิ บริษัท ปทุมไรซ์มิลล์แอนด์แกรนารี
- 1.2. ยีสต์ ตรา เฟอร์มิฟันเรด บริษัท ดีเอสเอ็ม เบเกอรี่อินเกรเดียนท์ ยูเค จำกัด ประเทศอังกฤษ
- 1.3. แชนแทนกัม บริษัท ไทยฟู๊ด แอนด์ เคมีคอล จำกัด
- 1.4. HPMC บริษัท ดาวเคมีคอลประเทศไทย จำกัด
- 1.5. น้ำตาล ตรา วังขนาย
- 1.6. เกลือป่น ตรา ปรงทิพย์ บริษัทสหพัฒน์ปิณฑ จำกัด
- 1.7. น้ำมันปาล์ม ตรา โอสิน
- 1.8. ไข่ไก่
- 1.9. เมล็ดงา

2. สารเคมี

- 2.1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)
- 2.2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหืน โดยการวิเคราะห์ค่า TBA (Thiobarbituric acid number)

3. อุปกรณ์การผลิต

- 3.1. เครื่องผสมแป้ง ยี่ห้อ Kitchen aid รุ่น 5K5SS
- 3.2. ตู้อบไฟฟ้า (Electronic baking oven) บริษัท กล้วยน้ำไทการช่าง
- 3.3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้น (Incubator) บริษัท สยาม อินคูเบเตอร์ ซิสเต็ม จำกัด
- 3.4. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง
- 3.5. นาฬิกาจับเวลา

3.6. อุปกรณ์เครื่องครัว

4. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพ

4.1. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- 4.1.1. Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500 d บริษัท เซ็นตเซียวา
- 4.1.2. Texture Analyzer ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA 500 บริษัท อินโทรเอนเตอร์ไพรส์ จำกัด
- 4.1.3. เครื่องวัด Water activity ยี่ห้อ Novasina รุ่น MLK

4.2. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- 4.2.1. แบบทดสอบ
- 4.2.2. อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.3. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.3.1. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- 1) ตู้อบ (Binder รุ่น FD-115)
- 2) เตาเผาถ่าน (Carbolite ELF รุ่น 11/14)
- 3) เครื่องย่อยหาโปรตีน (Kjeltec System รุ่น 1026 Distilling Unit)
- 4) เครื่องมือชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Tecator รุ่น 2050 Soctec Auto Extraction Unit)
- 5) เครื่องหาปริมาณเยื่อใย (Foss Tecator รุ่น Fibertec System M)
- 6) ชุดวิเคราะห์ปริมาณอะมิโน

4.3.2. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ค่า TBA

- 1) เครื่องให้ความร้อนขณะกลั่น (heating mantle)
- 2) เครื่องแก้วที่ใช้สำหรับกลั่น

3) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5. อุปกรณ์ในการประมวลผลข้อมูล

5.1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

5.1.1. โปรแกรมเมทแลป (Matlab)

5.1.2. โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel)

5.1.3. โปรแกรมวิเคราะห์ผลสำเร็จรูป SPSS

5.2. เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูล

วิธีการ

1. สำรวจและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

สำรวจผลิตภัณฑ์เบรคสตีก ที่มีจำหน่ายในร้านพิชซ่า ได้แก่ร้าน A และ B รายละเอียดในการสำรวจ ได้แก่ ตรายี่ห้อ ขนาดบรรจุภัณฑ์ที่มีจำหน่าย ราคาต่อบรรจุภัณฑ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์เบรคสตีกทั้ง 2 ตรายี่ห้อมาวัดค่าคุณภาพต่าง ๆ เพื่อใช้ค่าที่ได้เป็นแนวทางในการกำหนดเค้าโครงของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกที่ทำจากแป้งข้าว โดยมีการวัดค่าคุณภาพ ต่าง ๆ ดังนี้

1.1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1. ปริมาตรจำเพาะ โดยใช้การแทนที่ด้วยเมล็ดงา (rapeseed displacement)

(มาตรฐานอุตสาหกรรม, 2524)

ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม.ต่อกรัม) =
$$\frac{\text{ปริมาตรก่อนการแทนที่} - \text{ปริมาตรหลังการแทนที่}}{\text{น้ำหนักเบรคสตีก}}$$

1.1.2. ค่าเนื้อสัมผัส โดยตัดเบรคสติกขนาด 2x2.5 ตารางเซนติเมตร โดยที่ความสูงของตัวอย่างทั้ง 2 ยี่ห้อนั้นจะแตกต่างกันไปตามยี่ห้อนั้น ๆ และจะวัดตัวอย่างภายใน 3 ชั่วโมงหลังจากอบ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Lloyd TA 500) ใช้ load cell ขนาด 500 นิวตัน ใช้หัวทดสอบแบบกดเป็นวงกลมหน้าตัดแบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 20 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงของตัวอย่าง ด้วยวิธีการวัดค่าเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (Texture Profile Analysis : TPA) ซึ่งค่าที่จะนำมาใช้ในการทดลองมี 2 ค่า ได้แก่ ความแข็ง (นิวตัน) และค่าดัชนีความยืดหยุ่น

1.1.3. ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผิวและเนื้อใน (crust and crumb color) ของเบรคสติก โดยใช้ Spectrophotometer

1.1.4. ค่า Water activity โดยใช้เครื่องวัด Water activity ยี่ห้อ Novasina รุ่น MLK

1.2. คุณภาพทางเคมี

1.2.1. ความชื้น ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. 2000

1.2.2. การหืน โดยการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทริก (Thiobarbituric acid : TBA) ตามวิธีวิเคราะห์ของ Pearson (1976)

1.3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจะเริ่มจากการคัดเลือกผู้ทดสอบโดยจะให้ผู้ทดสอบตอบแบบสอบถามประมาณ 40 – 50 คน จากนั้นคัดเลือกมา 20 – 30 คน เพื่อมาทดสอบการรับรสชาติต่าง ๆ (taste thresholds) สำหรับรสหวาน เปรี้ยว เค็ม และขมก่อน โดยปกติจะใช้ triangle test แล้วคัดเลือกผู้ที่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ดีออกมาจนกระทั่งได้ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพ ประมาณ 10 – 12 คน จากนั้นให้ผู้ทดสอบสร้างแนวความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และให้บรรยายคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ตามความรู้สึกของตน แล้วให้ความหมายของคำนิยามที่ให้กับคุณลักษณะนั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์ จากนั้นฝึกฝนผู้ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างที่ทราบความเข้มของแต่ละคุณลักษณะมาให้ผู้ทดสอบทดลองให้คะแนนฝึกฝนผู้ทดสอบจนกระทั่งผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มของตัวอย่างดังกล่าวใกล้เคียงกันและมี

ทิศทางไปในทางเดียวกันโดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม จากนั้นให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบกับตัวอย่างจริงนั้นคือเบรคสตีกจากท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อเพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์และประเมินความเข้มของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สเกลยาว 15 ซม. จากนั้นทดสอบความชอบโดยใช้ 9-Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

2. ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

2.1. วิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (2000) สำหรับคาร์โบไฮเดรตจะคำนวณจากการนำผลรวมขององค์ประกอบอื่นไปหักออกจาก 100

2.2. วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)

3. พัฒนาสูตรและวิธีการผลิตเพื่อการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

3.1. ศึกษาสูตรพื้นฐานของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

ค้นหาข้อมูล และสูตรของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจากการตรวจเอกสาร ทดลองทำแล้วนำมาวัดค่าทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ปริมาตรจำเพาะ ค่าเนื้อสัมผัส และค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผิวและเนื้อใน แล้วเลือกสูตรที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับเบรคสตีกจากท้องตลาดที่ผู้บริโภคยอมรับ 3-4 สูตร นำมาทดสอบความชอบโดยใช้ 9-Point Hedonic Scale เพื่อประเมินความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน จากนั้นคัดเลือกสูตรที่ได้คะแนนความชอบสูงสุดเพื่อนำมาศึกษาและปรับปรุงสูตรสำหรับเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าต่อไป

3.2. ศึกษาปริมาณของน้ำ ไขมัน และสารทดแทนกลูเตน ได้แก่ แชนแทนกัม และ HPMC ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

ใช้สูตรที่ได้จากข้อ 3.1 มาทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ไขมัน และสารทดแทนกลูเตนที่มีต่อคุณภาพเบรคสตีก ได้แก่ สี ปริมาตรจำเพาะ และเนื้อสัมผัส (ใช้วิธีการวิเคราะห์

เช่นเดียวกับข้อ 1.1) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) นำผลที่ได้มาสร้างแบบจำลอง จากนั้นนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการศึกษาปริมาณของน้ำ ไขมัน และสารทดแทนกลูเตนที่เหมาะสมโดยวิธี least square criterion โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเบรดสตีกที่มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัดคือคุณลักษณะทางกายภาพ (สี ปริมาตรจำเพาะ และเนื้อสัมผัส) ของผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคยอมรับและต้นทุนต่ำที่สุด แล้วเปรียบเทียบต้นทุนของเบรดสตีกที่ทำจากแป้งข้าวกับเบรดสตีกที่ทำจากแป้งสาลี

3.3. ศึกษาผลของกรรมวิธีการผสมแป้งต่อคุณภาพเบรดสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

นำสูตรที่ได้จากข้อ 3.2 มาศึกษาเวลาในการผสมโดทั้งหมด 3 ระดับ คือ 7, 11 และ 15 นาที แล้วเปรียบเทียบคุณภาพเบรดสตีกที่ได้จากการผสมโดในเวลาต่าง ๆ กัน ได้แก่ ปริมาตรจำเพาะ เนื้อสัมผัส และความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับเบรดสตีกที่ทำจากแป้งสาลีจากท้องตลาดโดยใช้ 9-Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

4. การวิเคราะห์คุณลักษณะเบรดสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

เป็นการประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เบรดสตีกสุดท้ายที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ได้แก่

4.1. คุณภาพทางกายภาพ

4.1.1. ปริมาตรจำเพาะ โดยการแทนที่

4.1.2. ค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Lloyd TA 500

4.1.3. ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผิวและเนื้อในของเบรดสตีก โดยใช้

Spectrophotometer

4.1.4. ค่า Water activity โดยใช้เครื่องวัด Water activity ยี่ห้อ Novasina รุ่น MLK

4.2. คุณภาพทางเคมี

4.2.1. ความชื้น ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. 2000

4.2.2. การหืน โดยการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก ตามวิธีวิเคราะห์ของ Pearson (1976)

4.3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (ซึ่งมีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 1.3) เพื่อประเมินความเข้มของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สเกลยาว 15 ซม. กับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 10 คน

5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีก

ทำการทดสอบการยอมรับที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกที่ได้จากการพัฒนาสูตรและวิธีการผลิต ด้วยวิธี Central Location Test (CLT) กับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 150 คน โดยทดสอบผลิตภัณฑ์ที่เสนอให้พร้อมตอบแบบสอบถาม บริเวณที่ใช้สำหรับการทดสอบคือ โรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ผลและวิจารณ์

1. ดำรวจและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบรคสติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

1.1. คุณภาพทางกายภาพ

จากการสำรวจตลาดพบว่าเบรคสติกที่จะทำการพัฒนานั้นจะนิยมรับประทานเป็นของว่างในร้านพิซซ่า ซึ่งร้านพิซซ่าที่มีเบรคสติกจำหน่ายจะมี 2 ยี่ห้อด้วยกัน โดยจะกำหนดให้เป็นยี่ห้อ A และ B ซึ่งทั้ง 2 ยี่ห้อจะมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3

จากการวิเคราะห์ผลในตารางที่ 3 โดยการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t - test พบว่า ค่าความแข็งของเบรคสติกยี่ห้อ A มีค่าน้อยกว่าเบรคสติกของยี่ห้อ B แสดงว่าเบรคสติกของ A มีเนื้อสัมผัสที่แน่นน้อยกว่าเบรคสติกของยี่ห้อ B แต่ค่าดัชนีความยืดหยุ่นของทั้ง 2 ยี่ห้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากผลการวัดค่าจะเห็นว่าข้อมูลความแข็งที่ได้มีความแปรปรวนสูงมาก เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์มีความหนาไม่สม่ำเสมอ

เบรคสติกของยี่ห้อ A มีปริมาณจำเพาะมากกว่าปริมาณจำเพาะของยี่ห้อ B อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการวัดปริมาณจำเพาะนี้มีความสอดคล้องกับผลการวัดเนื้อสัมผัส ที่โดยปกติแล้วมักจะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณจำเพาะมาก จะมีค่าความแข็งน้อย และในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณจำเพาะน้อย จะมีค่าความแข็งมาก เช่น การทดลองของ Barcenas and Rosell (2006) ที่พบว่าเมื่อเก็บขนมปังจากแป้งสาลีไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จะทำให้ขนมปังที่เก็บไว้มีปริมาณจำเพาะมาก และมีความแข็งน้อยกว่าขนมปังที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส และ Katina *et. al.* (2006) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตซาวร์โด (sourdough) เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้งสาลีให้ดีขึ้น พบว่าในการหาคุณลักษณะของขนมปังจากการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส ค่าที่ผู้ทดสอบให้ความสำคัญคือความแข็งและปริมาณจำเพาะ และจากสภาวะการผลิตซาวร์โดที่เหมาะสมนั้นสามารถปรับปรุงให้ขนมปังที่ได้มีปริมาณจำเพาะมากขึ้น ซึ่งความแข็งของขนมปังก็จะลดลงด้วย ในขณะที่ Palacios *et. al.* (2006) ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและปริมาณจำเพาะของขนมปังจากแป้งสาลีที่หมักโดยใช้ *Bifidobacterium* ที่ได้จากคนและไก่ พบว่าขนมปังที่หมักโดยใช้ *Bifidobacterium* ที่ได้จากคน และ

Lactobacilli จะมีค่าความแข็งแรงลดลงขึ้นเมื่อปริมาณจำเพาะมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามขนมปังที่หมักโดยใช้ *Bifidobacterium* ที่ได้จากไก่ กลับพบว่าเมื่อปริมาณจำเพาะมากขึ้น ความแข็งแรงกลับเพิ่มขึ้น

ผลการวัดสี พิจารณาที่เปลือกบนของเบรคสตีกค่าเฉลี่ย L^* ของยี่ห้อ A มีค่าสูงกว่ายี่ห้อ B อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงว่าสีผิวของเบรคสตีกยี่ห้อ A มีความสว่างมากกว่ายี่ห้อ B นอกจากนี้ผลวิเคราะห์ทั้ง 2 ยี่ห้อที่มีค่า a^* ที่เท่ากัน แต่เบรคสตีกยี่ห้อ A มีค่า b^* ที่มากกว่ายี่ห้อ B อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั่นคือสีเปลือกบนของเบรคสตีกยี่ห้อ A จะมีสีที่ออกไปทางส้มเหลืองมากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ B เมื่อพิจารณาที่เนื้อในของเบรคสตีกของทั้งสองยี่ห้อ ค่า L^* a^* b^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยยี่ห้อ A จะมีค่า L^* และ b^* ที่มากกว่า และค่า a^* ที่น้อยกว่ายี่ห้อ B นั่นคือเนื้อในของเบรคสตีกของยี่ห้อ A จะออกสีขาวสว่างมากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ B

สำหรับค่า a_w นั้นพบว่าทั้ง 2 ยี่ห้อจะมีค่า a_w ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

คุณลักษณะ	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B
1. ความแข็ง (นิวตัน)	5.99 ± 1.8^b	12.85 ± 1.93^a
2. ค่าดัชนีความยืดหยุ่น	0.87 ± 0.02^a	0.86 ± 0.05^a
3. ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ชม.)	2.65 ± 0.10^a	1.71 ± 0.10^b
4. สี		
เปลือก L^*	58.32 ± 4.38^a	56.54 ± 1.76^b
a^*	14.57 ± 2.58^a	15.12 ± 0.81^a
b^*	31.87 ± 2.32^a	26.65 ± 1.77^b
เนื้อใน L^*	78.04 ± 1.57^a	77.09 ± 0.71^b
a^*	-0.33 ± 0.09^b	-0.12 ± 0.07^a
b^*	13.33 ± 0.52^a	12.53 ± 0.47^b
5. ค่า a_w	0.922 ± 0.006^a	0.924 ± 0.005^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 2 เบรดสตีกของยี่ห้อ A



ภาพที่ 3 เบรดสตีกของยี่ห้อ B

1.2. คุณภาพทางเคมี

ในการวัดค่าคุณภาพทางเคมีของการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะมาเป็นต้นแบบพบว่า ความชื้นของเบรคสตีกยี่ห้อ A มีค่ามากกว่ายี่ห้อ B (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นไปได้ว่าจากการสังเกต ลักษณะภายนอกของทั้ง 2 ยี่ห้อพบว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A มีความหนาของเปลือกมากกว่ายี่ห้อ B เพราะฉะนั้นในการอบเบรคสตีกของยี่ห้อ A จะมีไอน้ำถูกกักไว้ภายในได้มากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ B จากการวัดค่าหา TBA number พบว่าทั้ง 2 ยี่ห้อที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.31 – 0.32 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม ซึ่งค่า TBA ที่ได้ในระดับนี้อยู่ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่า TBA ของซีเรียลอาหารเช้า (breakfast cereal) ผู้บริโภคไม่ให้เกิดการยอมรับซีเรียลอาหารเช้าเมื่อมีค่า TBA เท่ากับ 4 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม (Bagdan, 2000) ในขณะที่ Farkas *et. al.* (2005) พบว่าอาหารเช้าสำเร็จรูปที่ผ่านการฉายรังสีซึ่งประกอบด้วย ขนมปัง แยม ชีส และไส้กรอก จะมีกลิ่นหืนเมื่อมีค่า TBA เท่ากับ 0.85-1.86 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการฉายรังสีและอุณหภูมิที่เก็บ

ตารางที่ 4 ค่าคุณภาพทางเคมีของเบรคสตีกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

คุณลักษณะ	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B
1. ความชื้น (%)	29.11 $\pm$ 1.72 ^a	25.83 $\pm$ 1.75 ^b
2. TBA Number (มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม)	0.32 $\pm$ 0.05 ^a	0.31 $\pm$ 0.04 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

1.3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.3.1. การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาผู้ทดสอบสามารถอธิบายคุณลักษณะต่าง ๆ ของเบรคสตีกจากท้องตลาดได้ทั้งหมด 22 คุณลักษณะ โดยจะแบ่งเป็นกลุ่มของเนื้อสัมผัสจากการใช้มือ ได้แก่ ความยืดหยุ่น (Springiness) ความแข็ง (Hardness) และความแตก

เปราะ (Fractuability) กลุ่มเนื้อสัมผัสจากการรับประทาน ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness) การเกาะติดฟัน (Adhesiveness) และความสามารถในการรวมตัวกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) กลุ่มลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี และขนาดเซลล์อากาศ กลุ่มของกลิ่น ได้แก่ กลิ่นชีส กลิ่นเค็ม กลิ่นกระเทียม และกลิ่นออริกาโน กลุ่มของรสชาติ ได้แก่ รสเค็ม กลุ่มของกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสออริกาโน กลิ่นรสกระเทียม และกลิ่นรสชีส และกลุ่มของความรู้สึกตกค้างในปาก ได้แก่ ความมัน ความเค็ม ความรู้สึกของออริกาโน กระเทียม และชีส

พิจารณาเฉพาะเนื้อสัมผัส พบว่าความสามารถในการเคี้ยว ค่าความแข็งทั้งจากการรับประทานและการกดด้วยมือ และค่าการแตกหักของยี่ห้อ B จะมากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A แต่ค่าความยืดหยุ่นของยี่ห้อ B น้อยกว่าค่าของยี่ห้อ A แสดงว่าเนื้อสัมผัสของเบรคสตีกของยี่ห้อ B แข็ง ทำให้เคี้ยวยาก และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือ (ตารางที่ 3) พบว่าทั้ง 2 ยี่ห้อ จะมีค่าความยืดหยุ่นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากเบรคสตีกของยี่ห้อ A มีลักษณะหนา นุ่ม ในขณะที่เบรคสตีกของยี่ห้อ B จะบางกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A มาก และวิธีที่ใช้ในการประเมินค่าความยืดหยุ่นที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คือให้ผู้ทดสอบกดตัวอย่างลงไปเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอย่าง แล้วพิจารณาความเร็วในการกลับคืนตัวของเบรคสตีก ทำให้เบรคสตีกที่มีความหนามากกว่า สามารถสังเกตเห็นการกลับคืนตัวได้ชัดเจนกว่าเบรคสตีกที่มีความหนาน้อย เพราะฉะนั้นจึงดูเหมือนว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A มีความยืดหยุ่นมากกว่ายี่ห้อ B ทั้ง ๆ ที่มีค่าดัชนีความยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดจากเครื่องมือที่เท่ากัน ในขณะที่ค่าการเกาะติดฟัน และค่าความสามารถในการรวมตัวกันของทั้ง 2 ยี่ห้อ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังที่แสดงในตารางที่ 5

พิจารณาจากผลการทดลองอื่น ๆ พบว่า เบรคสตีกยี่ห้อ B มีสีน้ำตาลที่เข้มกว่ายี่ห้อ A อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่มีขนาดของเซลล์อากาศที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับในเรื่องของกลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และความรู้สึกตกค้างในปาก พบว่า เบรคสตีกยี่ห้อ A มีกลิ่นชีสที่มากกว่ายี่ห้อ B แต่ทั้งสองยี่ห้อ มีกลิ่นรสชีส และความรู้สึกของชีสตกค้างในปากเท่ากัน เบรคสตีกยี่ห้อ A จะมีกลิ่นเค็ม และความเค็มตกค้างในปากมากกว่ายี่ห้อ B แต่ทั้งสองยี่ห้อ มีรสเค็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลิ่น กลิ่นรส และความรู้สึกของออริกาโนตกค้างในปากของยี่ห้อ B จะมีมากกว่ายี่ห้อ A อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กลิ่น กลิ่นรส และความรู้สึกของกระเทียมตกค้างในปากของทั้ง 2 ยี่ห้อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลของความมันตกค้างในปากที่ทั้ง 2 ยี่ห้อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เชิงพรรณนา ในส่วนลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และความรู้สึกตกค้างในปาก จะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมาก ในขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนอยู่ในระดับที่ไม่สูงนัก จึงอาจสรุปได้ว่าตัวผลิตภัณฑ์เอง มีความแปรปรวนสูง ทั้งจากการสังเกตผลิตภัณฑ์ที่ซื้อมาในแต่ละครั้ง และจากการเปรียบเทียบในแต่ละชิ้นของครั้งเดียวกัน จะพบว่าแต่ละชิ้นจะมีปริมาณของเกลือ ออริกาโน และชีส ในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากในการโรยเครื่องเทศเหล่านี้ ในแต่ละครั้งและแต่ละคนจะไม่เท่ากันอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 5 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

คุณลักษณะ	เบรคสตีกยี่ห้อ A	เบรคสตีกยี่ห้อ B
เนื้อสัมผัสจากการใช้มือ		
1. ความยืดหยุ่น (Springiness)	7.54 ± 0.85^a	6.34 ± 1.18^b
2. ความแข็ง (Hardness)	2.64 ± 0.93^b	6.79 ± 1.23^a
3. ความแตกเปราะ (Fractuability)	4.89 ± 0.98^b	8.12 ± 0.99^a
เนื้อสัมผัสจากการรับประทาน		
4. ความแข็ง (Hardness)	5.37 ± 1.08^b	7.56 ± 0.95^a
5. ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	8.15 ± 0.76^b	10.11 ± 0.93^a
6. การเกาะติดฟัน (Adhesiveness)	7.85 ± 0.83^a	7.71 ± 0.96^a
7. ความสามารถในการรวมตัวกันของตัวอย่าง (Cohesiveness)	9.31 ± 1.18^a	8.91 ± 0.83^a
ลักษณะปรากฏ		
8. สี	6.34 ± 2.03^b	10.03 ± 1.11^a
9. ขนาดของเซลล์อากาศ	6.74 ± 1.64^a	5.87 ± 1.75^a
กลิ่น		
10. กลิ่นชีส	1.82 ± 1.41^a	0.78 ± 1.01^b
11. กลิ่นเค็ม	4.70 ± 2.35^a	3.05 ± 1.77^b
12. กลิ่นกระเทียม	2.28 ± 1.53^a	1.45 ± 1.36^a
13. กลิ่นออริกาโน	3.15 ± 1.89^b	8.08 ± 1.80^a

ตารางที่ 5 (ต่อ)

คุณลักษณะ	เบรคสตีกี่ห้อย A	เบรคสตีกี่ห้อย B
รสชาติ		
14. รสเค็ม	2.89 ± 1.53^a	2.06 ± 1.47^a
กลิ่นรส		
15. กลิ่นรสออริกาน	2.23 ± 1.51^b	5.07 ± 2.83^a
16. กลิ่นรสกระเทียม	2.24 ± 1.22^a	1.73 ± 1.62^a
17. กลิ่นรสชีส	2.55 ± 1.34^a	1.64 ± 1.68^a
ความรู้สึตก้างในปาก		
18. มัน	6.79 ± 1.64^a	6.89 ± 1.58^a
19. เค็ม	3.04 ± 1.39^a	1.81 ± 1.57^b
20. ออริกาน	2.66 ± 1.56^b	4.93 ± 2.14^a
21. กระเทียม	1.93 ± 1.30^a	1.49 ± 1.13^a
22. ชีส	1.53 ± 0.85^a	1.07 ± 1.19^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเนื้อสัมผัสระหว่างค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ กับค่าที่วัดได้จากวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา พบว่าโดยรวมแล้วค่าที่วัดจากเครื่องมือ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความยืดหยุ่น ความแข็ง (ใช้มือกด) ค่าการแตกหัก ความแข็ง (จากการรับประทาน) และความยากง่ายในการเคี้ยว จากค่าเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดจากเครื่องมือ กับค่าการเกาะติดและความสามารถในการรวมตัวที่วัดด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ซึ่งอาจจะบอกได้ว่าในการวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา สำหรับเบรคสตีกี่ห้อยต่อไปสามารถที่จะตัด 2 ค้างกล่าวออกไปได้

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ของค่าเนื้อสัมผัสระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือและจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือ	ค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา						
	ความยืดหยุ่น (Springiness)	ความแข็ง (Hardness) (โดยใช้มือจับ)	ค่าการแตกหัก (Fracturability)	ความแข็ง (Hardness) (โดยการเคี้ยว)	ความง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	ค่าการเกาะติด (Adhesiveness)	ความสามารถในการรวมตัว (Cohesiveness)
ความแข็ง (Hardness)	-0.462**	0.838**	0.813**	0.759**	0.673**	-0.099	-0.151
ความสามารถในการรวมตัว (Cohesiveness)	0.277	-0.687**	-0.625**	-0.464**	-0.500**	-0.032	0.092
ความยืดหยุ่น (Springiness)	0.519**	-0.736**	-0.822**	-0.640**	-0.659**	0.052	0.198
ความง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	-0.458**	0.834**	0.765**	0.780**	0.663**	-0.120	-0.126
ค่าการแตกหัก (Fracture force)	-0.228	0.599**	0.324*	0.350*	0.185	-0.176	0.152
ค่าการเกาะติด (Adhesiveness)	-0.103	-0.062	0.113	-0.038	0.160	-0.158	-0.110

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

* หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในขณะที่นอกจากค่าการเกาะติดที่วัดด้วยเครื่องมือแล้ว ค่าอื่น ๆ ที่เหลือจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่วัดด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังที่แสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าความยืดหยุ่นจากที่วัดด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความยืดหยุ่นแต่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าความแข็งและความง่ายในการเคี้ยวจากค่าที่วัดด้วยเครื่องมือ ความแข็ง (ใช้มือกด) ค่าการ

แตกหัก และความแข็ง (จากการรับประทาน) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับความแข็ง ความยากง่ายในการเคี้ยว และค่าการแตกหัก แต่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับความสามารถในการรวมตัว และความยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือ และความยากง่ายในการเคี้ยวจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับความแข็ง และความยากง่ายในการเคี้ยว แต่จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับความสามารถในการรวมตัว และความยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือ

1.3.2. การทดสอบความชอบ

ทดสอบความความชอบโดยใช้วิธี 9 – Point Hedonic Scale ซึ่งใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน พบว่าผู้ทดสอบชอบเบรคสตีกยี่ห้อ A มากกว่ายี่ห้อ B ในทุก ๆ คุณลักษณะ ยกเว้นขนาดของเบรคสตีกที่ผู้ทดสอบชอบของยี่ห้อ B มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เพราะฉะนั้นจึงเลือกเบรคสตีกของยี่ห้อ A เป็นต้นแบบในการพัฒนาเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าต่อไป (จากตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 คะแนนจากการทดสอบความชอบของเบรคสตีกจากท้องตลาด

คุณลักษณะ	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B
1. สีของเปลือกเบรคสตีก	7.1 ± 1.1^a	6.4 ± 1.4^b
2. ขนาดของชิ้นตัวอย่างที่ใช้เสิร์ฟ	5.9 ± 1.7^b	6.7 ± 1.4^a
3. กลิ่นโดยรวม	7.1 ± 1.2^a	6.1 ± 1.5^b
4. ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดดูความยืดหยุ่น)	6.8 ± 1.0^a	6.4 ± 1.4^a
5. กลิ่นรสโดยรวม	6.7 ± 1.6^a	6.5 ± 1.2^a
6. รสชาติโดยรวม	6.9 ± 1.2^a	6.5 ± 1.2^a
7. ความแข็ง (เคี้ยวด้วยฟันกราม)	6.8 ± 1.4^a	6.1 ± 1.8^b
8. ความชอบโดยรวม	7.0 ± 0.9^a	6.4 ± 1.3^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบและปริมาณอะมิโลสของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าแป้งที่ใช้ประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เหนือใย คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 6.61 0.12 10.98 2.11 0.52 และ 79.66 นอกจากนี้ในแป้งข้าวเจ้ายังมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 23.66

ตารางที่ 8 องค์ประกอบและปริมาณอะมิโลสของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบและปริมาณอะมิโลส	ปริมาณ (ร้อยละ)
องค์ประกอบโดยประมาณ	
โปรตีน	6.61
ไขมัน	0.12
ความชื้น	10.98
เหนือใย	2.11
เถ้า	0.52
คาร์โบไฮเดรต	79.66
ปริมาณอะมิโลส	23.66

จะเห็นว่าปริมาณอะมิโลสในแป้งข้าวเจ้าอยู่ในระดับปานกลาง (อรอนงค์, 2538) จากการทดลองของ Nishita and Bean (1979) ที่พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีความยาวเมล็ดขนาดสั้นและขนาดกลาง จะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการนำมาผลิตขนมปัง โดยจะมีอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 20 เมื่อนำมาผลิตขนมปัง จะได้ขนมปังที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี เหนียวนุ่ม ส่วนข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะให้คุณสมบัติที่ตรงกันข้ามคือแห้งสาก ซึ่งในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของสุนทร (2533) ที่ต้องการคงปริมาณของโปรตีนไว้จึงใช้แป้งข้าวเจ้าไม่แห้ง โดยใช้แป้ง กข.15 (มีอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 16.4) จะให้ขนมปังที่มีเนื้อนุ่ม เหนียว แต่แป้ง กข.7 และนางมลเอส-9 (มีปริมาณอะมิโลส ร้อยละ 24.2 และ 25 ตามลำดับ) จะให้ขนมปังที่แห้งและร่วน แต่ Nishita and Bean (1979) รายงานไว้ว่าปริมาณโปรตีนในข้าวนั้นไม่มีผลต่อคุณลักษณะของขนมปังจากแป้งข้าว

นอกจากนี้ Bean *et al.* (1983) กล่าวว่าแป้งข้าวเจ้าไม่เปียกจะทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังดีกว่าแป้งไม่แห้ง

3. ผลการพัฒนาสูตรและวิธีการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

3.1. สูตรพื้นฐานของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

ในการหาสูตรพื้นฐานนั้นได้ทำการคัดเลือกจากสูตรต่าง ๆ ทั้งหมด 7 สูตร โดยแต่ละสูตรประกอบด้วยส่วนผสมต่าง ๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 9 ปริมาตรจำเพาะและลักษณะปรากฏของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ 1 - 7

สูตรที่	ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม.ต่อกรัม)	ลักษณะปรากฏ
1	2.51±0.23	เปลือกนุ่มเหนียว สีเปลือกเหลืองคล้ำ เนื้อข้างในจะนุ่มยืดหยุ่น ขนาดของเซลล์อากาศไม่ใหญ่มาก แต่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ
2	1.91±0.06	สีเปลือกเหลืองอ่อน เนื้อข้างใน นุ่ม ไม่คงตัว ขนาดของเซลล์อากาศไม่ใหญ่มาก แต่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ
3	2.50±0.05	สีเปลือกเหลืองอ่อน เนื้อข้างใน นุ่ม ร่วนคล้ายเนื้อเค้ก ขนาดของเซลล์อากาศไม่ใหญ่มากแต่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ
4	1.44±0.07	เปลือกแยกกับเนื้อในไม่ชัดเจนสีเปลือกเหลืองซีด เนื้อข้างในไม่ยืดหยุ่น แข็ง ร่วน ขนาดของเซลล์อากาศเล็กมาก
5	4.44±0.21	เปลือกแข็ง ร่วน สีเปลือกเหลืองอ่อน เนื้อข้างใน พู แต่ เปราะ ไม่ยืดหยุ่น ขนาดของเซลล์อากาศใหญ่และกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ
6	1.24±0.05	เปลือกแยกกับเนื้อในไม่ชัดเจนสีเปลือกขาวซีด เนื้อข้างในไม่ยืดหยุ่น แข็ง ร่วน ขนาดของเซลล์อากาศเล็กมาก
7	2.04±0.12	เปลือกนุ่มเหนียวสีเปลือกเหลืองคล้ำ เนื้อข้างในแน่น และยืดหยุ่น ขนาดของเซลล์อากาศไม่ใหญ่มาก แต่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

จากผลการวัดปริมาตรจำเพาะและพิจารณาลักษณะปรากฏของทั้ง 7 สูตร (ตารางที่ 9 และภาพที่ 4 - 10) พบว่าสูตรที่ 1 3 5 และ 7 มีปริมาตรจำเพาะมากกว่า 2 ลบ.ซม.ต่อกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาตรจำเพาะของเบรคสตีกยี่ห้อ A แต่สูตรที่ 2 4 และ 6 จะมีปริมาตรจำเพาะน้อย อีกทั้งมีลักษณะแข็ง ไม่ขึ้นฟู จึงไม่นำมาพิจารณาในการวัดค่าต่าง ๆ ต่อไป สำหรับสูตรที่ 3 ถึงแม้จะมี

ปริมาณจำเพาะใกล้เคียงกับเบรคสตีกยี่ห้อ A แต่ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสที่ได้จะคล้ายกับขนมเค้กมากกว่าขนมปัง ดังนั้นสูตรที่จะนำไปวัดค่าทางกายภาพอื่นๆ และทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงมีทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 5 และ 7 (ตารางที่ 10)



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 4 เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 1



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 5 เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 2



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 6 เบรดสดักจากแป้งข้าว สูตรที่ 3



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 7 เบรดสดักจากแป้งข้าว สูตรที่ 4



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 8 เบรดสดักจากแป้งข้าว สูตรที่ 5



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 9 เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 6



(ก) ลักษณะเปลือก



(ข) ลักษณะเนื้อใน

ภาพที่ 10 เบรคสตีกจากแป้งข้าว สูตรที่ 7

ตารางที่ 10 ค่าคุณภาพทางกายภาพของเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าสูตรที่ 1, 5 และ 7

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 5	สูตรที่ 7
1. ความแข็ง (นิวตัน)	2.45±0.44	5.47±1.61	11.10±1.63
2. ค่าดัชนีความยืดหยุ่น	0.85±0.06	0.49±0.17	0.83±0.03
3. สี			
เปลือก L*	54.07±2.38	76.30±1.86	63.09±3.31
a*	14.42±0.49	5.63±1.65	12.16±2.18
b*	26.14±2.13	26.17±2.75	29.93±1.53
เนื้อใน L*	67.39±1.75	72.34±1.62	77.10±1.79
a*	0.37±0.26	-0.61±0.10	-0.22±0.15
b*	13.12±1.07	6.98±0.62	17.29±0.60

โดยจากการวัดค่าทางกายภาพของทั้ง 3 สูตร จะพบว่า สูตรที่ 1 จะมีความแข็งน้อยกว่า สูตรที่ 5 และ 7 ตามลำดับ สูตรที่ 1 จะมีดัชนีความยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 7 และ 5 ตามลำดับ แต่สูตรที่ 5 จะมีปริมาตรจำเพาะมากกว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 7 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 1 จะนุ่มกว่าสูตรที่ 5 และ 7 เพราะสูตรที่ 1 มีส่วนของของเหลว (น้ำและไข่) อยู่ในสูตรมากที่สุด เมื่อพิจารณาสูตรที่ 5 ถึงแม้ว่าจะมีปริมาตรจำเพาะมากกว่าทุกสูตรแต่ก็มีดัชนีความยืดหยุ่น น้อยกว่ามาก นั่นเป็นเพราะสูตรที่ 5 จะมีลักษณะของเนื้อในที่ร่วน และเปราะ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะ สูตรที่ 5 นั้นไม่มีไข่เป็นส่วนประกอบเหมือนกับสูตรที่ 1 และ 7 โดยไข่จะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟร์ เออร์ ช่วยลดแรงตึงผิวของโครงสร้างขนมปังที่ปราศจากกลูเตน และความสามารถในการเกาะ รวมตัวกันเป็นก้อนของไข่ขาวเมื่อโดนความร้อนจะช่วยทำให้โครงสร้างของขนมปังที่ปราศจาก กลูเตนมีความคงตัว และยืดหยุ่นได้ (Taylor *et al.*, 2006) และจากการศึกษาผลของไข่ที่มีในขนมปัง จากซอร์กัม (sorghum bread) และขนมปังจากแป้งมันสำปะหลัง (cassava bread) พบว่า ไข่จะช่วย ให้ผนังเซลล์ของโครงสร้างขนมปังมีความคงตัวทั้งก่อนและหลังการอบ (Taylor *et al.*, 2006) เพราะฉะนั้นสูตรที่ 5 ที่ถึงแม้จะมี HPMC เข้ามาช่วยทำให้ปริมาตรจำเพาะมากขึ้น (Haque *et al.*, 1994) แต่ก็ยังขาดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น จึงทำให้ค่าดัชนีความยืดหยุ่นต่ำ

เมื่อพิจารณาจากค่าสี L^* a^* b^* ของสีเปลือก พบว่าสูตรที่ 1 จะมีสีเหลือง-น้ำตาล ค่ำกว่าสูตรที่ 7 แต่สูตรที่ 5 จะมีสีเปลือกที่ออกไปทางขาวซีด เนื่องจากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 7 มีไข่เป็นส่วนผสม ซึ่งไข่จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก หมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนของไข่สามารถทำปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับหมู่คาร์บอนิล (นิธิยา, 2545) ที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในสูตรเบรคตติกสูตรที่ 1 และ 7 จึงก่อให้เกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าสูตรที่ 5 ที่มีโปรตีนในสูตรน้อยกว่า

ตารางที่ 11 ผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	สูตร 1	สูตร 5	สูตร 7
สีของเปลือกเบรคตติก	5.98 ± 1.64^b	4.96 ± 1.71^c	7.10 ± 1.15^a
กลิ่นโดยรวม	5.98 ± 1.84^{ab}	5.42 ± 1.87^b	6.38 ± 1.52^a
ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดสังเกตความยืดหยุ่น)	6.25 ± 1.76^a	4.13 ± 1.66^b	6.56 ± 1.15^a
กลิ่นรสโดยรวม	6.15 ± 1.50^a	4.69 ± 1.76^b	6.48 ± 1.03^a
รสชาติโดยรวม	6.25 ± 1.56^a	4.54 ± 1.84^b	6.65 ± 1.36^a
ความแข็ง (เคี้ยวด้วยฟันกราม)	6.04 ± 1.66^a	3.52 ± 1.83^b	6.63 ± 1.50^a
ความชอบโดยรวม	6.10 ± 1.39^b	4.04 ± 1.50^c	6.77 ± 1.17^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อนำทั้ง 3 สูตร มาคัดเลือกโดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยให้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 48 คน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมสูตรที่ 7 มากที่สุด รองลงมาได้แก่ สูตรที่ 1 และ 5 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งผู้ทดสอบให้เหตุผลว่า เปลือกของสูตรที่ 5 แข็งเกินไป สีของเปลือกซีดเกินไปและมีกลิ่นของแป้งข้าวเจ้ามากเกินไป ซึ่งจะสังเกตได้จากสูตรที่ 5 มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะต่ำ สำหรับความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อสูตรที่ 1 จะใกล้เคียงกับสูตรที่ 7 แต่ผู้ทดสอบชอบสูตรที่ 7 มากกว่าเนื่องจาก ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าสูตรที่ 1 มีสีเปลือกที่คล้ำเกินไป และนุ่มเกินไป อีกทั้งยังรู้สึกว่ามีกลิ่นไข่แรงเกินไป เพราะฉะนั้นจึงได้เลือกสูตรที่ 7 ซึ่งมีแซนแทนกัมเป็นสารทดแทนกลูเตนเป็นสูตรพื้นฐานในการพัฒนาสูตรเบรคตติกจากแป้งข้าวเจ้าต่อไป

โดยสูตรที่ 7 จะมีส่วนประกอบเมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณแป้งดังภาคผนวก ก แต่ทั้งนี้ในสูตรที่ 5 ซึ่งมี HPMC เป็นส่วนประกอบ มีปริมาณจำเพาะสูง ในการพัฒนาขั้นต่อไปจึงได้ประยุกต์ใช้ HPMC เข้ามาผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านปริมาณจำเพาะของเบรคติกให้มากขึ้น โดยสูตรที่จะใช้ในการวางแผนการทดลองต่อไปนั้นเมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณแป้งทั้งหมด (โดยที่แป้งทั้งหมดประกอบด้วยแป้งข้าวร้อยละ 72.92 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.50 และแป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.58) จะประกอบไปด้วย น้ำตาลร้อยละ 12.89 เกลือร้อยละ 2.03 ยีสต์ร้อยละ 3.61 และไขมันร้อยละ 33.33 และสำหรับปริมาณของ น้ำ ไขมัน HPMC และแซนแทนกัม จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามการออกแบบการทดลอง

3.2. ปริมาณของน้ำ ไขมัน และสารทดแทนกลูเตน ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบรคติกจากแป้งข้าวเจ้า

3.2.1. คุณภาพของเบรคติกจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการทดลอง

ในการศึกษาปริมาณน้ำ ไขมัน HPMC และแซนแทนกัม ได้มีการวางแผนการทดลองแบบ CCD โดยแต่ละสิ่งทดลองจะประกอบไปด้วย น้ำ ไขมัน HPMC และแซนแทนกัม ดังตารางที่ 12 และผลการวัดค่าต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ตารางแผนการทดลองแบบ CCD

การทดลองที่	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	น้ำ	ไขมัน	HPMC	แซนแทนกัม
1	40	7.1	1	1.3
2	40	7.1	1	3.9
3	40	7.1	3	1.3
4	40	7.1	3	3.9
5	40	11.3	1	1.3
6	40	11.3	1	3.9
7	40	11.3	3	1.3
8	40	11.3	3	3.9
9	60	7.1	1	1.3
10	60	7.1	1	3.9
11	60	7.1	3	1.3
12	60	7.1	3	3.9
13	60	11.3	1	1.3
14	60	11.3	1	3.9
15	60	11.3	3	1.3
16	60	11.3	3	3.9
17	30	9.2	2	2.6
18	70	9.2	2	2.6
19	50	5.0	2	2.6
20	50	13.4	2	2.6
21	50	9.2	0	2.6
22	50	9.2	4	2.6
23	50	9.2	2	0
24	50	9.2	2	5.2
25	50	9.2	2	2.6
26	50	9.2	2	2.6
27	50	9.2	2	2.6

ตารางที่ 13 แสดงผลที่ได้จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสและสี ของผลิตภัณฑ์เบรคสตีกเพื่อใช้ในการ
สร้างแบบจำลอง

การทดลองที่	คุณลักษณะต่าง ๆ				
	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าครรชนี ความยืดหยุ่น	ปริมาตร จำเพาะ (ลบ.ซม.)	L* ของสี เปลือก	L* ของสีเนื้อ ใน
1	18.94	0.85	1.87	51.92	75.70
2	54.22	0.82	1.62	58.73	77.84
3	42.78	0.84	1.43	69.07	75.88
4	75.82	0.78	1.42	62.74	77.29
4	80.03	0.69	1.40	60.99	76.55
5	12.59	0.87	1.96	53.24	74.54
6	31.76	0.81	1.66	56.88	78.20
7	51.55	0.69	1.48	61.56	75.86
8	87.27	0.74	1.46	59.54	75.00
8	80.43	0.71	1.35	60.20	74.75
9	4.40	0.86	2.25	57.33	74.53
10	7.47	0.84	2.07	52.74	75.85
10	7.45	0.84	2.15	50.85	75.37
11	13.31	0.86	1.96	57.53	80.57
12	11.87	0.85	1.86	57.38	75.97
13	5.09	0.88	2.36	57.58	78.37
14	6.39	0.83	2.10	50.01	77.14
15	8.50	0.87	2.06	57.59	81.21
16	6.50	0.83	1.95	56.37	78.22
17	129.54	0.81	1.16	64.10	76.49
18	4.92	0.70	2.16	58.79	82.68
19	14.33	0.87	1.87	62.04	78.14

ตารางที่ 13 (ต่อ)

การทดลองที่	คุณลักษณะต่าง ๆ				
	ปริมาตร				
	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าครรชนี ความยืดหยุ่น	จำเพาะ (ลบ.ชม.)	L* ของสี เปลือก	L* ของสีเนื้อ ใน
20	9.15	0.85	2.03	58.47	76.67
21	9.48	0.85	2.17	48.05	74.50
21	7.02	0.85	2.13	51.52	73.94
22	45.25	0.80	1.67	61.94	76.78
23	12.40	0.86	2.19	59.63	77.43
24	23.20	0.76	1.81	54.38	76.82
25	11.92	0.86	1.96	52.51	75.37
26	12.18	0.85	1.99	54.43	73.84
27	13.19	0.86	1.93	53.88	73.93
28	22.35	0.85	1.89	54.62	73.77
29	8.63	0.79	1.90	54.41	73.72

หมายเหตุ 28 และ 29 คือการทดลองที่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ได้แบบจำลองที่สมบูรณ์ขึ้น โดยที่
การทดลองที่ 28 ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 35 ไขมันร้อยละ 6 HPMC ร้อยละ 0.5 และ
แซนแทนกัมร้อยละ 0.7 การทดลองที่ 29 ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 68 ไขมันร้อยละ 5.5
HPMC ร้อยละ 1.2 และแซนแทนกัมร้อยละ 5

3.2.2. การสร้างและการทวนสอบแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองจะใช้หลักการของ Empirical Modeling คือ เทคนิคสร้าง
แบบจำลองจากข้อมูลที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการพหุพจน์ (polynomial) เพื่อแสดง
ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างตัวแปรต้น (x_i) ซึ่งได้แก่ ปริมาณของน้ำ (x_1) ไขมัน (x_2) HPMC
(x_3) และแซนแทนกัม (x_4) กับตัวแปรตาม (y_j) ได้แก่ ความแข็ง (y_1) ครรชนีความยืดหยุ่น (y_2)

ปริมาตรจำเพาะ (y_3) ค่า L^* ของสีเปลือก (y_4) และค่า L^* ของสีเนื้อใน (y_5) ที่ได้จากการวัดค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบรคสตีก

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง และค่า Mean Square Error (MSE) โดยค่า r ที่ได้จะชี้บ่งชี้แนวโน้มของค่าที่ทำนายได้ว่ามีทิศทางไปในทางเดียวกับค่าที่ได้จากการทดลองหรือไม่ การพิจารณาค่า r นี้จะดูที่เครื่องหมายบวกและลบหน้าตัวเลข ถ้าเครื่องหมายเป็นบวกจะแสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด (ค่าจริงและค่าทำนาย) มีทิศทางไปในทางเดียวกัน แต่ถ้ามีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีทิศทางของค่าที่ได้ในทางตรงกันข้าม ซึ่งปกติแล้วในการสร้างแบบจำลองค่า r ที่ได้ไม่ควรจะมีเครื่องหมายเป็นลบ เพราะจะแสดงว่าแบบจำลองทำนายค่าออกมาในทิศทางตรงกันข้ามกับความเป็นจริง เพราะฉะนั้นแบบจำลองที่ดีควรจะมีค่า r เป็นบวกและเข้าใกล้ 1 มากที่สุด สำหรับค่า MSE นั้นเป็นค่าที่ใช้วัดความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย ฉะนั้นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพควรจะมีค่า MSE ต่ำ

การวางรูปแบบของสมการในขั้นตอนนี้จะสร้างสมการแบบ full – quadratic (สมการที่ 1) แล้วพิจารณาค่า r และค่า MSE ของสมการที่ได้ หากค่า r ที่ได้มีค่าต่ำและค่า MSE มีค่าสูงเกินไป จะทำการเปลี่ยนโครงสร้างหรือเทอมของสมการดังกล่าวลงจนกว่าจะได้สมการที่มีค่า r ที่เข้าใกล้ 1 และ ค่า MSE ที่ต่ำ

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 \quad \text{-----(1)}$$

โดย b_0 คือ ค่าคงที่ของสมการ

$b_1 - b_{44}$ คือ สัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปร

หลังจากที่ได้แบบจำลองแล้ว จะต้องมีการทวนสอบแบบจำลองที่ได้เพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยได้ทำการทดลองเพิ่มเป็นจำนวนร้อยละ 30 ของจำนวนการทดลองที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มทั้งหมด 12 การทดลอง (ตารางที่ 14) โดยจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 15

แบบจำลองและประสิทธิภาพของแบบจำลองในขั้นตอนการสร้างและขั้นตอนการทดสอบนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 14 การทดลองที่ใช้ในการทดสอบสมการ

การทดลองที่	ร้อยละ			
	น้ำ (x_1)	ไขมัน (x_2)	HPMC(x_3)	แซนแทนกัม (x_4)
1	55	10.2	2.5	3.2
2	45	8	1.5	2
3	47	9.8	2.2	1
4	62	10	2.8	4.2
5	45	9.8	2.2	1
6	47	8	1.5	2
7	48	9.8	2.2	1
8	47	9	2.2	1
9	47	9.8	2	1
10	47	9.8	2.2	1.5
11	47	9.8	2.2	1
12	62	10	2.8	4.2

ตารางที่ 15 แสดงผลจากการวัดค่าเนื้อสัมผัสและสี ของผลิตภัณฑ์เบรคสดักเพื่อใช้ในการทวนสอบแบบจำลอง

การทดลองที่	คุณลักษณะต่าง ๆ				
	ความแข็ง (นิวตัน)	ค่าครรชนี ความยืดหยุ่น	ปริมาตร จำเพาะ (ลบ.ซม.)	L* ของสี เปลือก	L* ของสีเนื้อ ใน
1	9.15	0.84	1.89	50.94	76.45
2	14.76	0.85	1.91	52.48	73.18
3	15.46	0.86	1.93	54.43	73.23
4	12.21	0.82	1.89	51.10	74.91
5	17.32	0.85	1.90	56.18	73.99
6	15.25	0.87	1.95	50.48	73.23
7	14.42	0.86	1.98	56.72	72.69
8	15.56	0.87	1.97	59.03	71.93
9	12.29	0.86	1.98	56.48	72.52
10	14.60	0.87	1.88	55.36	73.33
11	15.24	0.88	1.94	54.42	74.33
12	7.83	0.82	1.89	52.47	74.91

ตารางที่ 16 สมการและประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลอง	สมการ	ประสิทธิภาพของแบบจำลอง			
		ขั้นตอนการสร้าง		ขั้นตอนการทดสอบ	
		r	MSE	r	MSE
ความแข็ง (y_1)	$y_1 = -6.032 + 1.19 \times 10^7 x_1^{-3.86} - 1.1735x_2 + 20.4017x_3 - 7.5466x_4 - 9.60 \times 10^5 x_1^{-3.86} x_2 - 0.7588x_1 x_3 + 2.33 \times 10^7 x_1^{-3.86} x_4 + 1.2018x_2 x_3 - 0.1506x_2 x_4 + 0.7336x_3 x_4 + 0.0125x_1^2 - 0.0586x_2^2 + 3.5671x_3^2 - 0.729x_4^2$	0.9937	11.6000	0.8082	5.2423
ดรรชนีความยืดหยุ่น (y_2)	$y_2 = 0.5741 + 0.0171x_1 - 0.0166x_2 - 0.0439x_3 - 0.0084x_4 + 6.99 \times 10^{-5} x_1 x_2 + 0.0019x_1 x_3 + 5.29 \times 10^{-4} x_1 x_4 - 0.0043x_2 x_3 - 4.31 \times 10^{-4} x_2 x_4 - 0.0021x_3 x_4 - 2.16 \times 10^{-4} x_1^2 + 0.001x_2^2 - 0.0071x_3^2 - 0.0046x_4^2$	0.8072	0.0011	0.8617	0.0002
ปริมาตรจำเพาะ (y_3)	$y_3 = -0.6962 + 0.0989x_1 + 0.0157x_2 - 0.0932x_3 - 0.1525x_4 + 0.0003x_1 x_4 + 0.0046x_2 x_4 - 0.0008x_1^2 - 0.0008x_2^2 - 0.0120x_3^2 + 0.0043x_4^2$	0.9786	0.0037	0.8918	0.0008
L* ของสีเปลือก (y_4)	$y_4 = 103.0110 - 1.3873x_1 - 5.7191x_2 + 11.7007x_3 + 3.0689x_4 + 0.0195x_1 x_2 - 0.1084x_1 x_3 - 0.0851x_1 x_4 - 0.3128x_2 x_3 + 0.0214x_2 x_4 - 0.5259x_3 x_4 + 0.0150x_1^2 + 0.2723x_2^2 + 0.1896x_3^2 + 0.2296x_4^2$	0.9109	3.4028	0.8311	4.3022
L* ของสีเนื้อใน (y_5)	$y_5 = 104.192 - 0.9987x_1 - 3.0464x_2 + 5.6797x_4 + 0.0384x_1 x_2 + 0.0614x_1 x_3 - 0.0847x_1 x_4 - 0.0161x_2 x_4 - 0.7051x_3 x_4 + 0.0084x_1^2 + 0.068x_2^2 - 0.1597x_3^2$	0.9046	0.8300	0.7064	5.6500

หมายเหตุ x_1 คือ ปริมาณน้ำ (ร้อยละ) x_2 คือ ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) x_3 คือ ปริมาณ HPMC (ร้อยละ) และ x_4 คือ ปริมาณแซนแทนกัม (ร้อยละ)

จากประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการพิจารณาจากค่า r และ MSE ของแบบจำลองทั้งจากขั้นตอนการสร้าง และขั้นตอนการทดสอบ จะพบว่าค่า r มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งหมายความว่าแต่ละแบบจำลองสามารถทำนายค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ให้มีทิศทางไปในทางเดียวกับค่าจริงที่ได้จากการวัดค่าได้ ในขณะที่เดียวกันค่า MSE ที่ได้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละคุณลักษณะ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงจากการวัดค่า

แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า r จากทั้ง 2 ขั้นตอนจะพบว่า r ของขั้นตอนการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าค่า r จากขั้นตอนการสร้าง โดยเฉพาะแบบจำลองของความแข็งแรง และ L^* ของสีเนื้อใน เนื่องมาจากการวางแผนแบบ CCD ซึ่งเป็นแผนที่ช่วยลดจำนวนสิ่งทดลองให้ลดลงจากการวางแผนแบบแฟคทอเรียล ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจะไม่สมบูรณ์สำหรับการสร้างแบบจำลอง เพราะฉะนั้นแบบจำลองที่ได้ อาจจะมีความผิดพลาดในการทำนายได้ในบางส่วนของข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้จำนวนข้อมูลที่น้อย สามารถนำไปสู่ปัญหา overfitting ของแบบจำลอง ซึ่งเป็นปัญหาที่แบบจำลองมีลักษณะการทำนายผิดพลาด เนื่องมาจากจำนวนของข้อมูลที่น้อย (Gershenfeld, 1999) ทำให้ค่า r จากขั้นตอนการทดสอบของบางคุณลักษณะ เช่น ความแข็งแรง และค่า L^* ของสีเนื้อใน มีค่าน้อยกว่าค่า r ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองได้

3.2.3. การทำนายสูตรเบรคสตีกที่เหมาะสมที่สุด

การทำนายสูตรเบรคสตีกที่เหมาะสมนั้นจะต้องกำหนดสมการวัตถุดิบประสม (สมการที่ 1) ในที่นี้มีวัตถุดิบประสมให้ได้เบรคสตีกราคาต้นทุนต่ำที่สุด โดยราคาของวัตถุดิบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ น้ำ น้ำมันพืช HPMC แชนแทนกัม แป้งข้าว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง น้ำตาล กลีเซอรีน และไข่ มีราคา (บาทต่อกรัม) เท่ากับ 0.01, 0.04, 0.70, 1.20, 0.02, 0.03, 0.05, 0.01, 0.01, 0.31 และ 0.05 บาท ตามลำดับ กำหนดขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการตามผลิตภัณฑ์ที่มีขายในตลาด ซึ่งได้แก่ ความแข็งแรง มีค่าระหว่าง 4.18 – 7.79 นิวตัน ธรรมชาติความยืดหยุ่นมีค่ามากกว่า 0.85 ปริมาตรจำเพาะมีค่ามากกว่า 2.5 ลบ.ซม.ต่อกรัม L^* ของสีเปลือกมีค่าระหว่าง 53.93 - 62.70 และ L^* ของสีเนื้อในมีค่าระหว่าง 76.47 - 79.61 โดยใช้สมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองที่ผ่านการทดสอบมาเรียบร้อยแล้วข้างต้น จากนั้นจึงแก้ปัญหาโดยเทคนิค least square criterion เพื่อให้ได้ปริมาณของ น้ำ ไขมัน HPMC และแชนแทนกัมที่เหมาะสม โดยที่มีราคาต้นทุนต่ำที่สุด และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงของผลิตภัณฑ์ที่ขายในตลาด

ตารางที่ 17 ราคาของส่วนประกอบของเบรคสติ๊กจากแป้งข้าวเจ้า

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก (กรัม)	ราคา (บาท/กรัม)	น้ำหนัก x ราคา (บาท)
น้ำ	x_1	0.010	$0.010x_1$
น้ำมัน	x_2	0.042	$0.042x_2$
HPMC	x_3	0.700	$0.700x_3$
แซนแทนกัม	x_4	1.200	$1.200x_4$
แป้งข้าว	72.92	0.016	1.166
แป้งมันสำปะหลัง	12.50	0.030	0.375
แป้งมันฝรั่ง	14.58	0.050	0.730
น้ำตาล	12.89	0.014	0.181
เกลือ	2.03	0.010	0.020
ยีสต์	3.61	0.310	1.116
ไข่	33.33	0.055	1.832

การหาสูตรที่เหมาะสมนั้นได้กำหนดวัตถุประสงค์ให้เบรคสติ๊กจากแป้งข้าวเจ้ามีราคาต้นทุนต่ำที่สุด โดยต้นทุนของส่วนผสมทั้งหมดแสดงไว้ดังตารางที่ 17 และสมการที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนคือสมการที่ 2 ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$\begin{aligned}
 \text{ราคาต้นทุน} &= [\text{ราคาของส่วนผสมทั้งหมด (บาท)} \\
 (\text{บาท} / 250 \text{ กรัมโด}) & / \text{น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด (กรัม)}] \times \text{น้ำหนักโด 250 กรัม} \\
 &= [((0.010x_1 + 0.042x_2 + 0.700x_3 + 1.200x_4) \\
 &\quad + (1.166 + 0.375 + 0.730 + 0.181 + 0.020 + 1.116 + 1.832)) \\
 &\quad / (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + 72.92 + 12.50 + 14.58 + 12.89 + 2.03 + 3.61 + 33.3)] \times 250 \\
 &= [((0.010x_1 + 0.042x_2 + 0.700x_3 + 1.200x_4) + 5.42) \\
 &\quad / (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + 151.80)] \times 250 \quad \text{----- (2)}
 \end{aligned}$$

โดยที่ x_1 = ปริมาณน้ำ (กรัม / แป้งทั้งหมด 100 กรัม)
 x_2 = ปริมาณไขมัน (กรัม / แป้งทั้งหมด 100 กรัม)
 x_3 = ปริมาณ HPMC (กรัม / แป้งทั้งหมด 100 กรัม)
 x_4 = ปริมาณแซนแทนกัม (กรัม / แป้งทั้งหมด 100 กรัม)

สำหรับสมการที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตนั้นจะใช้สมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง (ตารางที่ 16) โดยจะกำหนดให้ค่าที่ได้จากแต่ละสมการซึ่งได้แก่ สมการความแข็ง สมการครรชนีความยืดหยุ่น สมการปริมาตรจำเพาะ สมการ L^* ของสีเปลือก และสมการ L^* ของสีเปลือก มีขอบเขตดังนี้

สมการขอบเขต

$$4.18 < \text{ความแข็ง } (y_1) < 7.79 \quad \text{---- (3)}$$

$$\text{ครรชนีความยืดหยุ่น } (y_2) > 0.85 \quad \text{---- (4)}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ } (y_3) > 2.5 \quad \text{---- (5)}$$

$$53.93 < L^* \text{ ของสีเปลือก } (y_4) < 62.70 \quad \text{---- (6)}$$

$$76.47 < L^* \text{ ของสีเนื้อใน } (y_5) < 79.61 \quad \text{---- (7)}$$

จากการคำนวณพบว่าสูตรที่เหมาะสมเมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณแป้ง (โดยที่แป้งทั้งหมดประกอบด้วยแป้งข้าวร้อยละ 72.92 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.50 และแป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.58) ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 59.64 ไขมันร้อยละ 11.09 HPMC ร้อยละ 2.01 แซนแทนกัมร้อยละ 1.65 น้ำตาลร้อยละ 12.89 เกลือร้อยละ 2.03 ยีสต์ร้อยละ 3.61 และไขมันร้อยละ 33.33 จากการทำนายของแบบจำลอง สูตรดังกล่าวทำให้ได้เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีค่าคุณภาพต่าง ๆ ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 คุณลักษณะต่าง ๆ ของเบรคสดี๊กจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการทำนายผลจากแบบจำลอง

คุณลักษณะ	ค่าจากการทำนาย
ความแข็ง (นิวตัน)	4.18
ค่าดัชนีความยืดหยุ่น	0.84
ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม.)	2.18
สี	
เปลือก L*	56.88
เนื้อใน L*	79.61
ราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (บาท/โค 250 กรัม)	10.91

3.2.4. การทวนสอบสูตรที่เหมาะสม

หลังจากที่ทำนายสูตรที่เหมาะสมแล้ว ก่อนจะนำสูตรนี้ไปใช้งานจะต้องทำการทวนสอบสูตรที่เหมาะสม และสูตรที่ใกล้เคียงกับสูตรที่เหมาะสม แผนการทดลองสำหรับการทวนสอบแสดงได้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การทดลองที่ใช้ในการทวนสอบสูตรที่เหมาะสม

การทดลองที่	ร้อยละ			
	น้ำ	ไขมัน	HPMC	แซนแทนกัม
Opt.	59.64	11.09	2.01	1.65
+10%W	65.60	11.09	2.01	1.65
-10%W	53.67	11.09	2.01	1.65
+10%H:X	59.64	11.09	2.21	1.81
-10%H:X	59.64	11.09	1.81	1.48

- หมายเหตุ 1. Opt. หมายถึง การทดลองที่มีปริมาณของน้ำ ไขมัน HPMC และแซนแทนกัมตามสูตรที่เหมาะสมที่คำนวณได้จากแบบจำลอง
2. +10%W และ -10%W หมายถึง เพิ่ม และลดปริมาณของน้ำในปริมาณร้อยละ 10 จากจุด Opt. ตามลำดับ
3. +10%H:X และ -10%H:X หมายถึง เพิ่ม และลดปริมาณของอัตราส่วนของ HPMC ต่อแซนแทนกัมในปริมาณร้อยละ 10 จากจุด Opt. ตามลำดับ

การทดสอบความถูกต้องของสูตรที่เหมาะสมทำได้โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการวิเคราะห์ t-test ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนาย (ตารางที่ 20) โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะโดยรวม (ไม่ได้เปรียบเทียบเฉพาะจุด) พบว่าค่าจากการทดลองจริง และค่าจากการทำนายของ ความแข็ง ธรรมชาติความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ และ L^* ของสีเปลือก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ L^* ของสีเนื้อใน มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากจุดที่ทำการทดลองมีปริมาณของ น้ำ ไขมัน HPMC และ แซนแทนกัม ใกล้เคียงกันมาก การเบี่ยงเบนของค่าสีที่เนื้อในเพียงเล็กน้อยสามารถนำไปสู่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองจริงและจากแบบจำลองของสูตรที่เหมาะสม

คุณลักษณะต่าง ๆ	การทดลองที่						
	Opt.	+10%W	-10%W	+10%H:X	-10%H:X	เฉลี่ย	
ความแข็ง (นิวตัน)							
ค่าจริง	5.50	4.14	7.81	6.68	4.30	5.69 ^a	
ค่าทำนาย	4.18	2.66	7.55	4.78	3.86	4.60 ^a	
ปริมาตรจำเพาะ(ลบ.ชม.)							
ค่าจริง	2.25	2.16	2.11	2.12	2.22	2.17 ^a	
ค่าทำนาย	2.18	2.19	2.10	2.14	2.22	2.17 ^a	
L* ของสีเปลือก							
ค่าจริง	57.01	59.19	57.76	57.46	57.16	57.72 ^a	
ค่าทำนาย	56.88	58.82	55.76	56.76	56.78	57.00 ^a	
L* ของสีเนื้อใน							
ค่าจริง	75.19	79.67	76.46	77.14	76.99	77.09 ^b	
ค่าทำนาย	79.61	82.43	77.48	79.84	79.42	79.76 ^a	
ค่าดัชนีความยืดหยุ่น							
ค่าจริง	0.86	0.84	0.86	0.84	0.85	0.85 ^a	
ค่าทำนาย	0.84	0.82	0.86	0.85	0.85	0.84 ^a	

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งของแต่ละคุณลักษณะ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.3. ศึกษาผลของกรรมวิธีการผสมแป้งต่อคุณภาพเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

ในการศึกษาผลของเวลาการผสมที่มีต่อค่าคุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 21) โดยในการผสมโดแต่ละครั้งจะผสมโดในปริมาณ 1,200 กรัม และใช้ความเร็วในการผสมที่ระดับ 6 ทุกครั้ง พบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมลดลงทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยโดยผสม 7 นาทีจะทำให้เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้ามีความแข็งมากกว่าการผสม 15 และ 11 นาที ตามลำดับ แต่การผสม 11 และ 15 นาที จะให้เบรคสตีกที่มีความแข็งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามการผสม 15 นาทีจะทำให้ดัชนีความยืดหยุ่นของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้ามากกว่าการผสม 7 นาที แต่ไม่มีความแตกต่างกับการผสม 11 นาทีอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าเวลาในการผสมในช่วง 7 – 15 นาที จะไม่มีผลต่อค่า a_w และปริมาตรจำเพาะของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า ถึงแม้ว่าเวลาในการผสมจะมีผลทำให้ปริมาตรของขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีเพิ่มขึ้นก็ตาม (Sahlstrom and Brathen, 1997)

ตารางที่ 21 คุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีเวลาการผสมแตกต่างกัน

คุณลักษณะ		ผสม 7 นาที	ผสม 11 นาที	ผสม 15 นาที
1. ความแข็ง (นิวตัน)		6.33 ± 0.54^a	5.50 ± 0.49^b	5.86 ± 0.58^b
2. ค่าดัชนีความยืดหยุ่น		0.87 ± 0.03^b	0.86 ± 0.02^{ab}	0.89 ± 0.05^a
3. ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม.)		2.20 ± 0.06^a	2.25 ± 0.06^a	2.22 ± 0.06^a
4. สี				
	เปลือก			
	L*	59.47 ± 2.15^a	57.01 ± 3.42^b	57.14 ± 3.72^{ab}
	a*	12.48 ± 1.42^a	11.73 ± 2.45^a	11.25 ± 2.79^a
	b*	33.59 ± 1.49^a	32.84 ± 2.13^a	33.07 ± 1.21^a
	เนื้อใน			
	L*	75.46 ± 2.27^a	75.19 ± 1.32^a	73.31 ± 1.62^b
	a*	-0.78 ± 0.10^b	-0.42 ± 0.08^a	-1.01 ± 0.07^c
	b*	15.78 ± 0.40^a	15.50 ± 0.51^b	15.15 ± 0.60^c
5. ค่า a_w		0.908 ± 0.002^a	0.909 ± 0.001^a	0.908 ± 0.002^a

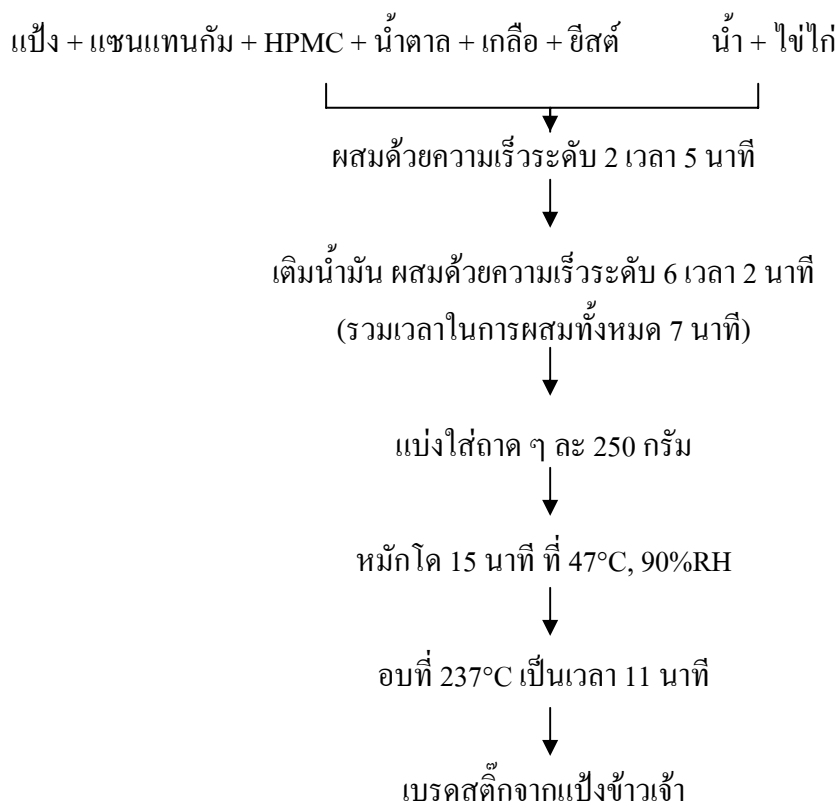
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการคัดเลือกเวลาที่ใช้ผสมโดยการทดสอบความชอบของผู้บริโภค (ตารางที่ 22) ก็พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อเบรคสตีกที่ผสม 7, 11 และ 15 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทำนองเดียวกับคะแนนความชอบที่มีต่อคุณลักษณะอื่น ๆ ก็พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน แสดงว่าผู้ทดสอบไม่สามารถบ่งบอกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้ จึงได้เลือกเวลาในการผสม 7 นาทีในการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าต่อไป แม้ว่าการผสมทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ผู้บริโภคก็ยังยอมรับได้ กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าได้แสดงไว้ดังภาพที่ 3 โดยเริ่มจากการผสมส่วนผสมแห้งเข้าด้วยกัน ซึ่งได้แก่ แป้ง แชนแทนกัม HPMC น้ำตาล เกลือ และยีสต์ จากนั้นผสมส่วนผสมเปียก ซึ่งประกอบด้วยน้ำและไข่ไก่ลงไป แล้วผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำมัน แล้วผสมด้วยความเร็วระดับ 6 เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งรวมแล้วจะใช้เวลาในการผสม 7 นาที นำโดที่ได้มาแบ่งใส่ถาด ๆ ละ 250 กรัม หมักที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 237 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 นาที แล้วจึงนำออกจากเตาอบ

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคทั่วไปต่อเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่มีเวลาในการผสมแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ผสม 7 นาที	ผสม 11 นาที	ผสม 15 นาที
1. ขนาดของเซลล์อากาศ	6.68 ± 1.00^{ns}	6.62 ± 1.28^{ns}	6.58 ± 1.18^{ns}
2. การกระจายตัวของเซลล์อากาศ	6.64 ± 1.19^{ns}	6.48 ± 1.43^{ns}	6.52 ± 1.22^{ns}
3. ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดดูความยืดหยุ่น)	6.82 ± 0.94^{ns}	6.70 ± 1.13^{ns}	7.02 ± 1.13^{ns}
4. ความแข็ง (เคี้ยวด้วยฟันกราม)	6.76 ± 1.12^{ns}	6.60 ± 1.40^{ns}	6.42 ± 1.18^{ns}
5. ความชอบโดยรวม	6.80 ± 1.01^{ns}	6.70 ± 1.34^{ns}	6.54 ± 1.09^{ns}

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 11 สรุปกรรมวิธีการผลิตเบรคสติ๊กจากแป้งข้าวเจ้า

หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในการหมักโด และเวลาที่ใช้ในการอบจะมากกว่าเวลาที่อยู่ในสูตรที่ 7 (ภาคผนวก ก) ที่ใช้เป็นสูตรพื้นฐาน เนื่องในการทดลองมีการผสม HPMC ลงไปเพิ่มเติม ทำให้เวลาการหมักโด และเวลาในการอบมีการเปลี่ยนแปลง จึงต้องทำการปรับให้เหมาะสมกับการทดลองที่มี HPMC อยู่

4. การวิเคราะห์คุณลักษณะเบรคสติ๊กจากแป้งข้าวเจ้า

ผลิตภัณฑ์เบรคสติ๊กจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 5 และมีค่าคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

4.1. คุณภาพทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 23 โดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้ววิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเบรคสตีกยี่ห้อ A และเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า พบว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีความแข็งมากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A เล็กน้อย แต่มีดรชนีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน เบรคสตีกของยี่ห้อ A จะมีปริมาตรจำเพาะมากกว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อพิจารณาที่สีของเปลือกบนของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีค่า L^* และ b^* มากกว่า แต่มีค่า a^* น้อยกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A แสดงว่าเปลือกของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีสีที่เหลืองซีดกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A ในขณะที่สีของเนื้อในของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีค่า L^* และ a^* น้อยกว่า แต่มีค่า b^* มากกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A และเบรคสตีกยี่ห้อ A จะมีค่า a_w ที่มากกว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 23 คุณภาพทางกายภาพของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับเบรคสตีกยี่ห้อ A

คุณลักษณะ	เบรคสตีกยี่ห้อ A	เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า
1. ความแข็ง (นิวตัน)	5.99 ± 1.81^b	6.33 ± 0.54^a
2. ค่าดัชนีความยืดหยุ่น	0.87 ± 0.02^a	0.87 ± 0.03^a
3. ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม.)	2.65 ± 0.10^a	2.20 ± 0.06^b
4. สี		
เปลือก L*	58.32 ± 4.38^b	59.47 ± 2.15^a
a*	14.57 ± 2.58^a	12.48 ± 1.42^b
b*	31.87 ± 2.32^b	33.59 ± 1.49^a
เนื้อใน L*	78.04 ± 1.57^a	75.46 ± 2.27^b
a*	-0.33 ± 0.09^a	-0.78 ± 0.10^b
b*	13.33 ± 0.52^b	15.78 ± 0.40^a
5. ค่า a_w	0.922 ± 0.006^a	0.908 ± 0.002^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2. คุณภาพทางเคมี

ตารางที่ 24 คุณภาพทางเคมีของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับเบรคสตีกยี่ห้อ A

คุณลักษณะ	เบรคสตีกยี่ห้อ A	เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า
1. ความชื้น (%)	29.11 ± 1.72^b	34.17 ± 0.72^a
2. TBA Number (มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม)	0.32 ± 0.05^a	0.30 ± 0.07^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับคุณภาพทางเคมีจะพบว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีความชื้นมากกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A แต่ทั้ง 2 จะมีค่า TBA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 24)

4.3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (QDA)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA (ตารางที่ 25) พบว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีค่าความแข็ง (ทั้งจากการใช้มือกดและจากการรับประทาน) ความแตกเปราะ และความยากง่ายในการเคี้ยว น้อยกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A อย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีความยืดหยุ่น การเกาะติดฟัน และความสามารถในการรวมตัวกันของตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในด้านลักษณะปรากฏพบว่า เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะมีสีอ่อนกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A แต่จะมีขนาดของเซลล์อากาศไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับคุณลักษณะด้าน กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และความรู้สึกตกค้างในปาก นอกจากกลิ่นและกลิ่นรสออริกาโนที่เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้ามีค่ามากกว่า เบรคสตีกของยี่ห้อ A แล้วคุณลักษณะอื่น ๆ ของทั้ง 2 ตัวอย่างจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าทางกายภาพ ระหว่างเบรคสตีกยี่ห้อ A กับเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้ในตารางที่ 23 จะเห็นได้ว่าคุณลักษณะหลายอย่างของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้มีค่าไม่ตรงกับเบรคสตีกของยี่ห้อ A ที่ได้ยึดเป็นต้นแบบในการพัฒนาในช่วงเริ่มต้น โดยเฉพาะค่าความแข็ง ปริมาตรจำเพาะ และสี ซึ่งจะเห็นได้ว่าความแข็งของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่พัฒนาได้จะมีค่ามากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A เล็กน้อย เพราะมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการผสมจาก 11 นาที เป็น 7 นาที นั่นเอง (ตารางที่ 22) ซึ่งหากเปรียบเทียบความแข็งระหว่างเบรคสตีกยี่ห้อ A กับเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าหลังจากการหาสูตรที่เหมาะสมจะเห็นว่าทั้งคู่จะมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน แต่ถึงอย่างไรก็ตามความแข็งในระดับ 6.33 นิวตัน ของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้านี้ผู้บริโภคยังให้คะแนนความชอบในระดับที่ยอมรับได้ คือ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ตารางที่ 22) แต่ถ้าหากพิจารณาค่าความแข็งที่ได้จากการทำ QDA พบว่า ผู้ทดสอบให้ความเข้มของแข็งทั้งจากการใช้มือกดและจากการรับประทานของเบรคสตีกยี่ห้อ A มากกว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าเปลือกของเบรคสตีกยี่ห้อ A มีความแข็ง กรอบ และหนา มากกว่าตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบช่วงแรก สำหรับค่าความยืดหยุ่นนั้นกลับพบว่า ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือ และจากวิธี QDA ของเบรคสตีกยี่ห้อ A และจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาที่สีเปลือกของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจะเห็นว่ามีความ L^* มากกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A ซึ่งสัมพันธ์กับค่าที่ได้จาก QDA ที่บอกว่าสีเปลือกบนของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าอ่อนกว่าสีเปลือกของเบรคสตีกยี่ห้อ A อย่างเห็นได้ชัด โดยสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับเรื่องของความแข็งที่เบรคสตีกของยี่ห้อ A ในช่วงแรกที่ใช้ทดสอบนั้นมีสีเหลืองอ่อนมากกว่าเบรคสตีกของยี่ห้อ A ที่ใช้ทดสอบในช่วงหลัง ทำให้การเปรียบเทียบสีระหว่างเบรคสตีกยี่ห้อ A และจากแป้งข้าวในช่วงหลังนั้น เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าจึงมีสีอ่อนกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A มาก

เมื่อพิจารณาค่าสีของเนื้อในจะเห็นว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าที่พัฒนาได้มีความ L^* และ a^* ที่ใกล้เคียงเบรคสตีกยี่ห้อ A แต่มีค่า b^* ที่มากกว่า ซึ่งค่า b^* ที่มากกว่านี้จะแสดงว่าเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้ามีความเป็นสีเหลืองที่มากกว่าเบรคสตีกยี่ห้อ A โดยลักษณะของความเป็นสีเหลืองในเนื้อขนมปังจะมีสีที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อขนมปังแสดงว่าสีที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสีที่อยู่ในส่วนผสมที่ใช้ทำเบรคสตีก เพราะหากเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งทำปฏิกิริยากับโปรตีนภายใต้การให้ความร้อนที่มักจะเกิดในการผลิตซอสถั่วเหลือง นงผิง และที่เปลือกขนมปัง (Whistler and Bemiller, 1999) ลักษณะการเกิดสีเหลืองจะต้องมีลักษณะกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอโดยเนื้อในบริเวณที่อยู่ใกล้เปลือกขนมปังจะต้องมีสีเหลืองเข้มและตรงกลางของเนื้อในจะต้องมีสีที่เหลืองอ่อนกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่อยู่ใกล้เปลือกจะสูงกว่าอุณหภูมิที่อยู่ตรงกลาง ซึ่งส่วนผสมที่จะมีผลต่อสีของเนื้อในของเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้านั้นอาจจะเป็นไข่เพราะในไข่มีเม็ดสีที่มีชื่อว่าแคโรทีน (carotenes) ที่ให้สีส้มเหลืองอยู่ในส่วนของไข่แดง โดยจะมีปริมาณของแคโรทีนอยู่ในไข่คิดเป็นร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักแห้ง (Yamamoto *et. al.*, 1997)

ตารางที่ 25 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

คุณลักษณะ	ยี่ห้อ A	เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า
เนื้อสัมผัสจากการใช้มือ		
1. ความยืดหยุ่น (Springiness)	7.54 ± 0.85^a	7.19 ± 1.16^a
2. ความแข็ง (Hardness)	2.64 ± 0.93^a	1.88 ± 0.68^b
3. ความแตกเปราะ (Fractuability)	4.89 ± 0.98^a	3.67 ± 0.85^b
เนื้อสัมผัสจากการรับประทาน		
4. ความแข็ง (Hardness)	5.37 ± 1.08^a	3.05 ± 0.69^b
5. ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	8.15 ± 0.76^a	5.88 ± 0.91^b
6. การเกาะติดฟัน (Adhesiveness)	7.85 ± 0.83^a	7.94 ± 1.18^a
7. ความสามารถในการรวมตัวกันของตัวอย่าง (Cohesiveness)	9.31 ± 1.18^a	9.36 ± 1.11^a
ลักษณะปรากฏ		
8. สี	6.34 ± 2.03^a	4.57 ± 1.07^b
9. ขนาดของเซลล์อากาศ	6.74 ± 1.64^a	6.83 ± 0.89^a
กลิ่น		
10. กลิ่นชีส	1.82 ± 1.41^a	1.53 ± 0.74^a
11. กลิ่นเค็ม	4.70 ± 2.35^a	4.26 ± 0.86^a
12. กลิ่นกระเทียม	2.28 ± 1.53^a	2.82 ± 1.02^a
13. กลิ่นออริกาโน	3.15 ± 1.89^b	4.59 ± 0.99^a
รสชาติ		
14. รสเค็ม	2.89 ± 1.53^a	2.86 ± 0.58^a
กลิ่นรส		
15. กลิ่นรสออริกาโน	2.23 ± 1.51^b	3.54 ± 0.95^a
16. กลิ่นรสกระเทียม	2.24 ± 1.22^a	2.53 ± 0.84^a
17. กลิ่นรสชีส	2.55 ± 1.34^a	2.21 ± 1.00^a

ตารางที่ 25 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ยี่ห้อ A	เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า
ความรู้สึกลิ้นในปาก		
18. มัน	6.79 ± 1.64^a	6.29 ± 1.11^a
19. เค็ม	3.04 ± 1.39^a	2.72 ± 0.71^a
20. ออริกาโน	2.66 ± 1.56^a	2.71 ± 1.08^a
21. กระเทียม	1.93 ± 1.30^a	1.93 ± 0.80^a
22. ซีส	1.53 ± 0.85^a	1.35 ± 0.65^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีก

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 146 คน บริเวณโรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ในการทดสอบด้านความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ ของเบรคสตีก พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และความชอบโดยรวมในช่วงชอบปานกลาง (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ
ลักษณะปรากฏ	7.15 ± 1.08
ความนุ่ม	7.54 ± 1.10
ความชอบโดยรวม	7.28 ± 0.97

เมื่อถามเกี่ยวกับการยอมรับในผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 89.73 และไม่ยอมรับ ร้อยละ 10.27 ซึ่งให้เหตุผลที่ไม่ยอมรับ คือ รสชาติยังไม่ถูกใจ จืด

นุ่มเกินไป ยังเหนียวไม่มากพอ มีความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 80.82 และไม่สนใจซื้อ ร้อยละ 19.18 ซึ่งให้เหตุผลที่คล้ายกับการไม่ยอมรับ (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 27 การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสดักจากแป้งข้าวเจ้า

การยอมรับและความสนใจซื้อ		จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
การยอมรับ	ยอมรับ	131	89.73
	ไม่ยอมรับ	15	10.27
ความสนใจซื้อ	ซื้อ	118	80.82
	ไม่ซื้อ	28	19.18

ผลการสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย ร้อยละ 30.82 เพศหญิง ร้อยละ 69.18 อายุ 16 – 20 ปี ร้อยละ 23.97 อายุ 21 – 25 ปี ร้อยละ 51.37 อายุ 26 – 30 ปี ร้อยละ 12.33 อายุ 31 – 35 ปี ร้อยละ 4.79 อายุ 36 – 40 ปี ร้อยละ 2.05 และมากกว่า 41 ปี ร้อยละ 5.48 ระดับการศึกษาที่มากที่สุดคือ ปริญญาตรี ร้อยละ 54.11 รองลงมาคือ สูงกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 22.60 มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช. ร้อยละ 20.55 ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย และอนุปริญญา (ปวส.) มีจำนวนเท่ากันคือร้อยละ 1.37 ประกอบอาชีพเป็นนักเรียน / นิสิต / นักศึกษา ร้อยละ 80.82 ซึ่งมีมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 6.85 พนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 4.79 ธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 3.42 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 4.11 ซึ่งมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน น้อยกว่า 5,000 บาท ร้อยละ 34.93 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 5,000 – 10,000 บาท ร้อยละ 39.04 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001 - 15,000 บาท ร้อยละ 15.07 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 15,001 – 20,000 บาท ร้อยละ 6.16 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001 – 30,000 บาท ร้อยละ 2.05 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 30,001 - 35,000 บาท และ มากกว่า 35,000 บาทมีจำนวนเท่ากันคือ ร้อยละ 1.37 (ตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
<u>เพศ</u>		
ชาย	45	30.82
หญิง	101	69.18
<u>อายุ</u>		
น้อยกว่า 15 ปี	0	0.00
16 – 20 ปี	35	23.97
21 – 25 ปี	75	51.37
26 – 30 ปี	18	12.33
31 – 35 ปี	7	4.79
36 – 40 ปี	3	2.05
มากกว่า 41 ปี	8	5.48
<u>การศึกษา</u>		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย	2	1.37
มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.	30	20.55
อนุปริญญา (ปวส.)	2	1.37
ปริญญาตรี	79	54.11
สูงกว่าปริญญาตรี	33	22.60
<u>อาชีพ</u>		
นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	118	80.82
พนักงานบริษัทเอกชน	7	4.79
ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	10	6.85
ธุรกิจส่วนตัว	5	3.42
อื่น ๆ	6	4.11

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
<u>รายได้ต่อเดือน</u>		
น้อยกว่า 5,000 บาท	51	34.93
5,000 – 10,000 บาท	57	39.04
10,001 - 15,000 บาท	22	15.07
15,001 – 20,000 บาท	9	6.16
20,001 – 25,000 บาท	0	0.00
25,001 – 30,000 บาท	3	2.05
30,001 - 35,000 บาท	2	1.37
มากกว่า 35,000 บาท	2	1.37

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั่วไปหรือลักษณะทางประชากรศาสตร์ ซึ่งได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้ กับการยอมรับและความสนใจซื้อเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า โดยศึกษาจากการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ (chi-square) พบว่าเพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้ ไม่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและความสนใจซื้อเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของการยอมรับผลิตภัณฑ์ หลังจากที่มีการให้ข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์แก่ผู้บริโภค โดยข้อมูลที่ให้นั้นเป็นข้อมูลทั่วไปของเบรคสตีกจากแป้งสาลี และประโยชน์ต่าง ๆ ของการใช้แป้งข้าวมาทดแทนแป้งสาลี ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับและมีความสนใจซื้อเพิ่มมากขึ้น โดยก่อนได้รับข้อมูลผู้บริโภคให้การยอมรับ ร้อยละ 89.73 แต่เมื่อได้รับทราบข้อมูลแล้วผู้บริโภคให้การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 100 (ตารางที่ 29) ส่วนความสนใจซื้อก่อนได้รับข้อมูลนั้นมีความสนใจร้อยละ 80.82 เมื่อได้รับข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์แล้ว ส่งผลให้ความสนใจซื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 88.36 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 30)

ตารางที่ 29 การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าหลังจากได้รับข้อมูล

การยอมรับเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า		หลังได้รับข้อมูล		Chi-square test
		ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	
ก่อนได้รับข้อมูล	ยอมรับ	131	0	- *
	ไม่ยอมรับ	15	0	

หมายเหตุ * หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าก่อนได้รับข้อมูล และหลังได้รับข้อมูลได้ เนื่องจากหลังได้รับข้อมูลมีการไม่ยอมรับเป็น 0

ตารางที่ 30 ความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าหลังจากได้รับข้อมูล

ความสนใจซื้อเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า		หลังได้รับข้อมูล		Chi-square test
		ซื้อ	ไม่ซื้อ	
ก่อนได้รับข้อมูล	ซื้อ	118	0	0.000*
	ไม่ซื้อ	11	17	

หมายเหตุ * หมายถึง การให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มีผลต่อความสนใจซื้อเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า เริ่มจากสำรวจผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์คุณภาพของเบรคสติกจากแป้งสาลีที่มีจำหน่ายในตลาด จากนั้นทำการพัฒนาสูตรเบรคสติกจากแป้งข้าวโดยใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์สูตร เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมแล้วจึงศึกษาเวลาในการนวดโดที่เหมาะสม แล้วนำผลิตภัณฑ์สุดท้ายมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการสำรวจตลาด พบว่าในตลาดมีเบรคสติกทั้งหมด 2 ยี่ห้อ นั่นคือ ยี่ห้อ A และ B เมื่อนำเบรคสติกทั้ง 2 ยี่ห้อไปตรวจคุณภาพซึ่งได้แก่เนื้อสัมผัส (พิจารณาเฉพาะค่าความแข็ง ครรชนความยืดหยุ่น) ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และค่าปริมาตรจำเพาะ จะให้ค่าที่แตกต่างกัน ยกเว้นค่าครรชนความยืดหยุ่นที่มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบความชอบ ผู้ทดสอบชอบเบรคสติกยี่ห้อ A มากกว่า ยกเว้นขนาดของชิ้นที่เสิร์ฟ เพราะฉะนั้นจึงใช้เบรคสติกยี่ห้อ A เป็นต้นแบบในการพัฒนาเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า โดยพิจารณาจากค่าความแข็ง ครรชนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ ค่าสี (L^*) ของเปลือกและเนื้อในของเบรคสติก แบบจำลองที่ใช้ในการหาสูตรเบรคสติกที่เหมาะสมจึงได้แก่ แบบจำลองของความแข็ง ครรชนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ ค่าสี (L^*) ของเปลือก และเนื้อในของเบรคสติก

2. แป้งที่ใช้ในการผลิตเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 6.61 0.12 10.98 2.11 0.52 และ 79.66 ซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 23.66

3. ในการพัฒนาสูตรเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะนำมาใช้ในการหาสูตรของเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้ทำนายการทดลองได้ในระดับดีพอสมควรเพราะพิจารณาจากค่า r ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 และค่า MSE ที่ต่ำ และเมื่อนำแบบจำลองที่ได้นี้มาใช้ในการศึกษาสูตรที่เหมาะสมจะได้สูตรเบรคสติกจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณแป้ง (โดยที่แป้งทั้งหมดประกอบด้วยแป้งข้าวร้อยละ 72.92 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.50 และแป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.58) ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 59.64 ไขมันร้อยละ 11.09 HPMC ร้อยละ 2.01 แชนแทนกัมร้อยละ 1.65 น้ำตาลร้อยละ 12.89 เกลือร้อยละ 2.03

ยีสต์ร้อยละ 3.61 และโปรย้อยละ 33.33 และต้นทุนของวัตถุดิบที่คำนวณได้เท่ากับ 10.91 บาท ต่อ โค เบรดสตีก 250 กรัม และในศึกษากรรมวิธีการผลิตพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมโด คือ 7 นาที

4. เบรดสตีกจากแป้งข้าวเจ้าสุกห้ายที่ได้มีค่าความแข็งเท่ากับ 6.33 นิวตัน ค่าดัชนีความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.87 ค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2.20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ค่า L^* a^* และ b^* ของสีเปลือกเท่ากับ 59.47 12.48 และ 33.59 ตามลำดับ ค่า L^* a^* และ b^* ของสีเนื้อในเท่ากับ 75.46 -0.78 และ 15.78 ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.908 ค่าความชื้นร้อยละ 34.17 และค่า TBA เท่ากับ 0.30 มิลลิกรัม malonaldehyde ต่อ กิโลกรัม และจากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง และผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์เบรด สตีกจากแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 89.73 มีความสนใจซื้อร้อยละ 80.82 และพบว่าการให้ข้อมูลที่ดีของผลิตภัณฑ์แก่ผู้บริโภคจะมีผลทำให้การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 และความสนใจซื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 88.36 แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของข้อมูลทางประชากรศาสตร์ที่มีต่อการยอมรับและความสนใจซื้อของผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ได้มีข้อเสนอแนะว่าต้องการเปลือกของเบรดสตีกที่กรอบมากกว่านี้ เพราะฉะนั้นในการปรับปรุงคุณภาพควรมีการศึกษาในเรื่องกระบวนการอบเพิ่มเติม ซึ่งได้แก่ระยะเวลาและอุณหภูมิการอบ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการอบ เป็นต้น

2. ในสูตรของเบรดสตีกจากแป้งข้าวเจ้ามีไข่เป็นส่วนผสม ซึ่งจะก่อให้เกิดกลิ่นคาวไข่เล็กน้อย ทำให้ผู้บริโภคบางส่วนไม่ชอบ ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงคือ ใช้แหล่งโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น ถั่วเหลือง

3. หากมีการพัฒนาเพื่อจำหน่ายให้กับบุคคลทั่วไปที่ต้องการแป้งสำเร็จรูปไปทำเองที่บ้าน ควรมีการศึกษาในเรื่องการผสมวัตถุดิบเพื่อให้เป็นแป้งสำเร็จรูป เช่น ปฏิกริยาของส่วนผสมแห้งที่นำมาผสมกันต่ออายุการเก็บ หรือเพื่อความสะดวกในการบริโภคอีกรูปแบบหนึ่งคือ เบรดสตีกสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. ครั้งที่ 6. บริษัท
ธรรมสาร จำกัด, กรุงเทพฯ.
- จิตรนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2541. เบเกอร์เทคโนโลยีเบื้องต้น. ครั้งที่ 5.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ สอดจิตร์, ชีรพร กงบังเกิด และ กนกกานต์ วีระกุล. 2546. การพัฒนาสูตรแป้งข้าวเจ้า
สำเร็จรูปเพื่อผลิตขนมปังโดยใช้กัวร์กัมเป็นสารยึดเกาะ. อาหาร 33 (3): 222-232.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ ชังเทศ และ สมภพ ถาวรยิ่ง. 2530. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์. ครั้งที่ 3.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ โรจนไพบูลย์. 2537. ตำราการทำพิซซ่า. สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊กส์, กรุงเทพฯ.
- นวรรตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ. ม.ป.ป. PIZZA (พิซซ่า). บริษัท สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด, กรุงเทพฯ.
- นันทวัน เทอดไทย. 2548. เอกสารประกอบการสอน รหัสวิชา 054575 การสร้างตัวแบบจำลอง
เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นันทวัน เทอดไทย. 2549. การใช้คอมพิวเตอร์ในการพัฒนากระบวนการ, น. 251. ใน รุ่งนภา
พงศ์สวัสดิ์มานิต, ผู้รวบรวม. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. ครั้งที่ 1. โอ เอส พรีนติ้ง เฮาส์. กรุงเทพฯ

ปริศนา สุวรรณภรณ์. 2547. เอกสารคำสอน วิชา 052426 เบเกอรี่เทคโนโลยี. ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์,
รุ่งทิพา วันสุขศรี และ บุญทิพา นิลจันทร์. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์
ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธิ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ สีนขวาดัย และ กมลวรรณ แจ่มชัด. 2544. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการทำ
ขนมอบ เล่ม 1 วิทยาศาสตร์การทำขนมอบ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2524. แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง. มอก. 374-2524. สำนักงาน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ

สุนทร สหัสโพธิ์. 2533. ความสำคัญของอะมิโลสและสารยึดเกาะในการผลิตขนมปังโดยใช้แป้ง
ข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุพัตรา สุวรรณชาดา. ม.ป.ป. 40 ปี ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. โรงพิมพ์ตระกูลไทย, พิษณุโลก.

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ELS. 2535. ขนมปัง/ELS. สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊กส์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. เคมีทางัญญาอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed.
Gaithersburg, Maryland

Atwell, W.A., L.F. Hood, D.R. Lineback, E. Varriano – Marston and H.F. Zobel. 1988.

The terminology and methodology associated with basic starch phenomena.

Cereal Foods World 33 : 306 – 311.

Bagdan, Galen Corey. 2000. **Shelf-life Extension Studied On An Omega-3 Enriched**

Breakfast Cereal. M.S. thesis, Macdonald Campus of McGill University, Canada.

Barcenas, M. E., C. Benedito and C. M. Rosell. 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. **Food Hydrocolloids** 18: 769–774.

Barcenasa, M. E. and C. M. Rosell. 2006. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. **Journal of Food Engineering** 72 (1): 92-99.

Bean, C.M., E.A. Elliston-Hoops and K.D. Nishita. 1983. Rice flour treatment for cake-baking application. **Cereal Chem** 60 (6): 445-449.

Chartrand, L. J., P. A. Russo, A. G. Duhaime and E. G. Seidman. 1997. Wheat starch intolerance in patients with celiac disease. **Journal of the American Dietetic Association.** 97 : 612 – 618.

Czuchajowaska, Z and Y. Pomeranz. 1989. Differential scanning calorimetry, water activity and moisture content in crumb center and near crust zone of bread during storage. **Cereal Chem.** 66 : 305 – 309.

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.

- Farkas, Jozsef, Eva Andrassy and Katalin Polyak-Feher. 2005. Improvement of the microbiological safety of two chilled semi-prepared meals by gamma irradiation. **Food Technol. Biotechnol.** 43 (3): 263-269.
- Gallagher, E., T.R. Gormley and E.K. Arendt. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering.** 56: 153-161.
- Gershenfeld, Neil. 1999. **The Nature of Mathematical Modeling.** 1 ed. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Giordano, Frank R., Maurice D. Weir and William P. Fox. 2003. **A First Course in Mathematical Modeling.** 3 ed. Thomson Learning, Inc., United State.
- Glicksman, Martin. 1982. **Food Hydrocolloid Volume I.** CRC Press, Inc., United State.
- Guarda, A, C.M. Rosel, C. Bénédict and M.J. Galotto. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. **Food Hydrocolloids** 18: 241–247.
- Gujral, H.S. and C.M. Rosell. 2004. Improvement of breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. **Food Research International.** 37: 75-81.3.
- Gujral, H.S., M. Haros and C. M. Rosell. 2004. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and alfa-amylase. **Journal of Food Engineering** 65: 89–94.
- Haglin, David J., Jon Hakkila, Tim Giblin, Richard J. Roig and William Paciesas. 2002. **Performance Measures for Numeric Prediction.** GRB Tool Shed. Available Source: http://grb.mnsu.edu/grbts/doc/manual/Error_Measurements.html, September 28, 2006.

- Haque, Anwarul, Edwin R. Morris and Robert K. Richardson. 1994. Polysaccharide substitutes for gluten in non-wheat bread. **Carbohydrate Polymers**. 25 (4): 337-344.
- He, H. and R.C. Hoseney. 1990. Changes in bread firmness and moisture during long term storage. **Cereal Chem**. 67 : 603 – 605.
- He, H. and R.C. Hoseney. 1991. Gas retention in bread dough during baking. **Cereal Chem**. 68(4) : 521 – 525.
- Hillson, Beth. 2004. **Grilled Scallion Bread**. Gluten-Free Pantry. Available Source: <http://www.livingwithout.com/recipes/recipes-scallionbread.html>, July 5, 2004.
- Holland, Barb. 1999. **Bakery's Rice Flour Bread Rises to the Occasion: Rice Bread**. Recipes for natural health. Available Source: <http://www.recipenet.org/health/articles/bakery.htm>, July 5, 2004.
- Imeson, A. 1997. **Thickening and Gelling Agent for Food**. 2nd ed. St Edmundsbury Press, Great Britain.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylase. **Cereal Sci Today**. 16: 334-360
- Juliano, B.O. 1972. **Rice Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota.
- Junqueira, R.M., I.A. Castro, J.A.G. Areas, A.C.C. Silva, M.B.S. Scholz, S. Mendes and K.C. Oliveir. 2007. Application of response surface methodology for the optimization of oxidants in wheat flour. **Food Chemistry** 101: 131–139.

- Katina, K., E. Arendt, K.-H. Liukkonen, K. Autio, L. Flander and K. Poutanen. 2005. Potential of sourdough for healthier cereal products. **Trends in Food Science and Technology**. 16: 104-112.
- Katina, K., R. L. Heinio, K. Autio and K. Poutanen. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. **Food Science and Technology** 39 (10): 1189-1202.
- Kelly, Ciaran. 2005. **Celiac Disease**. National institute of diabetes and digestive and kidney diseases. Available Source: <http://digestive.niddk.nih.gov/ddiseases/pubs/celiac>, August 1, 2006.
- 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.
- Li, Qianfeng, Xingguo Chen and Zhide Hu. 2004. Quantitative structure–property relationship studies for estimating boiling points of alcohols using calculated molecular descriptors with radial basis function neural networks. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems** 72 (1): 93-100.
- Lizard, Aka. 2003. **Rice Flour Gluten Free Bread**. Ellen's kitchen. Available Source: <http://etherwork.net/ejmtph/recipes/glutenfreebread.html>, July 5, 2004.
- Luh, Bor. S. 1991. **Rice Utilization**. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Martin, M.L. and R.C. Hosney. 1991. A mechanism of bread firming, II. Role of starch hydrolyzing enzymes. **Cereal Chem.** 68(5) : 503 – 507.
- Matz, S. A. 1992. **Bakery Technology and Engineering**. 3rd ed. New York.

- Nishita, K. D. and M. M. Bean. 1979. Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. **Cereal Chemistry**. 56(3): 185 – 189.
- Nishita, K. D., R. L. Roberts and M.M. Bean. 1975. Development of a yeast-leavened rice-bread formula. **Cereal Chemistry**. 53(5): 626-635.
- Palacios, M. C., Y Sanza, M Haros and C. M. Rosell. 2006. Application of Bifidobacterium strains to the breadmaking process. **Process Biochemistry**. Article in Press
- Pearson, D. 1976. **The Chemical Analysis of Foods**. Chemical Publ. Co., Inc., New York, pp. 642 – 643.
- Polydera, A.C., N.G. Stoforos and P.S. Taoukis. 2005. Quality degradation kinetics of pasteurised and high pressure processed fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life. **Innovative Food Science & Emerging Technologies** 6 (1): 1-9.
- Pruessner, Harold T. 1998. **Detecting Celiac Disease in Your Patients**. American Family Physician. Available Source: <http://www.aafp.org/afp/980301ap/pruessn.html>, August 1, 2006.
- Pylar, E.J. 1973. **Baking Science and Technology Vol I**. Siebel Publishing Co., Chicago.
- Sahlstrom, S and E. Brathen. 1997. Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. **Food Chemistry** 1-2 (58): 75-80.
- Sivaramakrishnan, H.P., B. Senge and P.K. Chattopadhyay. 2004. Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal of Food Engineering**. 62: 37-45.
- Tako, M. and S. Hizukuri. 2000. Retrogradation mechanism of rice starch. **Cereal Chem.** 71(6) : 627 – 631.

- Taylor, John R.N., Tilman J. Schober and Scott R. Bean. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**. Article in Press
- Whistler, Roy L. and James N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2 ed. American Association of Cereal Chemists, U.S.A.
- Yamamoto, Takehiko, Lekh Raj Juneja, Hajime Hatta and Mujo Kim. 1997. **Hen Eggs : Their Basic and Applied Science**. CRC Press, Inc., U.S.A.
- Yamashita, F. and M. Hashida. 2003. Mechanistic and empirical modeling of skin permeation of drugs. **Advanced Drug Delivery Reviews** 55: 1185–1199.
- 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.
- Zobel, H. F. and K. Kulp. 1996. The staling mechanism, pp. 1 – 64 *In* R.E. Hebeda and H.F. Zobel (eds.). **Baked Goods Freshness**. Marcel Dekker, Inc., New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรเบรคติกพื้นฐานจากแป้งข้าวเจ้า

สูตรขนมปังปราศจากกลูเตน

สูตรที่ 1 (Hillson, 2004)

ส่วนประกอบ

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้ง	100
2. แชนแทนกัม	3.9
3. น้ำตาล	12.9
4. เกลือ	2.0
5. ยีสต์	3.6
6. น้ำ	77.2
7. ไข่ไก่	33.3
8. น้ำมันพืช	9.2

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยไข่ และ น้ำ ผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมน้ำมันลงไป เพิ่มความเร็วในการผสมเป็นระดับ 6 เป็นเวลา 6 นาที
2. แบ่งใส่ถาด ๆ ละ 250 กรัม
3. หมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. อบที่อุณหภูมิ 205 °C เป็นเวลา 20-25 นาที หรือจนกระทั่งขนมปังมีสีน้ำตาลทอง

หมายเหตุ แป้งทั้งหมดประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 72.9 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.5 และ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.6

สูตรที่ 2 (Hillson, 2004)

ส่วนประกอบ

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้ง	100
2. กัวกัม	3.9
3. น้ำตาล	12.9
4. เกลือ	2.0
5. ยีสต์	3.6
6. น้ำ	77.2
7. ไข่ไก่	33.3
8. น้ำมันพืช	9.2

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยไข่ และ น้ำ ผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมน้ำมันลงไป เพิ่มความเร็วในการผสมเป็นระดับ 6 เป็นเวลา 6 นาที
2. แบ่งใส่ถาด ๆ ละ 250 กรัม
3. หมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. อบที่อุณหภูมิ 205 °C เป็นเวลา 20-25 นาที หรือจนกระทั่งขนมปังมีสีน้ำตาลทอง

หมายเหตุ แป้งทั้งหมดประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 72.9 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.5 และ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.6

สูตรที่ 3 (Lizard, 2003)

ส่วนผสม

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้ง	100
2. แชนแทนกัม	2.8
3. ยีสต์	2.7
4. นมผง	17.3
5. น้ำตาล	10.9
6. เกลือ	3.1
7. น้ำ	109.0
8. น้ำมัน	12.9
9. ไข่ไก่	34.3

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมที่เป็นของแห้งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยไข่ น้ำ และน้ำมันตามลำดับ
2. เทส่วนผสมทั้งหมดลงถาด ๆ ละ 250 กรัม หมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. อุ่นเตาอบไว้ที่ 218°C แล้วต้อนอบลดไฟเหลือ 191°C ทันที อบเป็นเวลา 30-40 นาที

หมายเหตุ แป้งทั้งหมดประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 97.4 และแป้งข้าวโพดร้อยละ 2.6

สูตรที่ 4 (Holland, 1999)

ส่วนผสม

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้ง	100
2. เกลือ	3.2
3. ยีสต์	1.8
4. น้ำ	45.5
5. น้ำมัน	9.6
6. ไข่	52.4

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมที่เป็นของแห้งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยไข่ น้ำ และน้ำมันตามลำดับ
2. เทลงในถาดที่ทาน้ำมันแล้วถาดละ 250 กรัม
3. หมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. อบที่อุณหภูมิ 177°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

หมายเหตุ แป้งทั้งหมดประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 80.3 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 19.7

สูตรที่ 5 (Nishata, 1975)

ส่วนผสม

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้งข้าวเจ้า	100
2. ยีสต์	3.0
3. เกลือ	2.0
4. น้ำตาล	7.5
5. น้ำมันพืช	6.0
6. HPMC	3.0
7. น้ำ	75.0

วิธีทำ

1. ผสมของแห้งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยน้ำ และน้ำมัน ผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 2 นาที ใช้ไม้พายผสมให้แป้งเข้ากัน แล้วนวดต่อเป็นเวลา 3 นาที
2. หมักเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 87%
3. อบที่อุณหภูมิ 185 °C เป็นเวลา 35 นาที
4. เอาออกจากถาดแล้วทิ้งไว้ให้เย็นอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

สูตรที่ 6 (Sivaramakrishnan *et al.*, 2004)

ส่วนผสม

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด)
1. แป้งข้าวเจ้า	100.0
2. น้ำ	70.0
3. ยีสต์	2.7
4. เกลือ	1.8
5. น้ำตาล	7.3
6. HPMC	5.5

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมทุกอย่างรวมกัน
2. หมักเป็นเวลา 30 นาที ที่ 27°C
3. อบเป็นเวลา 30 นาที ที่ 220°C
4. ปล่อยให้เย็น 30 นาที

สูตรที่ 7 (ดัดแปลงจาก Hillson, 2004)

ส่วนประกอบ

	ร้อยละ (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1. แป้ง	100
2. แชนแทนกัม	3.9
3. น้ำตาล	12.9
4. เกลือ	2.0
5. ยีสต์	3.6
6. น้ำ	50
7. ไข่ไก่	33.3
8. น้ำมันพืช	9.2

วิธีทำ

1. ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้าด้วยกันก่อน ตามด้วยไข่ และ น้ำ ผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมน้ำมันลงไป เพิ่มความเร็วในการผสมเป็นระดับ 6 เป็นเวลา 6 นาที
2. แบ่งใส่ถาด ๆ ละ 250 กรัม
3. หมักเป็นเวลา 8 นาที ที่อุณหภูมิ 47 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90
4. อบที่อุณหภูมิ 237 °C เป็นเวลา 8 นาที

หมายเหตุ แป้งทั้งหมดประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 72.9 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 12.5 และ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 14.6

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามสำหรับการทดสอบผู้บริโภคร

แบบสอบถาม

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อเบรคสตีก (breadstick)

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เบรคสตีก เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า โดย นางสาวสุธิดา เนติปัญญา นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่านทั้งสิ้น

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ

นางสาวสุธิดา เนติปัญญา
ผู้ทำการวิจัย

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม และตรงตามความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อเบรคสตีก

1. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของเบรคสตีกแล้วทดสอบตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบใน ลักษณะปรากฏ ความนุ่ม และความชอบโดยรวมของเบรคสตีก โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึกของท่าน

คุณลักษณะ	ชอบ มาก ที่สุด	ชอบ มาก	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ ชอบ เล็กน้อย	ไม่ ชอบ ปาน กลาง	ไม่ ชอบ มาก	ไม่ ชอบ มากที่สุด
ลักษณะ ปรากฏ									
ความนุ่ม									
ความชอบ โดยรวม									

2. ท่านรู้สึกอย่างไรต่อ “เบรคสตีก” ที่พัฒนาขึ้นมานี้

() ยอมรับเพราะ.....

() ไม่ยอมรับเพราะ.....

3. ถ้ามี “เบรคสตีก” นี้จำหน่าย ท่านจะตัดสินใจอย่างไร

() ซื้อเพราะ.....

() ไม่ซื้อเพราะ.....

โปรดให้ข้อเสนอแนะ.....

ข้อมูลเกี่ยวกับเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า

เบรคสตีก (bread stick) เป็นขนมปังประเภทหนึ่งที่ทำจากแป้งพิชซ่าที่ไม่มีหน้าแต่มีการทาน้ำมันที่แต่งกลิ่นรสเฉพาะแล้วโรยด้วยออริกาโน (oregano) และพาร์มีจานชีส (parmesan cheese) รับประทานคู่กับคิปปีงซอส (dipping sauce) ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมรับประทานเบรคสตีกเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบในร้านพิชซ่า

โดยทั่วไป แป้งที่ใช้ในการผลิตเบรคสตีกเป็นแป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการนำเข้าแป้งข้าวมาทดแทนแป้งสาลีจึงเป็นการลดการนำเข้าของแป้งสาลี อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวที่ผลิตในประเทศไทยอีกด้วย

นอกจากนี้ เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้ายังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้ป่วยที่เป็นโรค Celiac Disease ซึ่งเป็นโรคที่เกี่ยวกับระบบการย่อยไม่สมบูรณ์ โดยมีสาเหตุเกิดจากการแพ้กลูเตนที่พบในข้าวสาลี เมื่อรับประทานอาหารที่มีกลูเตนเข้าไป ร่างกายจะสร้างสารขึ้นมาต่อต้านซึ่งจะไปทำลายส่วนที่ใช้ดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก ทำให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารเข้าสู่กระแสเลือดไม่ได้ เป็นเหตุให้ปวดท้อง ท้องบวม และท้องร่วงเรื้อรัง ทางเดียวที่จะรักษา คือ หลีกเลี่ยงอาหารที่มีกลูเตน (หรือหลีกเลี่ยงแป้งสาลี) ซึ่งเบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้าเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ปราศจากกลูเตน ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาให้กับผู้ที่แพ้สารดังกล่าว

4. เมื่อท่านได้ทราบข้อมูลข้างต้นแล้ว ท่านรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ “เบรคสตีกจากแป้งข้าวเจ้า”

- () ยอมรับเพราะ.....
- () ไม่ยอมรับเพราะ.....

5. เมื่อท่านได้อ่านข้อมูลข้างต้นแล้ว ท่านจะตัดสินใจอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ “เบรคสตีกจากแป้งข้าว”

- () ซื้อเพราะ.....
- () ไม่ซื้อเพราะ.....

โปรดให้ข้อเสนอแนะ.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

6. เพศ

() ชาย

() หญิง

7. อายุ

() น้อยกว่า 15 ปี

() 16 – 20 ปี

() 21 – 25 ปี

() 26 – 30 ปี

() 31 – 35 ปี

() 36 – 40 ปี

() มากกว่า 41 ปี

8. การศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

() ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย () มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

() อนุปริญญา (ปวส.)

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

9. อาชีพ

() นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

() พนักงานบริษัทเอกชน

() ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

() ธุรกิจส่วนตัว

() อื่น ๆ (โปรดระบุ)

10. รายได้ต่อเดือน

() น้อยกว่า 5,000 บาท

() 5,000 – 10,000 บาท

() 10,001 - 15,000 บาท

() 15,001 – 20,000 บาท

() 20,001 – 25,000 บาท

() 25,001 – 30,000 บาท

() 30,001 - 35,000 บาท

() มากกว่า 35,000 บาท

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการทดสอบความชอบ การคัดเลือกสูตรเบรคสตีกต้นแบบ

วันที่ _____

ตัวอย่าง เบรคสตีก

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะที่กำหนดให้

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

คุณลักษณะ	รหัส _____	รหัส _____
สีของเปลือกเบรคสตีก		
ขนาดของชิ้นตัวอย่างที่ใช้เสิร์ฟ		
กลิ่นโดยรวม		
ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดดูความยืดหยุ่น)		
กลิ่นรสโดยรวม		
รสชาติโดยรวม		
ความแข็ง (เคี้ยวด้วยฟันกราม)		
ความชอบโดยรวม		

ขอบคุณค่ะ

ใบรายงานผลการทดสอบความชอบ การคัดเลือกสูตรเบรคสตีกพื้นฐาน

วันที่ _____

ตัวอย่าง เบรคสตีก

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะที่กำหนดให้

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

คุณลักษณะ	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____
สีของเปลือกเบรคสตีก			
กลิ่นโดยรวม			
ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดดูความยืดหยุ่น)			
กลิ่นรสโดยรวม			
รสชาติโดยรวม			
ความแข็ง (เกี่ยวด้วยฟันกราม)			
ความชอบโดยรวม			

ขอบคุณค่ะ

ใบรายงานผลการทดสอบความชอบ การคัดเลือกเวลาที่ใช้ในการผสมโด

วันที่ _____

ตัวอย่าง เบรคสตีก

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบและความพอดีของแต่ละ
คุณลักษณะที่กำหนดให้

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

คะแนนความพอดี : 5 = เข้มมาก 4 = เข้มปานกลาง 3 = พอดี
2 = อ่อนปานกลาง 1 = อ่อนมาก

คุณลักษณะ	รหัส _____		รหัส _____		รหัส _____	
	ความ ชอบ	ความ พอดี	ความ ชอบ	ความ พอดี	ความ ชอบ	ความ พอดี
ขนาดของเซลล์อากาศ						
การกระจายตัวของเซลล์ อากาศ						
ความยืดหยุ่น (ใช้นิ้วกดดูความยืดหยุ่น)						
ความแข็ง (เคี้ยวด้วยฟันกราม)						
ความชอบโดยรวม						

ขอบคุณค่ะ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุธิดา เนติปัญญา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 5 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	อุดรธานี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	Conference paper - Formulating rice-flour based breadstick using modeling approach. - Sensory evaluation and physical measurement of textural characteristics of rice-flour based breadstick.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนศรีตรังทอง 2543 - ทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งด้านงานวิจัย 2547 โดย KURDI

