

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



190710

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเนื้อจากข้าวกล้องงอก
ด้วยกระบวนการแปรรูปที่ปลอดภัย

ศุภนุช ใจแปง

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มีนาคม 2554



**การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัฐพืชจากข้าวกล้องงอก
ด้วยกระบวนการเอกซ์ตรัคชัน**

ศุภนุช ไส่แปง



**วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร**

**บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554**

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้าัญพืชจากข้าวกล้องงอก
ด้วยกระบวนการเอกซ์ตรัคชัน

ศุภนุช ไล่แปง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ดร.ธนศ แก้วกำเนิด

.....กรรมการ
ดร.ยุทธนา พิมพ์ศิริผล

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรมล อุดมอ่าง

.....กรรมการ
ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ดร.ยุทธนา พิมพ์ศิริผล

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรมล อุดมอ่าง

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์

18 มีนาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ดร. ยุทธนา พิมพ์ศิริผล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรมล อุตมอ่าง และ ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และแก้ไขปัญหาดังๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ดร. ธเนศ แก้วกำเนิด ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและการพัฒนา ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ผนวท.) สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (palatyne™) และกลุ่มแปรรูป สีน้าเกษตรบ้านสบจาง จังหวัดลำปาง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้าวหอมมะลิแดงเพื่อใช้ในการ ทดลอง ขอขอบคุณผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ต่างๆ ท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และที่สำคัญขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ รวมถึง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน อีกทั้งเป็นกำลังใจ สำคัญในการทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และเพื่อนรักที่คอยห่วงใย เข้าใจ และเป็น กำลังใจให้มาโดยตลอด สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอมอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์ให้แก่ครู อาจารย์ และผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

สุกฤษ ไล่แปง

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก
ด้วยกระบวนการเอกซ์ทราซัน

ผู้เขียน

นางสาวศุภนุช ไส่แปง

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. ยุทธนา พิมลศิริผล

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรมล อุดมอ่าง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร. กิตติวุฒิ เกษมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

190710

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก โดย
ทำการศึกษาตั้งแต่กระบวนการเพาะงอก การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตโดยใช้กระบวนการ
เอกซ์ทราซัน การยอมรับ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาสถานะในการแช่ข้าว
กล้องพบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการงอกที่เหมาะสมคือ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3
ชั่วโมง ซึ่งมีผลทำให้ได้ปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma-aminobutyric acid, GABA)
สูงสุดเท่ากับ 16.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ในการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของ
ผลิตภัณฑ์ วางแผนการทดลองแบบส่วนผสมแบบ D-optimal โดยแปรผันปริมาณแป้งข้าวกล้อง
งอก (ร้อยละ 60-95) เกล็ดข้าวโพด (ร้อยละ 0-20) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (ร้อยละ 0-5) โดยสูตร
ที่เหมาะสมประกอบด้วย แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 90.25 โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4.75 น้ำตาลร้อย
ละ 3 เกลือร้อยละ 2 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 และจากการศึกษากระบวนการผลิตที่
เหมาะสมพบว่า ความเร็วรอบของการป้อนวัตถุดิบ 30 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 250 รอบ
ต่อนาที และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล 150 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมอบรับ
จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ในผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนร้อยละ
7, 10 และ 13 ด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ซึ่งพบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลซูโครส
ร้อยละ 10 และมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI) ของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืช

190710

เท่ากับ 61.25 และมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมอบกรอบจากธัญชาติ (มอก. 1534-2541) ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีปริมาณ GABA เท่ากับ 11.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักตัวอย่างแห้ง จากการทดสอบผู้บริโภคพบว่า คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่น โดยรวม รสหวาน รสเค็ม รสชาติโดยรวม ความกรอบ และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.7-7.4) จากการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์พบว่า สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ได้ประมาณ 477 วัน โดยผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีผลดีต่อสุขภาพในแง่ของปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มขึ้นและมีค่าดัชนีน้ำตาลที่ลดลง

Thesis Title Development of Breakfast Cereal from Germinated Brown Rice
Using Extrusion Process

Author Miss Supanuch Saipang

Degree Master of Science
(Agro-Industrial Product Development)

Thesis Advisory Committee

Dr. Yuthana Phimolsiripol	Advisor
Assistant Professor Dr. Niramol Utama-ang	Co-advisor
Dr. Kittiwut Kasemwong	Co-advisor

ABSTRACT

190710

The objective of this research was to develop breakfast cereal from germinated brown rice including germination process, formula and process development using extrusion, consumer acceptance and shelf life simulation. Results showed that the optimum temperature and germination time of rice soaking were 3 hours at 40°C, giving in the highest gamma-aminobutyric acid (GABA) content (16.48 mg per 100 g dry sample). Response surface methodology using mixture design (D-optimal) was used to determine the optimum ratio of germinated brown rice (60-95%), corn grit (0-20%) and soy protein isolate (0-5%) in the formulation of breakfast cereal. Optimal formula consisted of 90.25% germinated brown rice, 4.75% soy protein isolate, 3% sugar, 2% salt and 1% calcium carbonate. Extrusion process was further developed and revealed that the optimum speed of material feed, screw speed and barrel temperature at zone 3 were 30 rpm, 250 rpm and 150°C respectively which resulted in acceptable product of consumer. The effect of replacement of sucrose by isomaltulose at 7%, 10% and 13% was investigated. Consumers accepted 10% isomaltulose in breakfast cereal and the glycemic index (GI) of product was 61.25 and the quality of this product met the standard of Thai Industrial Standards Institute of

190710

crispy cereal-based snacks (TIS 1534-2541). Developed product had 11.66 mg per 100 g dry sample GABA content. Consumer testing revealed that mean hedonic scores of color, odor, taste salty, sweetness, crispiness and overall-liking for the developed product were ranged from like slightly to like moderately (6.7-7.4). Shelf life prediction showed that the product could be stored at 45°C and 70 %RH for 477 days. The developed product is healthy in terms of higher GABA content and lower glycemic index.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้าวกล้อง (brown rice)	5
2.2 ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice)	6
2.3 กรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (gamma-aminobutyric acid, GABA)	7
2.4 อาหารเช้าธัญพืช (breakfast cereal)	12
2.5 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion process)	14
2.6 ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI)	24
2.7 สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (Sugar substitutes)	28
2.8 การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร	30
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	35
3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	35
3.2 วิธีการทดลอง	38

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	49
4.1 การศึกษาสภาวะการแช่ต่อผลคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก	49
4.2 การศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าว กล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน	55
4.3 การศึกษากรรมวิธี การผลิตที่เหมาะสมต่อปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์ อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน	68
4.4 ศึกษาอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารเข้า ธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน	78
4.5 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกที่ พัฒนาได้	86
4.6 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปผลการทดลอง	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	115
ภาคผนวก ก แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ และภาพผลิตภัณฑ์	116
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมี	121
ประวัติผู้เขียน	133

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่า GI ในอาหารชนิดต่างๆ	28
3.1	สิ่งทดลองในการศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวกล้องหอมมะลิแดง	40
3.2	สิ่งทดลองในการศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ในผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	43
3.3	สิ่งทดลองในการศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	44
3.4	สิ่งทดลองในการศึกษาผลของการทดแทนปริมาณซูโครสด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอส	46
4.1	ค่า pH ปริมาณวิตามินบี 1 และกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (GABA) ในข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอกที่แช่ในสถานะต่างๆ	50
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดงงอกที่สถานะการแช่ที่ต่างกัน	51
4.3	Pasting properties ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอกที่สถานะการแช่ที่ต่างกัน	53
4.4	ค่าการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวกล้องงอก	55
4.5	ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก	56
4.6	ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก	58
4.7	ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก	60
4.8	ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม	61
4.9	ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเข้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม	62
4.10	สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์และค่าตอบสนองด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	63

4.11	ผลของกระบวนการผลิตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากข้าวกล้องงอก	69
4.12	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากข้าวกล้องงอก	71
4.13	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอก	72
4.14	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม	73
4.15	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม	74
4.16	สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์และค่าตอบสนองด้านต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์	75
4.17	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพ ที่คาดคะเนได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0	77
4.18	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางเคมี ที่คาดคะเนได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0	77
4.19	ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอก	78
4.20	ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอก	79
4.21	ตัวแปรในโมเดลการทำนาย คำนีไฮโครไลซิส และค่าดัชนีน้ำตาลจากการทำนายของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากข้าวกล้องงอกเมื่อทำการผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาล	81
4.22	ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมอาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม (n = 50)	82
4.23	ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมอาหารเข้ารัษฎพีชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม (n = 50)	82
4.24	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎพีชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลพาลาตินร้อยละ 7 ก่อนผสมนม (n = 50)	83

4.25	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาล พลาติน ร้อยละ 10 ก่อนผสมนม (n = 50)	83
4.26	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาล พลาติน ร้อยละ 13 ก่อนผสมนม (n = 50)	84
4.27	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาล พลาติน ร้อยละ 7 หลังผสมนม (n = 50)	84
4.28	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาล พลาติน ร้อยละ 10 หลังผสมนม (n = 50)	85
4.29	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาล พลาติน ร้อยละ 13 หลังผสมนม (n = 50)	85
4.30	คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการ พัฒนาแล้ว	87
4.31	คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ ผ่านการพัฒนาแล้ว	87
4.32	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเข้า รัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาทดสอบชิมก่อนผสมนมแล้วเปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด (n = 200)	88
4.33	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเข้า รัษฎูพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาทดสอบชิมหลังผสมนมแล้วเปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด (n = 200)	88
4.34	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชหลังจากเก็บรักษาที่ สถานะแตกต่างกัน	90
4.35	ผลของค่าแรงกดแตก และความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัษฎูพืชหลังจากเก็บ รักษาที่สถานะแตกต่างกัน	90
4.36	ค่าจากการคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แตกต่างกัน	92

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2.2	กลไกการเกิดกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (gamma-aminobutyric acid, GABA)	7
2.3	โครงสร้างของเครื่องเอกซทรูเคอร์	21
2.4	การเปรียบเทียบการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดต่ออาหารที่ใช้อ้างอิง ที่มีค่าคาร์โบไฮเดรตเท่าๆ กัน	26
4.1	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก	52
4.2	พื้นที่การตอบสนองต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด	64
4.3	พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก GABA ของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด	65
4.4	พื้นที่การตอบสนองต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด	66
4.5	พื้นที่การตอบสนองต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด	67
4.6	Overlay plot ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกจากการศึกษาทั้ง 11 สิ่งทดลอง ที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม	68
4.7	อัตราการย่อยขนมปังขาว	80
4.8	การย่อยแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชเมื่อทำการทดแทนอัตราส่วนของน้ำตาล	80
4.9	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	91

ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25 องศาเซลเซียส

ก.1	ผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัฐพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้	120
ข.1	ภาพรูปเปิดหน้าแปลน	123
ข.2	ภาพรูปทรงของผลิตภัณฑ์	123
ข.3	ตัวอย่างกราฟ RVA ของตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกที่สภาวะการแช่ต่างกัน	124
ข.4	ตัวอย่างกราฟแสดงสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัฐพืชจากข้าวกล้องงอก	131