กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์

MICROWAVE PUFFED RICE PROCESSING FOR GRANOLA BAR

ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์

PAKORNPAN PHUAKSAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-60-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์

MICROWAVE PUFFED RICE PROCESSING FOR GRANOLA BAR

ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์

PAKORNPAN PHUAKSAWAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 44071
วัน, เดือน, ปี 25 ต.ค. 2545

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974 – 9546 – 60 - 1

MICROWAVE PUFFED RICE PROCESSING FOR GRANOLA BAR

PAKORNPAN PHUAKSAWAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974 – 9546 – 60 - 1

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์
นักศึกษา	น.ส. ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	41066004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกด้วยไมโครเวฟ โดยการศึกษา ที่ระดับความชื้น (10 , 15 และ 20 %) ความเข้มข้นของเกลือ (0 และ 2%) ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง (30 และ 50 กรัม) และเวลาที่ใช้ในการพองตัว (2 และ 3 นาที) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ สภาวะที่ความชื้นของข้าวเปลือก 15 % ความเข้มข้นของเกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัม และใช้เวลาในการพองตัว 3 นาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้คุณภาพในการพองตัวของข้าวพองในด้านที่สำคัญคือ yield , อัตราส่วนการพองตัวและความกรอบมีค่าอยู่ในกลุ่มที่มีค่าสูงสุดและมีคุณภาพทางด้านความชื้นของข้าวพองต่ำ พร้อมทั้งสามารถผลิตได้ต่อครั้งในปริมาณสูง (50 กรัม) แม้ว่าจะมีค่า bulk density ในระดับปานกลางและมีค่าความแข็งค่อนข้างต่ำ แต่สภาวะดังกล่าวไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง ข้าวพองที่ได้จากทุกสภาวะมีรูปร่างแบ่งได้ 3 แบบ คือ เมล็ดบานเต็มที่ เมล็ดบานปานกลาง และเมล็ดบานเล็กน้อย การผลิตผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์จากข้าวพองที่ได้ มี 2 แบบ ด้วยกันคือ แบบ ครั้นชี่ (Crunchy) และแบบชิววี่ (Chewy) โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับทั้ง 2 แบบ ในระดับปานกลาง ผลิตภัณฑ์แบบครั้นชี่ มีความชื้น 5.84% ความแข็ง 4448.8 กรัมแรง และ ค่า Aw 0.28 มีคุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัม ด้านพลังงาน 457.82 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 9.22 กรัม ไขมัน 17.3 กรัม เยื่อใย 2.74 กรัม คาร์โบไฮเดรต 32.3 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 66.31 กรัม เถ้า 2.08 กรัม และโซเดียม 1070.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโซเดียม ส่วนแบบChewy มีความชื้น 4.93% ความแข็ง 10512 กรัมแรง ค่า Aw 0.23 มีคุณค่าของโภชนาการ ต่อ 100 กรัม ด้านพลังงาน 483.08 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 10.5 กรัม ไขมัน 23.0 กรัม เยื่อใย 1.45 กรัม คาร์โบไฮเดรต 58.52 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 31.4 กรัม เถ้า 1.74 กรัม และโซเดียม 1520.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโซเดียม ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ ทั้ง 2 แบบในภาชนะบรรจุชนิด OPP 20/ PE 20 / MPET 12 / LLDPE 20 ไมครอน เป็นเวลา 3 เดือน พบว่ามีค่าความชื้น ค่า Aw และค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความแข็งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าผู้ทดสอบยังให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ

Thesis Title	Microwave Puffed Rice Processing for Granola Bar
Student	Miss Pakornpan Phuaksawat
Student ID.	41066004
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Professor Dr.Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

Studied on microwave puffed rice process, moisture content (10 , 15 and 20 %) salt concentration (0 and 2%) weight of paddy (30 and 50 g) and puffing time (2 and 3 minutes) the optimum process was moisture content 15% , salt 2% , weight 50 g., puffing time 3 minutes. This condition provided important puffing quality : yield , expansion ratio , crispiness and moisture content. Shape of puffed rice identified in 3 types fully opened , not fully opened and expanded rice. Granola bar processes from puffed rice are crunchy and chewy type , both of them were accepted by panelists. Crunchy Bar was 5.84 % moisture content , 4448.8 g. force hardness and 0.28 Aw. Nutrition of 100 g crunchy bar was 457.82 kcal. energy , 9.22 g protein , 17.3 g fat, 2.74 g fiber, 32.3 g carbohydrate , 66.31 g total sugar , 2.08 g ash and sodium 1070.15 mg/kg Na. Chewy bar was 4.93% moisture content , 10512 g. force hardness and 0.23 Aw. Nutrition of 100 g chewy bar was 483.08 kcal Energy , 10.5 g protein , 23.0 g fat , 1.45 g fiber , 58.52 g carbohydrate , 31.4 g total sugar , 1.74 g ash and sodium 1520.18 mg/kg Na. Granola bars were kept in metalized bag (OPP 20 / PE20 / MPET12 / LLDPE 20) for 3 months , moisture content , Aw and TBA was increased ($p \leq 0.05$) but panelists still accepted the products.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งช่วยให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา ตรวจทานและแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. พอใจ ถามากร และ ดร. กิตติชัย บรรจงที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขรวมทั้งให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้บริหาร บริษัท จิมสกรุ๊ป จำกัด ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์การอาหารให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ปริญญาโทที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือกันด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ได้บังคับบัญชา ที่บริษัทจิมสกรุ๊ป ทุกท่านและเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือกันด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ข้าว 3

2.2 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง 4

2.2.1 การแบ่งกลุ่มข้าวพองตามวิธีการผลิต 5

2.3 กรรมวิธีการทำข้าวพองจากข้าวเปลือก 7

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว 10

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากข้าวพอง 14

2.4 ไมโครเวฟ 15

2.4.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ 15

2.4.2 สมบัติไดอิเล็กตริกของอาหาร 16

2.4.3 การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ 16

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 17

2.4.5 การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร 19

2.5 อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งหรือกราโนลาบาร์ 22

2.6 วัตถุดิบอื่นๆ ในการผลิตอาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง (กราโนลาบาร์) 26

2.7 ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 31

2.8 ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 34

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 34

3.1.1 เครื่องมือ 34

3.1.2 วัตถุดิบ 34

3.1.3 อุปกรณ์ 35

3.2 สถานที่ดำเนินงาน 35

3.3 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง 35

3.4 วิธีการดำเนินงาน 35

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 42

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยคลื่นไมโครเวฟ 42

4.1.1 ศึกษาผลของความชื้น , ความเข้มข้นของเกลือ, ปริมาณข้าวเปลือก และเวลาที่ใช้ในการพองตัวต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวพอง.....42

4.1.2 ศึกษาลักษณะรูปร่างของข้าวพองที่ได้จากการพองตัวด้วยไมโครเวฟ และส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง 46

4.2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์จากข้าวพองที่ได้ จากการพองตัว ด้วยไมโครเวฟ 53

4.3 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ 53

4.4 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับ.....55

4.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ 57

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 62

ข้อเสนอแนะ..... 64

บรรณานุกรม 65

ภาคผนวก 69

ประวัติผู้เขียน 99

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สูตรเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง.....23

2.2 ตัวอย่างสูตรพื้นฐานในการทำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง.....24

2.3 องค์ประกอบของแบะแซที่ผลิตในประเทศไทย.....28

2.4 คุณค่าทางอาหารของถั่วลิสงคั่วไม่มีเปลือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....29

2.5 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดทานตะวันคั่วในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....30

2.6 มาตรฐานของนมผงและหางนมผง.....31

2.7 เปรียบเทียบการใช้งานของฟิล์มโครงสร้างต่างๆกัน.....33

4.1 ค่าเฉลี่ย% yield, % รูปร่างของข้าวพองแบบเมล็ดบานเต็มที่, เมล็ดบานปานกลาง และเมล็ดบานเล็กน้อยและ% ส่วนที่ไหม้ 43

4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพในการพองตัวได้แก่ ความชื้น , yield, อัตราส่วนการพองตัว, Bulk density, ความแข็งและความกรอบของข้าวพองที่ได้.....46

4.3 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส.....55

4.4 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์.....56

4.5 คุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ที่พัฒนาแล้ว.....56

4.6 ผลของระยะเวลาของการเก็บต่อค่าความชื้น Aw ความแข็งและค่า TBA ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 1 57

4.7 ผลของระยะเวลาของการเก็บต่อความชื้น Aw ความแข็งและค่า TBA ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2 58

4.8 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่ออายุ ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 1 61

4.11 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่ออายุการเก็บรักษา ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2 66

ตารางภาคผนวกที่

ค1 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความชื้นของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ 85

ค2 การวิเคราะห์สถิติทางด้าน % yield ของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ 86

ค3 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความแข็งของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ 87

ค4 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความกรอบของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ.....88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

ค5 การวิเคราะห์สถิติทางด้าน Bulk density ของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ.....89
ค6 การวิเคราะห์สถิติทางด้านอัตราส่วนของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ 90
ค7 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานเต็มที่ที่สภาวะต่างๆ 91
ค8 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานปานกลางที่สภาวะต่างๆ 92
ค9 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานเล็กน้อยที่สภาวะต่างๆ 93
ค10 การวิเคราะห์สถิติทางด้านเมล็ดที่ไหม้ที่สภาวะต่างๆ 94
ค11 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์กราโนลา
บาร์ทั้ง 2 แบบ.....95
ค12 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์กราโนลา
บาร์ทั้ง 2 แบบ.....95
ค13 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์กราโนลา
บาร์ทั้ง 2 แบบ.....95
ค14 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านสีของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ....96
ค15 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความเหนียวนุ่มของผลิตภัณฑ์
กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ.....96
ค16 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กรา
โนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ.....96
ค17 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์
กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ.....97
ค18 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความหวานของผลิตภัณฑ์กรา
โนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ.....97
ค19 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์แบบ
ที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน.....97
ค20 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านค่า Aw ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์แบบ
ที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน.....98
ค21 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านความชื้นของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์แบบ
ที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน 98
ค22 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านค่า TBA ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์แบบ
ที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน 98

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2.2	ขั้นตอนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกในการผลิตแบบกึ่งอุตสาหกรรม	9
2.3	แสดงภาคตัดขวางของเมล็ดข้าว	11
2.4	ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกของข้าวเปลือกพันธ์ Mg 1-1 , Taichung-65 , White Puttu , IR-253 และ Korean waxy ตามลำดับ	12
2.5	เปรียบเทียบลักษณะการจำแนกรูปร่างของข้าวพองแบบต่างๆ	14
4.1	ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานเต็มที่	47
4.2	ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานปานกลาง	47
4.3	ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานเล็กน้อย	47
4.4	การเปรียบเทียบลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ เมล็ดบานปานกลาง เมล็ดบานเล็กน้อย และข้าวเปลือก	48
4.5	ลักษณะข้าวพองที่เกิดการไหม้	52
4.6	ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 1 แบบครั้นชี่ (crunchy)	54
4.7	ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2 แบบชิววี่ (Chewy)	54
4.8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้นของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บไว้ 3 เดือน	58
4.9	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้าน Aw ของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บไว้ 3 เดือน	59
4.10	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บไว้ 3 เดือน	59
4.11	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านค่า TBA ของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บไว้ 3 เดือน	60
ก.1	เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Halogen Moisture Analyzer รุ่น HR 73	69
ก.2	การวิเคราะห์ความแข็งและความกรอบของข้าวพองด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส	70
ก.3	ลักษณะกราฟจากการวัดข้าวพองด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส	71
ก.4	การวิเคราะห์ความแข็งและความกรอบของกราโนลาบาร์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส	72
ก.5	ลักษณะกราฟจากการวัดเนื้อสัมผัสของกราโนลาบาร์แบบ crunchy	73
ก.6	ลักษณะกราฟจากการวัดเนื้อสัมผัสของกราโนลาบาร์แบบ chewy	74
ก.7	เครื่องวิเคราะห์ค่า Aw	76

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปจากข้าวในรูปแบบต่างๆมากขึ้น วัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวล้วนมุ่งเน้นในการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าว และเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มปริมาณการใช้ข้าวให้มากขึ้นได้ ข้าวพองนับเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ได้จากข้าว ในประเทศไทยผู้ผลิตข้าวพองส่วนใหญ่เป็นชาวชนบทและทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว จึงไม่มีหลักฐานการผลิตและหลักเกณฑ์ทางวิชาการที่แน่นอน เอกสารการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องกรรมวิธีและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตข้าวพองก็มีน้อย และล้วนเป็นเอกสารจากต่างประเทศ ส่วนใหญ่กรรมวิธีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะใช้สภาวะที่อุณหภูมิสูงหรือความดันสูง โดยใช้เครื่องมือเฉพาะ เช่น fluidized bed , gun puffing หรือ extruder เป็นต้น ซึ่งในต่างประเทศข้าวพองได้มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากข้าวพองจัดเป็นอาหารเช้าจากธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าแบบผสมร่วมกับธัญพืชชนิดอื่นๆ รวมทั้งยังเป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยวและผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตอีกด้วย

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง(กราโนลาบาร์) ก็เป็นผลิตภัณฑ์อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถใช้ข้าวพองเป็นส่วนประกอบได้โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งมีการนำเข้าจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้น ผู้บริโภคเป้าหมายส่วนใหญ่เป็นกลุ่มบุคคลที่เป็นผู้ใหญ่และคำนึงถึงสุขภาพเป็นหลัก โดยผลิตภัณฑ์จะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่จำเป็นสำหรับร่างกายให้ครบถ้วน จึงมีผลให้ ชนิด รูปแบบ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ผสมผสานกับจิตวิทยาของผู้บริโภคที่ชอบความแปลกใหม่ ความทันสมัย และความสะดวกรวดเร็วในการรับประทาน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาสูง อีกทั้งวัตถุดิบที่ใช้จะเน้นธัญพืชและผลไม้อบแห้งเป็นส่วนผสมหลัก ถ้ามีการดัดแปลงมาใช้ส่วนผสมที่มีขายในประเทศมาทดแทนตลอดจนมีการปรับปรุงรสชาติให้ใกล้เคียงกับนิสัยการบริโภคของคนไทยมากขึ้น จะทำให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบใหม่เพิ่มมากขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ และนำข้าวพองที่ได้มาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทานแบบผสมชนิดแท่งให้มีรูปแบบ รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการให้เหมาะสมกับบุคคลทั่วไป โดยจะใช้วัตถุดิบที่มีภายในประเทศเป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งได้แก่ ข้าวพอง กล้วย ถั่วลิสง เมล็ดทานตะวัน ทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ และยังสามารถพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมตรงตามความต้องการของผู้บริโภค

1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยคลื่นไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมรับประทานแบบผสมชนิดแท่ง (กราโนลาบาร์) จากข้าวพอง

1.2.3 เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับของผู้บริโภค

1.2.5 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะเบื้องต้นที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกด้วยไมโครเวฟ และพัฒนาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์จากข้าวพองที่ได้ พร้อมทั้งศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

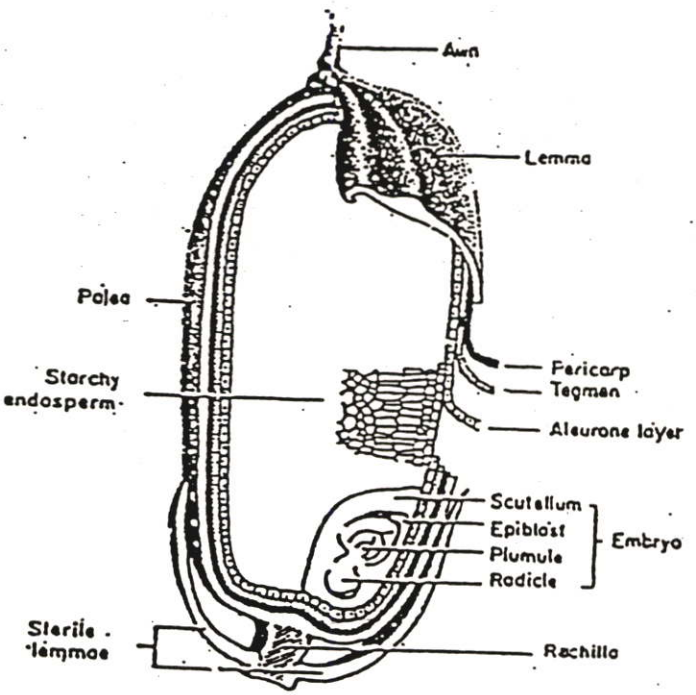
ผลจากงานวิจัยนี้จะทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกด้วยไมโครเวฟในเบื้องต้น และสามารถนำข้าวพองที่ได้มาทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทานในรูปแบบผสมชนิดแท่งให้มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งยังสามารถพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรเกือบทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ในประเทศไทย ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและอาจถือได้ว่าการทำนาปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรไทย

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : Juliano (1972)

จากรูปที่ 2.1 เมล็ดข้าวประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

2.1.1.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (husk)

ส่วนนี้จะมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักซึ่งแกลบนี้จะเป็นส่วนของกลีบดอกคือ palea และ lemma

2.1.1.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp)

ส่วนนี้จะมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก ชั้นนอกเป็นเซลล์รูปแท่งตามความยาวของเมล็ด ชั้นถัดมาเป็นเซลล์รูปหลายเหลี่ยมนอกจากนี้ยังมีไข (wax) และสารให้สีอยู่ในชั้นนี้ด้วย

ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat)

ประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังบางรูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียวหรือสองแถว เซลล์ในชั้นนี้จะมีสารให้สีทำให้เมล็ดมีสีต่างๆ ตั้งแต่สีเหลืองจนกระทั่งสีน้ำตาล

2) เนื้อเมล็ด (endosperm)

มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนที่นำมาบริโภค แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดกับเยื่ออลูโรน (subaleurone layer) เซลล์ในชั้นนี้จะมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ และชั้นของเนื้อเมล็ดภายใน (inner endosperm) เซลมีรูปร่างยาวในแนวรัศมีเข้าสู่ส่วนกลางของเมล็ดภายในเซลประกอบด้วยเม็ดแป้งและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่

3) คัพภะ (embryo)

เป็นส่วนที่มีปริมาณประมาณร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนัก และเป็นส่วนที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ sculellum เป็นชั้นป้องกัน ซึ่งอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ โดยองค์ประกอบสำคัญในส่วนนี้ได้แก่ ไขมันและโปรตีน

2.2 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed Snacks หรือ Expanded Snacks) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้ง มีลักษณะพองเบา มีรูพรุน และกรอบ ซึ่งข้าวพองอาจเตรียมได้จากข้าวทั้งเมล็ดหรือแป้ง โดยที่ข้าวที่ใช้ในการทำให้พองตัว ควรมีอะไมโลสค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วงร้อยละ 5-20 และในการทำให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เริ่มต้นจากที่มีการใช้เทคนิคในการผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบแห้ง เมื่อต้องการจึงนำมาทอดหรืออบให้พองตัว ซึ่งการพัฒนาในระยะต่อมาเป็นการทำให้พองตัวโดยตรงโดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำแห้ง การพองตัวนั้นมีหลักการโดยสรุปได้ 2 แบบ คือ แบบแรก เป็นการทำให้พองตัวในบรรยากาศโดยทำให้น้ำที่มีอยู่ระเหยไปอย่างรวดเร็ว แบบที่สอง เป็นการลดความดันของอาหารให้ต่ำลง จนทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไป

การผลิตข้าวพองทุกชนิดมีขั้นตอนที่เหมือนกัน คือการทำให้แป้งสุก การปรับความชื้น และการทำให้พองตัว ซึ่งการปรับความชื้นจะทำก่อนและหลังการทำให้สุก การปรับความชื้นก่อนทำให้สุกเป็นการช่วยให้ให้แป้งสุกได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ส่วนการปรับความชื้นหลังการทำให้สุกช่วยให้แป้งพองตัวได้มากเมื่อนำไปทอดหรืออบ การปรับความชื้นจะทำเพียงครั้งเดียวในการผลิตแบบเอ็กทรูชั่นซึ่งเป็นการทำให้สุกและพองตัวพร้อมกัน (ฉรงค์ นิยมวิทย์. 2532)

2.2.1 การแบ่งกลุ่มข้าวพองตามวิธีการผลิต

ฉรงค์ นิยมวิทย์ (2532) ได้แบ่งกลุ่มข้าวพองตามวิธีผลิตที่แตกต่างกันดังนี้

2.2.1.1 ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดด้วยความดันสูง

เป็นการผลิตโดยใช้เครื่องเอ็กทรูชั่นที่มีการใช้แรงอัดและความร้อนสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสม แรงดันที่เกิดจากไอน้ำจะดันให้แป้งพองตัว การที่ไอน้ำระเหยอย่างรวดเร็วพร้อมกับการลดอุณหภูมิลง ทำให้แป้งที่พองตัวแล้วแข็งตัว และรักษารูปทรงไว้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนและมีขนาดเล็ก มีเนื้อนุ่ม ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ควรประมาณร้อยละ 2-4 ไม่ควรอบให้แห้งเกินไป เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่วนและหืนได้ง่าย

2.2.1.2 ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดแป้งไว้ระหว่างแผ่นโลหะร้อน

เป็นวิธีที่นำแป้งที่ผสมแล้วมาวางบนแผ่นโลหะร้อน แล้วกดด้วยแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง การกดแผ่นโลหะทำให้เกิดแรงอัดลงบนแป้ง และแรงอัดจะมีมากขึ้นเมื่อน้ำในแผ่นแป้งกลายเป็นไอแทรกอยู่ในเนื้อแป้งนั้น เมื่อยกแผ่นโลหะบนออก ความดันไอน้ำจะลดลงทันที เนื่องจากได้ดันแป้งที่หลอมละลายให้พองตัวออกไป เมื่อไอน้ำระเหยไปหมดและอุณหภูมิของแป้งลดลงจะทำให้แป้งแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ได้ สำหรับการผลิตวิธีนี้ควรใช้แรงกด 100-1,000 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิระหว่าง 150-370 องศาเซลเซียส และกดนาน 1-30 วินาที ส่วนความชื้นที่เหมาะสมคือ ช่วงร้อยละ 8-16

2.2.1.3 ข้าวที่พองตัวโดยใช้ลมร้อน

เป็นวิธีการใช้ลมร้อนทำให้พองตัวได้ 1.5-3.5 เท่า โดยก้อนแป้งจะต้องมีความชื้นระหว่างร้อยละ 22-27 โดยนำส่วนผสมที่ปั้นเป็นก้อนใส่ลงในหม้อนึ่งความดัน ด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน6-30 นาที นำแป้งมานวดและหั่นเป็นแผ่นบางๆ ทำให้ผิวแห้งแข็งโดยใช้ลมเป่าจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 16-21 นำมารีดให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 177-400 องศาเซลเซียส นาน 8-35 วินาที ข้าวที่พองตัวแล้วจะมีความชื้นเหลือร้อยละ 3-7 อาจทำให้ลดลงอีกโดยนำไปอบหรือคั่วที่อุณหภูมิ 107-290 องศาเซลเซียส นาน 2-10 นาที

2.2.1.4 ข้าวที่พองตัวโดยใช้สูญญากาศ

เริ่มจากการทำให้ข้าวอยู่ในสภาพที่เหนียวแข็งก่อน แล้วจึงใส่ในตู้สูญญากาศเพื่อให้พองตัว โดยในขั้นแรกเตรียมสารละลายเข้มข้นจากน้ำตาล และขั้นที่สอง เตรียมของผสมของส่วนที่เป็นของแห้ง แล้วนำมาผสมกันทั้งหมด นวดเป็นก้อนเหนียวแข็ง นำไปรีดเป็นแผ่นและทำให้เย็น ตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ลงในตู้สูญญากาศ โดยวางไว้บนโลหะที่รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเดินเครื่องสูญญากาศ และรักษาระดับไว้ที่ 29 นิ้ว แป้งจะพองตัวเป็นก้อนกลมและแห้งสนิท

2.2.1.5 ข้าวที่พองตัวโดยไมโครเวฟ

การพองตัวโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ น้ำที่ใส่ลงไปนั้นจะต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมในเกณฑ์ร้อยละ 12-26 โดยน้ำหนัก เมื่อนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออกไปทันที และทำให้แป้งพองตัว ถ้าอาหารนั้นอยู่ในสูญญากาศการพองตัวจะดีขึ้น

2.2.1.6 ข้าวที่พองตัวโดยใช้เตาอบ

เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับแป้งสุกผงที่ทำจากพืชหัวหรือพืชอื่นๆที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน แป้งที่ใช้ผลิตควรมีค่า granule swelling power มากกว่า 44 การใช้แป้งสุกจะช่วยให้ค่านี้สูงขึ้น ญี่ปุ่นได้นำเอาวิธีนี้ไปทำข้าวเกรียบเซมเบ้ และอาราเร่ โดยส่วนผสมมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 นำมาตัดเป็นแท่งหรือรูปกลมด้วยเครื่องแรงอัดสูง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส นาน 3-15 นาที

2.2.1.7 ข้าวที่พองตัวโดยการทอด

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีหลายชนิด ข้าวพองในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดีคือ ข้าวเกรียบต่างๆ โดยเมื่อส่วนผสมต่างๆ ผสมเข้ากันดี มีการจับตัวเป็นก้อนและอัดเป็นรูปร่างได้ นำไปนึ่งให้สุก ลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 8 ก่อนนำไปทอดให้พองตัวหรือเก็บไว้ทอดเมื่อต้องการรับประทาน

นอกจากนี้ยังมีกรรมวิธีในการผลิตข้าวพองในระดับอุตสาหกรรมได้แก่วิธี Gun puffing ซึ่งปัจจุบันเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เตรียมได้โดยการทำความสะอาดเมล็ด ปรับสภาพความชื้นโดยวิธีการคลุกเคล้ากับน้ำในถังจนมีความชื้น 30 – 35 % นำมายังหม้อต้มแล้วเติมน้ำตาล เกลือ และไขมัน ทำการต้มด้วยความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หลังจากนั้นจึงนำมาทำให้แห้ง จนมีความชื้น 14 –16 % มีลักษณะเป็นเม็ดๆ จากนั้นบรรจุลงในหม้อหรือลำกล้องที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกคล้ายปืนซึ่งมี 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นส่วนให้ความร้อนจากไอน้ำเดือดที่ฉีดผ่านเข้ามาโดยรอบชั้นนอก หรือใช้ความร้อนจากเตาก๊าซโดยตรง เมื่อให้ความร้อนภายในจะมีความดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงปล่อยความดันทันทีทันใดที่หัวของลำกล้อง (puffing gun) มีผล

ให้สกรูดันเม็ดข้าวจนสุดผ่านหัวอัดออกมาในลักษณะที่สุกและพองตัว ต่อจากนั้นนำไปทำให้แห้งจนมีความชื้นเหลือเพียง 3 % ด้วยการคั่วหรืออังไฟ ทำให้เย็นและบรรจุ จุดสำคัญในการผลิตได้แก่ การป้อนวัตถุดิบจากระดับความดันปกติจนมีความดันสูงในอัตราสม่ำเสมอ การควบคุมเวลาที่ได้รับความดันสูง การควบคุมความดันและอุณหภูมิ ตลอดจนการผ่านวัตถุดิบจากช่างความดันสูงมายังความดันต่ำ (ตวิษา โลหะนะ. 2529 ; อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532)

Stromer *et al.* (1972) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่พองตัวโดยใช้ความดันสูงของเครื่อง gun puffing ในการผลิตข้าวพองจากข้าวพันธุ์ Blue Bonnet ที่ขัดสีแล้วและมีความชื้นประมาณ 13 % นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130 –140 องศาฟาเรนไฮน์ จากนั้นลำเลียงสู่เครื่อง gun puffing แบบต่อเนื่องที่มีความยาว 18 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว และมีอัตราการป้อนเท่ากับ 40 ปอนด์ต่อนาที โดยในลำกล้องมีสภาวะดังนี้ ความดันไอน้ำ 115 psig., อุณหภูมิของไอน้ำ 430 องศาฟาเรนไฮน์, Barrel angle 4°, Barrel rotation 78 rpm, Barrel temperature 550 องศาฟาเรนไฮน์, Discharge nozzle orifice diameter 19/32 นิ้ว จากนั้นเมล็ดข้าวจะถูกปล่อยจากลำกล้องไปยังหัวฉีดที่อัตราเร็ว 0.7 ปอนด์ต่อนาที ข้าวพองที่ได้จะมีความชื้นประมาณ 7.5 %และมีขนาดเพิ่มขึ้น 2.5 เท่าของขนาดเดิม

Heki *et al.* (1972) ทำการศึกษากระบวนการผลิตข้าวพองจากเมล็ดข้าวที่เจลาติไนส์แล้วโดยอุปกรณ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นหอสูง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากด้านล่างสู่ด้านบน และใช้ลมร้อนในการพองตัว วัตถุดิบที่ใช้เป็นข้าวสารที่ผ่านการเจลาติไนส์แล้วและมีความชื้น 8- 20 % โดยน้ำหนัก ขั้นตอนในการผลิต คือปล่อยลมร้อนอุณหภูมิ 200 – 450 องศาเซลเซียล เข้าสู่หอแนวตั้งจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ที่ด้านบนความเร็วลมไม่สูงกว่า 5 เมตร/วินาที ส่วนด้านล่างต้องมีความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 11 เมตร/วินาที จากนั้นนำเมล็ดข้าวเข้าสู่ด้านบนซึ่งจะทำให้เกิดการพองตัวของเมล็ดข้าว เมื่อการพองตัวสมบูรณ์จะหยุดจ่ายลมร้อน และเมล็ดข้าวที่พองตัวแล้วจะตกจากด้านบนลงสู่ด้านล่างและปล่อยออกจากหอ ความเร็วลมที่ด้านล่างของหอขณะทำการพองตัวจะต้องไม่ต่ำกว่า 20 เมตร/วินาที และ อุณหภูมิของลมร้อนในหอเท่ากับ 250 – 350 องศาเซลเซียล ระยะเวลาที่ข้าวสัมผัสกับลมร้อนเท่ากับ 7 – 30 วินาที

2.3 กรรมวิธีการทำข้าวพองจากข้าวเปลือก

ในการทำข้าวพองจะนำเอาเมล็ดข้าวมาทำการพองตัว ที่อุณหภูมิสูงในเวลาสั้นๆ (high - temperature - short – time) โดยข้าวที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้นจะเป็นข้าวเปลือก (raw paddy) อาจแสดงแผนผังในการผลิตข้าวพองให้เห็นง่าย ๆ ได้ดังนี้

Paddy ⟶ adjust moisture ⟶ puff ⟶ puffed rice

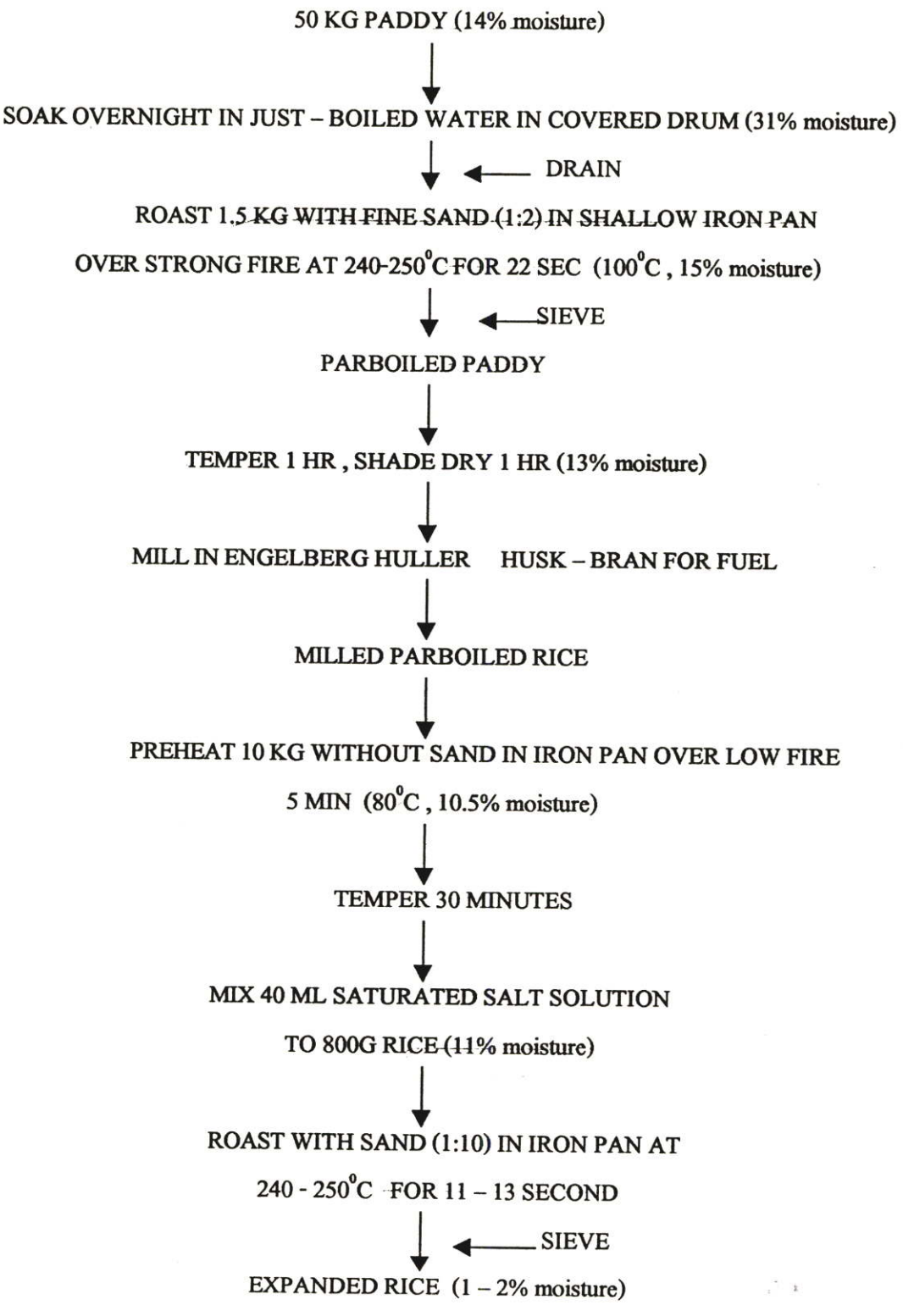
นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์จากข้าวอีกชนิดหนึ่ง ที่ใช้หลักการในการผลิตเหมือนข้าวพองคือ expanded rice แต่ expanded rice จะเพิ่มขั้นตอนในการผลิตมาอีก (Murugesan and Bhattacharya . 1986) ดังนี้

Paddy ⟶ parboil ⟶ dry ⟶ mill ⟶ puff ⟶ expanded rice

ในประเทศอินเดียจะมีกรรมวิธีในการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือก คือ การนำข้าวเปลือกมาตากแดดนาน 4 ชั่วโมงในฤดูร้อน หรือ 8 – 12 ชั่วโมงในฤดูหนาว แล้วนำมาแช่น้ำร้อนในโอ่ง 2 – 3 นาที เทน้ำออกปิดฝาทิ้งค้างคืนไว้ จากนั้นนำมาตากแดดให้แห้งแล้วเก็บไว้ในภาชนะปิดจนความชื้นคงที่ ก่อนนำไปทำให้พองตัวโดยวิธีใช้ลมร้อน (air puffing) หรือ วิธีคั่วด้วยทรายร้อน (sand puffing) (Murugesan and Bhattacharya. 1986)

Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมในการทำข้าวพอง (expanded rice) ของข้าวนึ่ง (parboiled rice) โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการพองตัวนั้นจะให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 10-11 วินาที โดยข้าวนึ่งที่สีแล้วจะมีความชื้น 10.5-11% และมีสัดส่วนของข้าวนึ่งที่สีแล้วต่อทรายละเอียด เท่ากับ 1 : 15 ส่วนข้าวสารและข้าวนึ่งที่สภาวะความดันไอน้ำต่ำจะทำให้มีการพองตัวต่ำ และการพองตัวจะเพิ่มขึ้นถ้าผลิตข้าวนึ่งที่ความดันไอน้ำ 1.5 kg. / cm^2 แต่อย่างไรก็ตามข้าวนึ่งที่ให้ความร้อนด้วยทรายที่สภาวะ 250 องศาเซลเซียลเป็นเวลา 2.5 นาที จะให้การพองตัวดีที่สุด การเกิดรีโทรกราเดชั่นของแป้งหลังการนึ่งจะลดการพองตัว อีกทั้งในการขัดสีจะทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว การเติมเกลือในการแช่ข้าวนึ่งที่สีแล้วก่อนการพองตัวจะช่วยเพิ่มการพองตัว และการพองตัวจะลดลงถ้าอายุการเก็บของข้าวเปลือกหลังเก็บเกี่ยวนานขึ้น ในการศึกษาของ Chinnaswamy และ Bhattacharya นี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตต้นแบบจากกระบวนการผลิตกึ่งอุตสาหกรรมใน Mysore ประเทศอินเดียดังแสดงในรูปที่ 2.2

Villareal and Juliano (1987) ได้ทำการศึกษาถึงความแตกต่างของสายพันธุ์ข้าวกับคุณสมบัติของข้าวพองโดยทำการศึกษาจากข้าว 10 สายพันธุ์ที่มีความแตกต่างของปริมาณ อะไมโลส และทำการศึกษากระบวนการในการผลิตข้าวพอง 3 แบบ คือ การทำเป็นข้าวนึ่งขัดสีแล้วพองตัวด้วยการทอดในน้ำมันมะพร้าวอุณหภูมิ 210 – 220 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 4 – 8 วินาที วิธีที่สอง การนำข้าวที่หุงสุกมาทำให้แห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้น 10 – 13% แล้วนำไปพองตัวด้วยการทอด และวิธีที่สามคือ การนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็น 13 – 15% แล้วนำไปพองตัวด้วยวิธี Gun puffing ที่อุณหภูมิ 200 – 210 องศาเซลเซียล ความดัน 11.3 kg / cm^2 พบว่าข้าวนึ่งที่สภาวะ 100 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 10 นาทีของข้าวที่มีอะโมโลสต่ำจะให้การปริมาตรของข้าวพองสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะโมโลสสูง แต่เมื่อทำข้าวนึ่งที่ 127 องศาเซลเซียล พบว่า ทั้งข้าวที่มีอะโมโลสปานกลาง



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกในการผลิตแบบกึ่งอุตสาหกรรม

ที่มา : Chinnaswamy and Bhattacharya (1983)

และ อะโมโลสสูงก็ให้ปริมาตรการพองตัวสูง เช่นเดียวกับข้าวเหนียว หรือข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ข้าวพองที่มาจากข้าวนึ่งที่ 127 องศาเซลเซียล จะมีแข็งต่ำกว่าข้าวนึ่งที่ 100 องศาเซลเซียล ส่วนข้าวสุกที่มีการเจลาติไนส์ สมบูรณ์พบว่าทั้งข้าวเหนียวและข้าวที่มีอะไมโลสสูงก็ให้การพองตัวสูงเท่ากัน ส่วนการพองตัวโดยวิธี Gun puffing ที่เวลา 3 – 7 นาที ความดัน 11.3 kg / cm^2 อุณหภูมิ 200 – 210 องศาเซลเซียล พบว่าข้าวเหนียวจะให้การพองตัวสูงกว่าข้าวที่มีอะไมโลสสูงนอกจากนี้พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวพองมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราส่วนการพองตัวของข้าวพอง

Murugesan and Bhattacharya (1991) ได้ศึกษาถึงผลของการเตรียมข้าวเปลือกก่อนการพองตัวต่อลักษณะการพองตัวของข้าวพอง โดยการเตรียมข้าวเปลือกสายพันธ์ Intan ทำโดยการทำแห้งเบื้องต้น (pre-drying) ด้วยวิธีตากแดด , เก็บในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิปกติ และใช้ลมร้อนที่ 45 , 60 หรือ 75องศาเซลเซียลด้วยตู้อบลมร้อน นอกจากนี้ยังเตรียมข้าวเปลือกด้วยการแช่ในสารละลายเกลือ 2% เป็นเวลา 3 วัน ก่อนนำไปทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียล ในการพองตัวจะทำการปรับความชื้นเป็น 14% สำหรับสภาวะที่ไม่มีเกลือและ 17% ที่สภาวะที่มีเกลือ โดยใช้วิธีในการพองตัวตาม Murugesan and Bhattacharya (1986) พบว่าการทำแห้งเบื้องต้นของข้าวเปลือกให้มีความชื้น 9% ก่อนที่จะปรับความชื้นให้เป็น 14% ก่อนการพองตัวจะทำให้มีการพองตัวที่ดีขึ้นซึ่งประโยชน์อันนี้เกิดจากการปรับปรุง การประสานกันของ lemma – palea และทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการทำแห้งเบื้องต้นการแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือ 2% จะเพิ่มการพองตัวแต่การทำแห้งเบื้องต้นของข้าวเปลือกที่แช่สารละลายเกลือ ไม่ช่วยปรับปรุงการพองตัว การแช่ข้าวเปลือกในน้ำอย่างรุนแรงจะลดการพองตัว เนื่องจากจะสูญเสียการประสานกันของเปลือกและทำให้เอ็นโดเสปิร์มอ่อนตัวลงการทำแห้งเบื้องต้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำอย่างรุนแรงไม่สามารถปรับปรุงการพองตัวได้ ดังนั้นการทำแห้งเบื้องต้นจึงเป็นวิธีที่ควรนำไปใช้ในการผลิตข้าวพองดังกล่าว การแช่ข้าวเปลือกในน้ำเกลืออาจจะไม่จำเป็น และควรหลีกเลี่ยงการทำให้ข้าวเปลือกเปียกน้ำ ส่วนรอยแตกในเมล็ดข้าวไม่มีผลต่อการพองตัว

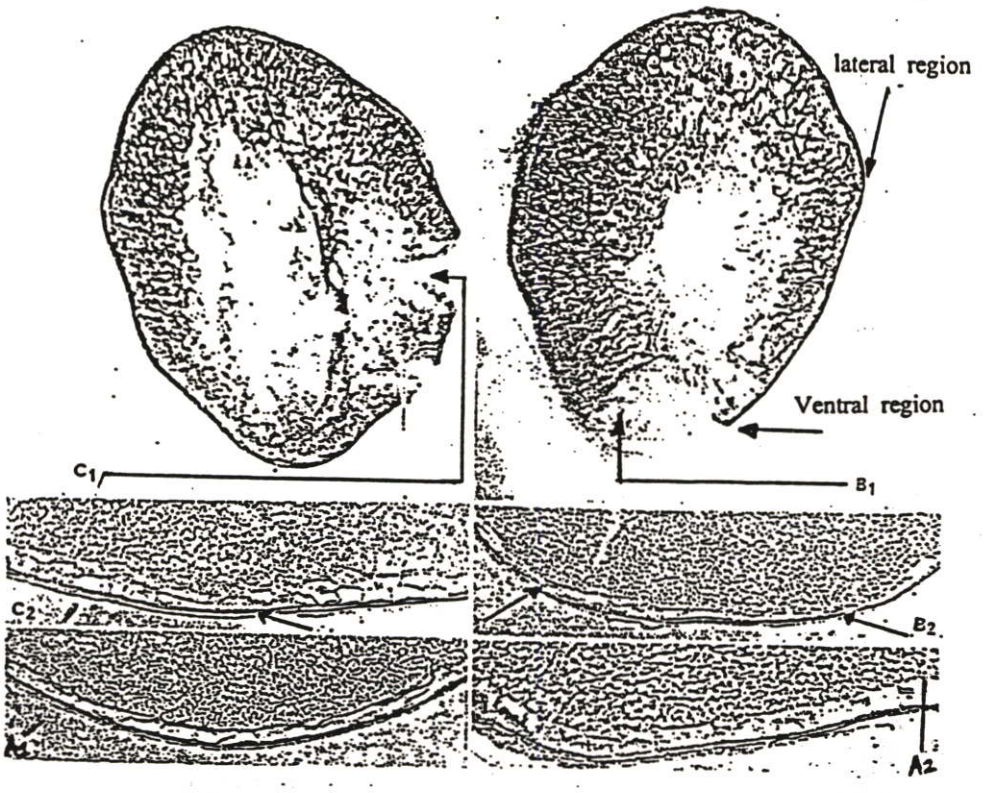
2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการพองของข้าว พบว่า มีตัวแปรต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 พันธุ์ข้าว

Srinivas and Desikachar (1973) ได้ทดลองนำเอาข้าวเปลือกมาปรับความชื้นเป็น 14% ก่อนนำไปทำให้พองตัวใน electrically-heated rotatory roaster ที่ปรับอุณหภูมิไว้ 275°C พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพการพองตัวและความหนาเฉลี่ยของ aleurone layer แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ให้คุณภาพการพองตัวที่ดี จะมี aleurone layer ที่อ่อนและบางตรง specific site ที่จะ

เกิด ระเบิด(bursting) ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการพองตัวที่ไม่ดีจะมีความหนาของ aleurone layer เกือบสม่ำเสมอเท่ากันตลอดตามภาคตัดขวาง (cross-section) ของเมล็ดข้าว



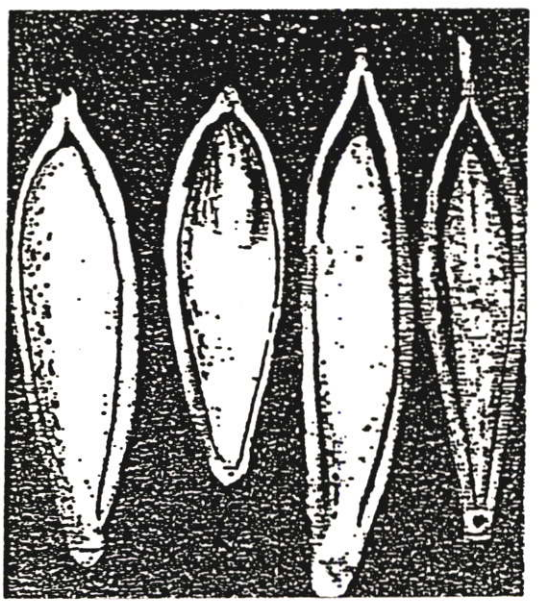
รูปที่ 2.3 แสดงภาคตัดขวางของเมล็ดข้าว

ที่มา : Srinivas and Desikachar (1973)

A_1และ A_2 แสดงถึง aleurone layer บริเวณ ventral และ leteral ของเมล็ดข้าวตามลำดับ ซึ่งเป็น aleurone layerที่มีความหนามากและสม่ำเสมอ จึงเกิด puffing ได้ไม่ดี B_1 แสดงถึง bursting site ตรง ventral region B_2 แสดงให้เห็นถึง aleurone layer ที่บางและอ่อนตรง ventral region ส่วน C_1 แสดง bursting site ที่บริเวณ lateral และ C_2 แสดงถึง thin aleurone layer ที่บริเวณ lateral

นอกจากนี้เขายังพบว่าถ้าข้าวมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกข้าวกว้างจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดี ดังรูปที่ 2.3 จากรูป เมล็ดข้าวทางซ้ายมือมีช่องว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบจะมีคุณภาพการพองตัวต่ำ ส่วนเมล็ดข้าวทางขวามือมีช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ดกว้าง จึงมีคุณภาพการพองตัวที่ดี และพบว่าข้าวจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดีเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีความชื้นในเมล็ดโดยเฉลี่ย 20-24 % การเก็บเกี่ยวก่อนเวลาอันสมควรหรือเก็บเกี่ยวล่าช้ามีผลทำให้ข้าวมีคุณภาพการพองตัวลดลง นอกจากนี้ Srinivas and Desikachar (1973) ยังกล่าวว่าเมล็ดข้าวที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดีกว่าข้าวที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ส่วนปริมาณอะไมโลสและคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวไม่มีความสัมพันธ์กันแม้ว่าข้าวเหนียวบางพันธุ์จะมีคุณภาพการพองตัวที่ดีก็

ตาม แต่ผลการทดลองของ Villareal (1987) พบว่า คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลยมีคุณภาพการพองตัวที่สูง



รูปที่ 2.4 ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกของข้าวเปลือกพันธุ์ Mg1-1,Taichung-65,White Puttu,IR-253 และ Korean waxy ตามลำดับ

ที่มา : Srinivas and Desikachar (1973)

2.3.1.2 ความชื้นของข้าวก่อนทำการพองตัว

Murugesan and Bhattacharya (1986) พบว่า ความชื้นของข้าวก่อนที่จะทำการพองตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก โดยถ้าข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองตัวได้น้อย คาดว่าเนื่องจากความดันไอ (steam pressure) ไม่เพียงพอที่จะเกิดการระเบิด (bursting) และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไป ก็จะให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ต่ำเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพการพองตัวสูงๆ โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อนทำการพองตัวมักอยู่ในช่วง 13.5-14.5 %

2.3.1.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้พองตัว

Murugesan and Bhattacharya (1986) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัวต่ออัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว โดยปรับความชื้นของข้าวก่อนทำการพองตัวเป็น 14% พบว่า ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่เกิดการพองตัวหรือพองตัวได้น้อยลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ได้ก็จะต่ำเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะ

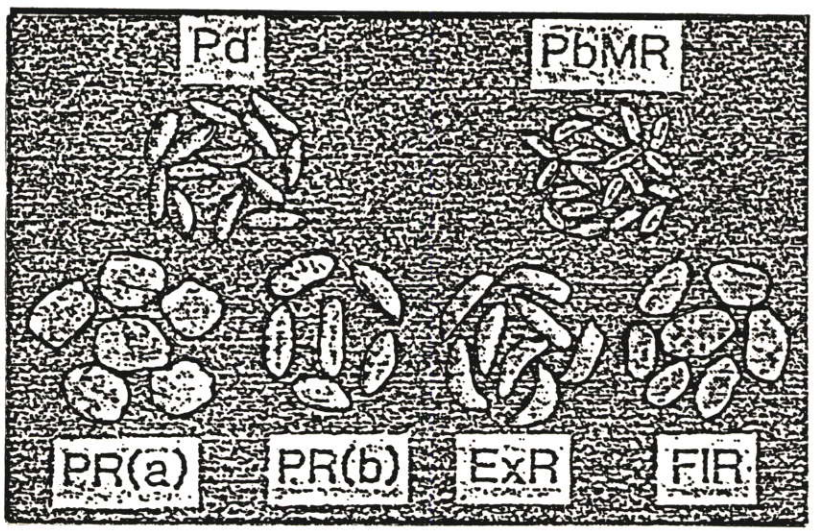
ทำให้ข้าวไหม้เสียก่อนที่จะพองได้หมด ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพองตัวของข้าว จะเป็นอุณหภูมิที่ข้าวมีคุณภาพการพองสูง และเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกัน ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน

2.3.1.4 เกลือ (salt)

Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะช่วยให้มีการขยายตัวของข้าวพองเพิ่มขึ้น Murugesan and Bhattacharya (1986) จึงได้ทำการทดสอบว่าเกลือมีผลต่อการพองตัวของข้าวพองหรือไม่ โดยการแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้นต่างๆ นาน 3 วัน หลังจากนั้นก็นำข้าวไปปรับความชื้น จนได้ความชื้นค่าต่างๆ ก่อนนำไปทำการพองตัว พบว่า เกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการพองตัวของข้าว และในขณะเดียวกันก็จะไปมีผลทำให้ความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อน puff เลื่อนจาก 14 % เมื่อไม่มีเกลือไปเป็น 17% เมื่อเติมเกลือเข้มข้น 2% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม และนอกจากเกลือ NaCl แล้ว เกลือ $CaCl_2$, K_2SO_4 ก็สามารถช่วยเพิ่มอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวได้เช่นกัน

Murugesan and Bhattacharya (1986) ได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองโดยการใช้การคั่วข้าวเปลือกกับทรายร้อนและการใช้ลมร้อน พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ข้าวเปลือกควรมีความชื้น 14 % (wet basis) ทั้งสองระบบ สำหรับการพองตัวด้วยทรายร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 200 องศาเซลเซียล และ 225 องศาเซลเซียล สำหรับการใช้ลมร้อนที่อัตราเร็วของลม 1.5 ลูกบาศก์เมตร/นาที เมล็ดข้าวที่ไม่แก่จัดจะมีการพองตัวที่ไม่ดี แต่เมล็ดหักจะมีแนวโน้มที่มีปริมาตรการพองตัวเพิ่มขึ้น การเติมเกลือจะทำให้มีปริมาตรการพองตัวเพิ่มขึ้น และการนำข้าวเปลือกตากแดดก่อนการปรับความชื้นจะช่วยเพิ่มปริมาตรการพองตัว และข้าวนึ่งจะมีปริมาตรการพองตัวต่ำ โดยลักษณะของข้าวพองที่ได้มีรูปร่างดังรูปที่ 2.4

มาลี ชิ้มศรีสกุล(2534)ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือกและคุณสมบัติของแป้งข้าวพองที่ได้ พบว่าพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง ได้แก่ ข้าวเปลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดยศึกษาจากข้าวเปลือกข้าวเหนียว 3 สายพันธุ์ (กข6, เหนียวสันป่าตอง และ กข10) และข้าวเปลือกข้าวเจ้า 3 สายพันธุ์ (ขาวมะลิ 105, นางมลเอส-4 และ กข11) จากนั้นนำข้าวเปลือกพันธุ์ กข6 มาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวเปลือก โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ ความชื้นของข้าวเปลือก (10, 13, 16 และ 19 %) ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ปรับความชื้น (0 และ 2 %) และอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัว (200, 250 และ 280 องศาเซลเซียล) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก โดยคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือกที่ศึกษาได้แก่ % yield, อัตราส่วนการพองตัว, ปริมาตรการพองตัว, Bulk density, ความชื้น และการประเมินผลทางประสาทสัมผัส กระบวนการที่ใช้ในการพองตัวได้แก่การปรับความชื้นของข้าวเปลือก แล้วทำให้พองตัวด้วยเครื่อง Hot – air puffing



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของข้าวพองแบบต่างๆ
ข้าวเปลือก (Pd), ข้าวนึ่งสีแล้ว (PbMR), ข้าวพองบานเต็มที่ (PR(a)), ข้าวพองบานบางส่วน (PR(b)), ข้าวพองบานบางส่วน (EXR) และ ข้าวพองจากข้าวหัก (FIR)
ที่มา : Murugesan and Bhattacharya (1986)

ซึ่งดัดแปลงจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray dryer) พบว่า สภาวะที่ให้ % yield ของข้าวพองสูง คือ การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเป็น 13 % และอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัวคือ 250 องศาเซลเซียล จากการศึกษานี้พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น เกลือและอุณหภูมิ มีนัยสำคัญต่อ % yield ส่วนปริมาตรการพองตัวจะขึ้นกับอิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น เกลือและอุณหภูมิ ความชื้นและอุณหภูมิ สภาวะที่ให้ปริมาตรการพองตัว ของข้าวพองสูง คือ การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเป็น 13 % และอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัวคือ 250 องศาเซลเซียล ในด้านความแข็งของข้าวพองที่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัว สำหรับ bulk density ของข้าวพองนั้นพบว่าขึ้นกับอิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้น ความชื้นและอุณหภูมิ

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากข้าวพอง

ได้มีการใช้ข้าวพองในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ เป็นอาหารขบเคี้ยว (snack) เนื่องจาก ข้าวพองจะให้รสชาติกลมกล่อม เป็นอาหารรับประทานตอนเช้า (breakfast cereal) เนื่องจากข้าวพองมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงสามารถนำมาทำเป็นอาหารเช้าได้ดีและเป็นที่นิยมในประเทศแถบตะวันตก เป็นสารให้ความเหนียว (thickening agent) เนื่องจากแป้งที่ทำจากข้าวพองสามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ทำให้เกิดความหนืดมาก จึงดัดแปลงมาใช้ในเครื่องดื่ม เพื่อจับอนุภาค

ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ใน suspension นอกจากนี้แป้งที่ทำจากข้าวพองยังแสดงคุณสมบัติในการเป็น strong hydrophilic ใน water dispersion จึงนำไปใช้ในอาหารสำหรับเด็กอ่อน ซึ่งมีแป้งที่ทำจากเมล็ดพืชที่กำจัดไขมันออกแล้ว(defatted oilseed flour) เป็นแหล่งของโปรตีนซึ่งจะแสดงความเป็น hydrophobic จึงอาจตกตะกอนลงมาได้ เป็น bulking agent คุณสมบัติที่สังเกตเห็นได้ง่ายของแป้งที่ทำจากข้าวพอง คือ มี bulk density ต่ำ จึงนำเอาแป้งจากข้าวพองมาทำเป็น diluent หรือ bulking agent ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

2.4 ไมโครเวฟ

สายสนม ประดิษฐ์ควง (2539) ได้ให้คำจำกัดความว่าไมโครเวฟ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงซึ่งแตกต่างไปจากคลื่นแสงวิทยุที่รู้จักกันดี โดยความยาวและความถี่ของช่วงคลื่นไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่น (λ) อยู่ในช่วงระหว่าง 45 เซนติเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่น (V) ระหว่าง 300 MHz (megahertz) ถึง 300 GHz (gigahertz) ความถี่ของช่วงคลื่นดังกล่าวใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุและบางส่วนจะเข้าไปคาบเกี่ยวในคลื่นความถี่ของเรดาร์ จึงอาจไปรบกวนเครือข่ายของการติดต่อคมนาคม โดยเฉพาะการสื่อสารทางไกลที่ใช้ระบบเรดาร์ หน่วยงาน International Telecommunication Union (ITU) จึงได้กำหนดให้ใช้ความถี่ของไมโครเวฟ 915 และ 2450 MHz สำหรับงานให้พลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรมและการใช้ในบ้านเรือน

2.4.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อคลื่นไมโครเวฟกระทบโลหะจะสะท้อนกลับ แต่จะสามารถทะลุผ่านอากาศ แก้ว กระดาษ และพลาสติกได้ ถูกดูดซับได้ดีในสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริก เมื่อคลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับจะไม่ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นกับวัสดุนั้น แต่ถ้าสารใดสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ได้จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในสารนั้นโดยเปลี่ยนรูปจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สารใดที่ดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้ได้สูง จะเรียกสารนั้นว่ามี lossy หรือ lossiness สูง ซึ่งสารประเภทนี้จะทำให้ร้อนได้รวดเร็วเมื่อกระทบคลื่นไมโครเวฟ

2.4.1.1 การสะท้อนกลับ (Reflection)

เมื่อเตาอบไมโครเวฟทำงานจะส่งคลื่นออกมาที่ตัวอาหาร ถ้าภาชนะเป็นโลหะ จะเกิดการสะท้อนกลับเพราะไม่สามารถดูดกลืนเอาไว้ได้ เพราะฉะนั้นถ้าปรุงอาหารโดยใส่ภาชนะโลหะอาหารจะไม่สุก

2.4.1.2 การส่งผ่าน (Transmission)

อำนาจของคลื่นสามารถทะลุภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษและพลาสติกได้ ฉะนั้นภาชนะเหล่านี้จะไม่ร้อน นอกจากตัวอาหารจะทำให้มันร้อน เพราะภาชนะเหล่านี้ไม่มีปฏิกิริยาที่สะท้อน

กลับและดูดกลืนคลื่นเอาไว้ได้

2.4.1.3 การดูดกลืน (Absorption)

อาหารสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ เมื่อโมเลกุลของอาการดูดกลืนคลื่นมันจะสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วถึง 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน มีผลทำให้อาหารสุกในระยะเวลาสั้น

2.4.2 สมบัติไดอิเล็กตริกของอาหาร

ในปี พ. ศ. 2491 Collie Hasted และคณะ ได้ศึกษาหลักพื้นฐานของพฤติกรรมทางไดอิเล็กตริกของอาหาร และได้อธิบายว่าน้ำและเกลือแร่ที่อยู่ในอาหารในรูปของปริมาณเถ้านั้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารแทบทุกชนิดมีสมบัติเป็นไดอิเล็กตริก แต่จะดูดซับไมโครเวฟได้แตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (free water) จะทำให้ดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่เกาะตัวอยู่กับสารประกอบอื่น เช่น โปรตีน หรือ คาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับเกลือแร่ ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัวจะทำให้อาหารนั้นดูดซับไมโครเวฟได้ดีว่าเกลือที่อยู่ในรูปที่รวมตัวกับสารอื่น ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟนั้นได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิ ของอาหาร และระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับอาหารแห้ง อาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะดูดซับไมโครเวฟได้ต่ำกว่า และจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิของอาหารรวมทั้งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟด้วย สมบัติไดอิเล็กตริก ของอาหารต่าง ๆมีความเกี่ยวข้องกับค่าต่างๆอยู่สามค่าคือ

2.4.2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant , k')

คือ ค่าที่แสดงความสามารถของสารประกอบที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับสารใดที่มีค่านี้สูงจะสามารถเก็บกักพลังงานได้สูง ค่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นของอาหารนั้น

2.4.2.2 แฟคเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss Factor , k")

คือ ค่าของพลังงานที่สูญเสียไปหรือที่แพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กตริกเมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในอาหารชิ้นนั้น ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง

2.4.2.3 Loss Tangent (tan δ) หรือ Dissipation Factor

หมายถึง ลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้นซึ่งคิดออกมาในรูปของมุมที่ต่างไปจาก 90 $^{\circ}$ ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า

2.4.3 การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ

กลไกการเกิดความร้อนในอาหารด้วยไมโครเวฟเกิดจาก 2 กลไกด้วยกันคือ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.3.1 Ionic Polarization

เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวอยู่จะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกันขึ้นกับไอออนอื่นๆ และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่นๆต่อไป

2.4.3.2 Dipole Rotation

เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) ได้แก่ น้ำนั่นเองในสภาพปกติสารประกอบจะเรียงตัวประจุลบและประจุบวกอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915-2450 ล้านครั้งต่อวินาที ความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นลักษณะของการเกิดความร้อนที่สำคัญ

ความร้อนที่ทั้งสองรูปแบบดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่จุดซึ่งอาหารสัมผัสกับไมโครเวฟแล้วจึงค่อยกระจายตัวออกไปยังส่วนอื่น โดยการนำความร้อนด้วยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเกิดความร้อนจากสาเหตุต่างๆดังกล่าวนี้ทำให้เกิดได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการหุงต้มด้วยโดยความร้อนแบบดั้งเดิม

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.4.4.1 ความถี่ของคลื่น

ความถี่สำหรับไมโครเวฟมี 2 ความถี่ด้วยกัน คือ 915 และ 2450 MHz ซึ่งมีความยาวคลื่นในอากาศ 33 และ 12.2 เซนติเมตร ตามลำดับ คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำ (816 และ 915 เมกะเฮิรตซ์) จะมีการทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ดีกว่า และมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนมากกว่าเมื่อใช้กับอาหารที่มีลอสแฟคเตอร์ต่ำหรือมีขนาดชิ้นเล็กๆ การเลือกความยาวคลื่นของไมโครเวฟที่จะใช้ขึ้นกับความเหมาะสมในการใช้พลังงาน นอกจากนี้การเลือกใช้ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟก็เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งการเลือกความถี่ที่เหมาะสมสมควรพิจารณาจาก ความหนาของอาหารที่จะทำการแปรรูป ลักษณะและรูปร่างของอาหาร องค์ประกอบของอาหาร และขนาดของโรงงาน ซึ่งจะมีผลต่อกำลังของเครื่องมือที่ต้องการ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.2 กำลังของไมโครเวฟ (Microwave power) และอัตราเร็วในการให้ความร้อน

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กำลังการผลิตอยู่ในช่วง 5-100 kW ซึ่งถ้าใช้กำลังมากก็จะให้ความร้อนได้รวดเร็วและใช้เวลาน้อยลง กำลังที่ใช้จึงเป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร (Schiffman. 1986)

2.4.4.3 ปริมาณอาหาร (Mass)

สิ่งที่ควรพิจารณามี 2 ประการด้วยกัน คือ ปริมาณอาหารทั้งหมดที่ถูกให้ความร้อนภายในครั้งเดียวกัน และลักษณะแต่ละชิ้นอาหาร ซึ่งปริมาณอาหารทั้งหมดนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังของไมโครเวฟ เมื่อปริมาณอาหารมีจำนวนน้อย อาจทำเป็นแบบกะ(batch) แต่หากมีปริมาณอาหารจำนวนมากอาจใช้ระบบสายพาน ซึ่งระบบสายพานนี้จะให้ลักษณะการให้ความร้อนที่มีความสม่ำเสมอมาก (Schiffmann. 1986)

2.4.4.4 ความชื้นในอาหาร

น้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับไมโครเวฟ เนื่องจากน้ำมีค่าลอสแฟคเตอร์สูง อาหารที่มีความชื้นสูงจึงเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็ว (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.5 อุณหภูมิของอาหาร

อุณหภูมิของอาหาร จะมีผลจ่อสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานและมีผลต่อสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดีในอาหารเช่น น้ำ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.6 รูปร่างของอาหาร

อาหารที่ขนาดใหญ่มากหรือมีความหนามาก เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงไป อาจทำให้ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปถึงกึ่งกลางชิ้นอาหารได้ ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั้งชิ้น ความสม่ำเสมอของรูปร่างก็มีผลต่อการให้ความร้อนเช่นเดียวกัน อาหารที่มีรูปร่างสม่ำเสมอจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่า อาหารรูปร่างทรงกลมจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอมากกว่าอาหารที่มีเหลี่ยมมุม (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.7 การนำไฟฟ้า

เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร จึงมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของอาหาร เมื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร เช่น เติมเกลือ หรือสารอื่นที่สามารถแตกตัวให้ประจุ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนจะสูงขึ้น (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.8 การนำความร้อนของอาหาร

ระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนในชิ้นอาหารด้วย ซึ่งจะเป็นได้ชัดในกรณีอาหารชิ้นใหญ่หรือมีความหนามาก ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุเข้าไปถึงกึ่งกลางได้ แต่สำหรับอาหารชิ้นเล็กหรือมีความหนาไม่มาก การนำความร้อนจะมีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิมากนัก (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

2.4.4.9 ความร้อนจำเพาะของอาหาร

จะมีความสำคัญในกรณีที่อาหารชนิดนั้นมีสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำ ความร้อนจำเพาะของอาหารจะมีผลต่ออัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537)

Rosental (1992) ได้กล่าวถึงข้อจำกัดในการนำไมโครเวฟบางประการ คือ

1.) เนื่องจากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทาง electromagnetic ของอาหาร ในอาหารที่มีหลายองค์ประกอบจึงอาจมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอนัก การให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ รูปร่าง และขนาดเป็นต้น

2.) การลงทุนสูง เนื่องจากแมกเนตรอนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของไมโครเวฟมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธีการปกติ

3.) เทคโนโลยีที่ใช้มีความซับซ้อน การดูแลรักษาเป็นเรื่องที่ยุ่งยากพอสมควรสำหรับบุคคลที่ไม่มีทักษะ

4.) ไมโครเวฟไม่สามารถใช้สำหรับการย่าง (grill) การทำให้เกิดสีน้ำตาล(brown) หรือทำให้เกิดเปลือกนอกขนมปังได้(crust) ได้

5.) ต้องการความปลอดภัยที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีปกติ

6.) วิธีการควบคุมการขนถ่ายมวล (mass transport) ทำโดยการควบคุมกำลังที่ป้อน (power input) ตามต้องการ เมื่อมีการขนถ่ายมวลเร็วมาก การพองตัว (puffing) อย่างรวดเร็วอาจทำลายเนื้อสัมผัสของอาหารได้ (Nijhuis. 1992)

2.4.5 การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

มีการนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากสิทธิบัตรและเอกสารอื่นที่ได้ตีพิมพ์ในระหว่างปี 1969-1984 ได้มีการนำไมโครเวฟไปใช้ในกระบวนการ ดังนี้ การอบ การลวก การทำให้เกิดสีน้ำตาล (browning) , การตกตะกอน (coagulation), การเคลือบ(coating), การทำให้สุก ,การคอง(curing) การทำแห้ง การหมัก (fermentation) , การทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) , การเจลาติไนเซชั่น , การพลาสเจอร์ไรส์, การทำให้พองตัว (puffing), การเจียว(rendering) การคั่ว(roasting) ,การสเตอร์ริไลส์ , การเพิ่มอุณหภูมิ(tempering) ,การละลายน้ำแข็ง(thawing) และการทำแห้งสูญญากาศ(vacuum drying) (Rosental ,1992)

ตัวอย่างของกระบวนการซึ่งอาจนำไมโครเวฟมาใช้ได้แก่

2.4.5.1 การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave drying)

ได้มีผู้ศึกษาที่จะนำไมโครเวฟไปใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารและได้มีการผลิตเครื่องขนาดใหญ่ในระบบสายพานขึ้นจำหน่ายเป็นการค้าในราวปี พ.ศ. 2503 เป็นเครื่องทำแห้งผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดในช่วงหลังเพื่อช่วยควบคุมสีของผลิตภัณฑ์ให้ถูกใจผู้บริโภคและให้ผลดี

การทำแห้งโดยใช้พลังงานไมโครเวฟได้มีการใช้แล้วในระดับอุตสาหกรรม เป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาวิธีการทำแห้งแบบเก่าที่ใช้ลมร้อน เพราะช่วยร่นระยะเวลาในช่วงหลังของการทำแห้งอาหารหลายชนิดโดยเปลี่ยนจากระบบความร้อนแบบใช้แรงลมซึ่งมักเกิด case hardening เพราะช่วงหลังการทำแห้งนั้น อัตราการระเหยน้ำจากภายในชิ้นอาหารจะช้าลง เนื่องจากบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์จะแห้งและบริเวณชั้นของอาหารที่แห้งนี้จะเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีในกระบวนการทำแห้ง (Nijhuis.1998) ดังนั้นความร้อนจึงผ่านเข้าไปได้ช้า ถ้าใช้ไมโครเวฟเข้าช่วยจะผ่านทะลุเข้าไปได้ดีกว่าจึงทำให้น้ำภายในร้อนและระเหยออกได้ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ .2537)

การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ สามารถทะลุผ่านผิวชั้นที่แห้ง (dry surface layer) บริเวณจุดกึ่งกลางและผิวของผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนโดยทันที และให้ความร้อนได้โดยตลอดทั่วชิ้นอาหารในบริเวณที่ยังมีความชื้นอยู่สูง จึงไม่ต้องการการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณผิวเข้าสู่ศูนย์กลาง เป็นการช่วยประหยัดเวลาในการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำในระหว่างการทำแห้งซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟนั้นเป็นไปอย่างไม่คงที่ (Thomas.1992)

การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งนิยมใช้ในช่วงท้ายของกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้ไม่ต้องใช้อากาศร้อนจำนวนมากและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจากออกซิเจนในอากาศร้อน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟยังต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ .2537)

การทำแห้งพาสต้าเป็นขบวนการผลิตหนึ่งที่ประสบความสำเร็จในการนำไมโครเวฟมาใช้ขบวนการนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือเครื่องทำอากาศร้อนโดยใช้อากาศร้อนธรรมดา เป็นขั้นตอนแรก ขั้นตอนที่สองเป็นการใช้ร่วมกับอากาศร้อนและไมโครเวฟ และขั้นตอนที่3 เป็นการปรับอุณหภูมิ

พาสต้าสดจะเข้าไปในเครื่องอบแห้งใช้อากาศร้อนโดยมีความชื้นเริ่มต้น 30 % อากาศร้อนที่ใช้มีอุณหภูมิ 71-82 องศาเซลเซียส ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 20 % ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที และจะถูกทำให้แห้งต่อไปจนความชื้นลดลงถึง 18 % ใช้เวลาประมาณ 35 นาที และนำเข้าสู่ขั้นตอนที่สอง ซึ่งมีการใช้ทั้งไมโครเวฟและอากาศร้อน ไมโครเวฟใช้กำลังขนาด 915 MHz และอากาศร้อนมีอุณหภูมิ 82-93 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15-20% ความชื้นพาสต้าลดลงถึง 13-13.5%ใช้เวลา12 นาที และเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง พาสต้าจะถูกทำให้เย็นจาก 74 องศาเซลเซียส จนต่ำเพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการแตกเนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นจะสูญเสียไปอีก 0.5-1.0% (มาลัย .2527)

ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ ขบวนการนี้จะประหยัดพื้นที่ ได้ 3-5 เท่า เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไป แบบที่ใช้ไมโครเวฟใช้พื้นที่ยาว 8.2 เมตร ในขณะที่เครื่องอบแห้งทั่วไปจะใช้พื้นที่ยาว 36-48 เมตร การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งผลิตภัณฑ์พาสต้า จะลดเวลาในการทำ

แห้งจากวิธีทั่วไปซึ่งใช้เวลา 8 ชั่วโมง ให้เหลือเพียง 90 นาที พาสต้าที่ได้จะมีสีที่ดี แป้งจะหลุดร่อนน้อยกว่าวิธีโดยทั่วไป และไม่เกิดการแข็งตัวที่ผิวนอก จำนวนจุลินทรีย์ในอาหารน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น เครื่องมือชนิดนี้ใช้เวลาในการทำความสะอาด ประมาณ 6 ชั่วโมง เทียบกับเครื่องอบแห้งแบบธรรมดาใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง และใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้อากาศร้อน 20-25% ของวิธีธรรมดา คือ ใช้พลังงานประมาณ 747 kJ ต่อการทำพาสต้า 1 กิโลกรัม ในขณะที่วิธีทั่วไปใช้พลังงาน 927 kJ ต่อกิโลกรัม

การทำแห้งกล้วยแผ่นบาง (slice banana) และกล้วยบด (mashed banana) ด้วยไมโครเวฟ กล้วยจะถูกทำให้เป็นโฟมโดยการผสมสารทำให้เกิดโฟม (foaming agent) พบว่าเมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟแทนการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว อัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้น 16 เท่า (Nijhuis *et.al.*1998)

การทำแห้งลูกเกดในทางการค้าซึ่งใช้แสงอาทิตย์นั้นใช้เวลานาน และต้องผ่านการทรีตด้วยสารเคมีก่อนเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง ซึ่งขั้นตอนการพรีทรีตเมนต์ด้วยสารเคมีจะลดการแพร่ของน้ำที่ผิวลูกเกด จึงได้มีการคิดค้นการใช้ไมโครเวฟก่อนการทำแห้ง (pre drying) เพื่อทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการพอง (puffing) ซึ่งจะช่วยให้ความชื้นภายในสามารถแพร่ออกมาได้ในระหว่างการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ การผลิตทำโดยนำองุ่นที่ไม่มีเมล็ดแช่ในสารละลายด่างและทรีตโดยใช้ไมโครเวฟจากนั้นทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ การพรีทรีตเมนต์ด้วยไมโครเวฟจะช่วยลดความชื้น 10-20% ซึ่งพบว่ามีอัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น (Nijhuis *et.al.*1998)

ได้มีการพัฒนาวิธีทำมันฝรั่งทอดที่มีน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า 1% และไม่ให้มีสีคล้ำ โดยในขั้นแรกจะทอดมันฝรั่งในน้ำมันจนมีความชื้น 8% แล้วในขั้นต่อไปลดความชื้นลงให้เหลือ 1.5% โดยใช้ตู้อบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง แต่การใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมมันฝรั่งทอดนั้น จะต้องเลือกคลื่นความถี่ที่เหมาะสม กล่าวคือที่คลื่นความถี่ 2450 MHz น้ำจะดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้มากกว่าน้ำมัน ในขณะที่คลื่นความถี่ 915 MHz การดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟของน้ำและน้ำมันจะเท่ากัน เมื่อน้ำมันดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟไว้ จะทำให้อุณหภูมิของมันฝรั่งเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มในมันฝรั่งทอด นอกจากนี้การผลิตมันฝรั่งทอดอาจทำโดยการทอดมันฝรั่งในน้ำมันจนได้ปริมาณความชื้น 7% แล้วใช้ตู้ไมโครเวฟในขั้นที่สอง เพื่อลดปริมาณความชื้นให้เหลือ 2% การทำเช่นนี้ไม่ทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มในมันฝรั่งทอด แม้ว่าจะใช้มันฝรั่งที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 1% ก็ตาม ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในมันฝรั่งทอดเมื่อทอดด้วยวิธีเก่ามีค่าประมาณ 40% ในขณะที่ตู้อบไมโครเวฟจะมีน้ำมันเหลืออยู่ถึง 35% นอกจากนี้ยังพบว่า มันฝรั่งที่ทอดด้วยวิธีเก่าจะมีกลิ่นเหม็นหืนเร็วกว่ามันฝรั่งทอดที่ใช้วิธีไมโครเวฟประมาณ 3 วัน (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532)

Bouraoui *et .al.*(1994) ได้ทดลองทำแห้งแผ่นมันฝรั่งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งด้วยการพา และ การทำแห้งด้วยการพาเพียงอย่างเดียว อัตราการทำแห้งของแต่ละวิธีจะแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำ แห้งเมื่อมีการใช้ไมโครเวฟกับการทำแห้งด้วยพา พบว่าการทำแห้งเมื่อการใช้ไมโครเวฟจะให้ผลิตภัณฑ์แห้งซึ่งมีคุณภาพที่ดีกว่า และช่วยลดช่วงระยะเวลาการทำแห้ง จาก 10 ชั่วโมงเหลือเพียง 10 นาที

2.5 อาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งหรืออาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง (Granola Bar)

Matz (1962) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งนี้เป็นอาหารที่พร้อมจะรับประทานเหมือนกับคอร์นเฟลก โดยมีการรวมน้ำตาล ไขมัน และนม อัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งในระยะแรกต้องใช้แรงต่ำสุดเพื่อทำให้พวกเฟลก และ แกรนูลต่างๆอยู่ในรูปเดิม โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะเกาะกันด้วยโครงข่ายของน้ำตาล (sugar lattice) แทนที่การใช้เนยขาว (shortening) อบให้ผลิตภัณฑ์แห้ง ลักษณะแท่งที่ได้ต้องแข็งแรง ไม่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยมือระหว่างการบรรจุ และการจัดจำหน่าย

Robbins (1976) กล่าวว่า การทำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งจะใช้ธัญพืชเพียงอย่างเดียว หรือหลายชนิดผสมกันก็ได้ เมล็ดธัญพืชที่ใช้ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ข้าวไรน์ ข้าวเจ้า และข้าวโพด โดยนำเมล็ดธัญพืชเหล่านี้มาปิ้ง หรือย่าง (toasted)ก่อน จากนั้นนำมาผสมกับสารเชื่อมต่างๆ อาจมีการใส่ ผลไม้อบแห้ง ถั่วต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะของธัญพืชที่มีขนาดอนุภาคหยาบ (coarse particle) และให้เนื้อสัมผัสที่เหมือนกับธรรมชาติ

Gobble (1979) ได้ศึกษา การทำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำหรับรูปแบบผสมชนิดแท่ง โดยมีสูตรเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 สำหรับตัวอย่างในการสร้างสูตรพื้นฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อได้สูตรพื้นฐานแล้ว นำมาผลิตตามกรรมวิธีการผลิตอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง โดยจะใช้ส่วนผสมของแห้งที่มีลักษณะเป็นชิ้นหยาบๆ เช่น ธัญพืชและผลไม้อบแห้ง ผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันและใช้สารเชื่อมซึ่งเป็นของเหลวที่มีน้ำตาล น้ำผึ้ง หรือไซรัปต่างๆเป็นองค์ประกอบหลัก ผสมให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์ อบให้ผลิตภัณฑ์แห้ง แยกจากแม่พิมพ์และทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปใส่ภาชนะบรรจุ มีการตรวจสอบคุณภาพที่สำคัญ คือ ความชื้น การทดสอบทางประสาทสัมผัส และการทดสอบทางจุลินทรีย์

Dalgleish (1990) กล่าวถึง ลักษณะทั่วไปของอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง ว่าเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่สะดวกในการบริโภคเหมาะสำหรับภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ซึ่ง U.K.Ministry of Agriculture,Fisheries &Food Memorandum ได้สรุป

ลักษณะทั่วไปของอาหารเช้าแบบผสมชนิดแท่งไว้ดังนี้ กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ต้องยังคงปรากฏอยู่ ต้องใช้น้ำลายเป็นตัวกลาง และกลืนกินได้ต่อเนื่อง เนื้อสัมผัสต้องง่ายต่อการเคี้ยว มีรส กลิ่น และได้รับประโยชน์จากการบริโภค ขนาดและรูปร่างต้องง่ายต่อการบรรจุ และขนส่งต้องสะดวกสบายต่อการกัดกิน (bite) และง่ายต่อการบริโภคต่อหนึ่งบุคคล เก็บได้นาน และรับประทานได้ง่ายไม่ต้องเสียเวลาในการเตรียม

ตารางที่ 2.1 สูตรเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง

ส่วนผสม	ร้อยละ
ของแห้ง	20 – 65
- ข้าวโอ๊ต	
- ข้าวสาลี	
- ข้าวโพด	
- นัท สกิน (nut skins)	
เนยขาว (shortening)	9 – 14
- น้ำมันนะพร้าว	
- น้ำมันข้าวโพด	
- น้ำมันถั่วลิสง	
น้ำตาล	12 – 20
- น้ำตาลทราย	
- น้ำผึ้ง	
- คอร์นไซรัป	
- น้ำตาลทรายแดง	
- โมลาส	
อื่นๆ (ผลิตภัณฑ์นม , ผลไม้อบแห้ง และถั่วต่างๆ)	0 – 10

ที่มา : Gobble (1979)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสูตรพื้นฐานในการทำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง

ส่วนผสม (ร้อยละ)	สูตรที่					
	1	2	3	4	5	6
ข้าวโอ๊ต + โอ๊ตเฟลก	65	-	-	60	-	-
ข้าวโพด + คอร์นเฟลก	-	65	-	-	55	-
ข้าวสาลี + วีตเฟลก	-	-	65	-	-	50
น้ำมันมะพร้าว	10	-	-	15	-	5
น้ำมันข้าวโพด	-	10	-	-	12	-
น้ำมันถั่วลิสง	-	-	10	-	-	-
น้ำตาลทราย	15	-	10	-	15	-
น้ำผึ้ง	-	-	-	10	-	-
คอร์นไซรัป	-	-	-	10	-	-
น้ำตาลทรายแดง	-	15	-	-	3	40
โมลาส	-	-	5	-	10	-
อื่นๆ (ถั่วต่างๆ มะพร้าวอบแห้ง, ผลไม้อบแห้ง)	20	20	10	5	-	5

ที่มา : Gobble (1979)

Rice (1990) กล่าวว่าอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง เป็นอาหารขบเคี้ยวประเภทหนึ่งที่จัดอยู่ในอาหารขบเคี้ยวประเภทใหม่ มีอายุการเก็บรักษานาน และเป็นอาหารหวานมากกว่าอาหารคาว มีหลายชนิดเช่น Granular / muesli bars, Chocolate bars, Minibreak bars, Energy bars ซึ่ง กราโนลาบาร์เป็นอาหารขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจุดขายของผลิตภัณฑ์อยู่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบ คือ ธัญพืช สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดเคี้ยวกรอบแห้ง หรือครั้นชี่ (Crunchy bars) เรียกอีกชื่อว่า มูสลี่บาร์ (muesli bar) ผลิตภัณฑ์นี้จะประกอบด้วย โอ๊ตเฟลก วีตเฟลก ไรน์เฟลก ผลไม้แห้งต่างๆ (แอปเปิ้ลเฟลก เอพปริคอต ถูกเกด) พวกถั่ว (แอลมอนด์ ถั่วลิสง มะพร้าว เฮซีลนัท) พืชเมล็ด (งา เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฟักทอง) และสารให้ความหวาน มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 15-20 ในรูปซูโครส เป็นการเพิ่มกลิ่นรสและเนื้อสัมผัส

และชนิดเหนียวนุ่มหรือชิวี่ (Chewy bars) ส่วนผสมเหมือนชนิดเคี้ยวกรอบแห้ง มีการเพิ่มจำนวนน้ำตาลให้สัมพันธ์กับส่วนผสม บางครั้งอาจเติมน้ำตาล อินเวิรต์ เพื่อลดการตกผลึกของน้ำตาล และอาจเติมหางนมผงที่มีความหวานทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวนุ่ม มีความชื้น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 25-30 ปริมาณไขมันน้อยกว่าร้อยละ 12-15 จนถึงร้อยละ 18 ซึ่งชนิดเหนียวนุ่ม(Chewy bars) นี้จะมีไขมันมากกว่าชนิดเคี้ยวกรอบแห้ง(Crunchy bars)ถึงร้อยละ 22-24 ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีพัฒนาส่วนผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาเหนียว นุ่ม(stick) เป็นลักษณะมูสลี่บาร์ที่ปราศจากน้ำตาล หรือไขมันเป็นการช่วยรักษาสุขภาพได้

Lorenze and Kulp (1991) กล่าวว่า granola เริ่มเป็นอาหารจากธัญพืชที่ได้รับความนิยม โดยที่ granola มีส่วนผสมของเมล็ดธัญพืชหลายชนิดที่จับกันเป็นก้อน ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะใช้ธัญพืชในรูป flake เช่น rolled oat , barley หรือ ธัญพืชชนิดอื่นผสมกับส่วนที่ไม่ใช่ธัญพืช เช่น ถั่ว,มะพร้าว,ผลไม้,น้ำมัน,น้ำและเครื่องเทศ โดยส่วนผสมจะถูกผสมแล้วทำให้แห้งโดยกรอบและตัดเป็นชิ้น

วิมลศิริ ธนะสูตร (2539) ได้ศึกษาการพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง โดยการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบระดับมาก รสหวานและกลิ่นรสระดับปานกลางและรสเค็มระดับน้อย สูตรผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้วประกอบด้วย ข้าวเม่าคั่วร้อยละ 15 ถั่วลิสงคั่วร้อยละ 20 เมล็ดทานตะวันคั่วร้อยละ 18 แบะแซร้อยละ 3.2 แยมสับปะรดร้อยละ 15 กล้วยน้ำว้าฉาบ นมผงขาดมันเนย น้ำตาลมะพร้าวและน้ำร้อยละ 5 น้ำผึ้งร้อยละ 4.3 กลิ่นสับปะรดและเกลือร้อยละ 0.5 ผสมส่วนที่เป็นของแห้งและของเหลวจนเป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นรูปโดยใส่แม่พิมพ์ขนาด 3X 5X 7.5 ซม. อบผลิตภัณฑ์ให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียล 30 นาที จากการทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับโดยมีความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง

จริยา คุณะวิภากร (2542) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมเนยถั่วลิสง ทำการผลิตข้าวพองจากข้าวหอมมะลิหักโดยการนำข้าวกล้องหอมมะลิหักนึ่งด้วยไอน้ำเดือด แล้วทำการอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 4 – 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทอดแบบน้ำมันท่วม และนำข้าวพองที่ได้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่าง โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสม คือ ข้าวพอง เนยถั่วลิสง แบะแซ น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 32.5, 27.5, 16, 12 และ 12 ตามลำดับส่วนเกลือและน้ำร้อยละ 0.8 และ 15 ของส่วนผสมหลัก ทำการผลิตโดยนำส่วนผสมแห้งอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียล ผสมลงในน้ำเชื่อมที่เคี่ยวที่อุณหภูมิช่วง 154 – 158 องศาเซลเซียล ผสมให้เข้ากัน กดและรีดลงบนพิมพ์ตัดเป็นชิ้นขนาด 1.5 X 2.5 ซม. หนา 0.7 ซม. มีสีน้ำตาลอ่อนและแห้ง มีกลิ่นถั่วลิสงปานกลางและกลิ่นน้ำตาลเคี่ยวเล็กน้อย มีความกรอบพอประมาณและมีรสหวาน ผู้บริโภคเป้าหมาย 120 คนยอม

รับผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง

2.6 วัตถุดิบอื่นๆในการผลิตอาหารสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง (กราโนลาบาร์)

2.6.1 เนยถั่วลิสง

เนยถั่วลิสงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากการบดถั่วลิสงคั่วแล้วหลังการกระเทาะเปลือก และแยกส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดออก มีการเติมสารปรุงแต่งรส ได้แก่ สารให้ความหวาน เกลือ และเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณไม่เกิน ร้อยละ 10 เพื่อป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันและเพิ่มความสามารถในการทา โดยที่ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ควรเกินร้อยละ 55 และห้ามการเติมสี วิตะมินเอ บี ซี และดี และวัตถุกันเสีย โดยปริมาณถั่วลิสงคั่วแล้วบดกำหนดไว้มีปริมาณอย่างน้อยร้อยละ 90 (FDA. 1977; Weiss. 1983) โดยสารให้ความคงตัวมีปริมาณร้อยละ 1 –5 และอาจมีสารอีมัลซิไฟเออร์ประมาณร้อยละ 0.5 – 1.5 เพื่อป้องกันลักษณะยางเหนียว และทำให้รู้สึกติดเพดานปากขณะรับประทาน สารที่นิยมใช่ เช่น เลซิติน ซึ่งเป็นตัวกระจายไขมันให้เข้ากันกับสารละลายน้ำหรือที่มีขั้วต่างกัน ส่วนสารให้ความหวานมีการเติมในปริมาณร้อยละ 1 – 3 หรืออาจใช้มากกว่ากรณีทำเป็นแบบผลิตภัณฑ์ถนอมอมอาหารที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง (Dzurik. 1971) โดยที่องค์ประกอบของเนยถั่วลิสงชนิดต่าง ๆ ในท้องตลาด พบว่ามีความชื้นร้อยละ 0.67 – 2.22 โปรตีนร้อยละ 11.82 – 26.61 และไขมันร้อยละ 47.01 – 54.90 (วรลักษณ์ มันตาดิลก. 2535)

การผลิตเนยถั่วลิสงในแบบที่มีถั่วลิสงบดหยาบปน (Chunk Style) ในปริมาณมากเท่าที่เป็นได้โดยไม่มีผลต่อคุณภาพการทา โดยมีการใส่ถั่วบดหยาบในปริมาณร้อยละ 15 – 25 และส่วนที่เป็นครีมในสัดส่วนปริมาณร้อยละ 78 – 85 ซึ่งมีการเติมไขมันแข็งในปริมาณร้อยละ 0.5 – 5.5 มีเกลือ ร้อยละ 0 – 1.7 และน้ำตาลร้อยละ 0 –14 (Parker , 1976) และการผลิตเนยถั่วลิสงลดพลังงานนั้น แต่เดิมได้มีการใช้แป้งถั่วลิสงพร่องไขมันในการผลิต แต่ปัจจุบันพบว่าไม่จำเป็นต้องใช้แบบเดิมเพราะจะทำให้เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของเนยถั่วลิสงเสียไป โดยการลดพลังงานอย่างน้อยร้อยละ 15 สามารถทำได้โดยการเติมสารพวก Solid bulking agent เช่น polydextrose หรือ microcrystalline cellulose ลงไปในเนยถั่วลิสง ซึ่งใส่ลงในปริมาณร้อยละ 15 – 40 จะช่วยปรับปรุงในด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสได้มาก (Yokoyama *et al.* 1989)

Bixby and Helmke (1973) ทำการผลิตธัญพืชอาหารเช้าซึ่งมีส่วนผสมเนยถั่วลิสง และไม่เกิดการหืนเมื่อเก็บไว้นาน โดยเตรียมธัญพืชอาหารเช้าที่มีความชื้นร้อยละ 14 และนำเนยถั่วลิสงเหลวให้ซึมผ่าน โดยการพ่นลงผลิตภัณฑ์ธัญพืชอาหารเช้า และนำไปทำแห้ง จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 1 – 5 โดยจากเดิมการทำให้เนยถั่วลิสงเหลว คือ การให้ความร้อน ซึ่งส่งผลเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และเกิดการหืนของไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ แต่วิธีการผสมด้วย Edible Oil ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันข้าวโพด เป็นต้น จะ

เป็นวิธการที่เหมาะมากกว่าการให้ความร้อนเพื่อให้เนยเหลว นอกจากนี้ Becker *et al.* (1986) ผลิตอาหารว่างที่อุดมด้วยกากใยอาหาร ซึ่งมีเนยถั่วลิสงในปริมาณร้อยละ 7.1 – 10.5 โดยผสมส่วนที่นำมาเคลือบ ซึ่งประกอบด้วยไขมัน น้ำตาล นมผงขาดมันเนย โยเกิร์ต น้ำผึ้ง โมลาส เลซิติน และกลิ่นวานิลาสังเคราะห์ ซึ่งเป็นส่วนในการทำให้ส่วนผสมที่เป็นแหล่งกากใยอื่น ๆ ดูดซับและเข้ากันได้ดีขึ้น และนำไปผ่านขบวนการหุงต้มแบบเอกซ์ทรูชั่น

2.6.2 น้ำตาลทราย (น้ำตาลซูโครส)

น้ำตาลทรายจะละลายได้จนมีความเข้มข้นร้อยละ 67 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อวางทิ้งไว้จะตกผลึกในระยะเวลาสั้น แต่ถ้ามีการเติมน้ำตาลแปร หรือกลูโคไซรัปลงไปผสม จะช่วยให้น้ำตาลทรายละลายได้มากขึ้น โดยไม่ตกผลึก และยังช่วยป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ แต่จะต้องมีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 75 ขึ้นไป การละลายของซูโครสขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หรืออาจใช้วิธีการสังเกตจากลักษณะการเดือดของน้ำเชื่อม หรือลักษณะของน้ำเชื่อมเมื่อหยดลงในน้ำที่เย็นจัด

2.6.3 แบะแซ (กลูโคสไซรัป)

แบะแซ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งข้าวโพด หรือมันสำปะหลังด้วยกรดและหรือเอนไซม์ ทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ดี- กลูโคส มอลโทส และโพลิเมอร์ของดีกลูโคส ในสัดส่วนที่ต่างๆกัน คุณสมบัติของแบะแซ กำหนดด้วยค่าสมมูลเด็กโทรส (D.E.) หมายถึง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณในรูป D (+)-glucose ของปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมด แบะแซที่ผลิตจำหน่ายมีทั้งลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวข้นหนืดและแบบผง โดยต้องมีค่า D.E. ไม่ต่ำกว่า 20 โดยองค์ประกอบของแบะแซที่ผลิตในประเทศไทยมีค่าดังตารางที่ 3 แบะแซที่มีความหนืดสูงจะมีความหวานต่ำ ช่วยป้องกันการตกผลึกได้ดี มีการดูดซับน้ำต่ำ ช่วยให้มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความเลื่อมมัน ทนต่อการแตกหักได้ดี การละลายน้ำของแบะแซจะละลายได้ดี เมื่อค่า D.E. สูง และลดลงไปตามค่า D.E. ซึ่งแบะแซที่มีค่า D.E. สูงจะมีความหวานเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดจะลดลง การควบคุมการตกผลึกก็จะลดลง และดูดความชื้นได้สูง (ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2539)

2.6.4 น้ำตาลเด็กโทรส (Dextrose)

น้ำตาลเด็กโทรสได้จากการเปลี่ยนแป้งข้าวโพด หรือวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากแป้งสาลีโดยกรดหรือเอนไซม์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือผง โดยน้ำตาลเด็กโทรสในรูปแบบผง ได้แก่ แบบผลึก anhydrous และผลึก monohydrate (Coco *et al.* 1988) โดยแบบ anhydrous จะมีความบริสุทธิ์มากกว่าแบบ monohydrate และมีราคาแพงกว่า จึงไม่ค่อยใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาลที่เป็นผงจะมีการเติมแป้งลงไปเล็กน้อยเพื่อไม่ให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนเนื่องจากการดูดความชื้นของน้ำตาล (Ashwood . 1991)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของแบะแซที่ผลิตในประเทศไทย

องค์ประกอบ	แบะแซ
ของแข็ง (ร้อยละ)	89.03
ค่าสมมูลเด็กโทรส	40.24
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.60
เด็กโทรส (ร้อยละ)	6.91
มอลโทส (ร้อยละ)	48.01

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์ (2510)

2.6.5 ถั่วลิสง

ถั่วลิสง เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เมล็ดถั่วลิสงจัดว่ามีคุณค่าทางอาหารสูง โดยมีโปรตีนประมาณ ร้อยละ 25 ไขมัน ประมาณร้อยละ 47 – 50 และคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 18 นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยเกลือแร่ และวิตามินรวมทั้งสารที่ให้สี และกลิ่นรส ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาเมล็ดถั่วลิสงมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เพื่อแปรรูปทางอาหารของถั่วลิสง นอกจากนี้ถั่วลิสงยังมีคุณค่าทางโภชนาการดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.6.6 กล้วยทอดแผ่นบาง

กล้วยในประเทศไทยส่วนใหญ่จะรับประทานผลสด หรือนำมาประกอบอาหารหวาน และในการแปรรูปกล้วยเป็นกล้วยทอดแผ่นบางจะใช้กล้วยดิบแก่ที่ไม่สุกมากนักมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แช่ในสารละลาย ฝานบางๆ ผึ่งลมไว้สักครู่ แล้วจึงนำมาทอดในน้ำมันพืช คล้ายมันฝรั่งทอด นิยมใช้กล้วยน้ำว้าหรือกล้วยหักมุกหรือกล้วยหิน การฝานกล้วยอาจฝานตามยาวหรือตามขวางก็ได้ ถ้านำไปฉาบด้วยน้ำตาลจะเรียกว่ากล้วยฉาบ แต่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีอายุการเก็บสั้นและมักเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย (เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2534)

2.6.7 เมล็ดทานตะวัน

เมล็ดทานตะวันเป็นพืชพื้นเมือง ในเขตตะวันตกของสหรัฐอเมริกา และย้ายไปปลูกในประเทศ สเปนตอนกลางศตวรรษที่ 16 โดยปลูกเป็นไม้ประดับปัจจุบันแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ในสหภาพโซเวียต ภาคกลาง และภาคตะวันออกของยุโรป สหรัฐอเมริกา และอาร์เจนตินา สำหรับประเทศไทยมีการปลูกทานตะวันมานานแล้ว ในอดีตปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับ และใช้เป็นอาหารนกเท่านั้น แต่ปัจจุบันเมล็ดทานตะวันเป็นพืชที่มีประโยชน์ทางอุตสาหกรรมมาก เช่น อุตสาหกรรมการ

ทำน้ำมันหุงต้ม น้ำมันสลัด เนยเทียม สี และน้ำมันชักเงา อุตสาหกรรมอาหาร เช่น ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น (จุฑามาศ เธาระวนิช. 2530) กองโภชนาการ (2530) ได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดทานตะวัน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางอาหารของถั่วลิสงคั่วไม่มีเปลือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	ถั่วลิสงคั่วไม่มีเปลือก
พลังงานที่ได้รับ (แคลอรี)	563
โปรตีน (กรัม)	28.6
ไขมัน (กรัม)	47.0
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	15.4
เกลือแร่	
แคลเซียม (มก.)	45
ฟอสฟอรัส (มก.)	401
เหล็ก (มก.)	1.8
วิตามิน	
เอ (หน่วยสากล)	0
บีหนึ่ง (มก.)	0.24
บีสอง (มก.)	0.14
ไนอะซิน (มก.)	14.5

ที่มา : กองโภชนาการ (2530)

2.6.8 น้ำผึ้ง

น้ำผึ้ง หมายถึง ของเหลวรสหวานซึ่งผึ้งผลิตขึ้นจากน้ำหวานของดอกไม้ หรือจากส่วนหนึ่งของต้นไม้ แล้วสะสมไว้ในรังผึ้ง (นิรนาม . 2526) จากนั้นทิ้งไว้ จนน้ำหวานมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพ จนเป็นน้ำผึ้งในที่สุด โดยทั่วไปแล้วน้ำผึ้งจะมีลักษณะข้น มีรส กลิ่น และสี ระหว่างสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน ถึงน้ำตาลไหม้ขึ้นอยู่กับชนิดของเกสรดอกไม้ที่ผึ้งดูดน้ำหวานมา เช่น น้ำผึ้งที่ได้จากดอกลำใย จะมีสีเข้มกว่าน้ำผึ้งที่ได้จากดอกลิ้นจี่ ดอกเงาะ นอกจากนี้น้ำผึ้งยังมีลักษณะโปร่งแสง และไม่เป็นฟอง (นิรนาม. 2528) น้ำผึ้งที่จัดอยู่ในเกณฑ์ดี และได้มาตราฐาน ต้องมีองค์ประกอบโดยน้ำหนักคิดเป็นร้อยละดังนี้ น้ำ 17.2 โปรตีน 0.3 เถ้า 0.2

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดทานตะวันดิบในส่วนที่รับประทาน ได้ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	เมล็ดทานตะวันดิบ
พลังงานที่ได้รับ (แคลอรี)	490
โปรตีน (กรัม)	16.7
ไขมัน (กรัม)	32.8
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	38.6
เกลือแร่	
แคลเซียม (มก.)	92
ฟอสฟอรัส (มก.)	632
เหล็ก (มก.)	5.8
วิตามิน	
เอ (หน่วยสากล)	0
บีหนึ่ง (มก.)	0
บีสอง (มก.)	0.07
ไนอะซิน(มก.)	2.4

ที่มา : กองโภชนาการ (2530)

คาร์โบไฮเดรต 82.3 กรดชนิดต่าง 0.5 และไม่มี ไขมัน น้ำตาลส่วนมากเป็น ดี – กลูโคส และ ดี – ฟรุคโตส (Matz. 1984) ได้แก่ เลวูโลส เด็กโทรส มอลโตส ซูโครส โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำตาลทราย จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 5 ถ้ามากกว่านี้ ถือว่าน้ำผึ้งนั้นเลี้ยงด้วยน้ำตาล (นิรนาม . 2529) สำหรับอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่รับประทานนั้น ร่างกายจะย่อยเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาล เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน ดังนั้นน้ำผึ้ง เมื่อระเหยเอาน้ำออก ประมาณร้อยละ 99 โดยน้ำหนักคือ น้ำตาล หลังจากที่ย่อยสลาย ในร่างกายแล้วน้ำผึ้ง จะให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต กรดชนิดต่าง ๆ ที่มีในน้ำผึ้ง มีทั้งระเหยได้ และระเหยไม่ได้ได้แก่ กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดซัคซินิค กรดอะมิโน น้ำผึ้งที่ได้จากเกสรดอกไม้บางชนิดยังมีกรดแลคติค กรดทาร์ทาริค และกรดออกซาลิค ปนอยู่ด้วย กรดเหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกาย และทำให้น้ำผึ้งไม่เน่าเสีย (White. 1975) แร่ธาตุในน้ำผึ้งที่พบทั่วไปที่ได้มาตรฐานได้แก่ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส ซิลิก้า แคลเซียม โซเดียม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส อลูมินั่ม กำมะถัน คลอรีนและบรอลีน แร่ธาตุเหล่านี้ล้วนมีความจำเป็นต่อร่างกายเพื่อใช้ในการเสริมสร้างและทำให้สุขภาพแข็งแรง (นิรนาม.

2529) วิตามินส่วนใหญ่ในน้ำผึ้งเป็นวิตามินบี 1 บี2 บี5 บี6 และ บี12 วิตามินซี นอกจากนี้ยังมีไบโอติน และแพนโททินิคแอซิด วิตามินจากเกสรดอกไม้มีคุณค่าสูงกว่าผักผลไม้ (White. 1975)

2.6.9 นมผง

สุวรรณ กิจภากรณ์ (2525) กล่าวว่า นมผง คือ น้ำนมสดที่ระเหยเอาน้ำออกตามกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น การทำแห้งโดยผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือทำแห้งภายใต้ระบบสูญญากาศ หรือการใช้วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย สามารถแย่งนมผงได้ 2 ประเภท คือนมผงธรรมดา (Whole milk powder) มีมันเนยอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ของน้ำหนัก และนมผงขาดมันเนย (Skimmed milk powder) มีมันเนยอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก นมผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำนมสด มาทำแห้งซึ่งจะมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำนมสด สามารถแบ่งนมผงออกตามวิธีการผลิตได้ 3 ชนิด คือ นมผงที่ผลิตโดยใช้ความร้อนต่ำ นมผลที่ผลิตโดยใช้ความปานกลาง และ นมผงที่ผลิตโดยใช้ความร้อนสูงนมผงสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง พอสรุปได้ดังนี้ ใช้เป็นส่วนผสมของโด (Dough) ในการทำขนมปังทำให้ขนมปังขยายตัวได้ดีขึ้น และทำให้การจับน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ขนมปังสดอยู่ได้นาน ใช้เป็นส่วนผสมของขนมอบต่าง ๆ โดยเฉพาะขนมเพสตรี (pastry) ใช้แทนไข่ในการทำขนมอบ เช่น ไส้กรอก และอาหารอื่น ๆ ใช้เป็นอาหารทารก ใช้เป็นส่วนประกอบของการผลิตไอศกรีม และใช้เป็นอาหารสัตว์ (นรินทร์ ทองศิริ. 2531)

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานของนมผง และหางนมผง

คุณสมบัติ	นมผง	หางนมผง
ไขมันร้อยละ	ไม่น้อยกว่า 24	1.2 – 1.5
น้ำร้อยละ	2.5 – 4.0	4.0 – 5.0
ดรรชนีการละลาย	1.0 – 15.0	0.2 – 15.0
แบคทีเรีย/กรัม	50,000 – 100,000	50,000 – 100,000
อีโคไล/กรัม	0 – 100	0 - 100

ที่มา : นรินทร์ ทองศิริ (2531)

2.7 ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตสำคัญ ที่มีผลต่อ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูป แบบผสมชนิดแท่งคือ การใช้ความร้อนในการอบทำให้ผลิตภัณฑ์สุกและแห้ง

การอบทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพแต่จะเพิ่มค่าการย่อยของโปรตีน และจะทำให้ไลซีนลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาของเมลลาร์ด (Millard) การอบจะเป็นการทำลายโครงสร้างพวกกรดอะมิโนพื้นฐาน และวิตามินที่ละลายน้ำได้ แต่จะช่วยปรับปรุงการดูดซึม และการใช้ประโยชน์ของพวกสารยับยั้งการเจริญเติมโตได้ (Ranhotra and Bock. 1988 ; Paul and Southgate. 1991) ผลิตภัณฑ์อบที่อุณหภูมิต่ำจะมีการสูญเสียไทอะมินต่ำ ซึ่งปกติไทอะมินจะสูญเสียโดยความร้อน และมีความคงตัวไม่ดีที่สภาวะเป็นกลางและpHสูง (Clydesdate. 1979) Matz (1975) รายงานการสูญเสียไรโบฟลาวิน และไนอะซิน มีเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ pH ของผลิตภัณฑ์ การอบจะมีผลน้อย ต่อปริมาณแร่ธาตุ ในอาหาร ระหว่างการอบจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบเยื่อใยบางชนิด เช่น เฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะไม่มีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากธัญพืช จะมีการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเกิดขึ้น ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผลิตสูงโดยทั่วไปโปรตีนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากธัญพืชจะพบในรูปของไลซีน แต่อย่างไรก็ตามอาจมีการเติมโปรตีนลงไปแทนได้ นอกจากนี้พลังงานในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากธัญพืชยังสูงกว่าขนมปัง (243 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม) สำหรับกระบวนการผลิตก็มีผลต่อสารอาหาร เช่น การทำให้พอง (puffing) โดยใช้ความดันสูง มีการสูญเสียสารอาหารร้อยละ 70 การทำให้ชิ้นแผ่น (flaking) มีการสูญเสียร้อยละ 33 ทางด้านปริมาณวิตามินพบว่า วิตามินบีสอง และไนอะซิน จะมีการสูญเสียจากกระบวนการผลิตน้อยมาก (Kent. 1966)

2.8 ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง

ภาชนะบรรจุที่ใช้สำหรับอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง ควรป้องกันความชื้น ป้องกันออกซิเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ มีปริมาณไขมันพอสมควรถ้าออกซิเจนซึมผ่านได้จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งจะทำให้เกิดการหืนเมื่อสัมผัสกับอากาศ การป้องกันแสงเนื่องจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของวิตามิน และไขมัน ในผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ควรสมารถการป้องกันการซึมผ่านของกลิ่นต่าง ๆ ชนิดของภาชนะบรรจุ สำหรับอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่งที่นิยมใช้กันมาก คือ ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เพราะนอกจากทึบแสงและปิดผนึกด้วยความร้อยแล้ว เมื่อลามิเนตกับฟิล์มพลาสติกบาง ๆ จะมีค่าอัตราการซึมผ่านของความดันไอ ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ โดยมีค่า 0 – 0.02 กรัมต่อ 100 ตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อความหนา 1 มิลิเมตร ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ที่ดีควรหนามากกว่า 0.00035 นิ้ว ซึ่งจะมีค่ารูเล็ก ๆ (pin hole) น้อยกว่า 20 ตารางฟุต และถ้ามีการลามิเนตด้วยฟิล์มพลาสติก ปัญหาเรื่องรูเล็ก ๆ จะหมดไป ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ไม่ทำปฏิกิริยากับไขมันและตัวทำละลายหลายชนิด ทนร้อนได้ถึง 176.67 องศาเซลเซียส ทนแคดได้ดี พับตามรอยพับได้ง่าย (Matz. 1984; Luh. 1980) นอกจากนี้ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิด

แท่ง ยังมี กล่องไฟเบอร์บอร์ด (Fiberboard box) ที่เคลือบด้วยชั้นไขกลาสลีนสามารถป้องกันการแตกหักเสียหายของผลิตภัณฑ์ ป้องกันแสงได้ และชั้นไขกลาสลีนยังช่วยป้องกันความชื้น ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โพลีเอทธิลีน มีคุณสมบัติ เหนียว ยืดหยุ่นพอประมาณ ป้องกันไฟฟ้าได้ดี และต้านทานสารเคมีได้ดี โพลีโพรพิลิน มีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูง ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด ไม่มีกลิ่นรส และฟิล์มเมททัลไลซ์มีคุณสมบัติเป็นมันวาว น้ำหนักเบา และอ่อนตัว ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และแสงได้ดี (Labuza. 1982)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบการใช้งานของฟิล์มโครงสร้างต่างๆกัน

โครงสร้างของฟิล์ม	WVTR (g/m^2)	O_2TR (cm^3/m^2)	Light protection	Aroma protection
20 OPP / 7 Al / 20 PE	< 0.2	< 5	excellent	excellent
20 OPP / 25 VMCPP	1 – 1.5	250	excellent	poor
20 OPP / 12MPET / 20 PE	< 1.0	< 10	excellent	good
18 OPP / 18MOPP	< 0.2	< 25	excellent	fair

ที่มา : จุมพล วรสายัณห์ (1998)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือ

3.1.1.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	TA-XT2	อังกฤษ
3.1.1.2 เครื่องHalogen Moisture Analyzer Mettler ,	รุ่น HR73	สวิสเซอร์แลนด์
3.1.1.3 เครื่องวัด Water Activity	Novasina	สวิสเซอร์แลนด์
3.1.1.4 ตู้ไมโครเวฟ ความถี่ 2,450 MH_z	SHARP	ไทย
(กำลังไฟ เข้า 1.06 kwatt กำลังไฟออก 700 watt)		
3.1.1.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด	B.W.S-3	ไทย
(Tray Dryer)		
3.1.1.6 เครื่องชั่งชนิดละเอียด, Mettler	PE 3000	สวิสเซอร์แลนด์
3.1.1.7 เครื่องชั่งชนิดหยาบ, Mettler	AE 204	สวิสเซอร์แลนด์
3.1.1.8 เตาอบ	Moulinex	ไทย

3.1.2 วัตถุดิบ

3.1.2.1 ข้าวเปลือกข้าวเหนียว พันธุ์ กข 6 เก็บเกี่ยวปี 2542 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาทดลอง

3.1.2.2 ถั่วลิสงคั่ว ผลิตโดย บริษัท ทองการ์เด้น จำกัด

3.1.2.3 กล้วยน้ำว้าทอดกรอบ ผลิตโดย บริษัท จิมสกรุ๊ป จำกัด

3.1.2.4 เมล็ดทานตะวันอบ ตราดอกไม้ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟลาวเวอร์ฟูด

3.1.2.5 จมูกข้าวสาลีอบ ตรา Dr. Green

3.1.2.6 เนยถั่ว ตรา Smucker's Goober โดยบริษัท ซีโน – แปซิฟิคแทรดดิ้ง (ประเทศไทย)จำกัด

3.1.2.7 กลูโคสไซรับ (แบะแซ) ผลิตโดยบริษัท นครหลวงกลูโคส จำกัด

3.1.2.8 น้ำตาลทรายแดง ตรามิตรผล ผลิตโดย บริษัทน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ จำกัด

3.1.2.9 น้ำผึ้ง ผลิตโดย โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

3.1.2.10 นมผงขาดมันเนย จากบริษัท ไดจิเอ็นเตอร์ไพรส์จำกัด

3.1.2.11 ลูกเกด ตราบรูค ผลิตโดย บริษัท บรูคส์ ฟูดอิงค์

3.1.2.12 น้ำตาล Dextrose monohydrate จากบริษัท ไดจิเอ็นเตอร์ไพรส์จำกัด

3.1.3 อุปกรณ์

3.1.3.1 พิมพ์ขนาด 2.5 x 9.5 x 1 เซนติเมตร

3.1.3.2 จานเซรามิคสำหรับเข้าไมโครเวฟ

3.1.3.3 ฝาพลาสติกสำหรับครอบ

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

3.2.1 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.2 บริษัท จิมสกรุ๊ป จำกัด

3.3 ระยะเวลาในการทดลอง

1 ปี

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ

3.4.1.1 การเตรียมข้าวพองด้วยไมโครเวฟ

ทดลอง 3 ซ้ำทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์โดยจัดสิ่งทดลองแฟคทอเรียลขนาด 3x2x2x2 (Factorial in Completely Randomized Design) ปัจจัยในการศึกษาได้แก่

ปัจจัยที่ 1 ความชื้นที่เหมาะสมของข้าวเปลือกก่อนทำการพองตัว มี 3 ระดับ 10 , 15 และ 20%

ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของเกลือ NaCl ที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก มี 2 ระดับ คือ 0 และ2%

ปัจจัยที่ 3 ปริมาณข้าวเปลือกที่ใช้ในการพองตัวแต่ละครั้ง มี 2 ระดับ คือ 30 และ 50 กรัม

ปัจจัยที่ 4 เวลาที่ใช้ในการพองตัวด้วยไมโครเวฟ มี 2 ระดับ คือ 2 และ 3 นาที

โดยมีขั้นตอนการพองตัวด้วยไมโครเวฟดังนี้

ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6

↓

ล้างทำความสะอาด

↓

แช่น้ำหรือน้ำเกลือ 2% เป็นเวลา 12 ชม.

↓

ปรับความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50° C

↓

เก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิท

↓

ทำการพองตัวด้วยตู้ไมโครเวฟ

3.4.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวพองที่ได้จากการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

1) การจำแนกรูปร่างของข้าวพองที่ได้โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เมล็ดบานเต็มที่ , เมล็ดบานปานกลาง และ เมล็ดบานเล็กน้อย

2) การคัดแยกส่วนที่เกิดการไหม้

3) การคำนวณเปอร์เซ็นต์ yield (มาลี ชิ้มศรีสกุล. 2534)

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของข้าวพอง}}{\text{น้ำหนักแห้งของข้าวเปลือก}} \times 100$$

4) การคำนวณหาอัตราส่วนการพองตัว (Expansion ratio) (มาลี ชิ้มศรีสกุล. 2534)

$$= \frac{\text{ปริมาตรข้าวพอง}}{\text{ปริมาตรข้าวเปลือก}}$$

5) การคำนวณ Bulk density

$$= \frac{\text{น้ำหนักแห้งของข้าวพอง}}{\text{ปริมาตรของข้าวพอง}} \quad \text{g/ml}$$

6) การหาความแข็งและความกรอบ ด้วยเครื่อง Texture AnalyzerTA-XT2i โดยใช้ Bulk compression ในโปรแกรมการวัด texture ของ Puffed rice

7) การหาความชื้นด้วยเครื่องHalogen Moisture Analyzer รุ่น HR 73 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ

3.4.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมรับประทานแบบผสมชนิดแท่ง (Granola bar)

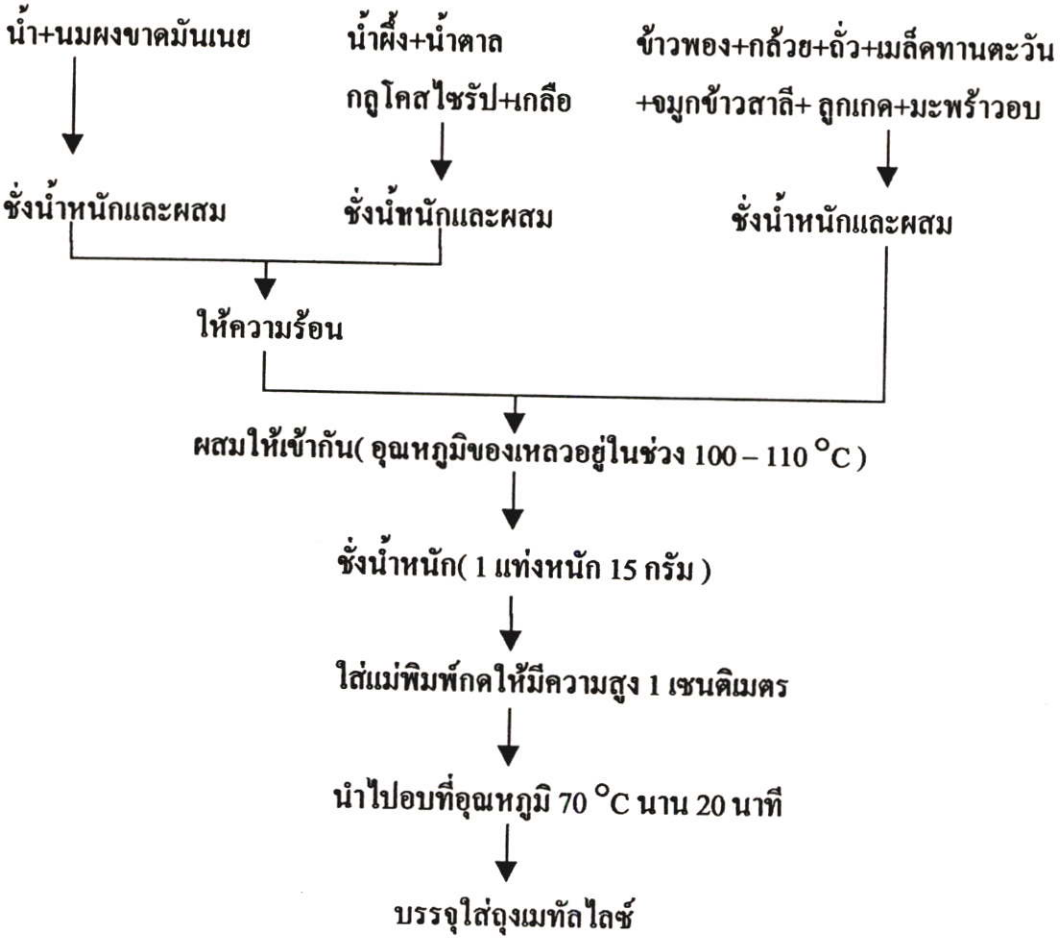
3.4.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมรับประทานแบบผสมชนิดแท่ง สูตรที่ 1 หรือแบบ crunchy

1) สูตรเบื้องต้น สูตรที่ 1

วัตถุดิบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ข้าวพอง	15.5
ถั่วลิสงคั่ว	17
กล้วยน้ำว้าทอดกรอบ	8
เมล็ดทานตะวันอบ	10
มะพร้าวอบ	5
ลูกเกดอบแห้ง	10
จมูกข้าวสาลีอบ	3
กลูโคสไซรัป	8
นมผงขาดมันเนย	5
น้ำผึ้ง	4.5
น้ำตาลทรายแดง	5
น้ำ	8.5
เกลือ	0.5

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิมลศิริ ธนะสูตร (2539)

2) กรรมวิธีการผลิตสูตรที่ 1



ที่มา : ดัดแปลงจาก วิมลศิริ ธนะสูตร (2539)

3.4.2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมรับประทานแบบผสมชนิดแท่ง สูตรที่ 2 หรือ แบบ chewy

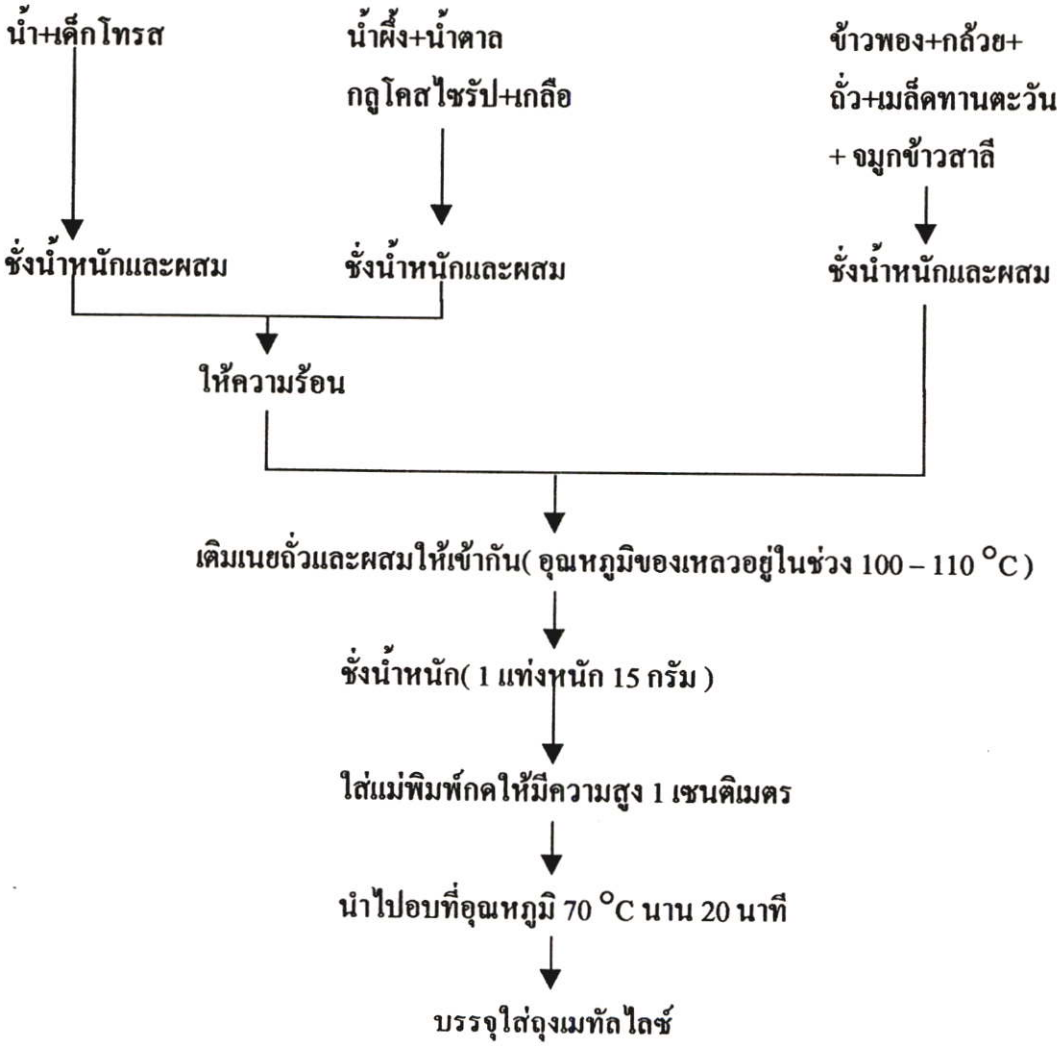
1) สูตรเบื้องต้น สูตรที่ 2

วัตถุดิบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ข้าวพอง	15.5
กล้วยน้ำว้าทอดกรอบ	6.6
เมล็ดทานตะวันอบ	5.8
มะพร้าวอบ	5
จมูกข้าวสาลีอบ	2.0
เนยถั่ว	20
กลูโคสไซรัป	13
น้ำผึ้ง	2.3

น้ำตาลทรายแดง	11
เด็กโทรส	10
น้ำ	8.5
เกลือ	0.3

ที่มา : ดัดแปลงจาก จริยา คุณะวิภากร (2542)

2) กรรมวิธีการผลิตสูตรที่ 2



ที่มา : ดัดแปลงจาก จริยา คุณะวิภากร (2542)

3.4.3 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการพัฒนาแล้ว

3.4.3.1 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

1) การหาค่า Aw ด้วยเครื่องวัด water activity

2) การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2 โดยใช้ Knife blade ในโปรแกรมการวัด texture ของ Chocolate coated wafer

3) การหาความชื้น ด้วยเครื่อง Halogen Analyzer รุ่น HR 73

3.4.3.2 การประเมินคุณภาพทางด้านโภชนาการ

ได้แก่ Calories, Protein , Lipid, Fiber, Total sugar, Total carbohydrate, Ash, Sodium ตาม AOAC (1995)

3.4.4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้วทั้งสองสูตรโดยใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 20 คน มีอายุในช่วง 20 – 40 ปี โดยเป็นกลุ่มพนักงานบริษัท และนักศึกษาปริญญาโทของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรและคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้การทดสอบแบบให้คะแนน 9 ระดับโดยกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะปรากฏ สี ความแข็ง ความกรอบ ความเหนียวนุ่ม รสชาติ กลิ่น และความชอบรวม

การทดลองในขั้นตอนนี้ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version7.5 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้ว

ทำการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยบรรจุในซองลามิเนตชนิด OPP20/MPET12 /LLDPE20 ไมครอน ในสภาพการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0 ,1 ,2 และ 3 เดือน แล้วทำการตรวจสอบคุณสมบัติดังนี้

3.4.5.1 การหาค่า Aw ด้วยเครื่องวัด water activity

3.4.5.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2 โดยใช้ Knife blade ในโปรแกรมการวัด texture ของ chocolate coated wafer biscuit

3.4.5.3 การหาความชื้น ด้วยเครื่อง Halogen Analyzer รุ่น HR 73

3.4.5.4 การหาค่า TBA (Kirk and Sewyer.1991)

การทดลองในขั้นตอนนี้ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 7.5 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ โดยศึกษาจากปัจจัย 4 ปัจจัยด้วยกันคือ ระดับความชื้นของข้าวเปลือกที่ 10 , 15 และ 20 % ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ Nacl ที่ 0 และ 2 % ปริมาณหรือน้ำหนักข้าวเปลือกแต่ละครั้งที่ใช้ในการพองตัวที่ 30 และ 50 กรัม เวลาที่ใช้ในการพองตัวของข้าวเปลือก ที่ 2 และ 3 นาที โดยในการศึกษานี้จะจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการพองตัว ลักษณะรูปร่างของข้าวพองที่ได้ และการเกิดการไหม้ของข้าวพองจากสภาวะต่างๆซึ่งจะแสดงผลดังนี้

4.1.1 ศึกษาผลของความชื้นของข้าวเปลือก , ความเข้มข้นของเกลือ , ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง และเวลาที่ใช้ในการพองตัวต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวพอง

นำข้าวเปลือกจากทุกทรีทเมนต์มาศึกษาผลของความชื้นของข้าวเปลือก , ความเข้มข้นของเกลือ , ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง และเวลาที่ใช้ในการพองตัวต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวพอง ได้แก่ % yield, อัตราส่วนการพองตัว , Bulk density, ความแข็ง , ความกรอบ และความชื้นของข้าวพองที่ได้ ดังตารางที่ 4.1

4.1.1.1 % Yield

ในการคำนวณ % yield ของข้าวพองจะเป็นการคำนวณจากน้ำหนักแห้งของข้าวพองที่ทำการแยกเปลือกและส่วนที่ไม่เกิดการพองตัวออกแล้วเท่านั้น แล้วหารด้วยน้ำหนักแห้งของข้าวเปลือกทั้งหมดในแต่ละสภาวะ จากค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าความชื้นของข้าวเปลือก ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง และเวลาที่ใช้ในการพองตัวต่างกัน มีผลต่อ % yield และจะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความชื้นของข้าวเปลือกและเกลือมีผลต่อ % yield อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1) ผลของความชื้น

พบว่าที่ระดับความชื้น 10% จะให้% yield สูงกว่าที่ระดับความชื้น 15 และ 20% แต่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความชื้นและเกลือ โดยที่ความชื้น 15 และ 20 % ความเข้มข้นของเกลือ 2% จะให้ % yield สูงกว่าความเข้มข้นของเกลือ 0 % แต่ที่ความชื้น 10 % ความเข้มข้นของเกลือ 0 % จะให้% yield สูงกว่าที่ความเข้มข้นของเกลือ 2%

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของ % yield, % รูปร่างของข้าวพองแบบเมล็ดบานเต็มที่ เมล็ดบานปานกลาง และเมล็ดบานเล็กน้อย และ % ส่วนที่ไหม้

ความชื้น (%)	เกลือ (%)	น้ำหนัก/ครั้ง (กรัม)	เวลา (นาที)	เมล็ดบานเต็มที่ (%)	เมล็ดบานปานกลาง (%)	เมล็ดบานเล็กน้อย (%)	Total Yield (%)	ส่วนที่ไหม้ (%)
20	0	30	2	4.29^{h}	0.18^{k}	0.00^{l}	4.47^{gh}	0^{e}
			3	30.10^{de}	5.59^{efgh}	2.91^{ghi}	38.61^{bcdef}	0^{e}
		50	2	0.99^{h}	0.31^{k}	0.00^{l}	1.30^{h}	0^{e}
			3	22.53^{fg}	8.63^{def}	4.66^{ef}	35.82^{cdef}	0^{e}
	2	30	2	18.91^{g}	1.72^{ijk}	0.04^{l}	20.67^{fgh}	0^{e}
			3	46.07^{a}	7.79^{defg}	4.56^{efg}	58.43^{ab}	0^{e}
		50	2	6.62^{h}	1.42^{jk}	0.00^{l}	8.46^{gh}	0^{e}
			3	37.39^{bc}	5.43^{fghi}	2.55^{hij}	45.38^{abcd}	0^{e}
15	0	30	2	18.91^{g}	5.47^{fghi}	0.02^{l}	24.40^{efg}	0^{e}
			3	35.77^{bcd}	8.24^{defg}	9.24^{ab}	53.25^{abc}	0^{e}
		50	2	3.59^{h}	2.51^{hijk}	0.29^{kl}	6.39^{gh}	0^{e}
			3	32.05^{cde}	7.68^{efg}	5.22^{de}	44.95^{abc}	0^{e}
	2	30	2	27.76^{ef}	4.97^{fghij}	0.05^{l}	32.78^{def}	0^{e}
			3	31.75^{cde}	18.01^{b}	7.68^{bc}	57.44^{ab}	1.14^{e}
		50	2	6.00^{h}	5.73^{efgh}	0.03^{l}	11.76^{gh}	0^{e}
			3	31.26^{cde}	25.03^{a}	1.22^{ijkl}	57.51^{ab}	0^{e}
10	0	30	2	27.32^{ef}	13.06^{c}	1.94^{hijk}	42.32^{bcde}	0^{e}
			3	46.55^{a}	11.46^{cd}	6.42^{cd}	64.43^{a}	19.49^{d}
		50	2	5.82^{h}	4.63^{ghij}	1.12^{jkl}	11.57^{gh}	0^{e}
			3	30.12^{de}	23.52^{a}	3.06^{fgh}	56.71^{ab}	13.48^{d}
	2	30	2	16.45^{g}	3.74^{hijk}	2.58^{hij}	22.77^{efg}	0^{e}
			3	40.97^{ab}	9.36^{de}	5.39^{de}	55.72^{abc}	39.36^{a}
		50	2	5.30^{h}	4.81^{fghij}	0.91^{jkl}	11.02^{gh}	0^{e}
			3	20.69^{g}	13.77^{c}	10.71^{a}	45.16^{abcd}	30.30^{b}

หมายเหตุ : $^{a,b,c,..}$ ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2) ผลของปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง

พบว่าที่ระดับความชื้นและความเข้มข้นของเกลือเท่ากัน ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัมจะให้ % yield สูงกว่าที่ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม

3) ผลของเวลาในการพองตัว

พบว่าเมื่อระดับความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งเท่ากัน เวลาในการพองตัว 3 นาทีจะให้ % yield สูงกว่าเวลา 2 นาที

4.1.1.2 อัตราส่วนการพองตัว

อัตราส่วนการพองตัวเป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของข้าวพองที่ได้จากแต่ละสภาวะกับปริมาตรของข้าวพอง ถ้าอัตราส่วนการพองตัวสูงหมายถึงข้าวพองที่ได้มีปริมาตรสูงเมื่อเทียบกับปริมาตรของข้าวเปลือกที่ใช้

1) ผลของความชื้น

พบว่าที่ระดับความชื้น 10% จะให้อัตราส่วนการพองตัวสูงกว่าที่ระดับความชื้น 15 และ 20% แต่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความชื้นและเกลือ, ความชื้นกับเกลือและเวลาในการพองตัว ความชื้นกับปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งและเวลา รวมทั้งอิทธิพลร่วมของความชื้น,เกลือ,ปริมาณข้าวเปลือกและเวลาล้วนมีผลต่ออัตราส่วนในการพองตัว

2) ผลของปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง

พบว่าที่ระดับความชื้นและความเข้มข้นของเกลือเท่ากัน ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัมจะให้อัตราส่วนการพองตัว สูงกว่าที่ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของปริมาณข้าวเปลือกและเวลาในการพองตัว โดยพบว่าที่ระดับความชื้นและความเข้มข้นของเกลือเท่ากัน ปริมาณข้าวเปลือก 30 หรือ 50 กรัมและเวลา 3 นาที จะให้อัตราส่วนการพองตัวที่สูงกว่าปริมาณข้าวเปลือก 30 หรือ 50 กรัมและเวลา 2 นาที

3) ผลของเวลาในการพองตัว

พบว่าเมื่อระดับความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งเท่ากัน เวลาในการพองตัว 3 นาทีจะให้อัตราส่วนการพองสูงกว่าเวลา 2 นาที

4.1.1.3 Bulk density

ในการหา bulk density ของข้าวพองจะเป็นการคำนวณจาก น้ำหนักแห้งของข้าวพองหารด้วยปริมาตรของข้าวพองที่สภาวะนั้นๆ โดยเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของข้าวพองต่อปริมาตรของข้าวพอง ถ้า bulk density ต่ำจะแสดงให้เห็นว่าข้าวมีการพองตัวที่ขยายขนาดได้สูง

1) ผลของความชื้น

พบว่าที่ระดับความชื้น 15% จะให้ bulk density สูงกว่าที่ระดับความชื้น 10 และ 20% อย่างชัดเจนที่ สภาวะเดียวคือ ความชื้น 15 % ความเข้มข้นเกลือ 2 % น้ำหนักข้าวเปลือก

ต่อครั้ง 30 กรัม และเวลา 2 นาที

2) ผลของเวลาในการพองตัว

พบว่าเมื่อระดับความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งเท่ากัน เวลาในการพองตัว 2 และ 3 นาทีจะให้ bulk density ที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่สภาวะความชื้น 20% ความเข้มข้นของเกลือ 0 % น้ำหนักต่อครั้ง 50 กรัม ที่ เวลา 3 นาทีให้ bulk density สูงกว่าเวลา 2 นาที แต่ที่สภาวะความชื้น 15% ความเข้มข้นของเกลือ 2 % น้ำหนักต่อครั้ง 30 กรัม ที่ เวลา 2 นาทีให้ bulk density สูงกว่าเวลา 3 นาที และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำหนักต่อครั้งและเวลาที่ใช้ในการพองตัว

4.1.1.4 ความแข็ง

1) ผลของความชื้น

พบว่าที่ระดับความชื้น 10% จะให้ความแข็ง สูงกว่าที่ระดับความชื้น 15 และ 20% แต่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความชื้นและเกลือที่มีผลต่อความแข็งของข้าวพอง

4.1.1.5 ความกรอบ

พบว่ามีเพียงอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้น ความเข้มข้นของเกลือและเวลาเท่านั้นที่มีผลต่อความกรอบของข้าวพอง

4.1.1.6 ความชื้นของข้าวพอง

1) ผลของเวลาในการพองตัว

พบว่าเมื่อเวลาในการพองตัวแตกต่างกันจะทำให้ความชื้นของข้าวพองมีความแตกต่างกันโดยที่เวลาในการพองตัว 3 นาที จะทำให้ข้าวพองมีแนวโน้มของความชื้นต่ำกว่าการพองตัวที่เวลา 2 นาที

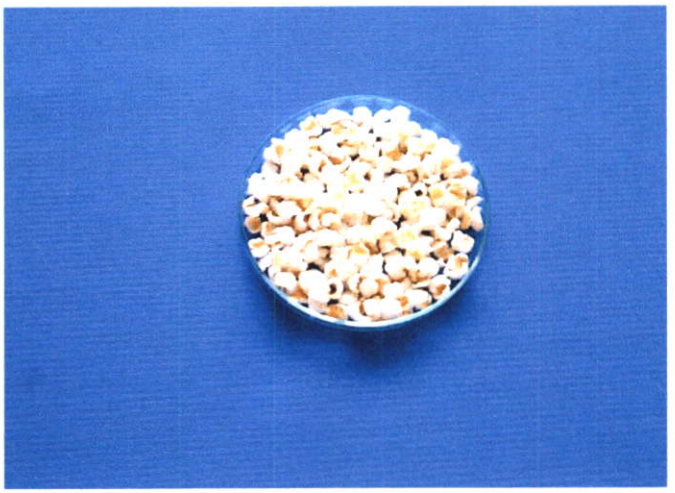
นอกจากนี้พบว่ามีอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่าง ความชื้นและความเข้มข้นของเกลือ, ความชื้นและเวลาในการพองตัว , ความเข้มข้นของเกลือและเวลา ที่มีผลต่อความชื้นของข้าวพอง

จากการศึกษาผลของความชื้นของข้าวเปลือก ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งในการพองตัว ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้แช่ข้าว และเวลาในการพองตัว ด้วยไมโครเวฟ พบว่าความชื้นและปริมาณข้าวเปลือกมีผลต่อคุณภาพของข้าวพองในด้าน %yield อัตราส่วนการพองตัว bulk density และความแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเวลาในการพองตัวด้วยไมโครเวฟมีผลต่อคุณภาพของข้าวพองในด้าน %yield อัตราส่วนการพองตัว ปริมาตรการพองตัว และความชื้นของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกไม่มีผลต่อคุณสมบัติการพองตัวด้วยไมโครเวฟของข้าวพอง แต่อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือกับความชื้นมีผลต่อคุณภาพของเกือบข้าวพองทุกด้าน ทั้ง %yield อัตราส่วนการพองตัว ความแข็ง ความกรอบ และความชื้นของข้าวพอง ทั้งนี้พบว่าที่ระดับความชื้นสูง (20 และ

15 %) การปรับความชื้นโดยสารละลายเกลือจะให้คุณภาพในการพองตัวดีกว่าการปรับความชื้นด้วยสารละลายเกลือที่ระดับความชื้นต่ำ (10%) มาลี ชิ้มศรีสกุล (2534) กล่าวว่าข้าวที่ปรับความชื้นด้วยสารละลายเกลือต้องการเวลาในการเกิดความดันไอ (steam pressure) เพียงพอที่จะเกิด bursting นานกว่าข้าวเปลือกที่ปรับความชื้นด้วยน้ำ เพราะว่าสารละลายเกลือมีความดันไอสูงกว่าน้ำ ดังนั้นข้าวจึงมีโอกาสเกิดขอบแข็ง เป็นผลให้ข้าวพองตัวได้น้อยหรืออาจไม่พองเลย ในขณะที่ที่ระดับความชื้นสูงขึ้นสารละลายเกลือสามารถทำหน้าที่เป็น electrolyte ได้ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในข้าวเปลือกที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ จะเกิดได้อย่างรวดเร็วกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำ เวลาในการเกิดความดันไอเพียงพอที่จะเกิด bursting จึงสั้น โอกาสที่จะเกิดขอบแข็งของข้าวก็น้อยลงคุณภาพของข้าวพองจึงสูงกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำ จากกลไกการเกิดความร้อนในอาหารด้วยคลื่นไมโครเวฟ ทั้งแบบ dipole rotation ที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วเพื่อจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อน และ แบบ ionic polarization ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ ทำให้เกิดการเสียดสีกับไอออนอื่นๆ จนเกิดเป็นความร้อน ในสภาวะที่ไม่มีเกลือความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำเพียงอย่างเดียว ส่วนในสภาวะที่มีเกลือความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากทั้ง 2 แบบ ในการพองตัวของข้าวเปลือกเกิดจากการที่ในข้าวเปลือกมีความชื้นหรือมีน้ำอยู่ เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะเกิดการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดการเสียดสีและเกิดความร้อน ทำให้เกิดไอน้ำที่มีแรงดันที่เพียงพอให้เกิดการระบิดออกและทำให้เปลือกข้าวแตกออก และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนส์

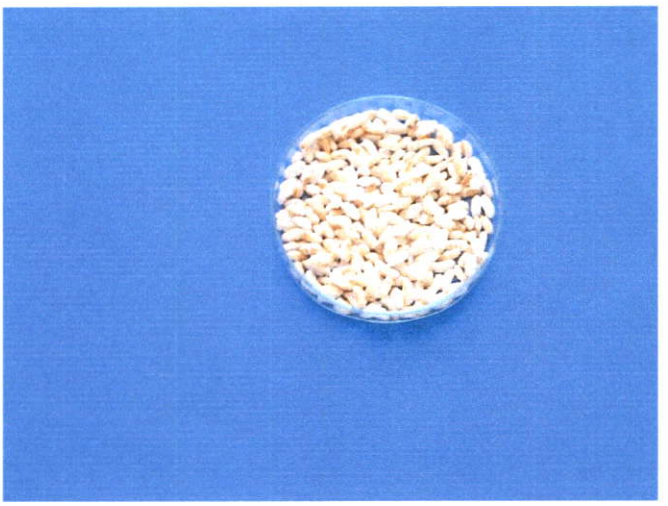
4.1.2 ศึกษา ลักษณะรูปร่างของข้าวพองที่ได้จากการพองตัวด้วยไมโครเวฟและส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง

เมื่อนำข้าวพองที่ทำการแยกเปลือกและส่วนที่ไม่เกิดการพองตัวออกแล้วนั้น มาทำการจำแนกรูปร่างของข้าวพองที่ได้โดยอาศัยการจำแนกด้วยสายตา และทำการหาปริมาณของข้าวพองแต่ละรูปร่างจากข้าวพองที่แยกแล้ว จากการทดลองทุกทรีตเมนท์ พบว่า ข้าวพองที่ได้จะมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดกลุ่มตามลักษณะรูปร่างโดยใช้สายตาในการจัดแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ เมล็ดบานเต็มที่ (Fully opened) ซึ่งจะไม่มีลักษณะของรูปร่างเมล็ดข้าวอยู่เลย มีรูปร่างคล้ายผีเสื้อ ดังรูปที่ 4.1 เมล็ดบานปานกลาง (not fully opened) โดยเมล็ดจะมีลักษณะรอยแยกที่บริเวณผิวอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.2 และเมล็ดบานเล็กน้อย (expanded rice) ลักษณะของเมล็ดจะมีการพองตัวไม่มากนัก แต่ยังคงรูปร่างเมล็ดข้าวอยู่ มีรอยแยกที่ผิวบางส่วน ดังรูปที่ 4.3

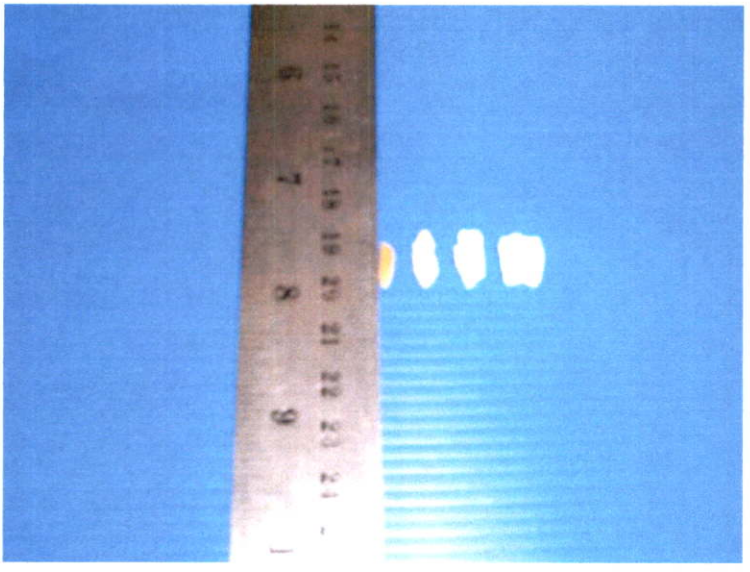


รูปที่ 4.1 ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานเต็มที่

รูปที่ 4.2 ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานปานกลาง



รูปที่ 4.3 ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดแบบบานเล็กน้อย



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ เมล็ดบานปานกลาง เมล็ดบานเล็กน้อย และข้าวเปลือก เรียงลำดับจากขวาไปซ้าย

จากการแบ่งลักษณะรูปร่างเป็น 3 กลุ่มดังกล่าว สามารถแบ่งลักษณะรูปร่างตามน้ำหนักของข้าวพองที่ได้ดังตารางที่ 4.2 โดยพบว่าระดับความชื้น,ความเข้มข้นของเกลือ ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งและเวลาในการพองตัวมีผลต่อสัดส่วนของรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ ยกเว้นความเข้มข้นของเกลือกับปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง และความเข้มข้นของเกลือกับเวลา ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยคือ ความชื้น ความเข้มข้นของเกลือกับเวลาและ ความชื้น ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งกับเวลามีผลต่อปริมาณของรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าที่ระดับความชื้น 10% ความเข้มข้นของเกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัมและเวลาในการพองตัว 3 นาที จะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ในเปอร์เซ็นต์ที่สูงที่สุด คือ 46.55% แต่พบว่าในการทดลองมีส่วนที่ไหม้ถึง 19.49% จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมแม้ว่าจะให้ % yield สูงถึง 64.43% ก็ตาม แต่พบว่ามีส่วนไหม้จากการพองตัวถึง 19.49 % และพบว่าที่ระดับความชื้น 20% เกลือ 2% น้ำหนัก 30 กรัม และเวลา 3 นาทีให้ข้าวพองที่มีรูปร่างบานเต็มที่ 46.07 % ให้ yield สูงถึง 58.43% และไม่มีส่วนที่เกิดการไหม้

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพในการพองตัวได้แก่ ความชื้น, yield, อัตราส่วนการพองตัว, Bulk density, ความแข็งและความกรอบ ของข้าวพองที่ได้

ความชื้น (%)	เกลือ (%)	น้ำหนัก/ครั้ง (กรัม)	เวลา (นาที)	ความชื้น (%)	Yield (%)	อัตราส่วนการพองตัว	Bulk density (g/ml)	Hardness (g.force)	Crispiness (peaks)
20	0	30	2	8.41 ^{a}	4.47 ^{gh}	0.29 ^{h}	0.081 ^{bc}	20456.11 ^{abc}	603.00 ^{abc}
			3	6.92 ^{efghij}	38.61 ^{bcdef}	2.53 ^{cd}	0.082 ^{bc}	17965.83 ^{bc}	546.00 ^{abc}
		50	2	8.24 ^{ab}	1.30 ^{h}	0.33 ^{h}	0.020 ^{c}	16228.67 ^{c}	919.5 ^{a}
			3	6.52 ^{hijk}	35.82 ^{cdef}	1.73 ^{def}	0.114 ^{b}	16283.28 ^{c}	621.00 ^{abc}
	2	30	2	7.11 ^{defghi}	20.67 ^{fgh}	2.16 ^{cde}	0.056 ^{bc}	17075.38 ^{c}	643.50 ^{abc}
			3	5.97 ^{k}	58.43 ^{ab}	2.79 ^{abc}	0.115 ^{b}	16665.54 ^{c}	720.50 ^{abc}
		50	2	7.59 ^{abcdef}	8.46 ^{gh}	0.80 ^{gh}	0.071 ^{bc}	16511.79 ^{c}	565.50 ^{abc}
			3	6.62 ^{ghijk}	45.38 ^{abcd}	2.42 ^{cd}	0.104 ^{b}	16425.99 ^{c}	619.00 ^{abc}
15	0	30	2	8.12 ^{abc}	24.40 ^{efg}	2.10 ^{cde}	0.092 ^{b}	19616.69 ^{abc}	350.00 ^{c}
			3	7.03 ^{efghi}	53.25 ^{abc}	2.64 ^{bc}	0.118 ^{b}	24078.34 ^{abc}	795 ^{ab}
		50	2	7.94 ^{abcd}	6.39 ^{gh}	0.49 ^{h}	0.062 ^{bc}	23612.76 ^{abc}	448.50 ^{bc}
			3	7.03 ^{efghi}	44.95 ^{abc}	2.37 ^{cd}	0.110 ^{b}	21834.79 ^{abc}	672.50 ^{abc}
	2	30	2	6.75 ^{fghijk}	32.78 ^{def}	1.09 ^{fgh}	0.181 ^{a}	24393.42 ^{abc}	604.50 ^{abc}
			3	6.93 ^{efghij}	57.44 ^{ab}	2.73 ^{abc}	0.121 ^{b}	19841.45 ^{abc}	622.50 ^{abc}
		50	2	6.99 ^{efghij}	11.76 ^{gh}	0.93 ^{fgh}	0.073 ^{bc}	19922.22 ^{abc}	765 ^{ab}
			3	6.38 ^{ijk}	57.51 ^{ab}	2.94 ^{abc}	0.111 ^{b}	20331.91 ^{abc}	774 ^{ab}
10	0	30	2	6.99 ^{efghij}	42.32 ^{bcde}	2.90 ^{abc}	0.090 ^{b}	21990.81 ^{abc}	631.00 ^{abc}
			3	6.16 ^{jk}	64.43 ^{a}	3.59 ^{a}	0.110 ^{b}	20714.65 ^{abc}	693.50 ^{abc}
		50	2	7.21 ^{defghi}	11.57 ^{gh}	0.93 ^{fgh}	0.085 ^{bc}	21576.35 ^{abc}	597.00 ^{abc}
			3	6.43 ^{ijk}	56.71 ^{ab}	2.99 ^{abc}	0.110 ^{b}	28443.55 ^{a}	907 ^{a}
	2	30	2	7.30 ^{cdefgh}	22.77 ^{efg}	1.42 ^{efg}	0.105 ^{b}	24721.76 ^{abc}	875.5 ^{a}
			3	7.42 ^{bcdefg}	55.72 ^{abc}	3.51 ^{ab}	0.095 ^{b}	28010.72 ^{a}	405.00 ^{bc}
		50	2	7.76 ^{abcde}	11.02 ^{gh}	0.80 ^{gh}	0.085 ^{bc}	27014.64 ^{ab}	616.60 ^{abc}
			3	7.87 ^{abcd}	45.16 ^{abcd}	2.43 ^{cd}	0.110 ^{b}	20263.84 ^{abc}	583.00 ^{abc}

หมายเหตุ : $^{a,b,c,...}$ ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ระดับความชื้น, ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งและเวลาในการพองตัวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของรูปร่างเมล็ดบานปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัย ได้แก่ ปริมาณต่อครั้งกับเวลา,ความชื้นกับเกลือ,ความชื้นกับเวลาและเกลือกับเวลา มีผลต่อปริมาณของรูปร่างเมล็ดปานกลาง ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย สามปัจจัย และปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ล้วนมีผลต่อปริมาณของรูปร่างเมล็ดบานปานกลาง และพบว่าที่ระดับความชื้น 15% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัมและเวลาในการพองตัว 23นาที จะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานปานกลางในปริมาณที่สูงที่สุด คือ 25.03% และให้ % yield สูงถึง 57.51% พร้อมทั้งไม่เกิดการไหม้

ระดับความชื้นปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งและเวลาในการพองตัวมีผลต่อสัดส่วนของรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นกับความเข้มข้นของเกลือ ความชื้นกับปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง ความชื้นกับเวลาและปริมาณต่อครั้งกับเวลาในการพองตัวเท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณเมล็ดบานเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสามปัจจัยมีผลต่อปริมาณเมล็ดบานเล็กน้อยยกเว้นอิทธิพลร่วมของปัจจัยปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งความเข้มข้นของเกลือและเวลาเท่านั้นส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสี่ปัจจัยมีผลต่อปริมาณรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อย และพบว่าที่ระดับความชื้น 10% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัมและเวลาในการพองตัว 3 นาที จะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อยในสัดส่วนที่สูงที่สุด คือ 10.71 % แต่พบว่ามีส่วนที่เกิดการไหม้สูงถึง 30.30 % ส่วนสภาวะที่ความชื้น 15 % เกลือ 0 % ปริมาณต่อครั้ง 30 กรัม และเวลา 3 นาที ให้ปริมาณข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อยถึง 9.24 % และไม่พบส่วนที่ไหม้

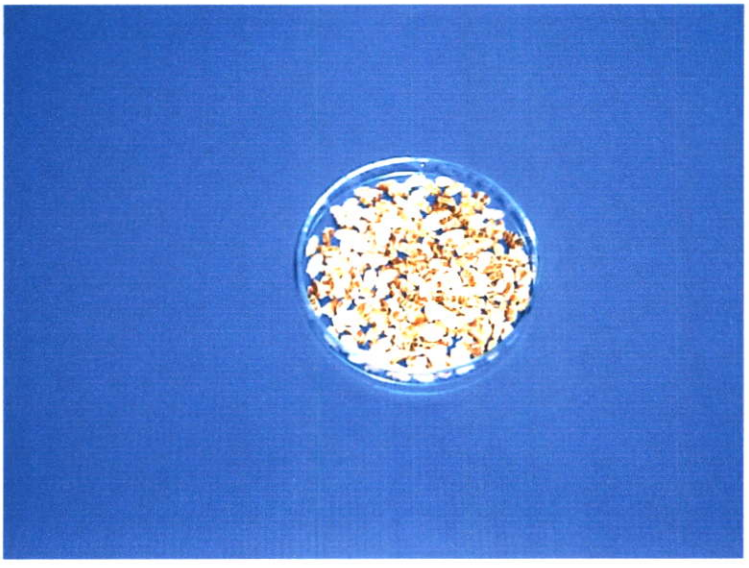
จากการทดลองการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ พบว่าลักษณะของข้าวพองที่ได้มีลักษณะคล้ายกับข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเปลือกจากงานวิจัยของ Murugesan and Bhattacharya (1986) โดยพบว่าจะได้ข้าวพองที่มีรูปร่างแตกต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ ข้าวพองที่มีเมล็ดบานเต็มที่จนเสียรูปร่างของเมล็ดข้าว ข้าวพองที่มีเมล็ดบานปานกลางซึ่งยังสามารถเห็นรูปร่างของเมล็ดข้าว และข้าวพองที่บานเพียงเล็กน้อยกล่าวคือยังเห็นรูปร่างของเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน โดยพบว่าการพองตัวของข้าวเปลือกจะเกิดจากการที่คลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนในเมล็ดข้าว และเกิดไอน้ำภายในเมล็ดทำให้มีแรงดัน (steam pressure) มากพอที่จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัวและดันเปลือกข้าวให้แตกออก และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนส์ และที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือก 20 และ 10% จะให้ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ในสัดส่วนที่สูงกว่าระดับความชื้น 15 %และที่ระดับความชื้น 15 และ 10 % จะให้ลักษณะข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานปานกลางและเมล็ดบานเล็กน้อยสูงกว่าที่ระดับความชื้น 20 % ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความชื้นสูงกว่าจะมีปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่า เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดความร้อนแบบ dipole

rotation และทำให้เกิดแรงดันจากไอน้ำสูงกว่า จึงทำให้เมล็ดแตกออกอย่างเต็มที่ และพบว่าข้าวพองที่มีรูปร่างบานเต็มที่จะเกิดการพองตัวก่อนและอยู่ด้านบนของจาน เนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกที่อยู่ด้านบนจะได้รับคลื่นไมโครเวฟก่อนเมล็ดที่อยู่ชั้นถัดลงไป จึงทำให้เกิดการพองตัวก่อนส่วนอื่นๆ

จากการทดลองพบว่า มีสภาวะที่เกิดการไหม้ของข้าวพองอยู่ 5 สภาวะด้วยกันโดยลักษณะข้าวพองที่เกิดการไหม้แสดงดังรูปที่ 4.5 และแสดงเปอร์เซ็นต์ของข้าวพองที่เกิดการไหม้ดังตารางที่ 4.2 โดยในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การไหม้นั้นคำนวณจากน้ำหนักของข้าวพองส่วนที่ไหม้ต่อน้ำหนักข้าวพองที่ทำการแยกเปลือกและส่วนที่ไม่พองออกแล้ว ทั้งนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการไหม้ของข้าวพองคือ ระดับความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งและเวลาที่ใช้ในการพองตัว ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยสองปัจจัยมีเพียงอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเกลือและปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งเท่านั้นที่ไม่มีผลต่อการไหม้ของข้าวพอง ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหม้ของข้าวพองคือ ความชื้น ความเข้มข้นของเกลือกับเวลา และความชื้น ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้งกับเวลาในการพองตัว ทั้งนี้ที่ระดับความชื้น 10 % ความเข้มข้นของเกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัม และเวลาในการพองตัว 3 นาที เป็นสภาวะที่เกิดการไหม้ของข้าวพองสูงที่สุดคือ 39.36 % ซึ่งสภาวะที่เกิดการไหม้ของข้าวพองทุกๆสภาวะเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวพองส่วนที่ไม่ไหม้ก็จะมีสีค่อนข้างคล้ำและมีกลิ่นไหม้ของข้าวติดอยู่ด้วย และพบว่าที่ระดับความชื้น 20 % ในทุกๆสภาวะจะไม่เกิดการไหม้ของข้าวพองเลย ทั้งนี้การไหม้ของข้าวพองเกิดจากเมื่อข้าวเปลือกได้รับคลื่นไมโครเวฟและเกิดความร้อนแล้ว เมล็ดข้าวจะเกิดการพองตัว และเมื่อปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดัน แต่ยังคงเกิดความร้อนอย่างต่อเนื่องเพราะเมล็ดข้าวยังคงได้รับคลื่นไมโครเวฟ และเมื่อความร้อนที่เกิดขึ้นมีอุณหภูมิสูงพอก็จะทำให้เกิดการไหม้ ดังนั้นที่ระดับความชื้น 20 % มีปริมาณน้ำเพียงพอจึงไม่ทำให้เกิดการไหม้ ส่วนที่สภาวะความชื้น 15 % พบว่ามีส่วนไหม้เล็กน้อยที่ 1.14 % สภาวะ ความเข้มข้นของเกลือ 2 % น้ำหนักต่อครั้ง 30 กรัมและเวลา 3 นาที

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ พบว่าคุณภาพสูงสุดของข้าวพองในแต่ละด้านเกิดจากปัจจัยที่แตกต่างกันกล่าวคือ

- % yield พบว่าที่ระดับความชื้น 10% เกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือก 30 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้ % yield สูงสุด คือ 64.43 % แต่ที่สภาวะดังกล่าวมีข้าวพองที่เกิดการไหม้สูงถึง 19.49 % และที่สภาวะที่ให้ % yield รองลงมาคือ ระดับความชื้น 20% เกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือก 30 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้ % yield เท่ากับ 58.43 % และที่ ระดับความชื้น 15 % เกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้ % yield เท่ากับ 57.51 % และทั้งสองสภาวะไม่เกิดการไหม้



รูปที่ 4.5 ลักษณะข้าวพองที่เกิดการไหม้

- อัตราส่วนการพองตัว พบว่าที่ระดับความชื้น 10% เกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือก 30 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้อัตราการพองตัว สูงสุด คือ 3.59 แต่ที่สภาวะดังกล่าวมีข้าวพองที่เกิดการไหม้ 19.49 %

- Bulk density พบว่าที่ระดับความชื้น 20% เกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม/ครั้ง และเวลา 2 นาที จะให้ bulk density ต่ำที่สุด คือ 0.020 g/ml

- ความแข็ง พบว่าที่ระดับความชื้น 10% เกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้ความแข็งสูงสุด คือ 28,443.55 g force แต่พบว่ามีบางส่วนของข้าวพองเกิดการไหม้ 13.48 %

- ความกรอบ พบว่าระดับความชื้น 20% เกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม/ครั้ง และเวลา 2 นาที โดยให้ค่าความกรอบที่ 919.5 peaks

- ความชื้นของข้าวพอง พบว่าที่ระดับความชื้น 20% เกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือก 30 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที จะให้ความชื้นของข้าวพองต่ำสุด คือ 5.97%

- ลักษณะข้าวพองที่นำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ คือ ลักษณะรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่และเมล็ดบานปานกลาง พบว่าที่สภาวะความชื้นของข้าวเปลือก 15% เกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือก 50 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที ให้ปริมาณข้าวพองที่นำไปใช้ได้56.29 % (เมล็ดบานเต็มที่ 31.26 % + เมล็ดบานปานกลาง 25.03 %) พร้อมทั้งให้ yield 57.51 % และที่สภาวะความชื้น 20% เกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือก 30 กรัม/ครั้ง และเวลา 3 นาที ให้ปริมาณข้าวพองที่นำ

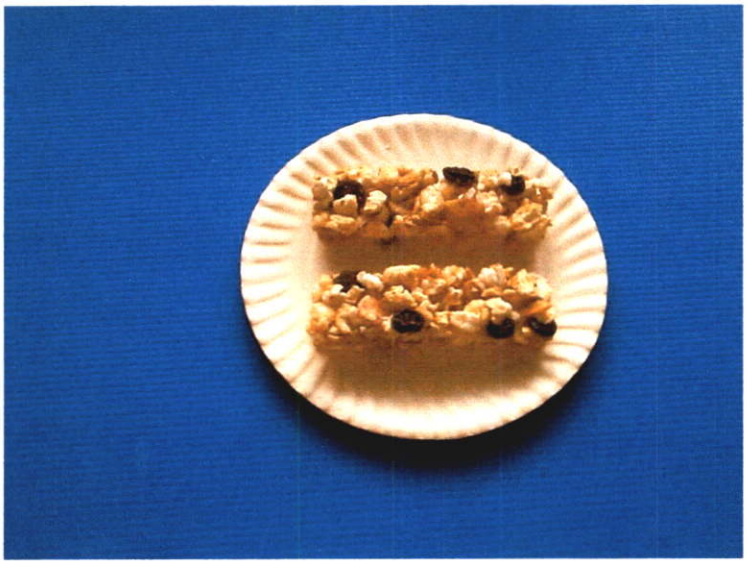
จากการศึกษาเบื้องต้นถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ พบว่าที่สภาวะ ความชื้นของข้าวเปลือก 15 % ความเข้มข้นของเกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัม และใช้เวลาในการพองตัว 3 นาที น่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้คุณภาพในการพองตัวของข้าวพองในด้านที่สำคัญคือ yield , อัตราการพองตัวและความกรอบมีค่าอยู่ในกลุ่มที่มีค่าสูงสุดและมีคุณภาพทางด้านความชื้นของข้าวพองต่ำ พร้อมทั้งมีปริมาณของข้าวพองที่นำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ได้ในปริมาณสูง อีกทั้งยังสามารถผลิตต่อครั้งได้ในปริมาณสูงที่สุดในการทดลองคือ 50 กรัม ดังนั้นสภาวะดังกล่าวจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมแม้ว่าจะมีค่า bulk density ไม่ต่ำที่สุดและมีค่าความแข็งไม่สูงมากนัก แต่สภาวะดังกล่าวไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง ทั้งนี้ในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม จะมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้ คือ ต้องไม่มีส่วนที่เกิดการไหม้ ให้ระดับ yield สูง มีเปอร์เซ็นต์รูปร่างลักษณะบานเต็มที่และบานปานกลางสูง ให้ความชื้นและ bulk density ต่ำ ให้อัตราส่วนการพองตัวและปริมาตรการพองตัวสูง ส่วนความแข็งและความกรอบมีความสำคัญรองลงไปเนื่องจากข้าวพองที่ได้จะนำไปเป็นวัตถุดิบของการผลิตกราโนลาบาร์ ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่มีการเติมของเหลวอีกครั้ง

4.2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์จากข้าวพองที่ได้จากการพองตัวด้วยไมโครเวฟ

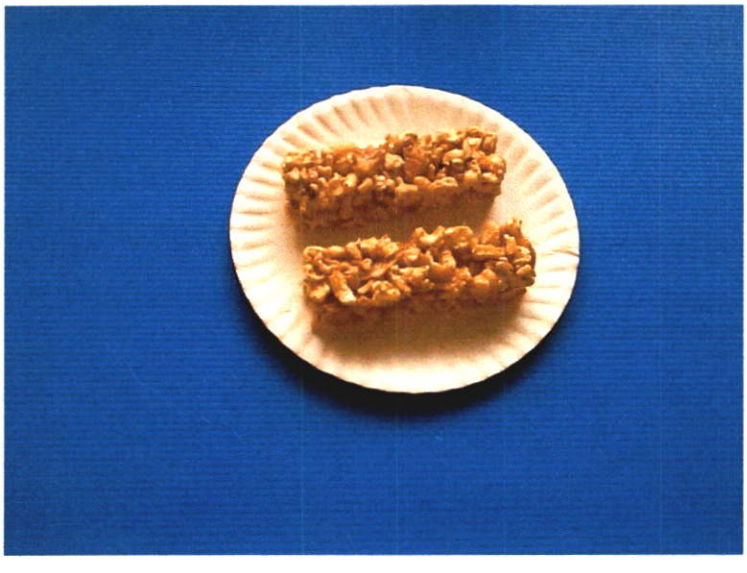
จากการศึกษากระบวนการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟได้นำข้าวพองรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่และรูปร่างเมล็ดบานปานกลางที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาเป็นวัตถุดิบหลัก ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ โดยได้แบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 2 รูปแบบคือ สูตรที่ 1 แบบ crunchy มีลักษณะกรอบแห้งมีส่วนผสมของผลไม้อบแห้งและเมล็ดถั่วต่างๆ สูตรที่ 2 แบบ chewy มีลักษณะเหนียวนุ่มกว่าแบบแรกและมีเนยถั่วเป็นองค์ประกอบสำคัญ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีกระบวนการผลิตเหมือนกัน มีสัดส่วนของข้าวพองเท่ากันแตกต่างกันที่ส่วนประกอบอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

4.3 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์

ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 สูตรโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้าน สีของผลิตภัณฑ์ ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัด) ความกรอบ (ขณะเคี้ยว) ความเหนียวนุ่ม รสหวาน กลิ่นรส และการยอมรับรวม ได้ผลดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 1 แบบ crunchy



รูปที่ 4.7 ผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2 แบบ chewy

ตารางที่ 4.3 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
สีของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	6.37	6.10
ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ^{ns}	6.83	6.28
ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัดให้หัก)	6.15^{a}	4.45^{b}
ความกรอบ (ขณะเคี้ยว)	6.55^{a}	4.33^{b}
ความเหนียวนุ่ม ^{ns}	5.68	6.15
รสหวาน ^{ns}	6.95	6.40
กลิ่นรส ^{ns}	4.93	5.75
ความชอบรวม ^{ns}	6.68	6.45

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พบว่าคะแนนเฉลี่ยของความชอบในด้านความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 เป็นแบบ crunchy มีโครงข่ายของน้ำตาลเป็นตัวยึดเกาะส่วนผสมอื่นๆเข้าด้วยกัน และยังมีผลึกน้ำตาลขนาดเล็ก เมื่อผู้บริโภคทดสอบการยอมรับจะรู้สึกว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบและแข็ง ส่วนผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 เป็นแบบ chewy มีส่วนผสมของเนยถั่วลิสงซึ่งมีไขมันสูงเป็นส่วนประกอบด้วย ดังนั้นนอกเหนือจากโครงข่ายของน้ำตาลแล้วยังมีไขมันทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะโครงสร้าง แต่เนื่องจากไม่เกิดส่วนของผลึกน้ำตาลและมีไขมันสูง ผู้บริโภคจะรู้สึกว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความกรอบและความแข็งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์แบบ crunchy

4.4 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับ

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 สูตร พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรในระดับปานกลางโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตรมาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่4.4 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์

คุณค่าทางโภชนาการ	กราโนลาบาร์สูตรที่ 1	กราโนลาบาร์สูตรที่ 2
Calories (kcal/100 g)	457.82	483.08
Protein (g/100 g)	9.22	10.5
Fat (g/100 g)	17.3	23.0
Fiber (g/100 g)	2.74	1.45
Total carbohydrate (g/100 g)	32.3	58.52
Total sugar (g/100 g)	66.31	31.4
Ash (g/100 g)	2.08	1.74
Sodium (mg/kg Na)	1070.15	1520.18

จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2 จะให้พลังงานสูงกว่าสูตรที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูงกว่า และในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1มีน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่า น้ำตาลนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงข่ายที่ใช้ยึดเกาะส่วนผสมเข้าด้วยกัน ในตารางที่ 4.5 แสดงถึงคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ที่พัฒนาแล้ว

คุณภาพทางกายภาพ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
1. ความชื้น (%)	5.84	4.93
2. ความแข็ง (g. force)	4448.8	10512
3. ค่า Aw	0.28	0.23

คุณภาพทางด้านความแข็งจากการวัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้ knife blade เป็นการวัดค่าแรงสูงสุดครั้งแรกที่กดลงแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์หัก (Mean first peak force) เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนเฉลี่ยทางด้านความแข็งเมื่อกัดของการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 หรือแบบ crunchy จะมีคะแนนเฉลี่ยด้านความแข็งเมื่อกัดสูงกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 หรือแบบ chewy อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อทดสอบความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อลักษณะสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 หรือแบบ chewy มีค่าแรงที่ต้องใช้ในการทำให้หักสูงกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 หรือแบบ crunchy ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้บริโภครู้สึกว่า

ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 หรือแบบ crunchy มีลักษณะแห้งและกรอบกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 แต่เมื่อทดสอบด้วยการวัดค่าแรงที่ใช้ในการทำให้หักกลับใช้แรงน้อยกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ยึดเกาะกันด้วยโครงสร้างของน้ำตาลแต่เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 ยึดเกาะด้วยโครงข่ายของน้ำตาลแล้วยังมีไขมันจากเนยถั่วช่วยในการยึดเกาะด้วย

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบ พบว่ามีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในระดับที่ต่ำกว่าที่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารจะเจริญได้

4.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ที่ได้รับการยอมรับ

ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 สูตรโดยการบรรจุในซองลามิเนทชนิด OPP20 /MPET 12 / LLDPE 20 หนารวม 52 ไมครอน ในสภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 2 และ 3 เดือน ได้ผลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลของระยะเวลาเก็บต่อค่า ความชื้น Aw ความแข็ง และค่า TBA ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ สูตรที่ 1

ระยะเวลาเก็บ	ความชื้น (%)	Aw	ความแข็ง^{ns} (g.force)	ค่า TBA (mg/kg) (as malonaldehyde)
ระยะเวลา 0 เดือน	5.84^{c}	0.28^{c}	4448.80	1.07^{c}
ระยะเวลา 1 เดือน	7.25^{b}	0.29^{b}	9067.20	1.28^{b}
ระยะเวลา 2 เดือน	8.01^{a}	0.36^{a}	9228.80	1.29^{b}
ระยะเวลา 3 เดือน	8.44^{a}	0.37^{a}	7962.85	1.48^{a}

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{a,b,c} ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

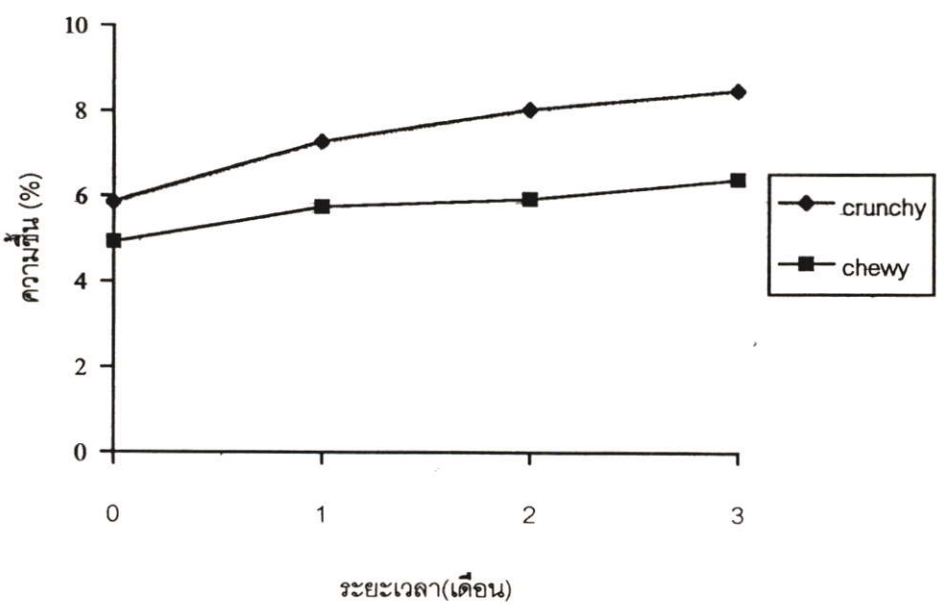
ตารางที่ 4.7 ผลของระยะเวลาเก็บต่อค่า ความชื้น Aw ความแข็ง และค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ กราโนลาบาร์ สูตรที่ 2

ระยะเวลาเก็บ	ความชื้น (%)	Aw	ความแข็ง^{ns} (g.force)	ค่า TBA (mg/kg) (as malonaldehyde)
ระยะเวลา 0 เดือน	4.93^{c}	0.23^{d}	10512.00	1.59^{b}
ระยะเวลา 1 เดือน	5.74^{b}	0.24^{c}	12478.00	1.67^{b}
ระยะเวลา 2 เดือน	5.93^{b}	0.31^{b}	12156.75	1.76^{b}
ระยะเวลา 3 เดือน	6.37^{a}	0.32^{a}	17599.50	2.10^{a}

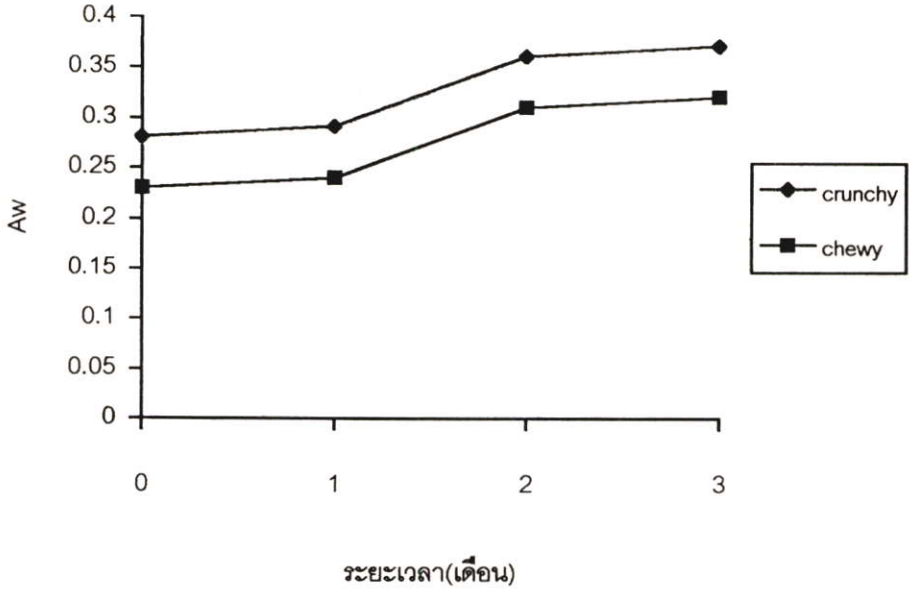
หมายเหตุ : ^{ns} **หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ**

^{a,b,c,d} **ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ** ($p \leq 0.05$)

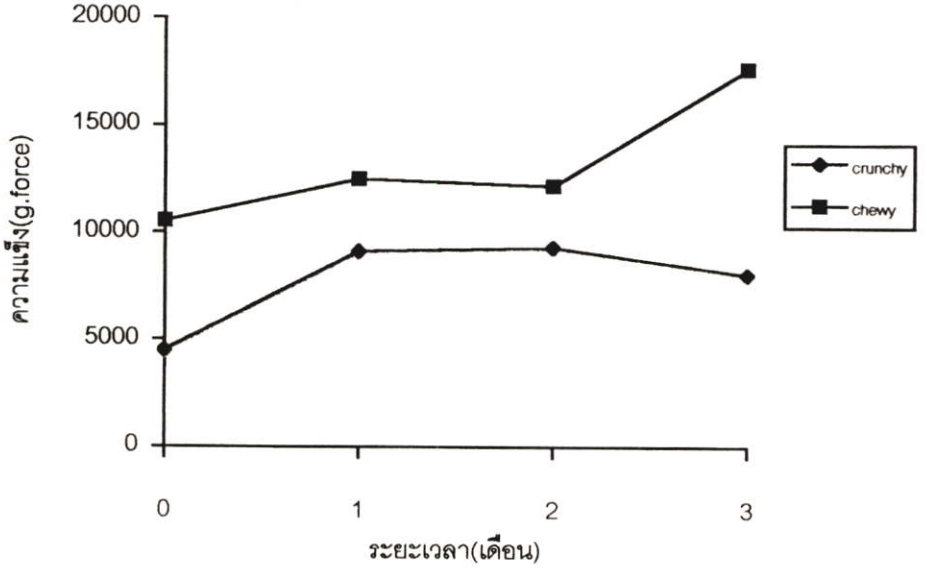
เมื่อนำข้อมูลมาพล็อทกราฟของอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด พบว่าสามารถแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดัง รูปที่ 4.8 , 4.9, 4.10 และ 4.11



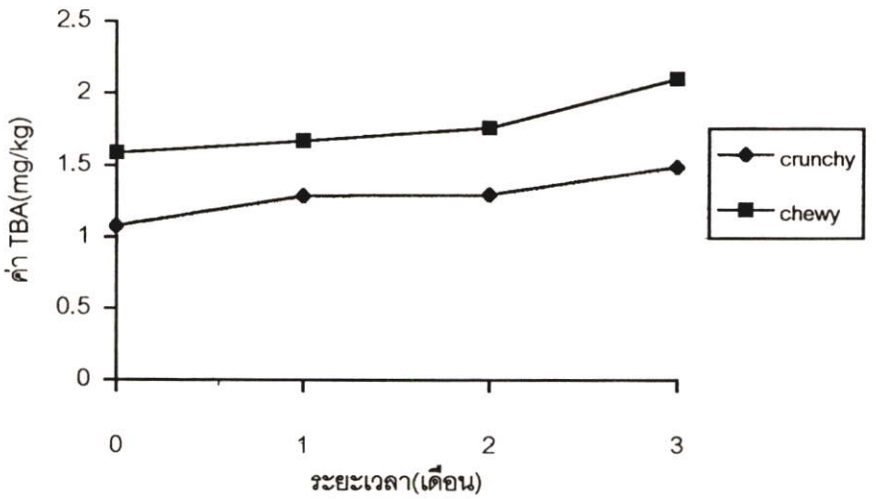
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้นของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อเก็บไว้ 3 เดือน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้าน Aw ของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อเก็บไว้ 3 เดือน



รูปที่4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อเก็บไว้ 3 เดือน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงด้านค่า TBA ของกราโนลาบาร์ทั้ง 2 ชนิดเมื่อเก็บไว้ 3 เดือน

เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สูตรที่1 และสูตรที่ 2 ในซองลามิเนทชนิด OPP20 /MPET 12 / LLDPE 20 เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เพิ่มขึ้นเป็น 0.37 และ 0.32 ตามลำดับ แต่ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารจะเจริญได้ ส่วนค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 8.44 และ 6.37 % ตามลำดับ และค่า TBA ที่แสดงถึงการเกิดการหืนก็เพิ่มขึ้นเป็น 1.48 และ 2.10 ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาเฉพาะค่า TBA ในแต่ละระยะเวลาการเก็บจะพบว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 จะมีค่า TBA สูงกว่าเนื่องจากมีปริมาณไขมันมากกว่า พบว่าค่าความแข็งในแต่ละระยะเวลาการเก็บของผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในด้าน สีของผลิตภัณฑ์ ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัด) ความกรอบ (ขณะเคี้ยว) ความเหนียวนุ่ม รสหวาน กลิ่นรส และการยอมรับรวม ได้ผลดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 โดยพบว่าอายุการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกๆด้านที่ทำการทดสอบ แม้ว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าความชื้น หรือค่า TBA จะเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นซองลามิเนทชนิด OPP20 /MPET 12 / LLDPE 20 ซึ่งมีคุณสมบัติค่า WVTR < 1.0 g/m^2 และค่า O_2TR < 10 cm^3/m^2 (จุมพล วรสายัณห์. 1998) สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้งสองชนิดเป็นเวลา 3 เดือนได้ โดยที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.8 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 1

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)			
	0	1	2	3
สีของผลิตภัณฑ์ ns	6.37	6.20	6.15	6.18
ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ns	6.83	7.18	7.05	7.22
ความแข็งเมื่อเริ่มกัดให้หัก ns	6.15	6.60	5.55	6.50
ความกรอบขณะเคี้ยว ns	6.55	6.10	6.03	5.93
ความเหนียวนุ่ม ns	5.68	5.35	5.33	5.28
รสหวาน ns	6.95	6.50	6.45	6.40
กลิ่นรส ns	4.93	5.35	5.20	5.18
ความชอบรวม ns	6.68	6.75	6.40	6.40

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์สูตรที่ 2

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)			
	0	1	2	3
สีของผลิตภัณฑ์ ns	6.10	6.08	6.03	6.02
ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ns	6.28	6.20	6.25	6.23
ความแข็งเมื่อเริ่มกัดให้หัก ns	4.45	4.38	4.35	4.32
ความกรอบขณะเคี้ยว ns	4.33	4.13	4.23	4.18
ความเหนียวนุ่ม ns	6.15	6.07	6.05	6.02
รสหวาน ns	6.40	6.38	6.32	6.37
กลิ่นรส ns	5.75	5.65	5.62	5.55
ความชอบรวม ns	6.45	6.38	6.38	6.37

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาเบื้องต้นถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยไมโครเวฟ พบว่าที่สภาวะ ความชื้นของข้าวเปลือก 15 % ความเข้มข้นของเกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัม และใช้เวลาในการพองตัว 3 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้คุณภาพในการพองตัวของข้าวพองในด้านที่สำคัญคือ yield , อัตราการพองตัว และความกรอบมีค่าอยู่ในกลุ่มที่มีค่าสูงสุด และมีคุณภาพทางด้านความชื้นของข้าวพองต่ำ พร้อมทั้งสามารถผลิตต่อครั้งได้ในปริมาณสูง(50 กรัม) ดังนั้นสภาวะดังกล่าวจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมแม้ว่าจะมีค่า bulk density สูงและมีค่าความแข็งต่ำ แต่สภาวะดังกล่าวไม่พบส่วนที่เกิดการไหม้ของข้าวพอง

2. ลักษณะรูปร่างของข้าวพองที่ได้จากทุกสภาวะมีรูปร่าง 3 แบบคือ รูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ รูปร่างเมล็ดบานปานกลางและรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อยโดยปริมาณของข้าวพองเมล็ดบานเต็มที่สูงที่สุดมาจากสภาวะที่ ระดับความชื้น 10% ความเข้มข้นของเกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัม และเวลาในการพองตัว 3 นาทีจะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ในสัดส่วนที่สูงที่สุด คือ 46.55 % แต่พบว่ามีส่วนไหม้ 19.49% และที่สภาวะระดับความชื้น 20% ความเข้มข้นของเกลือ 0% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัมและเวลาในการพองตัว 2 นาทีจะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานเต็มที่ในสัดส่วนที่สูงเช่นเดียวกัน คือ 46.07% และไม่พบส่วนที่ไหม้ ที่สภาวะระดับความชื้น 15% ความเข้มข้นของเกลือ 2 % ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัมและเวลาในการพองตัว 3 นาที จะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานปานกลางในสัดส่วนที่สูงที่สุด คือ 25.03 % ส่วนที่ระดับความชื้น 10% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 50 กรัมและเวลาในการพองตัว 3 นาที จะให้ข้าวพองที่มีรูปร่างเมล็ดบานเล็กน้อยในสัดส่วนที่สูงที่สุด คือ 10.71 % แต่มีส่วนที่ไหม้ถึง 30.30 % และพบว่าเกิดการไหม้ของข้าวพองทั้งหมด 5 สภาวะ โดยสภาวะที่ ระดับความชื้น 10% ความเข้มข้นของเกลือ 2% ปริมาณข้าวเปลือกต่อครั้ง 30 กรัมและเวลาในการพองตัว 3 นาที จะเกิดการไหม้ของข้าวพองสูงที่สุด 39.36 %

3. ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ได้แบ่งผลิตภัณฑ์เป็น 2 รูปแบบคือ สูตรที่ 1 แบบ crunchy มีลักษณะกรอบแห้งมีส่วนผสมของผลไม้อบแห้งและเมล็ดถั่วต่างๆ สูตรที่ 2 แบบ chewy มีลักษณะเหนียวนุ่มกว่าแบบแรกและมีเนยถั่วเป็นองค์ประกอบสำคัญ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีกระบวนการผลิตเหมือนกัน มีสัดส่วนของข้าวพองเท่ากันแตกต่างกันที่ส่วนประกอบอื่นๆ

4. ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 สูตร โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้าน สีของผลิตภัณฑ์ ลักษณะภายนอกจากการมองเห็น ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัด) ความกรอบ (ขณะเคี้ยว) ความเหนียวนุ่ม รสหวาน กลิ่นรส และการยอมรับรวมพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรในระดับปานกลางโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. ผลิตภัณฑ์แบบ crunchy มีความชื้น 5.84% ความแข็ง 4448.8 g. force และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.28 มีคุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัม ด้านพลังงาน 457.82 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 9.22 กรัม ไขมัน 17.3 กรัม เยื่อใย 2.74 กรัม คาร์โบไฮเดรต 32.3 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 66.31 กรัม เถ้า 2.08 กรัม และโซเดียม 1070.15 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัมโซเดียม ส่วนแบบ chewy มีความชื้น 4.93% ความแข็ง 10512 กรัม force ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.23 มีคุณค่าของโภชนาการ ต่อ 100 กรัม ด้านพลังงาน 483.08 โปรตีน 10.5 กรัม ไขมัน 23.0 กรัม เยื่อใย 1.45 กรัม คาร์โบไฮเดรต 58.52 กรัม น้ำตาลทั้งหมด 31.4 กรัม เถ้า 1.74 กรัม และโซเดียม 1520.18 มิลลิกรัม 1 กิโลกรัมโซเดียม

6. ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ ทั้ง 2 แบบในภาชนะบรรจุชนิด OPP 20/ PE 20 / MPET 12 / LLDPE 20 ไมครอน เป็นเวลา 3 เดือน พบว่ามีค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าความแข็งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าผู้ทดสอบยังให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 แบบโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองด้วยคลื่นไมโครเวฟครั้งนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้ตู้ไมโครเวฟแบบครัวเรือน ซึ่งมีกำลังการผลิตต่ำ จึงควรนำข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ไปทำการศึกษาต่อในระดับที่มีกำลังผลิตเพิ่มขึ้น เช่น การใช้อุโมงค์ไมโครเวฟ ที่สามารถทำการผลิตแบบต่อเนื่องได้ ในส่วนของการผลิตผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์จากข้าวพองนั้นสามารถนำสูตรดังกล่าวไปทำการปรับปรุง เพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น หรือนำไปปรับปรุงเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้ เช่น การเพิ่มใยอาหาร การเพิ่มวิตามินและเกลือแร่ การลดไขมันและน้ำตาลเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเช้าหรือผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อควบคุมน้ำหนัก เป็นต้น

บรรณานุกรม

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2530. **ตารางคุณค่าอาหารไทยในส่วนผสมกินได้ 100 กรัม.** กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพ.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2537. **กระบวนการแปรรูปอาหาร.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จริยา คุณะวิภากร. 2542. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสมเนยถั่วลิสง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑามาศ ธาระวานิช. 2530. **ทานตะวัน : พืชน้ำมันที่ควรส่งเสริมจริงหรือ.** สรุปข่าวธุรกิจ. 18(2) : 42-60.

นรินทร์ ทองศิริ. 2531. **เทคโนโลยีอาหารนม.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิรนาม. 2519. **วิธีทำแบะแซ (maltose Syrup).** กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพ.

นิรนาม. 2528. **น้ำผึ้ง.** ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 108: 14-16

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2532. การแปรรูปข้าว. เอกสารประกอบการบรรยายสัมมนาการแปรรูปอาหาและคลีนิคปรึกษาแนะนำ 27-28 มิถุนายน 2532. ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพ.: 1-13

มาลัย. 2527. **การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร.** วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร. 15(3):32-40

มาลี ชิ้มศรีสกุล. 2534. **ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือกและต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวพองที่ได้.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532 **กรรมวิธีแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

วรลักษณ์ มันตาดิลก. 2535. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนยถั่วลิสงผสมมะพร้าว.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิมลศิริ ธนะสูตร. 2539. **การพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2539. **การให้พลังงานความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร.** กรุงเทพฯ : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ashwood, D. 1991. **Flavouring for bakery and general use.** In Food Flavouring. AVI Publishing, New York.:210-221

Bhattacharjee,M and Noth, S. 1985. "Puffing Characteristics of processed Rice stored in different packaging systems". **J. Sci. Food Agric.** 36:37-42

Bixby,D.G. and Helmke,K.L. **Preparation of Ready - to - eat Peanut Butter Containing Cereal.** U.S. patent no. 3723131.1973

Bouraoui, M., Richard, P. and Durance,T. 1994. "Microwave and convective drying of potato slices". **J.of Food Process Engineering**.17(3):353-363

Carroll, O.P. 2000. " Nutrition bar mania". **The world of Food Ingredients.** September:16-22

Chandrasekhar , P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1989. "Heat transfer during fluidized bed puffing of rice grains". **J. of Food Process Engineering.** 11:147-157

Chandrasekhar, P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1991 " Rice puffing in relation to its varietal characteristics and processing conditions." **J. of Food Process Engineering.** 24 : 261-277

Chinnaswany, R. and Bhattacharya, K.R. 1983. "Studies on expanded rice: physicochemical basis of varietal differences." **J. Food Sci.** 48 : 1600.

Chinnaswany, R. and Bhattacharya, K.R. 1983. "Studies on expanded rice : optimum processing conditions." **J. Food Sci.** 48 : 1604.

Dalgleish, J.M. 1990. **Snack Food : Fruit-base snacks including dried and candied fruit.** New York : An AVI Book Van Nostrand Reinhold.

Deacareau , R.V. 1986. "Microwave food processing equipment throughout the world". **Food Technology.** 40(6):99-105.

Gobble *et al.* **Method of making a ready-to-eat breakfast cereal.** U.S patent no. 4 178392, 1979.

Heki *et al.* **Method for puffing gelanized rice grain.** U.S. patent no. 3701667.1972

Kelly *et al.* **Food Bar and Process of Preparing the Same.** U.S patent no. 4 055 669. 1977

Lorenz, K. 1976. "Microwave heating of Foods-Changes in nutrient and chemical composition". **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** June: 339-370

Lun, B.S. 1980. **Production and Utilization.** The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.

Matz, S.A. 1962. **Food Texture.** Connecticut : The AVI Publishing Company Inc.

Matz, S.A. 1984. **Snack Food Technology.** 2nd ed., The AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.

McAlister,R.E. **Microwave Puffing of Cereal Grain and Products Made Therefrom.** U.S patent no. 3682651. 1972.

Murugesam, G. and Bhattacharya, K.R. 1986. "Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions." **J. Food Sci.** 24(4) : 197-202.

Murugesam, G. and Bhattacharya, K.R. 1991. "Effect of some pretreatments on popping expansion of rice." **J. of Cereal Science.** 13 : 85-92.

Murugesan, G. and Bhattacharya, K.R. .1991. "Basis for varietal difference in poping expansion of rice". **J. of Cereal Science.**13:71-83

Nijhuis *et al.*1998. "Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables". **Trends in Food Science&Technology**.9:13-20

Rice, R. 1990. **Snack food : Health food snacks.** New York. An AVI Book Van Nostrand Reinhold.

Robbins, P.M. 1976. **Convenience Food Recent Technology**. USA. Noyes Data Corporation.

Rosenberg,U. and W.Bogl. 1987. "Microwave Thawing , Drying and Baking in the food industry". **Food Technology**. 41(6):85-91

Rosenthal, I. 1992. **Microwave radiation : Electromagnetic radiation in foodscience.** USA. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Ryynanen, S. and Ohlsson, T. 1996. "Microwave heating uniformity ready meals as Affected by placement, composition, and geometry." **J. Food Sci.** 61(3) : 620-624.

Saita *et al.* **Process for Producing Pregelatinized Grain.** U.S. Patent 4847103. 1989

Schiffmann, R.F. 1986. "Food product development for microwave processing." **Food Tech.** 40(6) : 94-98

Srinivas, T. and Desikachar, H.S.R. 1973. "Factors affecting the puffing quality of Paddy. **J. Sci Food Agric.** 24 : 883-891.

Strommer *et al.* **Process and Apparatus for Controlling The Expansion of Puffable Materials.** U.S. Patent no. 3656965. 1972

Villareal, C. P. and Juliano, B.O. 1987. "Varietal differences in quality characteristics Of puffed rice." **Cereal Chem.** 64(4) : 337.

ภาคผนวก ก

1. การหาปริมาตรข้าวพองด้วยวิธีแทนที่เมล็ดแมงลัก

การหาปริมาตรข้าวพองด้วยวิธีแทนที่เมล็ดแมงลัก สามารถหาได้ตามวิธีของมาลี (2534) ดังนี้

1. ใส่เมล็ดแมงลักลงในอะลูมิเนียมสำหรับอบขนม เคาะให้แน่น ใช้ไม้บรรทัดปาดส่วนที่เกินออก เก็บเมล็ดแมงลักที่อยู่ในภาชนะไว้ใช้ในข้อต่อไป

2. ใส่เมล็ดแมงลักในภาชนะสลับกับข้าวพองที่ละชั้นจนหมด เคาะให้แน่น ปาดด้วยไม้ บรรทัด วัดปริมาตรเมล็ดแมงลักส่วนที่เกินด้วยกระบอกตวง ค่าที่ได้จะเป็นปริมาตรของข้าวพองที่ต้องการวัด

2. การหาความชื้นด้วยเครื่อง Halogen Moisture Analyzer รุ่น HR 73

1. บดตัวอย่างด้วย blender จนเป็นผงละเอียด
2. นำตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียมเล็กสำหรับเครื่องวิเคราะห์
3. ทำการวิเคราะห์ โดยใช้ condition ดังนี้ Rapid drying, Drying temperature 190 $^{\circ}$C, Switch off mode 3

รูปที่ ก1. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Halogen Moisture Analyzer รุ่น HR73

3. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2i

3.1 การวิเคราะห์หาความแข็งและความกรอบของข้าวพองโดยใช้วิธีวัดแบบ Bulk compression

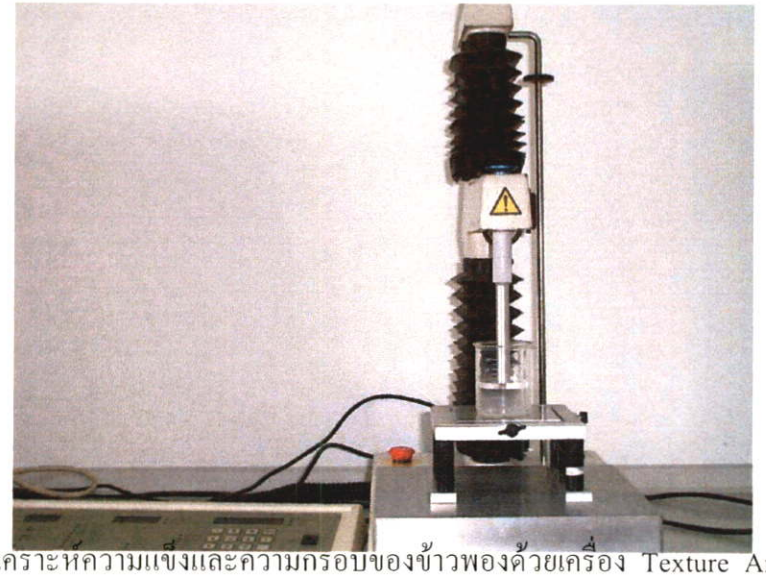
1) การวิเคราะห์หาความแข็งและความกรอบของข้าวพองโดยใช้หัววัดแบบ Bulk Compression (P/75) ก่อนการวัดต้องทำการ calibrate force และ calibration probe ทุกครั้ง

2) ใช้ตัวอย่างข้าวพอง 20 เมล็ด/ครั้ง ใส่ในกระบอกพลาสติก

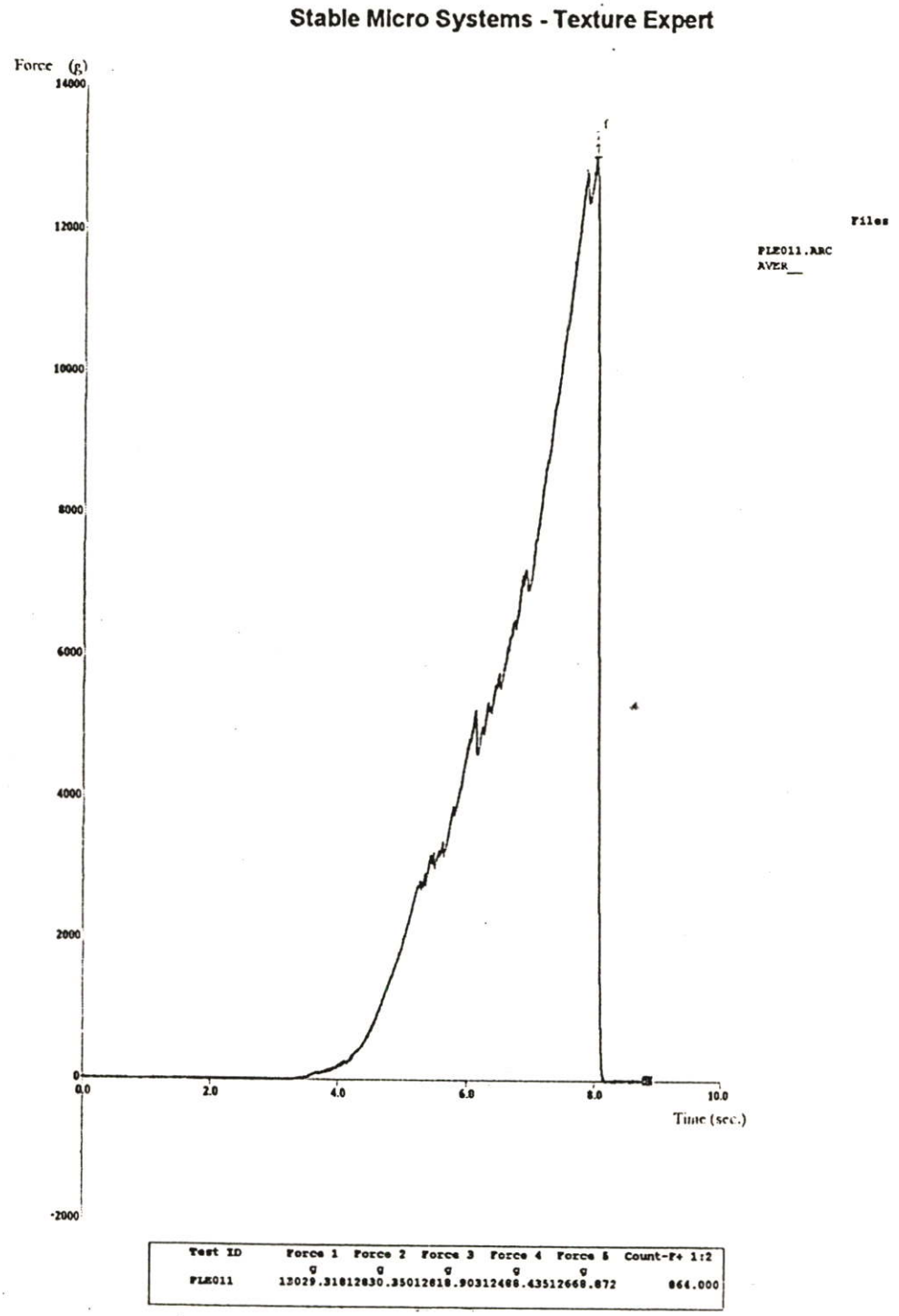
3.) ทำการวิเคราะห์ โดยเครื่อง TA-XT2i โดยใช้สภาวะ ดังนี้

TA-XT2i Setting Mode		: Measure force in compression
	Option	: Return to start
	Pre – test speed	: 1.0 mm/s
	Test speed	: 1.0 mm/s
	Post - Test speed	: 10.0 mm/s
	Distance	: 8 mm.
	Trigger type	: Button
	Data Acquisition Rate	: 400 pps

4) การวิเคราะห์ผล ความแข็งอ่านค่าจาก Maximum peak force และความกรอบอ่านค่าจาก Number of peaks



รูปที่ ก2 การวิเคราะห์ความแข็งและความกรอบของข้าวพองด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i) โดยใช้วิธีการวัดแบบ Bulk Compression



รูปที่ ก3 ลักษณะกราฟจากการวัดข้าวพองด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

3.2 การหาความแข็งและความกรอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2i โดยใช้วิธีวัดแบบ Knife Blade

1) ทำการ calibrate force ก่อนการวัดทุกครั้ง

2) ประกอบชุดเครื่องมือ Knife Edge with Slotted Insert (HDP/BS)กับตัวเครื่อง

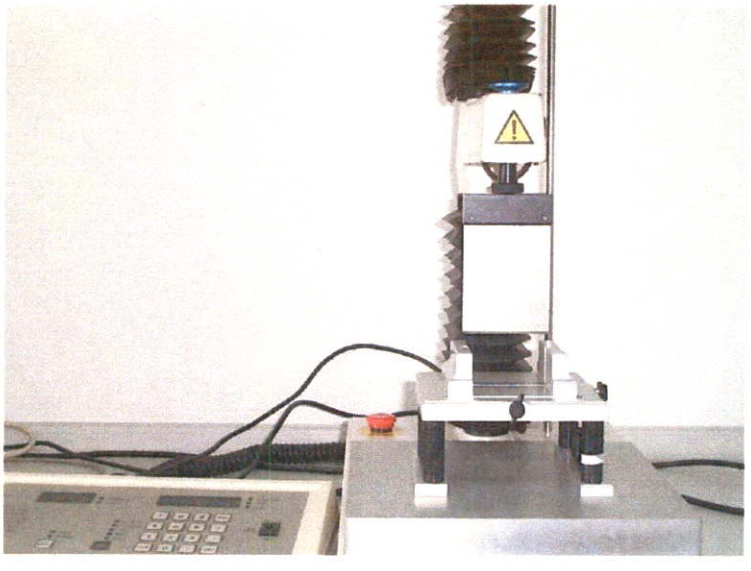
3) ทำการ calibrate probe ก่อนการวัด

4) วางชิ้นกราโนลาร์บนแท่น

5) ทำการวิเคราะห์ โดยเครื่อง TA-XT2 โดยใช้สภาวะ ดังนี้

TA-XT2 Setting Mode		: Measure force in compression
	Option	: Return to start
	Pre – test speed	: 2.0 mm/s
	Test speed	: 2.0 mm/s
	Post - Test speed	: 10.0 mm/s
	Distance	: 17 mm.
	Trigger type	: 10 g.
	Data Acquisition Rate	: 200 pps

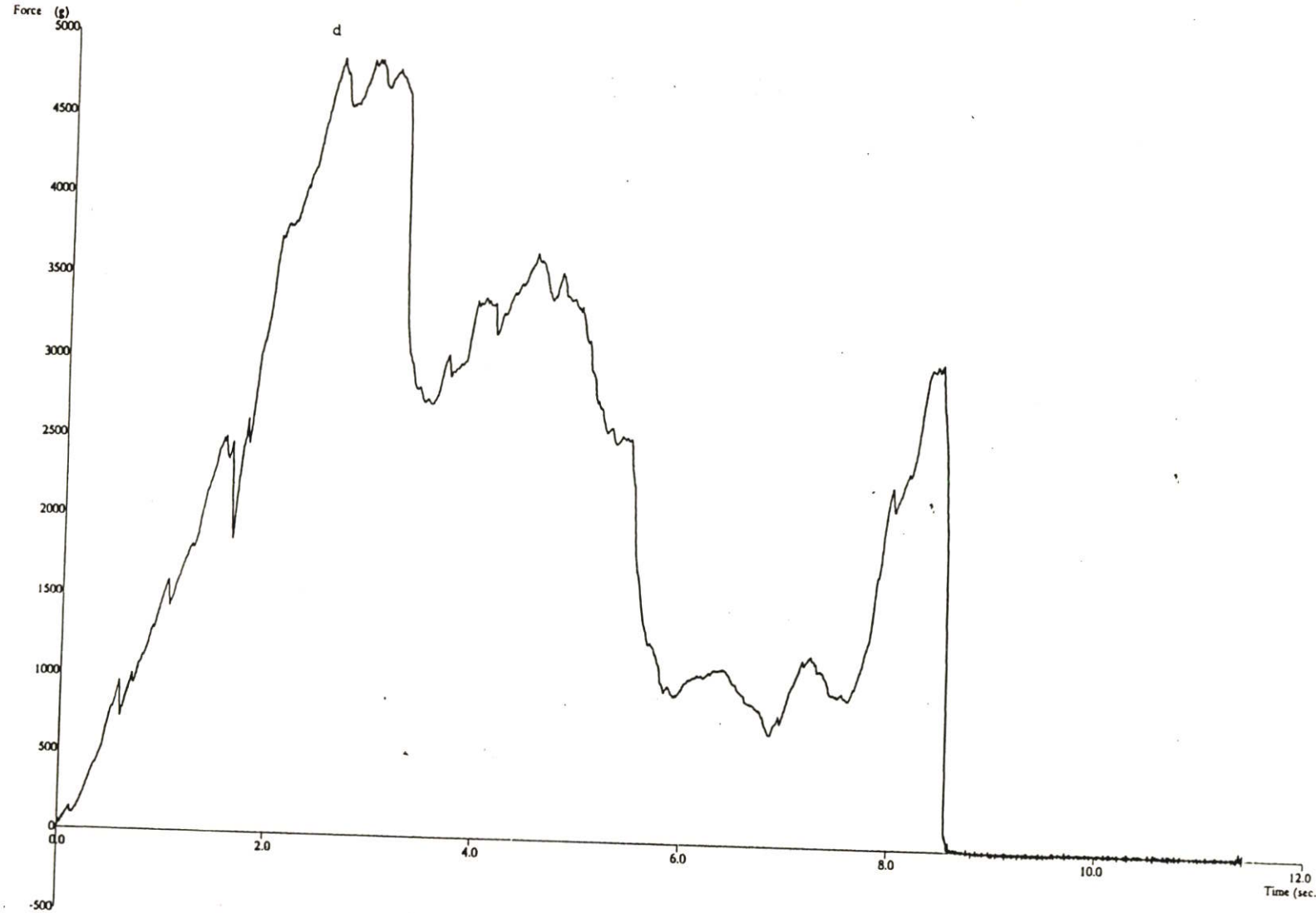
6) การวิเคราะห์ผล การวิเคราะห์ผลทำได้โดยอ่านค่าจาก Mean first peak force



รูปที่ ก4 การวิเคราะห์ความแข็งและความกรอบของกราโนลาบาร์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i) โดยใช้วิธีการวัดแบบ Knife Blade

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังกรอบในการบริโภค Crunchy

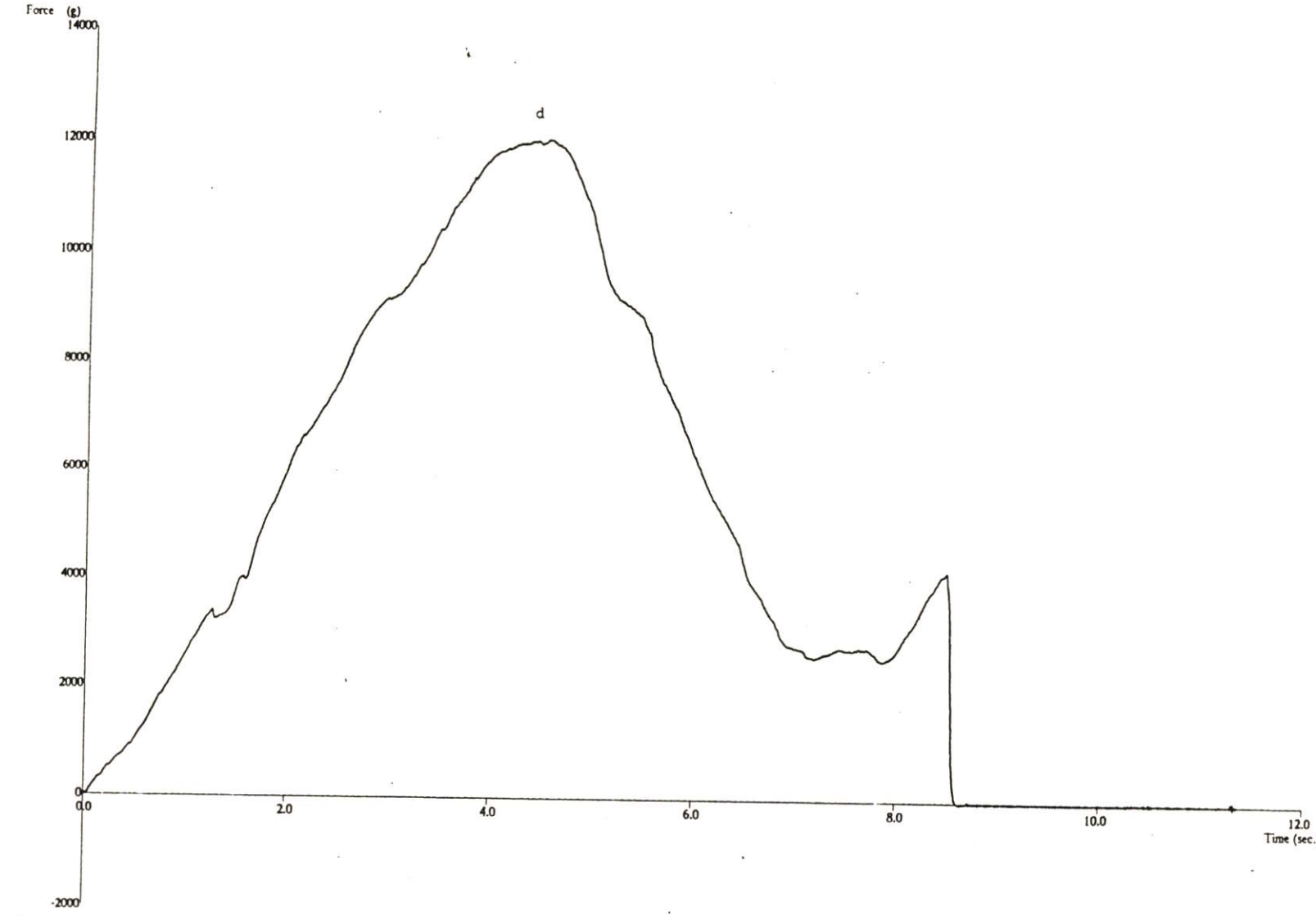
Stable Micro Systems - Texture Expert



FILE NAME	MODE	OPTION	PRE-SPEED	SPEED	POST-SPEED	FORCE	DISTANCE	TIME	COUNT	TRIGGER	PPS
TEST026	Force/Comp.	Return to Start	2.0mm/s	2.0mm/s	10.0mm/s	N/A	17.0mm	N/A	N/A	10g	200.00

FILE NAME	PROBE		LOAD CELL	TEMPERATURE	AREA	HEIGHT	WIDTH	LENGTH
TEST026	HDP/BSK	BLADE SET WITH KNIFE	25	0.0 °C	0.00 mm²	20.00 mm	0.00 mm	70.00 mm

Stable Micro Systems - Texture Expert



FILE NAME	MODE	OPTION	PRE-SPEED	SPEED	POST-SPEED	FORCE	DISTANCE	TIME	COUNT	TRIGGER	PPS
TESTREV5	Force/Comp.	Return to Start	2.0mm/s	2.0mm/s	10.0mm/s	N/A	17.0mm	N/A	N/A	10g	200.00

FILE NAME	PROBE	LOAD CELL	TEMPERATURE	AREA	HEIGHT	WIDTH	LENGTH
TESTREV5	HDP/BSK BLADE SET WITH KNIFE	25	0.0 °C	0.00 mm²	20.00 mm	0.00 mm	70.00 mm

4. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity : Aw)

วิธีการ Set-up calibration

4.1 ในการ calibration ให้ปรับ 1 ครั้งในการเริ่มต้นวัด หรือถ้าเครื่องทิ้งไว้นานโดยไม่ได้ใช้ ให้ปรับทุกครั้งก่อนที่จะนำมาใช้

4.2 นำตลับ salt standard (ความชื้นมาตรฐาน) มาใส่ใน measuring chamber ให้เริ่มต้นด้วย salt standard SAL-90 (90.1% ERH)

4.3 ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย

4.4 ให้หมุนปุ่มสีเหลืองตรงด้านหน้าซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลข 2

4.5 รอประมาณ 1 ถึง 2 นาที แล้วจึงค่อยกดปุ่มสีฟ้า Enter ด้านขวามือ กดจนกระทั่งบนจอแสดงค่า No

(LCD) กระพริบ ถ้าข้อความบนจออ่านว่าก็ให้รอจนกว่า CAL

บนจอจะแสดงข้อความว่า $^{90}_{CAL}$ พร้อม ๆ กับกระพริบด้วย

4.6 ให้กดปุ่มสีฟ้า Enter อีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ

4.7 เครื่องจะทำการ calibrate จนเสร็จสิ้นกระบวนการ

4.8 หลังจากเสร็จสิ้นการ calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปรกติ คือ พร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิและ %ERH (Aw = ERH/100) ของตัวอย่าง

4.9 สำหรับค่าอื่น ๆ ให้ทำการ calibrate ในทำนองเดียวกับค่า 90 ดังกล่าวข้างต้น

วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

4.10 มุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง Thermoconstanter ในตำแหน่งที่ (1)

4.11 พลาสติก (sample cup) มาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90%

4.12 นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน measuring chamber

4.13 ปิดฝาให้เรียบร้อย

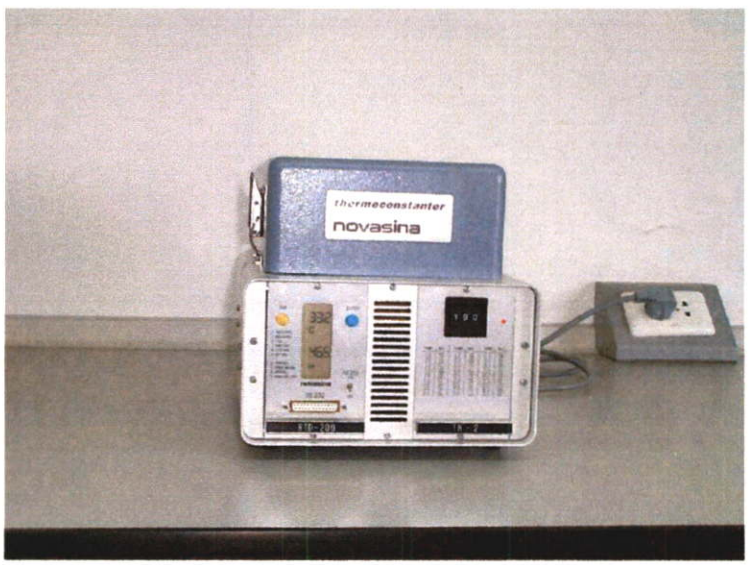
4.14 Set อุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25°C ก็ให้ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น

4.15 จากนั้นรอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลย์ (Equilibrium) กับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เราเรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (ERH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่า Aw (Water activity) ตามที่ต้องการ

หมายเหตุ

1) สารตัวอย่างแต่ละอย่างที่นำมาทดลองเพื่อทำการวัดหาค่า Aw (Water activity) จะมีค่า Aw แตกต่างกันไป อุณหภูมิของสารตัวอย่างนั้น ๆ ก็มีส่วนทำให้ Aw แตกต่างกันออกไปอีกด้วย หมายความว่า สารตัวอย่างเดียวกันถ้ามีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมี Aw ที่แตกต่างกันไปด้วย

2) ระยะเวลาที่รอคอยให้ถึงจุด Equilibrium นั้นจะสั้นหรือยาวก็จะขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของสารตัวอย่างนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นสารตัวอย่างที่มีส่วนผสมของน้ำมัน ก็จะต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมงกว่าจะถึงจุด Equilibrium ถ้าเป็นสารตัวอย่างทั่ว ๆ ไป เช่น แยม ไส้กรอก หรือขนมปังแห้ง จะใช้เวลาประมาณ 15-25 นาที



รูปที่ ก7 เครื่องวิเคราะห์ค่า Water activity (Aw)

5. การวิเคราะห์โปรตีนแบบ Buchi-Kjeldahl-System (AOAC, 1995)

5.1 เครื่องมือและสารเคมี

- ชุดวิเคราะห์โปรตีน
- หลอดย่อยโปรตีน
- กรดซัลฟุริกเข้มข้น
- กรดบอริก ความเข้มข้น 2%
- กรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 32%

- Catalyst : ผสมซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) 2.5 กรัม โปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_45H_2O$) 20 กรัม เข้าด้วยกัน

- อินดิเคเตอร์ผสม

. เตรียม Bromo cresol green ความเข้มข้น 0.1% ในแอลกอฮอล์ความเข้นข้น 95%

. ผสม 10 มิลลิลิตร Bromo cresol green กับ 2 มิลลิลิตร Methyl red ในขวดหยด

5.2 วิธีวิเคราะห์

5.2.1 ปิเปตตัวอย่าง 2 มิลลิลิตรลงใน digestion vessels

5.2.2 เติม catalyst 5 กรัม กรดซัลฟุริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร และ glass beads

5.2.3 นำ digestion vessels ตั้งในชุดย่อยจนได้สารละลายสีฟ้า

5.2.4 เทสารละลายทั้งหมดลงในบีกเกอร์แล้วนำไปใส่ในเครื่องกลั่นโปรตีน (Buchi) เติมน้ำให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 32 % ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 4-5 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้น 2% ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยด ในฟลาสก์ลูกชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

5.2.5 นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีใสหรือไม่สี

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{\text{N.HCl} \times \text{ml.HCl} \times 14 \times 6.25 \times 100}{\text{ml. ของตัวอย่าง} \times 1000}$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)

6.1. เครื่องมือและสารเคมี

- ชุดวิเคราะห์ไขมัน

- ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

- Desicator

- ปิโตรเลียมอีเทอร์

6.2 วิธีวิเคราะห์

6.2.1 ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่

6.2.2 นำของแข็งจากข้อ 1 ใส่ลงในทิมเบอร์ (thimble) ให้หมด ปิดด้วยสำลีที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว

6.2.3 นำทิมเบอร์ใส่ในชุดแยกสกัดของเครื่องสกัดปิโตรเลียมอีเทอร์ใส่ลงในฟลาสก์ (ให้มีปริมาณเพียงพอที่จะให้เกิดการสกัดอย่างสมบูรณ์) ต่อฟลาสก์ก้นกลมและชุดแยกสกัดให้เข้ากับคอนเดนเซอร์ ทำการสกัดโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

6.2.4 แยกฟลาสก์ก้นกลมและคอนเดนเซอร์ออกจากชุดสกัด

6.2.5 ใช้คีมคีบสำลีและทิมเบอร์ที่ใส่อาหารตัวอย่างออกมา เทของแข็งออกจากทิมเบอร์นำมาผสมกับปิโตรเลียมอีเทอร์อีกครั้งเพื่อสกัดไขมันในของแข็งออกให้ได้มากที่สุด

6.2.6 เทของแข็งที่สกัดแล้วเข้าทิมเบอร์อีกครั้งหนึ่ง แล้วเริ่มสกัดเช่นเดิม โดยเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไปอีก ใช้สำลีที่สกัดเอาไขมันออกแล้วปิดด้านบนของทิมเบอร์เพื่อสกัดต่ออีกครั้งประมาณ 1-2 ชั่วโมง

6.2.7 นำฟลาสก์ก้นกลมไประเหยอีเทอร์ออก แล้วอบในตู้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 45 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

$$\text{ร้อยละไขมันต่อน้ำหนักแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้} \times 100}{100 - \text{ปริมาณความชื้น}}$$

7. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

7.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

7.1.1 ล้าง platinum หรือ porcelain dish ทำให้แห้งก่อนเผาใน muffle furnace นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator ก่อนนำมาชั่ง

7.1.2 ชั่งตัวอย่างใน platinum dish ดังนี้

- เนื้อสัตว์ ผัก ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลประกอบอยู่ จะใช้ตัวอย่าง 5-10 กรัม
- ผลไม้แห้ง แยม เยลลี่ ใช้ตัวอย่าง 10 กรัม
- น้ำผลไม้ ผลไม้แห้ง ผลไม้บรรจุกระป๋อง ใช้ตัวอย่าง 25 กรัม

7.1.3 หยดน้ำมันมะกอก 2-3 หยด ในตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เพื่อป้องกันการเกิดฟองขณะเผา

7.1.4 เผาตัวอย่างจนเผาไหม้หมด จึงนำ dish วางในเตาเผา จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาว ตัวอย่างที่แตกต่างกันจะเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวอย่าง 10 กรัม อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เผาจนเถ้าเป็นสีขาว

7.1.5 ชั่งน้ำหนัก เถ้า ด้วยตาชั่งละเอียด

7.1.6 คำนวณเปอร์เซ็นต์ เถ้า จาก $\frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$

8. การวิเคราะห์ Thiobarbituric acid number(TBA) (AOAC.1995) ด้วยวิธี acid hydrolysis

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นาน 2 นาที

↓

นำตัวอย่างที่ปั่นแล้วเทลงในขวดกลั่น ล้างตัวอย่างออกจากเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตรเทลงขวดกลั่น

↓

เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับความเป็นกรดด่างให้ได้ปริมาณ 1.5

↓

ใส่ glass beads

↓

นำตัวอย่างไปกลั่นจนกระทั่งได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร

↓

ปิเปตของเหลวที่กลั่นได้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงหลอดที่มีฝาปิด

↓

เติมสารละลาย TBA (ละลาย TBA 0.2883 กรัม ด้วย 90 % glacial acetic acid) 5 มิลลิลิตร เขย่าและต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที เตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรแทน

↓

ทำให้เย็นลงภายในเวลา 10 นาที

↓

นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (A) ที่ 538 nm

<u>การคำนวณ</u>

TBA no. (มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อ ตัวอย่าง 1 กิโลกรัม) = 7.8A

9. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (AOAC, 1995)

9.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

9.1.1 ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใน digestion flask (500-700) ซึ่งเป็นขวดแก้วก้นกลมเติมกรดซัลฟุริกที่ผ่านการต้มเดือดแล้วจำนวน 200 มล. และ boiling chips 2-3 ชิ้น ก่อนนำ condenser มาประกอบตอนบนของขั้ว

9.1.2 นำไปต้มบนเตาของชุดย่อย crude fiber โดยให้สารละลายเดือดนาน 3 นาที ต่อเนื่องกัน เขย่าขวด เพื่อไม่ให้ตัวอย่างเกาะบนผนังขวด

9.1.3 กรองกากด้วยผ้ากรองบน Buchner funnel และใช้ปั๊มช่วยในการกรอง

9.1.4 ล้างกากด้วยน้ำเดือดจนหมดฤทธิ์กรด โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส

9.1.5 เทกากกลับไปใน digestion flask เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการต้มเดือด จำนวน 200 มล. ต้มส่วนผสมนาน 30 นาที กรองทันทีและล้างกากด้วยน้ำเดือดจนหมดฤทธิ์ด่าง

9.1.6 ล้างกากด้วยสารละลายโปตัสเซียมซัลเฟตร้อน

9.1.7 เทกากกลับไปใน digestion flask อีกครั้ง ล้างตะกอนที่ติดผ้ากรองด้วยน้ำเดือดหลายๆ ครั้ง

9.1.8 เทกากใน digestion flask ผ่านไปใน sintered glass crugible ล้างกากด้วยน้ำเดือดหลายๆ ครั้ง

9.1.9 ล้างกากด้วยแอลกอฮอล์ จำนวน 30 มิลลิลิตร

9.1.10 อบ crucible พร้อมกากที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. ชั่งน้ำหนักเมื่อเย็นลง

9.1.11 นำไปเผาใน muffle furnace ที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อขจัดสาร volatile organic

9.1.12 นำ crucible มาทำให้เย็นใน desicator ก่อนชั่งน้ำหนักที่หายไป เป็นน้ำหนักของ crude fiber (น.น. ข้อ 10-12)

9.1.13 คำนวณเปอร์เซ็นต์ crude fiber

$$\text{เปอร์เซ็นต์ crude fiber} = \frac{\text{น.น. crude fiber} \times 100}{\text{น.น. ตัวอย่าง}}$$

10. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การคำนวณเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต

วิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอาศัยความแตกต่าง

$$\text{คาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\text{ไขมัน} + \text{โปรตีน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย} + \text{ความชื้น})$$

11. การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

11.1 เครื่องมือและสารเคมี

- บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ด้านปลายต่ออยู่กับแท่งแก้วงอ เพื่อทำให้ปลายบิวเรตสามารถใส่เข้าไปในฟลาสค์ที่ตั้งอยู่บนเตาบุนเซ็นได้สะดวก

- สารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วย Fehling's solution no.1 และ no.2
- สารละลายเมธิลีนบลูความเข้มข้น 1% ในน้ำกลั่น

11.2 วิธีทำ

11.2.1 ชั่งตัวอย่างมาจำนวนหนึ่ง เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ เพื่อให้อาหารกระจายตัว เติม clearing agent สารละลาย Carrez I&II ลงไปอย่างละ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น volumetric flask เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลต่อไป

11.2.2 Preliminary titration : นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรต (ชนิดปลายงอที่ใช้สำหรับวิเคราะห์น้ำตาล) ขนาด 50 มิลลิลิตร ไล่ฟองอากาศออกให้หมดโดยเฉพาะที่บริเวณปลายแท่งแก้วงอ ปิเปตสารละลาย Fehling reagent มา 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วเล็ก ๆ ลงไป 2-3 เม็ด นำไปต้มให้เดือดบนเตาบุนเซ็น ไตเตรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1 หยด ไตเตรตจนสีฟ้าหายไปหมด เหลือตะกอนสีส้มแดง จนปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ถ้าปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้อยู่ในช่วง 15-50 มิลลิลิตร ต้องทำใหม่อีก 2 ครั้ง เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน แต่ถ้าปริมาตรของสารละลายที่ใช้น้อยกว่า 15 มิลลิลิตร ทำให้สารละลายน้ำตาลตัวอย่างเจือจางลง แล้วทำการไตเตรตใหม่

11.2.3 Accurate titration : ปิเปตสารละลาย Fehling reagent มา 10 มิลลิลิตร หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วลงไป 2-3 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปทันทีใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ในการไตเตรตครั้งแรกประมาณ 1-2 มิลลิลตร ปล่อยให้เดือดนาน 2 นาที หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1 หยด แล้วไตเตรตต่อใช้อัตราเร็ว 0.25 มิลลิลิตรต่อวินาที จนสีฟ้าหายไปหมด พยายามไตเตรตให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือด จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้นำไปเทียบหาปริมาน้ำตาลในสารละลายตัวอย่างตามชนิดของน้ำตาลในอาหารตัวอย่างนั้น ๆ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำตาลในอาหารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในอาหารโดยไม่มีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย สามารถวิเคราะห์ได้โดยการไฮโดรไลส์อาหารตัวอย่างที่มีน้ำตาลซูโครส ประมาณ 0.5 กรัม ใน volumetric flask โดยใช้กรดเกลือ แล้วทำให้เป็นกลาง หลังจากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นำไปไตเตรตกับสารละลาย Fehling reagent แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณของน้ำตาลอินเวอร์ตจากตาราง

%น้ำตาลซูโครส = %น้ำตาลอินเวอร์ต x 0.95

สำหรับอาหารตัวอย่างที่มีทั้งน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวซิ่ง ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลตามวิธีของ Lane&Eynon ทั้งก่อนและหลังการทำอินเวอร์ชัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้ง 2 ครั้ง คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลอินเวอร์ตในอาหารตัวอย่าง

$$\%\text{น้ำตาลซูโครส} = \%\text{ของผลต่าง } (D2-D1) \times 0.95$$

โดยที่ D1 = เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลอินเวอร์ตก่อนทำอินเวอร์ชัน

D2 = เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลอินเวอร์ตหลังการทำอินเวอร์ชัน

ภาคผนวก ข

1. แบบสอบถามการทดสอบการให้คะแนนความชอบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ : Crunchy granola bar (กราโนลาบาร์ ชนิดกรอบ)

ชื่อผู้ทดสอบ ..... เพศ ..... อายุ ..... ปี

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้

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

<u>คุณลักษณะ</u>	<u>คะแนนความชอบ (1-9)</u>
1. สีของผลิตภัณฑ์	.....
2. ลักษณะภายนอกจากการมอง	.....
3. ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัดให้หัก)	.....
4. ความกรอบ (ขณะเคี้ยว)	.....
5. ความเหนียวนุ่ม	.....
6. รสหวาน	.....
7. กลิ่นรส	.....
8. ความชอบรวม	.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือ

2. แบบสอบถามการทดสอบการให้คะแนนความชอบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ : Chewy granola bar (กราโนลาบาร์ ชนิดเหนียวนุ่ม)

ชื่อผู้ทดสอบ ..... เพศ ..... อายุ ..... ปี

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้

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

<u>คุณลักษณะ</u>	<u>คะแนนความชอบ (1-9)</u>
1. สีของผลิตภัณฑ์	.....
2. ลักษณะภายนอกจากการมอง	.....
3. ความแข็ง (เมื่อเริ่มกัดให้หัก)	.....
4. ความกรอบ (ขณะเคี้ยว)	.....
5. ความเหนียวนุ่ม	.....
6. รสหวาน	.....
7. กลิ่นรส	.....
8. ความชอบรวม	.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือ

ภาคผนวก ค

ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA TABLE

ตารางภาคผนวกที่ ค1 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความชื้นของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	0.01	0.01	0.03	0.97
	%Salt (B)	1	0.45	0.45	3.60	0.07
	Load (C)	1	.018	0.18	1.42	0.25
	Time(D)	1	6.95	6.95	55.99	0.00
2- way interactions						
	AB	2	7.06	3.53	28.429	0.00
	AC	2	0.45	0.22	1.81	0.19
	AD	2	2.07	1.04	8.33	0.01
	BC	1	0.34	.34	2.72	0.11
	BD	1	1.71	1.71	13.74	0.01
	CD	1	0.03	0.03	0.26	0.61
3- way interactions						
	ABC	2	0.43	0.22	1.73	0.20
	ABD	2	0.07	0.04	.29	0.75
	ACD	2	0.06	0.03	.26	0.78
	BCD	1	0.04	0.04	.30	0.59
3- way interactions						
	ABCD	2	0.24	0.12	0.96	0.40
	Error	24	2.98	0.12		
	Total	47	23.07	0.49		

ตารางภาคผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์สถิติทางด้าน % yield ของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	1287.42	643.71	8.39	0.01
	%Salt (B)	1	153.12	153.12	1.20	0.17
	Load (C)	1	1615.53	1615.53	21.06	0.00
	Time(D)	1	14386.34	14386.34	187.55	0.00
2- way interactions						
	AB	2	1181.43	590.71	7.70	0.01
	AC	2	109.61	54.80	0.71	0.50
	AD	2	10.26	5.13	0.07	0.94
	BC	1	0.41	0.41	0.01	0.94
	BD	1	6.56	6.56	0.09	0.77
	CD	1	248.02	248.02	3.03	0.09
3- way interactions						
	ABC	2	165.34	82.67	1.08	0.36
	ABD	2	4.77	2.38	0.03	0.97
	ACD	2	135.75	67.88	0.89	0.43
	BCD	1	11.42	11.42	0.15	0.70
3- way interactions						
	ABCD	2	140.75	70.37	0.92	0.41
	Error	24	1840.75	76.71		
	Total	47	21297.68	453.14		

ตารางภาคผนวกที่ ค3 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความแข็งของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	3.38E+08	1.94E+08	12.76	0.00
	%Salt (B)	1	308212.03	308212.03	0.02	0.89
	Load (C)	1	4539844.0	4539844	0.30	0.59
	Time(D)	1	546423.51	546423.55	0.04	0.85
2- way interactions						
	AB	2	23563177.0	11781589	0.78	0.47
	AC	2	9862704.50	4931370.2	0.33	0.73
	AD	2	3729165.4	1864582.7	0.12	0.89
	BC	1	14289548.0	14289548	0.94	0.34
	BD	1	15501405.0	15501405	1.02	0.32
	CD	1	2.46	2.46	000	1.00
3- way interactions						
	ABC	2	41994772.0	20997386.0	1.38	0.27
	ABD	2	17890125.0	8945062.7	0.59	0.56
	ACD	2	3817907.1	1908953.6	0.13	0.88
	BCD	1	752093.1	7525093.1	0.50	0.49
3- way interactions						
	ABCD	2	1.08E+08	27776613.0	3.56	0.04
	Error	24	3.64E+08	15171252.0		
	Total	47	1.00E+09	21339833.0		

ตารางภาคผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์สถิติทางด้านความกรอบของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	10263.88	5131.94	0.19	0.83
	%Salt (B)	1	7.52	7.52	0.00	0.99
	Load (C)	1	29750.52	29750.52	1.07	0.31
	Time(D)	1	9661.69	9661.69	0.35	0.56
2- way interactions						
	AB	2	98000.29	49000.15	1.77	0.19
	AC	2	4598.04	2299.02	0.08	0.92
	AD	2	128356.12	64178.06	2.31	0.12
	BC	1	20542.69	2054.69	0.74	0.40
	BD	1	88666.02	88666.02	3.20	0.09
	CD	1	3024.19	3024.18	0.11	0.74
3- way interactions						
	ABC	2	106287.13	53143.56	1.92	0.17
	ABD	2	265049.04	132524.52	4.78	0.02
	ACD	2	145234.63	72617.31	2.62	0.09
	BCD	1	32085.02	32085.02	1.56	0.29
3- way interactions						
	ABCD	2	104.54	52.27	0.01	1.00
	Error	24	665983.50	27749.31		
	Total	47	1607614.8	34204.57		

ตารางภาคผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์สถิติทางด้าน Bulk density ของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	6.538E-03	3.269E-02	4.19	0.03
	%Salt (B)	1	1.925E-03	1.925E-03	2.47	0.13
	Load (C)	1	3.040E-03	3.040E-03	3.90	0.06
	Time(D)	1	7.450E-03	7.450E-03	9.56	0.01
2- way interactions						
	AB	2	1.355E-03	6.773E-04	0.87	0.43
	AC	2	3.225E-03	1.643E-03	2.07	0.15
	AD	2	2.868E-03	1.434E-03	1.84	0.18
	BC	1	1.920E-04	1.920E-04	0.25	0.62
	BD	1	1.365E-03	4.294E-03	5.51	0.03
	CD	1	4.294E-03	1.365E-02	1.75	0.20
3- way interactions						
	ABC	2	1.750E-03	8.602E-04	1.10	0.35
	ABD	2	8.552E-04	4.286E-04	0.55	0.59
	ACD	2	1.118E-03	5.591E-04	0.72	0.50
	BCD	1	1.633E-05	1.633E-03	0.02	0.87
3- way interactions						
	ABCD	2	5.253E-03	2.626E-03	3.37	0.05
	Error	24	1.871E-02	7.796E-04		
	Total	47	5.993E-02	1.275E-03		

ตารางภาคผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์สถิติทางด้านอัตราส่วนของการพองตัวที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	3.88	1.94	13.59	0.00
	%Salt (B)	1	0.11	0.11	0.75	0.40
	Load (C)	1	6.16	6.16	43.17	0.00
	Time(D)	1	28.28	28.28	198.04	0.00
2- way interactions						
	AB	2	3.85	1.93	13.49	0.00
	AC	2	0.80	0.40	2.78	0.08
	AD	2	0.04	0.02	0.16	0.86
	BC	1	0.30	0.28	1.96	0.18
	BD	1	0.06	0.06	0.40	0.53
	CD	1	0.64	0.64	4.511	0.44
3- way interactions						
	ABC	2	1.07	0.53	3.74	0.04
	ABD	2	1.05	0.53	3.68	0.04
	ACD	2	0.30	0.15	1.07	0.36
	BCD	1	0.08	0.08	0.55	0.47
3- way interactions						
	ABCD	2	1.83	0.92	6.41	0.01
	Error	24	3.43	0.14		
	Total	47	51.85	1.10		

ตารางภาคผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานเต็มที่ที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	94.84	1691.95	5.79	0.00
	%Salt (B)	1	80.65	80.65	9.85	0.01
	Load (C)	1	1691.95	1691.95	206.62	0.00
	Time(D)	1	5578.12	5578.12	705.635	0.00
2- way interactions						
	AB	2	755.80	377.89	46.15	0.00
	AC	2	190.37	95.18	11.62	0.00
	AD	2	125.11	62.55	7.64	0.01
	BC	1	3.67	3.67	0.47	0.50
	BD	1	6.93	6.93	0.85	0.37
	CD	1	66.08	66.08	8.07	0.01
3- way interactions						
	ABC	2	34.78	17.39	2.12	0.14
	ABD	2	88.94	44.47	5.31	0.01
	ACD	2	208.25	104.12	12.72	0.00
	BCD	1	0.92	0.92	0.11	0.74
3- way interactions						
	ABCD	2	88.42	44.21	5.40	0.01
	Error	24	196.53	8.19		
	Total	47	9411.55	200.25		

ตารางภาคผนวกที่ ค8 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานปานกลางที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	240.73	210.37	81.52	0.00
	%Salt (B)	1	9.19	9.19	3.56	0.07
	Load (C)	1	16.08	16.08	6.23	0.02
	Time(D)	1	767.52	767.52	296.42	0.00
2- way interactions						
	AB	2	324.23	162.15	62.82	0.00
	AC	2	9.37	4.68	1.82	0.18
	AD	2	33.89	16.95	6.57	0.01
	BC	1	4.47	4.47	1.73	0.20
	BD	1	27.12	27.12	10.51	0.01
	CD	1	92.46	92.46	35.83	0.00
3- way interactions						
	ABC	2	36.83	18.42	7.14	0.01
	ABD	2	126.95	63.48	24.60	0.00
	ACD	2	68.31	34.15	13.23	0.00
	BCD	1	27.73	27.73	10.74	0.01
3- way interactions						
	ABCD	2	55.75	27.88	10.80	0.00
	Error	24	62.94	2.58		
	Total	47	2082.56	44.31		

ตารางภาคผนวกที่ ค9 การวิเคราะห์สถิติทางด้านรูปร่างแบบบานเล็กน้อยที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	37.80	18.90	32.23	0.00
	%Salt (B)	1	5.950E-02	5.950E-02	0.10	0.75
	Load (C)	1	10.18	10.18	17.37	0.02
	Time(D)	1	267.39	267.39	455.96	0.00
2- way interactions						
	AB	2	20.75	10.38	17.69	0.00
	AC	2	16.07	8.04	13.70	0.00
	AD	2	8.69	4.35	7.41	0.01
	BC	1	0.14	0.14	0.24	0.63
	BD	1	1.172E-02	1.172E-02	0.02	0.89
	CD	1	3.53	3.53	6.01	0.02
3- way interactions						
	ABC	2	20.56	10.28	17.53	0.00
	ABD	2	16.76	8.38	14.29	0.00
	ACD	2	30.22	15.11	25.77	0.00
	BCD	1	1.19	1.19	1.91	0.18
3- way interactions						
	ABCD	2	26.20	13.10	22.34	0.00
	Error	24	14.07	0.59		
	Total	47	473.56	10.08		

ตารางภาคผนวกที่ ค10 การวิเคราะห์สถิติทางด้านเมล็ดที่ไหม้ที่สภาวะต่างๆ

Source of variation		DF	SS	MS	F	Sig.
Main Effects	Moisture (A)	2	1736.71	868.36	1308.23	0.00
	%Salt (B)	1	119.29	119.29	179.72	0.00
	Load (C)	1	897.61	897.61	1352.30	0.00
	Time(D)	1	21.91	21.91	33.01	0.00
2- way interactions						
	AB	2	217.67	108.83	163.96	0.00
	AC	2	1736.71	868.36	1308.23	0.00
	AD	2	35.23	17.61	26.54	0.00
	BC	1	119.29	119.29	179.72	0.00
	BD	1	1.46	1.46	2.20	0.15
	CD	1	21.91	21.91	33.01	0.00
3- way interactions						
	ABC	2	217.67	108.83	163.96	0.00
	ABD	2	1.18	0.59	0.89	0.42
	ACD	2	35.29	17.61	26.54	0.00
	BCD	1	1.46	1.46	2.20	0.15
3- way interactions						
	ABCD	2	1.83	0.59	0.89	0.42
	Error	24	15.93	0.66		
	Total	47	5180.44	110.22		

ตารางภาคผนวกที่ ค11 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	28.90	28.90	5.84	0.26
Block	19	24.90	1.31	0.27	0.99
Error	19	94.10	4.95		
Total	39	147.90	3.79		

ตารางภาคผนวกที่ ค12 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	6.81	6.81	2.33	0.14
Block	19	103.32	5.44	1.86	0.09
Error	19	55.57	2.93		
Total	39	165.69	4.25		

ตารางภาคผนวกที่ ค13 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	49.51	49.51	13.18	0.14
Block	19	52.72	2.78	0.74	0.09
Error	19	71.37	3.76		
Total	39	173.59	4.45		

ตารางภาคผนวกที่ ค14 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านสีของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	0.76	0.76	0.31	0.58
Block	19	60.87	3.20	1.31	0.30
Error	19	46.37	2.44		
Total	39	107.99	2.77		

ตารางภาคผนวกที่ ค15 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความเหนียวนุ่มของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	2.26	2.26	0.83	0.38
Block	19	34.32	1.81	0.66	0.81
Error	19	51.87	2.73		
Total	39	88.44	2.27		

ตารางภาคผนวกที่ ค16 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	3.03	3.03	1.27	0.27
Block	19	39.65	2.09	088	0.61
Error	19	45.23	2.38		
Total	39	87.90	2.54		

ตารางภาคผนวกที่ ค17 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	0.51	0.51	0.19	0.67
Block	19	37.72	1.99	0.75	0.73
Error	19	50.37	2.65		
Total	39	88.94	2.27		

ตารางภาคผนวกที่ ค18 การวิเคราะห์สถิติของประสาทสัมผัสในด้านความหวานของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ทั้ง 2 แบบ

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	1	3.03	3.03	1.57	0.23
Block	19	47.53	2.50	1.29	0.29
Error	19	36.73	1.93		
Total	39	87.28	2.24		

ตารางภาคผนวกที่ ค19 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์แบบ ที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	56379753	18793251	1.25	0.43
Replication	1	55693986	55693986	3.71	0.15
Error	3	45018370	15006123		
Total	7	1.57E+08	22441730		

ตารางภาคผนวกที่ ค20 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านค่า Aw ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ แบบที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	1.297E-02	4.324E-03	1759.12	0.00
Replication	1	1.125E-06	1.125E-06	0.46	0.547
Error	3	7.375E-06	2.458E-06		
Total	7	1.298E-02	1.855E-03		

ตารางภาคผนวกที่ ค21 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านความชื้นของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ แบบที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	2.20	0.73	108.63	0.01
Replication	1	5.512E-03	0.01	0.82	0.43
Error	3	2.024E-02	0.01		
Total	7	2.22	0.32		

ตารางภาคผนวกที่ ค22 การวิเคราะห์สถิติของคุณภาพทางด้านค่า TBA ของผลิตภัณฑ์กราโนลาบาร์ แบบที่ 1 เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ 3 เดือน

Source of variation	DF	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	0.30	0.10	13.16	0.03
Replication	1	5.000E-05	5.000E-05	0.01	094
Error	3	2.295E-02	7.551E-02		
Total	7	0.33	4.643E-02		

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ปกรณ์พรรณ เผือกสวัสดิ์ เกิดวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เกียรตินิยมอันดับ 2 สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2537 เริ่มทำงานครั้งแรกที่ บริษัท ซีเฟรชอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่ง Production supervisor (Value added) ปัจจุบันทำงานที่ บริษัท จิมสกรุ๊ป จำกัด ในตำแหน่ง ผู้จัดการโรงงาน และขณะเดียวกันได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544