การเสริมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

โดย
นางสาวดวงใจ แก้วจั่น

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสริมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

โดย

นางสาวดวงใจ แก้วจั่น

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

SUPPLEMENTATION OF PREBIOTIC DIETARY FIBERS IN RICE CRACKER

By

Miss Duangjai Kaewjun

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ การเสริมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ” เสนอโดย นางสาวดวงใจ แก้วจั่น เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

55403302: สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ: พรีไบโอติก / ใยอาหาร / รีซีสแท้นสตาร์ช / อินนูลิน / ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์

ดวงใจ แก้วจั่น: การเสริมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ.

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ: ผศ.ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 143 หน้า

การเพิ่มปริมาณใยอาหารประเภทพรีไบโอติกเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ใยอาหารพรีไบโอติกซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ รีซิสแท้นสตาร์ช (resistant starch; RS) อินนูลิน (inulin) และฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharide; FOS) แม้ว่าใยอาหารพรีไบโอติกจะมีประโยชน์เชิงสุขภาพในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด แต่ก็อาจมีผลกระทบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของใยอาหารพรีไบโอติกสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ เมื่อทำการเติมใยอาหารพรีไบโอติก (RS, inulin, และ FOS) ที่ระดับ 0 (สูตรควบคุม), 4, 8, 12 และ 18% (โดยน้ำหนักแห้ง) ในสูตรส่วนผสม พบว่าความหนืดต่างๆจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่อุณหภูมิการให้ความหนืดมีแนวโน้มสูงขึ้น ค่าความแข็ง (Hardness) และความเหนียวเหนอะ (Stickiness) ของโดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยที่โดยังสามารถใช้กับเครื่องจักรในการผลิตได้ ปริมาตรจำเพาะหรือการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบมีแนวโน้มลดลง การเติม inulin และ FOS ทำให้ข้าวแผ่นกรอบมีปริมาณความชื้นและค่า a_w สูงขึ้นและความแข็งลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แต่การเติม RS กลับทำให้ข้าวแผ่นกรอบมีค่า a_w ลดลงและความแข็งสูงขึ้น การเติม RS 4% ขึ้นไปและ inulin 12% ขึ้นไปทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวแผ่นกรอบสูงขึ้น ในขณะที่การเติม FOS ตั้งแต่ 12% ขึ้นไปทำให้ค่าความสว่างและค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) มากขึ้น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าใยอาหารพรีไบโอติกที่เหมาะสมคือ inulin และ FOS โดยสามารถเติมได้ถึง 18% ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่เติม FOS 18% มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 19.63% และปริมาณฟรุกแตนส์ (fructans) 16.95% โดยผลิตภัณฑ์สามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการได้ว่า “เป็นแหล่งของใยอาหาร” และ “ใยอาหารสูง” เมื่อบรรจุในซองพลาสติกลามิเนท OPP 30/PE 15/ CPP 20 จะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% นานประมาณ 2 เดือน

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา …….. ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ .....

55403302: MAJOR: FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: PREBIOTIC / DIETARY FIBER / RESISTANT STARCH / INULIN / FRUCTO-OLIGOSACCHARIDES

DUANGJAI KAEWJUN: SUPPLEMENTATION OF PREBIOTIC DIETARY FIBERS IN RICE CRACKER. INDEPENDENT STUDY ADVISOR: ASST. PROF. EAKAPHAN KEOWMANEECHAI, Ph.D. 143 pp.

Increasing dietary fiber content by adding prebiotics is a current trend in development of health food products. Some well-known prebiotic dietary fibers used in the food industry include resistant starch (RS), inulin and fructo-oligosaccharide (FOS). Although the prebiotics can provide many health benefits to various food products, they may also affect product characteristics. The objective of this study is to investigate types and amounts of the prebiotics suitable for being applied in rice cracker. Prebiotic dietary fibers (RS, inulin, and FOS) were added at 0 (control), 4, 8, 12 and 18% in rice cracker formulations. It was found that the viscosities measured by rapid visco analyzer (RVA) tended to decrease. However, the pasting temperature tended to increase. Dough hardness and stickiness measured by a texture analyzer tended to increase while maintaining ability to be used with dough processing machinery. Specific volume or expansion of the cracker tended to decrease. Inulin and FOS increased the moisture content and a_w but decreased hardness of the cracker when compared with the control. On the other hand, RS reduced a_w and increased the hardness. Adding RS at 4% or above and inulin at 12% or above increased cracker lightness (L*). However, adding FOS at 12% or above decreased the lightness and whiteness index and increased the redness (a*) and yellowness (b*) of the cracker. According to sensory evaluation, appropriate prebiotic dietary fibers for the rice cracker were inulin and FOS at as much as 18%. The rice cracker with FOS 18% contained total dietary fiber and fructans of 19.63% and 16.95%, repectively. The product can be claimed on nutrition labeling as “a good souce of fiber” and “high fiber”. When packed in a laminated plastic bag (OPP 30/PE 15/ CPP 20) and stored at 30°C and 75% relative humidity, the shelf life of the product would be around 2 months.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University

Student’s signature ……..... Academic Year 2015

Independent Study Advisors’ signature ……

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความห่วงใยที่มีต่อศิษย์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไขร่างการค้นคว้าอิสระ และชี้แนะในเวลาที่สงสัยหรือมีปัญหา ให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร ประธานกรรมการการสอบการค้นคว้าอิสระ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ กรรมการในการสอบการค้นคว้าอิสระ ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกๆท่าน ที่ได้ให้ความรู้และสั่งสอนศิษย์ให้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่อำนวยความสะดวกทั้งในงานด้านเอกสาร สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการทดลองในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน ๆ และรุ่นน้อง ร่วมภาควิชาเทคโนโลยีอาหารที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ผู้สนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท นำเซา (ประเทศไทย) จำกัด ที่เป็นผู้สนับสนุนในด้านของวัตถุดิบและสายการผลิตในส่วนของ pilot plant สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทำการค้นคว้าอิสระ

ขอขอบพระคุณ คุณนวรัตน์ ไกรษร คุณปนัดดา เจริญกิจ และ คุณนนทวัฒน์ ปรีดาภัทรพงษ์ ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน และ ให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท คุณศุทธินี ฟูเต็มวงศ์ ตลอดจน เพื่อนร่วมงานที่บริษัทนำเซาทุกๆท่าน ที่ให้การช่วยเหลือในการทำการค้นคว้าอิสระ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้วิจัยมีสติปัญญาในการจัดทำการค้นคว้าอิสระ ผู้วิจัยขอให้เป็นกตเวทิตาแด่ บิดานายสมจิตต์ แก้วจั่น มารดา ญาติ มิตร ตาจำเนียร สุริยาวงษ์ ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ บทความต่างๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนสามารถให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 สมมติฐานการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.5 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา 2

1.6 ขั้นตอนการวิจัย 2

2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 3

2.1 ข้าว 3

2.1.1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าว 3

2.1.2 ข้าวหอมมะลิ 5

2.2 สตาร์ช (starch) 6

2.2.1 อะไมโลส (amylose) 7

2.2.2 อะไมโลเพกติน (amylopectin) 8

2.3 เจลาติไนเซชัน (gelatinization) 9

2.4 รีโทรกราเดชัน (retrogradation) 11

2.5 โพรไบโอติก (probiotic) และ พรีไบโอติก (prebiotic) 12

2.5.1 น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) 16

2.5.2 อินนูลิน (inulin) 16

2.5.3 ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharide) 19

บทที่ หน้า

2.5.4 รีซิสแทนต์สตาร์ช (resistant starch) 20
2.5.5 พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch polysaccharides) 31
2.5.6 mucin glycoproteins 31
2.5.7 related mucopolysaccharides 31
2.5.8 โปรตีน และเปปไทด์ (protein and peptides) 31
2.6 ข้าวแผ่นกรอบ 31
2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ 32
2.6.2 การพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ 32
2.6.3 อายุการเก็บรักษา 33
3 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ 37
3.1 วัตถุดิบ 37
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 37
3.2.1 เครื่องมือ 37
3.2.2 อุปกรณ์และสารเคมี 38
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 39
3.3.1 การผลิตโด ข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ 39
3.3.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting property) ของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ RS, inulin, FOS และส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบ 43
3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของโด 46
3.3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโด 47
3.3.5 การวิเคราะห์ขนาดของข้าวแผ่นอบแห้ง 49
3.3.6 การวิเคราะห์ความหนาของข้าวแผ่นอบแห้ง 49
3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวกรอบ 49
3.3.8 การวิเคราะห์หาค่า a_w ของแผ่นข้าวกรอบ 50
3.3.9 การวิเคราะห์ขนาดของข้าวแผ่นกรอบ 50

บทที่ หน้า

3.3.10 การวิเคราะห์ความหนาของข้าวแผ่นกรอบ 50
3.3.11 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ 50
3.3.12 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ 50
3.3.13 การวิเคราะห์ค่าสีของข้าวแผ่นกรอบ 51
3.3.14 การทดสอบทางประสาทสัมผัส 51
3.3.15 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) และปริมาณฟรุคแทนส์ (fructans) ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกชนิด FOS ในปริมาณ 18% 51
3.3.16 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบระหว่างการเก็บรักษา 52
3.3.17 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 52

4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง 53
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของโด ข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ 53
4.1.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting property) ของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ resistant starch (RS), inulin, Fructo-oligosaccharide (FOS) และส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบ 53
4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของโด 56
4.1.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโด 57
4.1.4 การวิเคราะห์ขนาดยาวและความหนาของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ 59
4.1.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ 61
4.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ 63
4.1.7 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ 65

บทที่ หน้า
4.1.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ 67
4.1.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ 69
4.1.10 ปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) และปริมาณ
ฟรุคแทนส์ (fructans) ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม
สารพรีไบโอติกชนิด FOS ในปริมาณ 18% 73
4.1.11 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ 74
5 สรุปผลการทดลอง 84
รายการอ้างอิง 86
ภาคผนวก 90
ภาคผนวก ก แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 91
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นอบแห้งและ
ข้าวแผ่นกรอบ 93
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่าสี 96
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณปริมาณของสารพรีไบโอติกและปริมาณใยอาหาร 97
ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2542
เรื่อง ฉลากโภชนาการ 105
ภาคผนวก ฉ วิธีการคำนวณตัวอย่างแป้งที่มีการเติมพรีไบโอติก
สำหรับการวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer 131
ภาคผนวก ช วิธีการคำนวณปริมาณเส้นใยอาหาร (Dieatry Fiber) และปริมาณ
ฟรุคแทนส์ในแผ่นกรอบที่มีการเติมพรีไบโอติกชนิด FOS 18% 133
ประวัติผู้วิจัย 142

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	7
2	resistant starch ทางการค้าและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร	26
3	ประเภทและแหล่งอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ต่างๆ	27
4	ชนิด และปริมาณของสารพรีไบโอติกที่เป็นส่วนผสมในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ	42
5	ปริมาณ (wet basis) ของสารพรีไบโอติก แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบและน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	44
6	ปริมาณ (dry basis) ของสารพรีไบโอติกแต่ละชนิดและแป้งข้าวหอมมะลิที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	45
7	ค่าจากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	54
8	ปริมาณความชื้นของโดที่เตรียมได้ในกระบวนการผลิตข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	56
9	ค่า hardness และค่า stickiness ของโดที่เตรียมในกระบวนการผลิตข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	58
10	ความยาวและความหนาโดยเฉลี่ยของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	60
11	ความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะของข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	62
12	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	64
13	ค่าแรงสูงสุดของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน	66

ตารางที่ หน้า

14 ค่าสี L*, a*, b* และค่า ดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน 68

15 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม RS ในปริมาณแตกต่างกัน 70

16 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม inulin ในปริมาณแตกต่างกัน 71

17 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS ในปริมาณแตกต่างกัน 72

18 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม ใยอาหารประเภทพรีไบโอติกแตกต่างกัน 73

19 ผลวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารชนิดต่างๆในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบรสชาติ ออริจินอล ซึ่งมีการเติม FOS 18% 74

20 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของ การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา 77

21 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของ ค่า a_w ในระหว่างการเก็บรักษา 79

22 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 80

23 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 81

24 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 82

25 อายุการเก็บรักษา (วัน) ของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ 83

ตารางที่ หน้า

26 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของสารพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ (ยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 18%) 97

27 Nutrition Facts per 100 g of Thin Rice Cracker (Original Flavour) With FOS 18% (Finished Product) 99

28 Nutrition Facts of Thin Rice Cracker (Original Flavour) With FOS 18% (Finished Product) 100

29 Nutrition facts per 100 g of Ingredients and their consumed amounts in Thin Rice Cracker (Original flavor) with FOS 18% (Finished Product). 101

30 Nutrition facts per 100 g of Ingredients and their consumed amounts in Thin Rice Cracker (Original flavor) with FOS 18% 102

31 แสดงปริมาณส่วนผสม (wet basis) ใน 1 batch 103

32 แสดงปริมาณส่วนผสม (dry basis) ใน 1 batch 104

33 วิธีการคำนวณตัวอย่างแป้งที่มีการสารพรีไบโอติกแต่ละความเข้มข้น ที่ total dry basis 3% 131

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลุ่มของอนุภาคสตาร์ชในอะไมโลพลาส จากข้าวโปรตีนสูง IR480-5-9	4
2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหอม 2-acetyl-1- pyroline	5
3	โครงสร้างอะไมโลส	8
4	ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก และส่วนอสัณฐาน	9
5	ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง	10
6	การเกิดรีโทรกราเดชัน	11
7	โครงสร้างโมเลกุลของ sorbitol	16
8	โครงสร้างโมเลกุลของ inulin	17
9	โครงสร้างโมเลกุลของ fructo-oligosaccharides	19
10	โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS1)	21
11	โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ชนิดที่ 2 (RS2)	21
12	การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helice บริเวณ โครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลาย ด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3)	22
13	ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester; RS4)	22
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า glycemic index (GI) และ insulinemic index values (II) ของ ผลิตภัณฑ์ธัญพืช 20 ชนิด	28
15	การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์ โดยใช้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	32
16	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ	33
17	ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ	41
18	เครื่องนาบหาความชื้น (heat-plate)	47
19	หัววัดเนื้อสัมผัสของโด P10 (ก) และ หัววัดเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ P0.25S (ข)	48
20	ถ้วยพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุตัวอย่างโด (ก) และ หลังบรรจุตัวอย่างโด 50 กรัม ลงในถ้วยพลาสติก (ข)	48

ภาพที่ หน้า

21 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน..... 55
22 ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีการเติมสารพรีไบโอติกที่มีชนิดและปริมาณแตกต่างกัน..... 69
23 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวแผ่นกรอบตัวอย่างควบคุม (control) บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส..... 75
24 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวแผ่นกรอบที่เติม FOS 18% บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส..... 76
25 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ (control) บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส..... 78
26 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบที่เติม FOS 18% บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส..... 78

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกได้ให้ความสำคัญและใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อ พฤติกรรมการเลือกซื้ออาหารของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคจำนวนไม่น้อยที่นอกจากจะพิจารณาถึงความสะอาด ความปลอดภัย ราคาเหมาะสม ความสวยงามของผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ความสะดวก และ ความอร่อยแล้ว ยังพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการหรือส่วนประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายของอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญด้วย จึงทำให้อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบันนี้ functional food หรือบางทีเรียกทับศัพท์ว่าอาหารฟังก์ชัน ซึ่งหมายความถึง ผลิตภัณฑ์อาหารหรือองค์ประกอบในอาหารที่เมื่อบริโภคเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะสามารถทำหน้าที่อื่นให้กับร่างกาย นอกเหนือจากในเรื่องของหน้าที่ทางประสาทสัมผัส (sensory function) หน้าที่การให้คุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน (nutritive function) นั่นคือเป็นอาหารที่มีผลต่อการทำหน้าที่ต่างๆ ในร่างกาย ส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยมีบทบาทในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค อวัยวะหรือระบบเป้าหมาย ได้แก่ ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายความดันโลหิต การเผาผลาญของไขมัน การต้านอนุมูลอิสระ และ ระบบการย่อยอาหาร ลำไส้ใหญ่เป็นอวัยวะเป้าหมายหนึ่งที่มีการศึกษากันมากในเรื่องของอาหารฟังก์ชัน องค์ประกอบของอาหารที่มีคุณสมบัติให้ผลดีต่อสุขภาพลำไส้ ได้แก่ พรีไบโอติก และ โพรไบโอติก

การประยุกต์ใช้ ได้แก่ อินูลิน (Inulin) ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharide; FOS) และ รีซิสแท้นสตาร์ช (resistant starch) ในผลิตภัณฑ์อาหาร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติก ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

1.2.2 เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกที่เหมาะสมสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการใช้สารพรีไบโอติก 3 ชนิด โดยเติมให้มีปริมาณ dietary fiber ในข้าวแผ่นกรอบทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 4, 8, 12 และ 18% ทำการทดสอบโดและข้าวแผ่นกรอบในด้านคุณลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

1.5 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

ตัวแปรต้น: 1. ชนิดของสารพรีไบโอติก

2. ปริมาณของสารพรีไบโอติก

ตัวแปรตาม: 1. คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น a_w สี ความแข็ง ความหนืด ปริมาตรจำเพาะ

2. คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คะแนนจากการทดสอบความชอบ

1.6 ขั้นตอนการวิจัย

1.6.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากวารสาร บทความและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวแผ่นกรอบ และสารพรีไบโอติก

1.6.2 การทดลองผลิตโดและข้าวแผ่นกรอบ ที่มีการเติมสารพรีไบโอติกแล้วนำไปตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

1.6.3 การคัดเลือกชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกที่เหมาะสม สำหรับการผลิตข้าวแผ่นกรอบ

1.6.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมใยอาหารประเภทพรีไบโอติก

1.6.5 การวิจารณ์ สรุปผล และ การเขียนรายงานวิจัยเป็นรูปเล่ม การนำเสนองานวิจัย

บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ข้าว

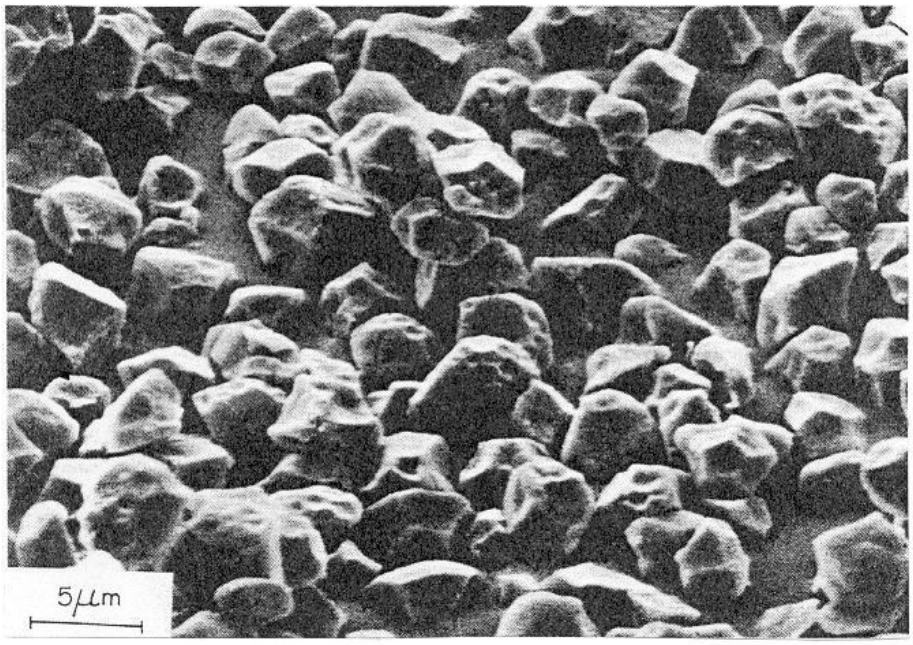
ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลกโดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆของโลก การผลิต บริโภคและการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงกระจุกตัวอยู่ในทวีปเอเชีย โดยข้าวที่รับประทานกันอยู่มีอยู่ 2 ประเภท คือ *Oryza sativa* และ *Oryza glaberrima* ข้าวประเภท *Oryza sativa* จะปลูกในเอเชียเป็นส่วนใหญ่แบ่งได้ 3 พวก คือ Japonica, Indica และ Javanica (ณรงค์, 2538) แต่ข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้ในการบริโภคภายในประเทศ ทำให้มีข้าวเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่เข้าสู่ตลาดการค้าข้าวระหว่างประเทศ โดยประเทศที่มีบทบาทมากที่สุดในการส่งออกข้าว คือประเทศไทย รองลงมาคือ อินเดีย เวียดนาม จีนและพม่า ตามลำดับ โดยไทยส่งออกข้าวปีละประมาณ 7 ล้านตัน เป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดทั่วโลก (FAO, 2008) มีบทความทางวิทยาศาสตร์เป็นจำนวนมากที่ศึกษาคุณสมบัติของข้าว ซึ่งข้าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในกระบวนการผลิตของหลายๆผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าวแผ่นกรอบ (rice cracker) อาหารเช้าซีเรียล ขนมอบกรอบ และข้าวพอง เป็นต้น (Maneerote และคณะ, 2009)

2.1.1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าว

เมล็ดข้าวที่ใช้บริโภคเป็นอาหาร มีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน และไขมัน โดยเฉพาะสตาร์ชมีความสำคัญมาก เพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและการบริโภค

2.1.1.1 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอยู่ในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) อนุภาคของสตาร์ชนี้จะมีขนาด 3-9 ไมโครเมตรและเป็นส่วนประกอบหลักของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสีแล้ว โดยมีปริมาณมากถึงร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง กลุ่มของอนุภาคสตาร์ชเหล่านี้จะอยู่ในอะไมโลพลาส (amyloplast) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างตั้งแต่ทรงกลม จนถึงวงรีและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 7-39 ไมโครเมตร ดังภาพที่ 1 แต่ละอะไมโลพลาสนี้จะมีอนุภาคของสตาร์ชอยู่ประมาณ 20-60 อนุภาค



ภาพที่ 1 กลุ่มของอนุภาคสตาร์ชในอะไมโลพลาส จากข้าวโปรตีนสูง IR480-5-9
ที่มา: Juliano (1972)

สตาร์ชในข้าวประกอบด้วย อะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาและอะไมโลส (amylose) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสายยาว (Juliano, 1972) ปริมาณของอะไมโลเพกตินและอะไมโลส ซึ่งประกอบกันเป็นเมล็ดข้าวนั้น ทำให้ข้าวมีลักษณะแตกต่างกัน

2.1.1.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่มากรองจากสตาร์ช การคำนวณปริมาณโปรตีน นิยมใช้การคำนวณปริมาณไนโตรเจน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl แล้วคูณด้วย factor 5.95 ซึ่งเป็น factor ที่พิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนของกลูเตลิน (glutelin) ซึ่งเป็นโปรตีนหลักของข้าว

2.1.1.3 ไขมัน

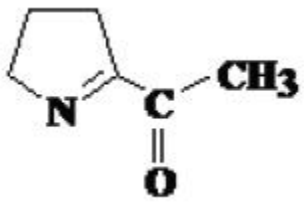
ไขมันเป็นองค์ประกอบที่พบมากในคัพภะ ไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมัน ได้แก่ กรดพาลมิติก (palmitic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid)

2.1.2 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมจัดเป็นข้าวหอมจัดเป็นข้าวคุณภาพสูง ทั้งในประเทศและต่างประเทศและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มของเกษตรกร พ่อค้าและผู้บริโภคมาเป็นเวลาช้านาน มีการปลูกข้าวหอมโดยทั่วไปในหลายประเทศเช่น ข้าวพันธุ์บาสมาติของประเทศอินเดียและปากีสถาน พันธุ์ Malagkit sungsong และ Milagrosa ของประเทศฟิลิปปินส์ พันธุ์ Seratus malam ของประเทศอินโดนีเซีย พันธุ์ Goolarah ของประเทศออสเตรเลีย พันธุ์ Hieri ของประเทศญี่ปุ่น พันธุ์ Della และ Dellmont ของประเทศสหรัฐอเมริกาและพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ของประเทศไทยเป็นต้น (วาสนา, 2538) แต่ข้าวหอมที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลกมากที่สุด ได้แก่ ข้าวบาสมาติและข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีกลิ่นหอมและมีคุณภาพการหุงต้มดี (Sakthivel และคณะ, 2009)

2.1.2.1 คุณสมบัติของข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลายคือพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข.15 ความหอมของข้าวหอมมะลิ เกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyroline ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่ การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาข้าวเปลือก การสีข้าว และการเก็บรักษาข้าวที่สีเรียบร้อยแล้ว การจะรักษาความหอมของข้าวเอาไว้ต้องพยายามหลีกเลี่ยงภาวะแวดล้อมที่ร้อน อบอ้าว และมีความชื้นสูง การตากแดดหรือใกล้สถานที่ร้อนจัดเป็นเวลานานๆ เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง สภาวะที่เหมาะสมคือที่ที่มีอากาศค่อนข้างเย็น มีการถ่ายเทของอากาศดี ความชื้นไม่สูง



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหอม 2-acetyl-1- pyroline

ที่มา: Jacobs และ Delcour (1998)

ข้าวหอมใหม่ (new crop) หมายถึง ข้าวหอมที่พึ่งเก็บเกี่ยวมาได้สักระยะหนึ่ง และมีการดูแลรักษาอย่างดีก่อนที่จะนำมาบริโภค ข้าวหอมใหม่จะให้ความหอมขณะหุงต้ม ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากข้าวชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ข้าวหอมที่หุงแล้ว ยังมีลักษณะนุ่มเหนียว มียางเกาะตัวกันพอสมควร มีรสชาติอร่อย ข้าวหอมที่เก็บไว้นานขึ้น (ข้าวเก่า) คือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเก็บไว้เป็นเวลานาน 5-6 เดือนขึ้นไป ความหอมจะเจือจางลง รวมทั้งความนุ่มเหนียวลดลงด้วย เมื่อนำข้าวหอมนี้มาหุงจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นกว่าข้าวใหม่

2.1.2.2 แหล่งปลูกข้าวหอมมะลิที่สำคัญของไทย

ประเทศไทยถือเป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดีที่สุดแห่งหนึ่ง โดยมีแหล่งเพาะปลูกสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (เขตทุ่งกุลาร้องไห้) และมีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมกว่า 19 ล้านไร่ทั่วประเทศ โดยมีแหล่งผลิตสำคัญคือ จังหวัดสุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ นครราชสีมา อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด รองลงมาคือภาคเหนือ เนื่องจากสภาพดินฟ้า-อากาศและพื้นที่เพาะปลูกของทั้งสองภาคคล้ายคลึงกันเหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ กล่าวคือ สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดอน ฝนจะเริ่มตกตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ชาวนาจะเริ่มหว่านไถ ในเดือนมิถุนายน และเพาะปลูกอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม เมื่อฝนเริ่มหมด ปลายเดือนตุลาคม จนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน จึงเริ่มเก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤศจิกายน ความชื้นจะน้อยเพราะเป็นช่วงที่ลมหนาวจากเมืองจีนเริ่มพัดเข้ามาในสองภาคนี้ ทำให้อากาศแห้งเหมาะในการเก็บเกี่ยว การตากการนวด ก็ทำได้ง่าย เพราะน้ำแห้งนาหมดแล้ว ไม่มีฝน จึงทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีคุณภาพสำหรับการปลูกข้าวหอมจะทำกันได้ดีเฉพาะที่ที่เป็นนาดอนเสียเป็นส่วนใหญ่

2.2 สตาร์ช (starch)

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรท ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydrogluclose unit เชื่อมกันด้วยพันธะ glycocidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group (กล้าณรงค์, 2542) สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี สตาร์ชจาก

แหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Juliano, 1972) นอกจากนี้สตาร์ชบางตัวจะมีองค์ประกอบภายในเป็นสารตัวกลาง แต่สตาร์ชส่วนมากจะประกอบด้วยอะไมโลสร้อยละ 20-30 และอะไมโลเพกตินร้อยละ 70-80 ซึ่งสตาร์ชที่มาจากแหล่งพืชที่ต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนของปริมาณอะไมโลสและความยาวของอะไมโลเพกตินของสตาร์ชจะมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ช (Jane และคณะ, 1999)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

คุณลักษณะ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α-(1,4)	α-(1,4) และ β-(1,6)
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

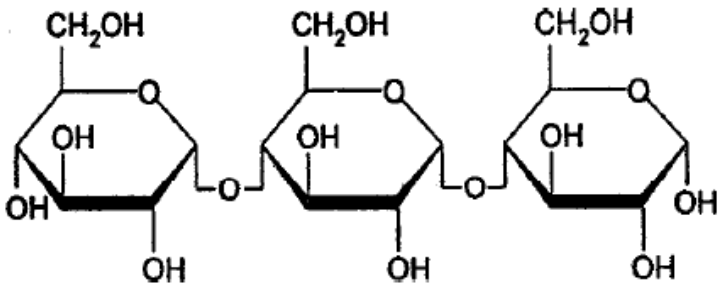
ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

2.2.1 อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบไปด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4-glucocidic linkage ดังภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน เกลียวที่คลายตัว หรือม้วนสลับ ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสจะอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500-160,000 มีโมเลกุลเป็นมวลอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย

สำหรับอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (กล้าณรงค์, 2542)

อะไมโลสสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อีก เช่น กรดไขมัน (surfactant) และสารละลายที่มีขั้ว (polar agent) เช่น บิวทานอล (butanol) เอมิลแอลกอฮอล์ (amylalcohol) ไธมอล (thymol) และไนโตรพาราฟีน (nitroparaffin) โดยเฉพาะการรวมตัวของอะไมโลสกับไนโตรพาราฟีน ใช้เป็นวิธีการแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเพคตินได้ (นิธิยา, 2539) อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงสตาร์ชที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (Jan และคณะ, 1999)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา: Juliano (1972)

2.2.2 อะไมโลเพกติน

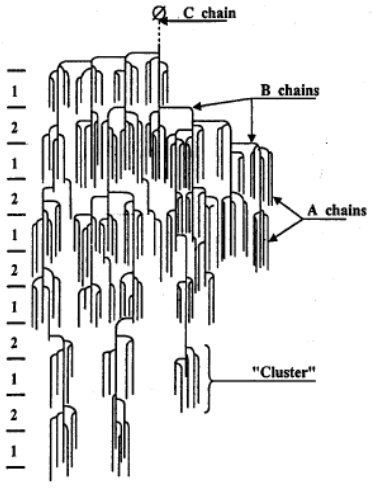
อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-(1, 4) glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1, 6) glucosidic linkage ดังภาพที่ 4 หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ β-(1, 6) glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด DP (degree of polymerization) ของอะไมโลเพกตินในสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำเนื่องจากมีโครงสร้างแบบกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย (chain) ภายในโมเลกุล 3 ชนิด คือ

1. สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2. สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และ B ในอัตราส่วน 0.8-0.9:1

3. สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกติน แต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสาย C เพียง 1 สายเท่านั้น



ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

2.3 **เจลาติไนเซชัน** (gelatinization)

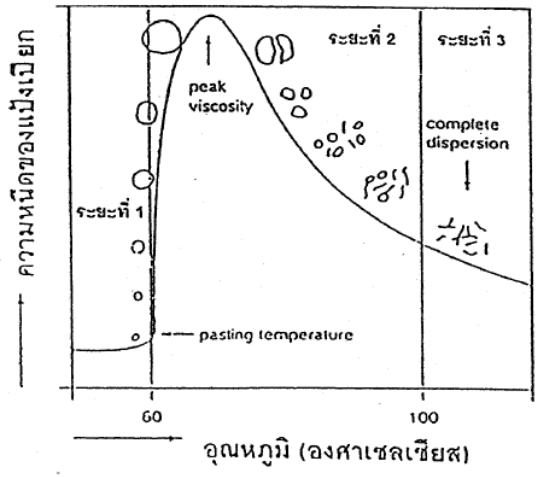
เมื่อเม็ดแป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach และคณะ, 1959) แป้งจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น แต่จะไม่พองตัว หรือพองตัวได้จำกัดและสังเกตได้ยาก (Collison, 1968) เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะอ่อนลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้งจะมีการสูญเสียรอยกากบาท (birefringence) กล้าณรงค์ (2542) ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ด

แป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ ดังภาพที่ 5 คือ

ระยะแรก เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำสตาร์ชจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช)

ระยะที่สอง เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง micelle ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

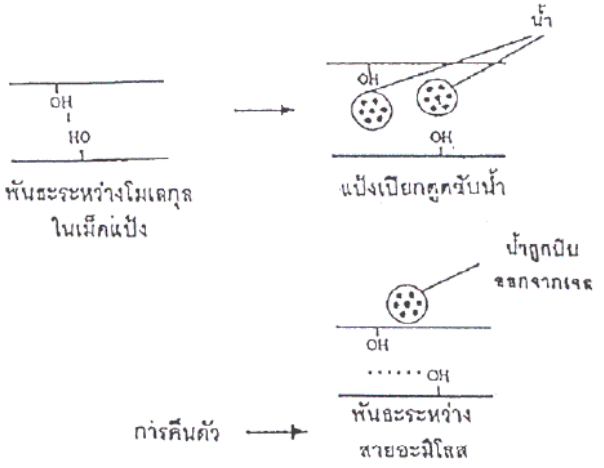
ระยะที่สามรูปร่างเม็ดสตาร์ชจะไม่แน่นอน การละลายของสตาร์ชจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆ ได้ดีกว่า



ภาพที่ 5 ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

2.4 รีโทรกราเดชัน (retrogradation)

รีโทรกราเดชัน คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่เกิดการเจลาติไนเซชันเริ่มมีการเชื่อมกันใหม่ในระดับของโครงสร้าง และมีอิทธิผลต่อการยอมรับเนื้อสัมผัสของอาหารนั้น Whister และ Johnson (1984) พบว่า แป้งจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันจะให้อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันที่แตกต่างกัน และยังขึ้นกับน้ำหนักเฉลี่ยของโมเลกุลด้วย อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก โดยที่อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่ 25 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง (Atwell และคณะ, 1988) เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เริ่มเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) แล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติที่มีโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว หรือ setback (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า syneresis ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำ ให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเกิดรีโทรกราเดชัน

ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

อัตราของการเกิดรีโทรกราเดชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แหล่งของแป้ง อุณหภูมิ กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น ระยะเวลาในการเก็บ ปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ความเข้มข้นของเกลือ ความเข้มข้นของกรด ปริมาณของไขมันและ surfactant รวมทั้งความเข้มข้นของน้ำตาล (กล้าณรงค์, 2542; Atwell และคณะ, 1988)

2.5 โพรไบโอติก (probiotic) และ พรีไบโอติก (prebiotic)

โพรไบโอติก (probiotic) คือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งเข้าไปอยู่ในระบบของร่างกายมนุษย์และสัตว์ แล้วก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ โดยจุลินทรีย์นั้นทำหน้าที่ช่วยปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมในลำไส้

พรีไบโอติก (prebiotic) คือ ส่วนประกอบของอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ ซึ่งมีประโยชน์ต่อเจ้าบ้านโดยจะมีผลเจาะจงในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่ ทำให้สุขภาพของเจ้าบ้านดีขึ้น (Gibson และ Roberfroid, 1995) พรีไบโอติกเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ไม่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารส่วนบนหรือลำไส้เล็ก และสามารถผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ซึ่งเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์เจ้าถิ่น โดยจะส่งเสริมการเจริญเติบโตเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่เท่านั้น ได้แก่ *bifidobacteria* และ *lactobacilli* นอกจากนี้จะต้องไม่ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Clostridium perfrigens* จึงมีผลในการส่งเสริมสุขภาพของผู้ที่รับประทานเข้าไป สารประกอบจำพวกโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์รวมทั้งเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ส่วนใหญ่นั้นกล่าวได้ว่ามีกิจกรรมเป็นพรีไบโอติก แต่สารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดก็ไม่ได้เป็นพรีไบโอติก ในการจะจำแนกว่าส่วนประกอบอาหารชนิดนั้นมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกหรือไม่นั้น ส่วนประกอบอาหารดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติทั้งหมดนี้

1. ทนต่อกระบวนการย่อย การดูดซึมและดูดซับของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก
2. ถูกหมักโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่
3. มีผลเจาะจงในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และ/หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดในระบบทางเดินอาหาร
4. ทำให้จุลินทรีย์นั้นสร้างสารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของเจ้าบ้าน

ประโยชน์ต่อสุขภาพของพรีไบโอติก แบ่งเป็น 4 ข้อหลัก ได้แก่

1. ผลต่อระบบทางเดินอาหาร

ที่ลำไส้ใหญ่พรีไบโอติกจะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรีย ซึ่งเมื่อแบคทีเรียนำไปใช้ก็จะให้พลังงานและสารบางชนิด เช่น กรดแลกติกและกรดไขมันชนิดสายสั้น (short-chain fatty acids) ซึ่งเป็นผลิตผลจากกระบวนการหมัก โดยการหมักนี้จะทำให้มีการกระตุ้นการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์สุขภาพ และสภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ได้ เช่น *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp. และ *Esherichia coli* เป็นต้น จึงมีผลช่วยป้องกันอาการท้องเดินโดยเฉพาะจากการติดเชื้อได้ นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติเหมือนใยอาหารอื่นๆ ก็จะช่วยบรรเทาอาการท้องผูกได้ด้วย เนื่องจากผลของการเพิ่มน้ำหนักของอุจจาระ และผลต่อการเคลื่อนไหวของลำไส้จึงช่วยให้ขับถ่ายง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงผลของพรีไบโอติกในการต้านมะเร็ง ซึ่งก็สามารถนำผลที่มีต่อทางเดินอาหารมาอธิบายได้เช่นกัน

2. ผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด

จากการหมักพรีไบโอติกโดยแบคทีเรียในลำไส้ได้กรดไขมันชนิดสายสั้น ความเป็นกรดก็จะช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกเนเซียม และสังกะสี นอกจากนี้อาจด้วยกลไกที่ทำให้มีการดึงน้ำเข้ามาช่วยในการละลายเกลือแร่ต่างๆได้ จึงมีการคาดว่าน่าจะส่งผลช่วยลดความเสี่ยงต่อกระดูกพรุนได้

3. ผลต่อการเผาผลาญไขมัน

มีการศึกษาเกี่ยวกับการช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) แต่ยังไม่มีข้อมูลมากนัก ส่วนเรื่องของการลดคอเลสเตอรอลก็เช่นกัน อย่างไรก็ตามมีผู้เสนอกลไกที่เป็นไปได้ คือ การที่จุลินทรีย์สุขภาพเจริญจำนวนมากขึ้นก็จะช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอล และยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ หรืออาจเนื่องจากผลจากกระบวนการหมักที่ได้กรดไขมันสายสั้นบางชนิด โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) ซึ่งสามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งคอเลสเตอรอล ดังนั้นพรีไบโอติกอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งซึ่งมีสาเหตุจากไขมันได้

4. ผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของระบบทางเดินอาหาร

พบว่าพรีไบโอติกสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน โดยมีผลต่อการทำหน้าที่ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิต้านทานในลำไส้ มีผลเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ซึ่งสามารถป้องกันการติดเชื้อได้ดีด้วย รวมถึงมีผลต่อจำนวนและการทำงานของจุลินทรีย์สุขภาพ

ประโยชน์ต่อสุขภาพของโพรไบโอติก แบ่งเป็น 4 ข้อหลัก ได้แก่

1. การลดภาวะไม่ทนต่อแลกโตส (lactose intolerance)

เป็นผลต่อสุขภาพที่สำคัญของโพรไบโอติก พบว่าประชากรโลกส่วนใหญ่มีปริมาณของเอนไซม์แลกเตส (lactase) ต่ำ จึงทำให้แลกโตส (lactose) ไม่สามารถถูกย่อยในทางเดินอาหาร ดังนั้นหลายคนที่ดื่มนมแล้ว ทำให้เกิดอาการท้องอืด เฟ้อ ท้องเดิน ปวดท้อง โพรไบโอติกในอาหารประเภทนมเปรี้ยวหรือโยเกิร์ตจึงสามารถช่วยบรรเทาอาการนี้ได้ เนื่องจากโพรไบโอติกได้ช่วยย่อยแลกโตสไปแล้วในระหว่างการหมัก (fermentation) จึงทำให้มีแลกโตสเหลือน้อยกว่าหรือไม่มีเลย

2. การลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

หลักฐานการทดลองเกี่ยวกับเรื่องนี้ยังสรุปไม่แน่ชัด แต่มีผู้เสนอกลไกที่อาจเป็นไปได้ คือ อาจเนื่องจากคอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นในการการสังเคราะห์กรดน้ำดี ดังนั้นถ้าเพิ่มการขับออกของน้ำดีจะทำให้มีการกระตุ้นให้มีการนำเอาคอเลสเตอรอลมาใช้ในการสังเคราะห์น้ำดีเพิ่มขึ้น โดยในจุลินทรีย์จะมีเอนไซม์ที่สามารถจับกับกรดน้ำดี และทำให้กรดน้ำดีถูกขับออกทางอุจจาระเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ นอกจากนี้อาจเนื่องจากการที่จุลินทรีย์สามารถนำเอาคอเลสเตอรอลไปใช้ได้โดยตรง ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง

3. การบรรเทาอาการท้องเดิน

เป็นบทบาทหลักของโพรไบโอติก คือ ช่วยลดความรุนแรงของอาการท้องเดิน โดยลดระยะเวลาของโรคและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน กลไกที่เป็นไปได้ คือ การทำให้ลำไส้ใหญ่มีความเป็นกรด จากการผลิตกรดแลกติก (lactic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคได้ อีกกลไกหนึ่ง คือ ทำให้การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น

4. การป้องกันมะเร็ง

ข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่าอุบัติการณ์ของมะเร็งลำไส้ใหญ่มีความสัมพันธ์กับการกินอาหารไขมันสูง ซึ่งไขมันในอาหารจะกระตุ้นให้มีการหลั่งกรดน้ำดีในลำไส้ใหญ่มากขึ้น ร่วมกับกรดน้ำดีอีกส่วนหนึ่งที่เกิดจากแบคทีเรียเอง ซึ่งทำให้มีส่วนส่งเสริมให้เกิดมะเร็งขึ้นได้ นอกจากนี้เอนไซม์ของแบคทีเรียบางชนิดก็จะเปลี่ยนสารบางอย่างในลำไส้ใหญ่ไปเป็นสารก่อมะเร็งได้ ดังนั้นกลไกในการต้านมะเร็งของโพรไบโอติก ได้แก่ กฎการทำงานของสารก่อมะเร็ง ควบคุมหรือเหนี่ยวรั้งการเจริญของแบคทีเรียที่มีเอนไซม์ในการทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง มีผลต่อการเคลื่อนไหวหรือการบีบตัวของลำไส้ทำให้กำจัดสารก่อกลายพันธุ์ออกจากร่างกายได้เร็วขึ้น และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร

โอลิโกแซคคาไรด์ คือ คาร์โบไฮเดรตสายสั้นที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ นอกจากพบได้ในพืชแล้วยังพบได้ในนมมนุษย์และนมหลังออกลูกของสัตว์หลายชนิด ซึ่งอยู่ในรูปน้ำตาลอิสระหรือ glycoconjugates

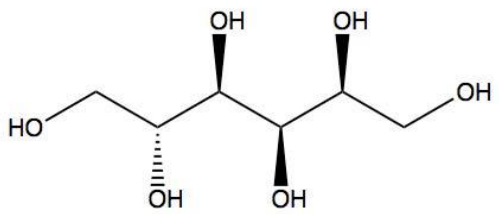
โอลิโกแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้รับความสนใจอย่างมากเพราะเป็นแหล่งคาร์บอนที่แบคทีเรียในลำไส้นำไปใช้ได้ง่ายที่สุด คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กและจะเคลื่อนไปยังบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายโดยที่ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อเคลื่อนไปถึงลำไส้ใหญ่ก็จะเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียที่มีประโยชน์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น เมื่อแบคทีเรียเหล่านี้หมักสารพรีไบโอติก ทำให้พีเอชลดลงและผลิตกรดไขมันที่มีสายสั้น (short-chain fatty acid, SCFA) มีผลทำให้จำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคลดลงและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Vernazza และคณะ, 2006) ส่งผลให้ระบบทางเดินอาหารมีความสมดุล กระตุ้นให้ลำไส้มีการบีบตัวและเคลื่อนตัวของอุจจาระ จึงเป็นการช่วยป้องกันและลดอาการท้องผูก และยังเป็นการลดระยะเวลาการสัมผัสและสะสมสารพิษและสารก่อมะเร็งตามผนังลำไส้ จึงช่วยลดความเสี่ยงของการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่

พรีไบโอติกที่นิยมนำมาใช้กันมาก คือ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharides) อินนูลิน (inulin) กลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ (gluco-oligosaccharides) และแลคทูโลส (lactulose) ซึ่งพบได้ในธรรมชาติและสามารถนำมาประยุกต์ใช้และเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เป็นอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการมีสุขภาพที่ดี พรีไบโอติกถูกนำมาเสริมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องดื่ม ซอสปรุงรส เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ธัญพืช ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ขนมปังกรอบ นมสำหรับทารกและอาหารสำหรับเด็กเล็ก ซุป เค้ก ขนมหวาน น้ำสลัด และผลิตภัณฑ์นม (Manning และ Gibson, 2004)

นอกจากนี้พรีไบโอติกสกัดที่มีขายในทางการค้ามีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ปราศจากกลิ่น มีความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาล โดยทั่วไปมีความหวานร้อยละ 30-60 ของน้ำตาลซูโครส และมีใยอาหารร้อยละ 88 อีกทั้งยังคงตัวต่อกรด ความร้อน การแช่เยือกแข็งและการทำละลาย จึงสามารถนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็ง นึ่ง ต้ม ปิ้ง อบ ย่าง ให้ความร้อนซ้ำ หรือทอดได้ (Rice, 2002)

2.5.1. **น้ำตาลแอลกอฮอล์** (sugar alcohol)

จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโครงสร้างหรือดัชนีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) เพียง 1-2 ตัว ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น maltitol, sorbitol (ภาพที่ 7), isomalt และ xylitol เป็นต้น ในบางครั้งจะเรียกว่า polyols สามารถเป็นสารให้ความหวานได้ โดยมีความหวานประมาณ 3 ใน 4 หรือครึ่งหนึ่งของน้ำตาลทั่วไป และยังดูดซึมได้ช้าในลำไส้เล็กเมื่อเทียบกับน้ำตาล จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วย (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)

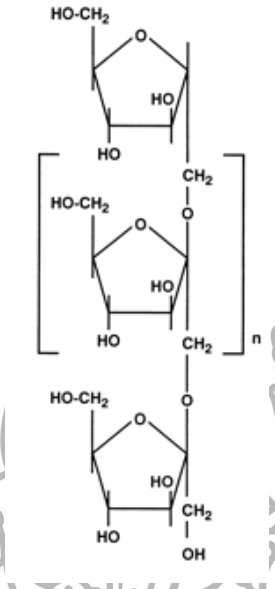


ภาพที่ 7 โครงสร้างโมเลกุลของ sorbitol
ที่มา: ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ (2553)

2.5.2 **อินนูลิน** (inulin)

inulin เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ และมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้กับพืช พบในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด เช่น chicory root เห็ดหัวหอม หัวกระเทียม กล้วย เป็นต้น โครงสร้างของ inulin ประกอบด้วย ฟรุกโตส (fructose) 80% และกลูโคส (glucose) 20% เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(2-1) ที่มีความยาวตั้งแต่ 2-60 หน่วย (ภาพที่ 8) โดยทั่วไป inulin มีขนาดโครงสร้างหรือค่าดัชนีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ประมาณ 10 (ส่วนค่า DP ของ fructo-oligosaccharide โดยทั่วไปเท่ากับ 4) และตามโครงสร้างจะมี oligofructose ประกอบอยู่เป็นโครงสร้างกลุ่มย่อย (สุพจน์, 2552)

inulin จะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กแต่จะถูกหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น และกระตุ้นการเจริญเติบโตเฉพาะแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น *bifidobacteria, lactobacilli* และ *eubacteria* โดยจะไม่ให้ประโยชน์แก่แบคทีเรียก่อโรค bifidobacteria นั้นมีความสามารถในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในมนุษย์ได้ และสามารถลดอันตรายจากจุลินทรีย์ก่อโรคและโรคในลำไส้ได้ทั้งในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการและในระดับสัตว์ทดลอง



ภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของ inulin
ที่มา: เฉลิมขวัญ และมัลลิกา (2548)

Henry and others (2005) ได้ทำการทดลองเติม inulin ในขนมปัง (bread) เพื่อศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานแก่ร่างกายโดยการเติม dietary soluble fiber จาก inulin และข้าวโอ๊ตลงในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยทำการผลิตขนมปัง 4 สูตร คือ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมปังที่มีการเติม inulin ในประมาณร้อยละ 2, 2.5, 3 และ 3.5 พบว่าจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างขนมปัง คือโปรตีน ไขมัน น้ำตาล พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณโปรตีน ไขมัน และน้ำตาลของขนมปังที่มีการเติม inulin เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และผลของความชื้นในอากาศ (humidity) มีค่าต่ำเนื่องจากตัวอย่างมีการเก็บไว้ 7 วัน ก่อนที่จะมีการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น *Salmonella*, coagulase positive *staphylococci, Bacillus cereus* และ Coliforms มีระดับต่ำกว่าที่กำหนดที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างมาตราฐาน การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมปัง เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างขนมปังที่เติมใยอาหาร และไม่มีการเติมใยอาหาร พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสที่เกิดขึ้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสในขนมปัง และเมื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ตัวอย่างของขนมปังที่มี

การเติม inulin ในปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีความชอบปานกลางต่อลักษณะที่ปรากฏ และตัวอย่างที่มี inulin ร้อยละ 2 มีความชอบปานกลางต่อลักษณะสี และมีความชอบมากในตัวอย่างอื่น และมีความชอบมากต่อลักษณะสี รสชาติ และกลิ่น (flavour and aroma) ของตัวอย่างขนมปังทั้ง 4 สูตร และผู้บริโภคมีความพอใจและยอมรับผลิตภัณฑ์ถึงร้อยละ 70 จากผลการทดลอง สามารถใช้ inulin ปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งสามารถให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

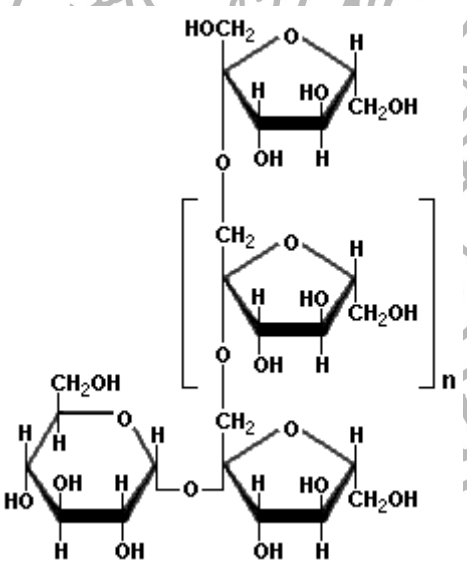
Janaina and others (2006) ได้ทำการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเติม inulin และ yacon meal ในผลิตภัณฑ์เค้กช็อกโกแลต โดยใช้ inulin ที่มีการขายในเชิงการค้า (Raftilin GR) บริษัท Oraftin และแป้งยาคอล (yacon meal) เตรียมโดยการนำรากยาคอน มาล้างหั่นเป็นชิ้นบางๆ ทำแห้งในตู้อบร้อน (oven) อุณหภูมิ 50 องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 3 วันแล้วนำมาบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำแป้งยาคอนที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า จากผลการทดลองพบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงาน มี ฟรุคโตส กลูโคส ซูโครส และ fructo-oligosaccharide, l-kestose และ fructofranosil-nistose ที่เป็นองค์ประกอบใยอาหารและเป็นพรีไบโอติกด้วย และสูตร ที่เหมาะสมในการเติม inulin และแป้งยาคอลเพื่อทดแทนแป้งสาลีบางส่วน คือสูตรที่ใช้แป้งยาคอลร้อยละ 20 และไม่มีการเติม inulin พบว่าให้ค่า hardness specific volume และ cohesiveness ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างควบคุม และสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งยาคอน (yacon) ร้อยละ 40 และเติมด้วย inulin ร้อยละ 6 ใช้น้ำ 126 มิลลิลิตร เป็นสูตรเค้กช็อกโกแลตที่มี fructo-oligosaccharide สูงและจากที่มี inulin ที่มีบทบาทเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกด้วย

Annette and others (2006) ได้ทำการศึกษาผลของอิ inulin ดัดแปรและชนิดของแป้งต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเวเฟอร์แครกเกอร์ (wafer crackers) โดยการนำ Jerusalem artichoke syrup (JAS) มาเจือจางด้วยน้ำ 15 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง แล้วนำมาแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส แล้วนำมา freeze-dried ที่ -50 องศาเซลเซียส 2.5 Ps และ ultrafiltered JAS แล้วนำมาแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส แล้วนำมา freeze –dried สามารถนำ ultrafiltered freeze-dried syrup (UF-FD-JAS) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตได้ เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส ซูโครส และกลูโคส ใน FD-JAS มากกว่าใน UF-FD-JAS แต่พบปริมาณ inulin ใน UF-FD-JAS เท่ากับ 81.8 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนใน FD-JAS เท่ากับ 67.6 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อพิจารณาถึงค่าสีจะพบว่า สีของเวเฟอร์แครกเกอร์ (wafer crackers)

ส่วนที่มี UF-FD-JAS จะให้ค่าสีที่มีความสว่าง (lightness) มากขึ้น และจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็ง (firmness) เพิ่มขึ้น ขณะที่การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งไรย์ และ wafer crackers ที่ใช้ spelt wheat จะมีค่าความแข็ง (firmness) เพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้ FD-JAS จะให้ผลที่ไม่ดีเท่าสูตรที่ใช้ UF-FD-JAS

2.5.3 **ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์** (fructo-oligosaccharides, FOS)

ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) (Arai, 2002) โดยประกอบด้วยฟรุกโตส (fructose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β (2-1) (ภาพที่ 9) ที่มีความยาวตั้งแต่ 2-20 หน่วย จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่า FOS ถูกจัดเป็นประเภทของใยอาหาร (dietary fiber) (Coussement, 1999) เนื่องจาก FOS จะไม่ถูกย่อย ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน โดยจะถูกเรียกว่า พรีไบโอติก (Gibson และ Roberfroid, 1995)



ภาพที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของ fructo-oligosaccharides

ที่มา: เฉลิมขวัญ และมัลลิกา (2548)

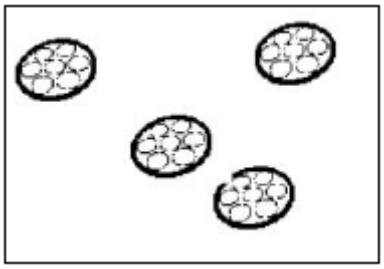
จากการศึกษาพบว่าการบริโภค FOS ปริมาณอย่างน้อยที่สุด 4 กรัมต่อวัน จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของ bifidobacteria ในลำไส้ของมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญ แต่จะให้ผลดียิ่งขึ้นถ้ารับประทาน 8 กรัมต่อวัน (Manning และ Gibson, 2004)

Ishwarya และ Prabhasankar (2013) ได้ทดลองเติม FOS ในบิสกิต พบว่าการเติม FOS ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการจับตัวที่ดีและเกิดความคงตัวของเมทริกซ์ ซึ่งทำให้บิสกิตมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นด้วย และพบว่าบิสกิตที่เติม FOS สามารถลดการปลดปล่อยกลูโคสได้ดีกว่าบิสกิตที่ไม่ได้เติม FOS แต่การเติม FOS ในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี ดังนั้นควรเติมในปริมาณที่พอเหมาะ

2.5.4 **รีซิสแทนต์สตาร์ช** (resistant starch)

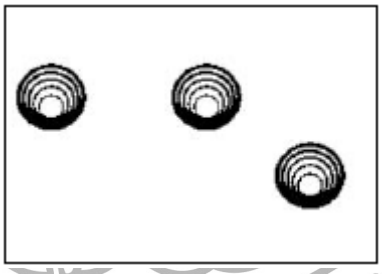
resistant starch (RS) หมายถึง สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือ สตาร์ชที่ให้พลังงานต่ำ คือแป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์และถูกดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ RS จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่าใยอาหาร สามารถผ่านเข้าไปถึงลำไส้ใหญ่และถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ ที่เอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ผนังลำไส้ใหญ่ ผลจากการย่อยที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ร่างกายได้รับปริมาณพลังงานในระดับต่ำกว่าปกติหรือทำหน้าที่คล้ายกับใยอาหาร ซึ่งหากบริโภคเป็นประจำจะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคอายุรกรรมต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น RS จัดเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพประเภทพรีไบโอติก

สามารถแบ่งโดยใช้เกณฑ์ความสามารถในการถูกย่อยสลายได้ 4 ประเภทคือ แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically inaccessible starch; RS1) โดยเม็ดแป้งอาจถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีนหรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดแป้งได้ มีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 10 แหล่งของแป้งได้แก่ เมล็ดพืชที่ผ่านการบดเพียงบางส่วน พืชตระกูลถั่ว (legumes) และผัก



ภาพที่ 10 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS1)
ที่มา: Sajilata และคณะ (2006)

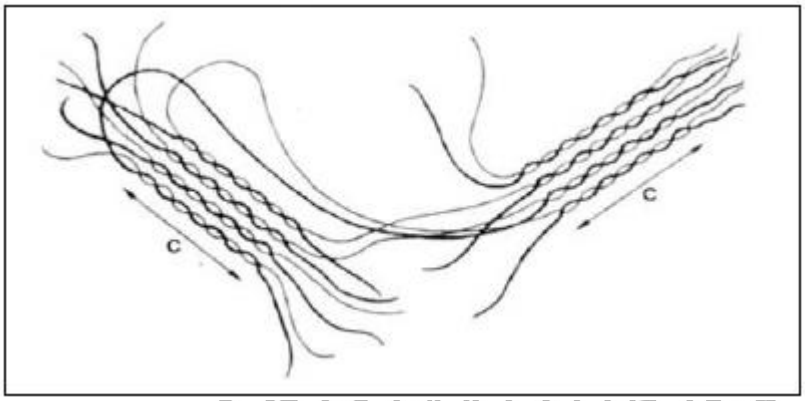
ประเภทถัดมาคือ เม็ดแป้งดิบที่ทนทานต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw starch granules; RS2) ได้แก่ เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบ เม็ดแป้งกล้วยดิบ แป้งที่มีอะไมโลสสูง หรือ ungelatinized starch เป็นแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุกและแป้งจากเมล็ดถั่ว โดยความคงทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเม็ดแป้งที่ไม่มีรูหรือช่องเปิดให้เอนไซม์เข้าไปในเม็ดแป้ง การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งจะช่วยให้เอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งดิบมีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ชนิดที่ 2 (RS2)
ที่มา: Sajilata และคณะ (2006)

ประเภทที่ 3 คือ แป้งคืนตัว (retrograded starch; RS3) resistant starch โดยส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในประเภท retrograded starch ซึ่งได้แก่ อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนจนแป้งเกิดการเจลาติไนซ์แล้วถูกทำให้เย็นตัวลง ทำให้ส่วนอะมิโลส (โพลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคส) ในน้ำแป้งที่หลุดออกมาในขณะที่เม็ดแป้งพองตัว เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (ภาพที่ 12) ดังนั้นแป้งที่มีอัตราส่วนของอะมิโลสสูงกว่า จะสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าแป้งที่มีอะมิโลเพกทิน (โพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส) สูง แป้งที่มีปริมาณ

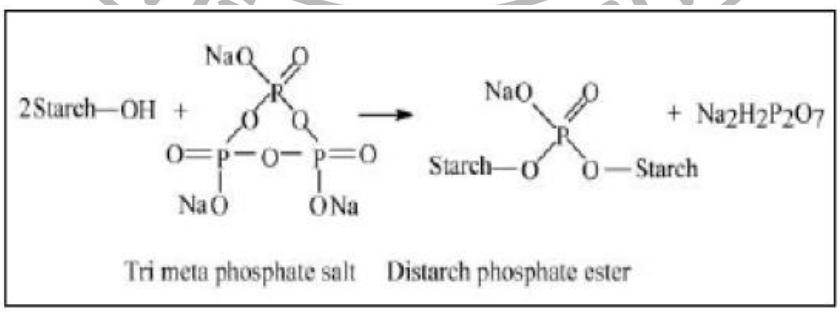
อะมิโลสสูงก็สามารถผลิต RS ได้ในระดับสูงเช่นเดียวกัน พืชส่วนใหญ่จะมีอะมิโลสอยู่ประมาณ 20-25% (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)



ภาพที่ 12 การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helice บริเวณโครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3)

ที่มา: Sajilata และคณะ, (2006)

ประเภทสุดท้าย RS4 คือ แป้งที่มีโครงสร้างเกิดจากการดัดแปรโดยใช้สารเคมีในการเชื่อมข้าม (cross-linked starch) ทำให้โครงสร้างแป้งเกิดพันธะแบบใหม่ แหล่งของแป้งได้แก่ ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester ; RS4)

ที่มา: Sajilata และคณะ, (2006)

สมบัติของแป้ง resistant starch (RS) ที่สำคัญได้แก่ อนุภาคมีขนาดเล็ก ไม่มีรสชาติ การอุ้มน้ำ (water holding capacity)ต่ำและสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น การพองตัวและความหนืดสูง

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมอาหารมีเทคนิคและใช้สภาวะในการแปรรูปที่หลากหลายทำให้สามารถผลิตแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ โดยวิธีดังต่อไปนี้

1. การใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) ในการแปรรูปต้องทำการการควบคุมความชื้นของแป้งไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก แล้วให้ความร้อนกับแป้งที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส สภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกในเม็ดแป้ง สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเพิ่มขึ้น (Hormdok and Noomhorm, 2007)

2. การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง (enzymatic treatment) เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการในการเกิดรีโทรเกรเดชัน เช่น การใช้เอนไซม์อัลฟาแอไมเลส (α-amylase) ลดขนาดโมเลกุลของแป้ง ได้ผลิตภัณฑ์คือมอลโทเด็กทรินชนิดที่มีระดับการย่อยต่ำ การใช้เอนไซม์ย่อยพันธะโซ่กิ่ง (debranching) เป็นการเพิ่มศักยภาพในการเตรียมแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากแป้งที่มีแอไมโลสต่ำ

3. การใช้ความร้อนและเอนไซม์ (heat and enzyme treatment) ให้ความร้อนแก่น้ำแป้งเพื่อทำให้สุก และทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลง โมเลกุลของแป้งที่ละลายออกมาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้ผลึกแป้งที่แข็งแรงมากขึ้น และเอนไซม์ย่อยได้น้อยลง หรือทำการย่อยส่วนของโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกด้วยเอนไซม์ วิธีการนี้นิยมใช้กับแป้งที่มีปริมาณแอไมโลสสูง

4. การใช้สารเคมีในการผลิตแป้งดัดแปร (chemical treatment) สารเคมีที่ใช้ เช่น โซเดียมไทรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate) ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ (phosphorus oxychloride) เป็นต้น ทำให้ในโครงสร้างแป้งสร้างพันธะใหม่ที่ต้านทานต่อการย่อยของเอนไซม์ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ประโยชน์ของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อสุขภาพ มีดังต่อไปนี้

1. แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ไม่ถูกย่อยสลายในลำไส้เล็กแต่เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และผลิตกรดไขมันสายสั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์ (probiotic microorganisms) เช่น *Bifidobacterium* เป็นต้น (Sajilata และคณะ, 2006)

2. แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จากการวิจัยของ Roben และคณะ (1994) พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จะเกิดการย่อยภายหลังการบริโภคแล้ว 5-7 ชั่วโมง ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและ insulin หลังบริโภคอาหารลดลง สำหรับแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะเกิดการย่อยทันทีหลังบริโภคทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและ insulin หลังบริโภคอาหารเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Reader และคณะ (1997) ที่ศึกษาการใช้แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3) ผลิตโดยบริษัท CrystaLean® นำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร พบว่าระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของผู้ทดสอบภายหลังการบริโภคอาหารมีค่าต่ำกว่าการบริโภคคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ เช่น แป้งชนิดอื่น โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และน้ำตาล เป็นต้น โดยแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3) อาจมีบทบาทควบคุมโรคเบาหวาน

3. บทบาทของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในการป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่จะช่วยเพิ่มปริมาณของของเหลวและปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ภายในลำไส้ให้ต่ำลง เมื่อเกิดสภาวะกรดขึ้นภายในบริเวณลำไส้ใหญ่จะเกิดการยับยั้งเอนไซม์จากจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถเปลี่ยนน้ำดีให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่ การที่จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายใยอาหารได้ จึงมีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ กระตุ้นให้เกิดการขับถ่าย ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (มลศิริ , 2545) กรดไขมันบิวทิเรตยังช่วยปรับสภาวะตอนปลายของลำไส้ใหญ่ให้สมบูรณ์ด้วย (Alexander, 1995; Ferguson และคณะ, 2000)

4. ยับยั้งการสะสมไขมัน Higgins และคณะ (2004) ทำการศึกษาโดยใช้ผู้ทดสอบเพศชายจำนวน 12 คน ให้บริโภคอาหารที่มีการเติมเส้นใยจากแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ช่วยลดการสะสมของไขมัน เนื่องจากภายหลังการบริโภคเกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) เพิ่มขึ้น

5. เกี่ยวข้องกับการดูดซึมแร่ธาตุที่ลำไส้จากงานวิจัยของ Morais และคณะ (1996) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของแป้ง 2 ชนิดได้แก่ แป้งที่มีส่วนผสมของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ร้อยละ 16.4 และแป้งที่ไม่ได้ผสมโดยตรวจสอบผลต่อการดูดซับของแคลเซียมฟอสฟอรัส เหล็ก และสังกะสี พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมและเหล็กของลำไส้

6. หน้าที่อื่นๆ ของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ได้แก่ ช่วยป้องกันหรือลดสภาวะโรคอ้วน มีบทบาทในการลดคลอเรสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการประยุกต์ใช้แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นแหล่งของใยอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นหลายชนิด เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็ก ไม่มีรสชาติ และการอุ้ม น้ำไม่มาก เช่น ขนมปัง มัฟฟินส์ (muffins) และอาหารเช้าจากธัญพืช ปริมาณการใช้เป็นส่วนผสมของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ หน้าที่ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์เค้ก (cake) และบราวนี (brownie) นอกจากนี้ยังเป็นสารให้ความกรอบในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิล (waffle) ขนมปังปิ้ง และช่วยปรับปรุงการพองตัวในขนม (Sajilata และคณะ, 2006) ในการศึกษาวิจัยของ Ranhotra และคณะ (1996) พบว่าการใช้แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในอาหารไม่ทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารมีลักษณะหยาบเหมือนกรวดทราย และไม่ทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเหมือนกับการใช้ใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ นอกจากนี้การใช้ resistant starch เป็นส่วนประกอบของอาหาร จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณ butyrate สูงขึ้น จึงมีประโยชน์มากกว่า โดย resistant starch ทางการค้าที่มีจำหน่ายได้แก่ กลุ่ม Hi-maize, Novelose และ CrystalLean ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 resistant starch ทางการค้าและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Type	Feature/Function	Application
Hi-maize 240® Hi-maize 260®	-resistant starch (RS_2) and dietary fiber -low glycaemix index and insulin response when substituted for flour -promotes digestive health	Baked goods and low moisture foods
Novelose 330® Hi-maize 220®	-resistant starch (RS_2/ RS_3) and dietary fiber -use in most low moisture foods system -improved texture and expansion in extruded application	Extruded snack and cereals product
CrystaLean®	-resistant starch (RS_3 ; retrograded maltodextrin) and dietary fiber	Baked goods and low moisture foods Extruded snack and cereals product

ที่มา: กุหลาบ (2553), Warning และคณะ (1998), Sajilata และคณะ (2006),

แป้งทางการค้าที่มีการผลิตและจำหน่ายในปัจจุบัน ผลิตโดยบริษัท National Starch and Chemical และ บริษัท Opta Food Ingredients ซึ่งการเลือกชนิดและปริมาณการใช้ resistant starch ทางการค้าควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการปรับปรุงคุณลักษณะตามความต้องการของผู้ใช้ สำหรับการใช้ resistant starch ในทางการอาหารหรืองานวิจัยด้านอาหารและโภชนาการ พบว่ามีรายงานวิจัยการผลิตพาสต้าที่มีอัตราการย่อยคาร์โบไฮเดรตต่ำและมีปริมาณ resistant starch สูงโดยใช้แป้งกล้วยดิบทดแทนแป้งสาลี (Maribel และคณะ, 2009) นอกจากนี้แป้งกล้วยดิบมีสมบัติของสตาร์ชเชื่อมข้าม (crosslinked starch) เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางด้านความกรอบ กลิ่นรสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากคุกกี้ที่ผลิตจากแป้งสาลี (น้ำฝน, 2549) โดยปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ resistant starch ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น การใช้แป้งกล้วยในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พาสต้า และสปาเก็ตตี้ ซึ่งการบริโภคแป้ง resistant starch ชนิด crosslinked เทียบกับการบริโภคแป้งทั่วไป ผลการศึกษาพบว่าปริมาณ resistant starch เพิ่มขึ้นและ %hydrolysis ลดลง ในขณะเดียวกันค่า glycemic index จะลดลงด้วย

ค่าดัชนีน้ำตาล หรือดัชนีไกลซิมิก (glycemic index; GI) คือ ดัชนีที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหลังจากการรับประทานและเข้าสู่ระบบการย่อยและการดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อย โดยเปรียบเทียบกับสาร

มาตราฐาน คือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งการรับประทานอาหารที่มีค่า glycemic index สูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดอย่างรวดเร็วและสูงมาก ในขณะที่การรับประทานอาหารที่มีค่า glycemic index ต่ำ จะมีน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ร่างกายสามารถควบคุมประมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่าย ประเภทของอาหารที่มีค่า glycemic index สูงได้แก่ ขนมปังขาว ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่ง ลูกเกด ผลไม้อบแห้ง กล้วยสุก แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน ส่วนอาหารที่มีค่า glycemic index ปานกลางได้แก่ อาหารประเภทเส้น ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว ไอศกรีม มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอรี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ซุปถั่ว และข้าวกล้อง และอาหารที่มีค่า glycemic index ต่ำ ได้แก่ ถั่วชนิดต่างๆ ผักและอาหารที่มีใยอาหารสูง กล้วยดิบ มะเขือเทศ แอปเปิ้ล ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ และโยเกิร์ตไขมันต่ำ

เมื่อมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประมาณ resistant starch กับ glycemic index พบว่ามีความผกผันกัน หมายความว่า resistant starch สามารถช่วยลดการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลและระดับฮอร์โมนอินซิลินในกระแสเลือดได้ ดังนั้นอาหารทีมีค่า glycemic index ต่ำจะมีปริมาณ resistant starch สูงนั่นเอง ซึ่งการจัดแบ่งประเภทและแหล่งของอาหารทีมีค่า glycemic index ต่างๆ แสดงในตารางที่ 3

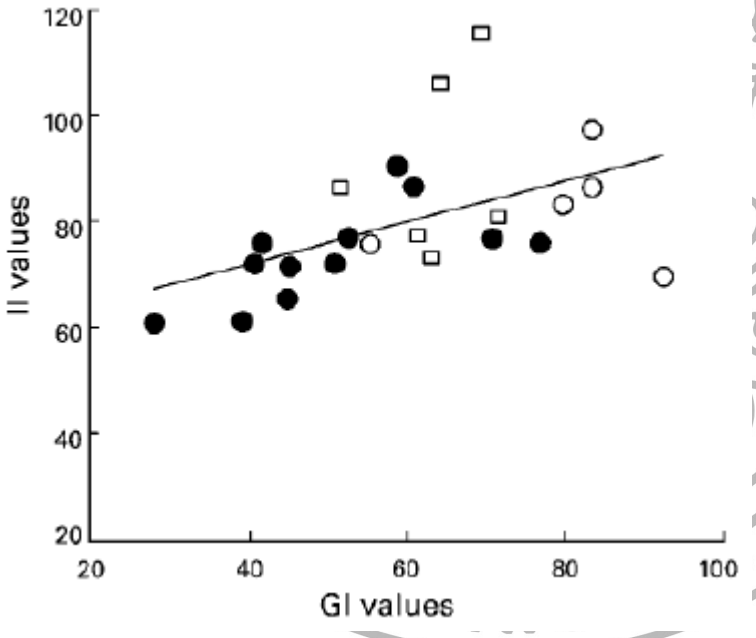
ตารางที่ 3 ประเภทและแหล่งอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ต่างๆ

อาหาร	แหล่งของอาหาร	ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)
อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (High GI Food)	ขนมปังขาว คอร์นเฟลก ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่งอบ มันฝรั่งทอด ไอศกรีม ผลไม้อบแห้ง ผลไม้ที่มีรสหวาน	≥ 70
อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง (Medium GI Food)	อาหารประเภทเส้น ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว มันเทศ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ข้าวกล้อง โฮลวีต	56-69
อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low GI Food)	ถั่วชนิดต่างๆ ผัก ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ โยเกิร์ตไขมันต่ำ เกรฟฟรุต แอปเปิ้ล มะเขือเทศ	≤ 55

ที่มา: วิภา (2549)

การบริโภคอาหาร glycemic index ต่ำจะเกิดผลดีต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ทำให้ระดับอินซูลินโดยรวมต่ำลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า glycemic index กับ insulinemic index values แสดงดังภาพที่ 14

นอกจากนี้การบริโภคอาหารประเภทนี้จะทำให้รู้สึกอิ่มนานกว่า ยืดเวลาของความอยากอาหาร ซึ่งการลดระดับอินซูลินจะส่งผลต่อการลดระดับไขมัน สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและโรคเบาหวาน (วิภา, 2549) ซึ่งคุณประโยชน์ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับคุณประโยชน์ของการบริโภคอาหารที่มีปริมาณ resistant starch สูงเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า glycemic index (GI) และ insulinemic index values (II) ของผลิตภัณฑ์ธัญพืช 20 ชนิด
ที่มา: Klaus และคณะ (2003)

resistant starch จัดเป็นแป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ ผู้ที่มีปัญหาในระบบขับถ่าย และผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักตัวให้เหมาะสม และที่สำคัญเป็นทางเลือกใหม่ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์อาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่จะเลือกใช้ resistant starch เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งจะช่วยให้ผู้ป่วย

สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดได้คงที่ และช่วยให้เกิดสุนทรียภาพในการรับประทานอาหารเช่นเดียวกับผู้บริโภคทั่วไป

Jangchaimonta (2006) ได้พัฒนาสูตรแป้งสาลีผสม resistant starch สำหรับทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทั้งหมด 3 สูตร โดยการแทนที่บางส่วนของแป้งสาลี 3 ชนิด คือ แป้งเค้ก แป้งขนมปัง และแป้งเอนกประสงค์ด้วย Hi-maize® ซึ่งเป็น resistant starch ทางการค้า จากนั้นนำแป้งเค้กผสมไปทดลองทำเค้กเนยสดและสปันจ์เค้ก แป้งขนมปังผสมนำไปทดลองทำขนมปังและขนมปังขาไก่ และแป้งเอนกประสงค์ผสมนำไปทดลองทำคุกกี้เนยและวัฟเฟิล พบว่าการแทนที่แป้งสาลีชนิดต่างๆ ด้วย Hi-maize® ส่งผลเสียต่อสมบัติทาง rheology และ baking quality โดยพบว่า batter และ dough มีโครงสร้างที่อ่อนและเหนียวน้อยลงกว่าการใช้แป้งสาลีปกติ และผลิตภัณฑ์ที่อบจากแป้งผสมยังมีปริมาตรต่ำ ความยืดหยุ่นลดลง เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น และมีกลิ่นแป้ง อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ดังกล่าว พบว่า Hi-maize® สามารถแทนที่แป้งสาลีชนิดต่างๆ ได้ 20, 40 และ 50% สำหรับแป้งขนมปัง แป้งเค้ก และแป้งอเนกประสงค์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าแป้งผสมที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลีปกติหลายเท่า (5-10 เท่า) นอกจากนี้การนำแป้งผสมเหล่านี้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จะให้ปริมาณใยอาหารในช่วง 13-30% Thai RDI ต่อหน่วยบริโภค

วราภรณ์ (2551) ได้ศึกษาการเกิด resistant starch ของกล้วยน้ำว้าและเผือกโดยการใช้กระบวนความร้อน พบว่ามี resistant starch สูง จึงทดลองใช้แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีให้คุกกี้มี resistant starch สูง พบว่าคุกกี้ที่ได้มีความแข็งใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และค่าการขยายตัวต่ำกว่าคุกกี้สูตรควบคุม อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมแป้งกล้วยน้ำว้าร้อยละ 40 โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

Sermsai (2007) ได้พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บะหมี่สดและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริม resistant starch (Hi-maize®) เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์บะหมี่สดและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วย resistant starch ในปริมาณมากส่งผลเสียต่อโดของบะหมี่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่ทั้งสอง จึงได้แก้ปัญหานี้โดยทำการเติมกลูเตนและน้ำเพิ่มเข้าไป เมื่อทำการตรวจสอบด้านกายภาพของโดและเส้นบะหมี่ทั้งสองรวมถึงการประเมินทางประสาทสัมผัสแล้ว พบว่าบะหมี่สดและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปสามารถเสริม resistant starch ได้มากถึง 30% ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าปริมาณ resistant starch ในผลิตภัณฑ์บะหมี่ทั้งสองชนิดมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าใยอาหาร พบว่ามีปริมาณใยอาหารเท่ากับ 16.8 และ

16.7 กรัม/100 กรัม ในบะหมี่สดและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าบะหมี่ที่ไม่ได้เสริม resistant starch ถึง 9 เท่า หรือเท่ากับมีปริมาณ 8 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ซึ่งเทียบเท่ากับ 33% Thai RDI

Faisant และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการเป็น resistant starch ของสตาร์ชจากกล้วยดิบ โดยนำไปผสมกับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าที่มีการทำให้สุก แล้วให้ผู้บริโภคทดสอบจำนวน 30 คน มีการเก็บตัวอย่างอาหารหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 8-5 ชั่วโมง โดยมีวิธีการเก็บตัวอย่างอาหารที่ผ่านการย่อยบริเวณปลายลำไส้เล็กด้วยวิธีการพิเศษ จากนั้นจึงนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนเปรียบเทียบกับลักษณะเม็ดสตาร์ชจากกล้วยที่ยังไม่มีการบริโภค พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ยังสามารถพบสตาร์ชกล้วยมีปริมาณถึงร้อยละ 80 ของสตาร์ชทั้งหมด และเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบที่ผ่านการบริโภคแล้วนั้น จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ ไม่เรียบ มีรูพรุน และเป็นรู ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์อะไมโลสในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ โดยสตาร์ชกล้วยก่อนที่จะนำไปบริโภคจะมีลักษณะเป็นเม็ดสตาร์ชที่มีผิวเรียบ และไม่มีรูพรุน สตาร์ชจากกล้วยดิบมีสมบัติเป็น resistant starch จากการค้นพบนี้จึงอาจเป็นแนวทางในการพัฒนานำสตาร์ชจากกล้วยดิบไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ได้มากขึ้น

สุกัญญา (2553) ได้พัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมแป้งสตาร์ชดัดแปร 5 ชนิด คือ แป้งกล้วย แป้งเผือก แป้งหัวพุทธรักษา สตาร์ชดัดแปรทางการค้า Hi-maize®260 และ T-fibre® เมื่อวิเคราะห์เส้นก๋วยเตี๋ยวดังกล่าวพบว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเปลี่ยนไปตามลักษณะสีของแป้งสตาร์ชดัดแปรที่เติมลงไป โดย Hi-maize®260 ให้สีขาวมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวสูตรที่มีการเติมแป้งสตาร์ชดัดแปรทั้ง 5 ชนิดลงไป มีปริมาณใยอาหารและปริมาณ resistant starch สูงกว่าก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุม และพบว่าก๋วยเตี๋ยวที่เติมสตาร์ชดัดแปร Hi-maize®260 มีปริมาณ resistant starch สูงที่สุด และแป้งจากธรรมชาติ ได้แก่ แป้งกล้วยและแป้งหัวพุทธรักษามีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งของ resistant starch ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่ามีปริมาณ resistant starch สูงกว่าสตาร์ชดัดแปร T-fibre® การเติมแป้งชนิดต่างๆ ลงไปในก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีค่า GI ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่อย่างไรก็ตามก๋วยเตี๋ยวทุกสูตรที่ได้รับการเติมแป้ง/สตาร์ชดัดแปร ยังจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่า GI สูง นั่นคือมีค่าอยู่ในช่วง 82.27-104.50

2.5.5. **พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช** (non-starch polysaccharides)

เป็นสารที่ได้จากพืช เช่น pectin, hemicellulose, guar cellulose, และ xylan (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)

2.5.6. mucin glycoproteins

ถูกสร้างโดย goblet cells ที่อยู่ในเยื่อบุผิวลำไส้และเป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับการหมักในลำไส้ (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)

2.5.7. related mucopolysaccharides

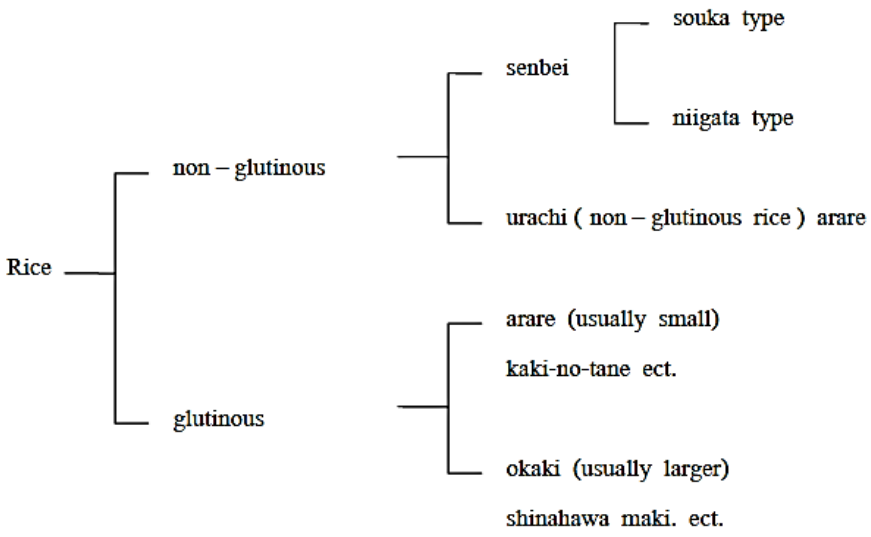
เช่น chondroitin sulphate, heparin, pancreatic และ bacterial secretions ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่มีไว้สำหรับจุลินทรีย์ในลำไส้ (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)

2.5.8. **โปรตีนและเปปไทด์** (proteins and peptides)

สารเหล่านี้สร้างขึ้นในอาหาร สร้างโดยการหลั่งของตับอ่อนหรือ สร้างโดยแบคทีเรีย แต่จะมีปริมาณน้อยกว่าพวกคาร์โบไฮเดรต (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2548)

2.6 **ข้าวแผ่นกรอบ** (rice crackers)

ในประเทศญี่ปุ่นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้าเป็นขนมขบเคี้ยวที่สำคัญ โดยมีการจำแนกชนิดของขนมอบกรอบตามวัตถุดิบและขนาดของขนม (ภาพที่ 15) โดยขนมที่ทำจากข้าวเจ้า คือ เซนเบ้และยูรูชิ ส่วนขนมที่ทำจากข้าวเหนียว คือ อาราเร่ ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะคือ สามารถละลายได้ง่ายในปาก แต่ข้าวแผ่นกรอบที่ทำจากข้าวเจ้า จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบและแข็ง ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติความพองตัวที่แตกต่างกันของแป้ง



ภาพที่ 15 การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์ โดยใช้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต
ที่มา: Luh (1991)

2.6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ

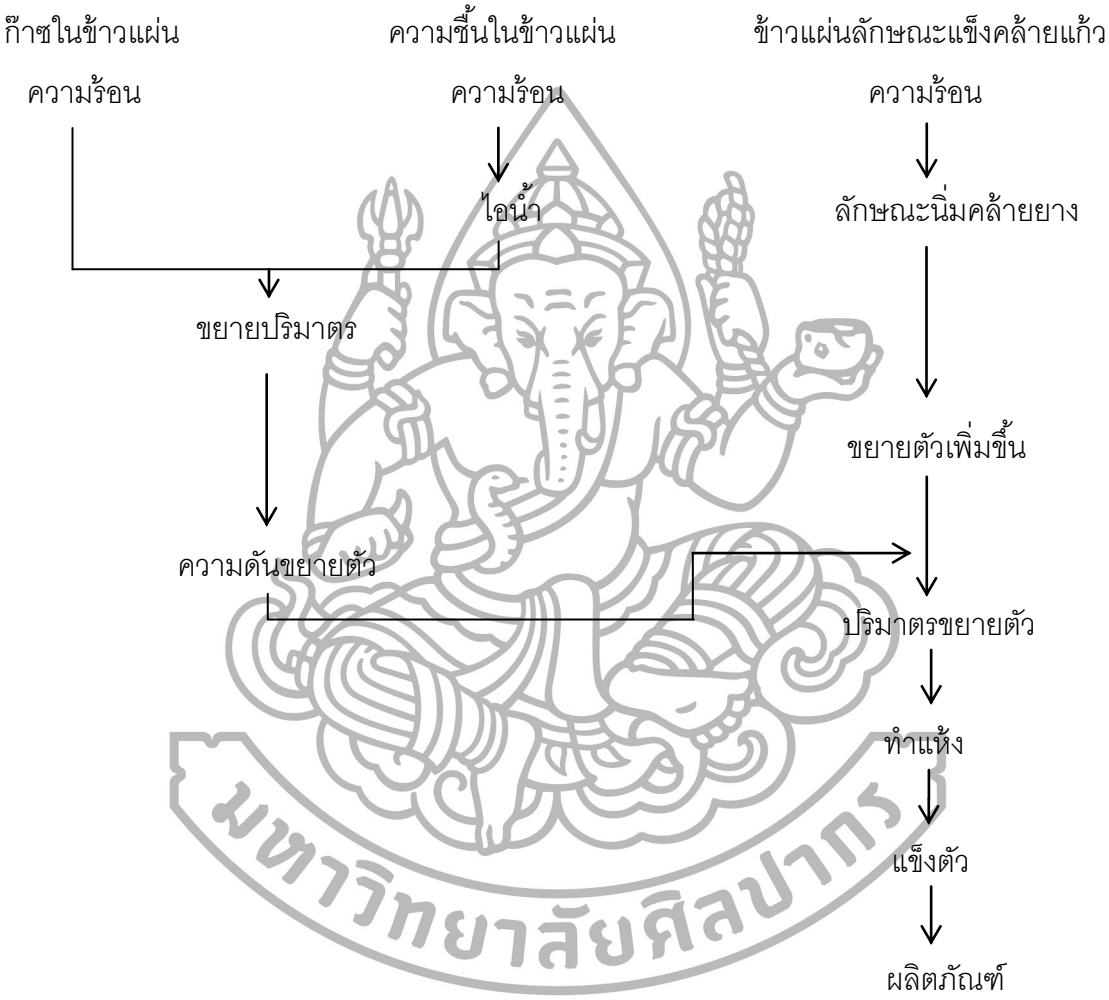
ข้าวเป็นวัตถุดิบหลักที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบจึงควรที่จะเลือกใช้ข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้าที่มีคุณภาพข้าวสม่ำเสมอ ทั้งอัตราการดูดซึมน้ำ สิ่งแปลกปลอม กลิ่นและรสชาติ หากมีการใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนควรพิจารณาเลือกใช้แป้งที่มีอัตราการพองตัวที่ดี

สำหรับวัตถุดิบอื่น ๆ ที่ใช้ในการแต่งกลิ่นและรสชาติ คือ ซอสถั่วเหลือง นอกจากนี้ ยังมีการใช้สาหร่าย งา พริกไทยป่น น้ำตาล และเครื่องเทศอื่นๆ มาใช้ด้วย สำหรับน้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแผ่นกรอบต้องใช้น้ำมันที่มีคุณภาพดี มีความบริสุทธิ์และมีความคงตัวสูง

2.6.2 การพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

กลไกการพองตัวของข้าวแผ่นที่อบแห้งแล้วมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบ การพองตัวจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบ ลักษณะการพองตัวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของข้าวแผ่นและอุณหภูมิของตู้อบ เมื่อได้รับความร้อนข้าวแผ่นที่มีลักษณะแข็งคล้ายแก้ว จะนิ่มขึ้นทีละน้อยจนมีลักษณะคล้ายยาง ขยายขนาดใหญ่ขึ้น การขยายขนาดเป็นผลจากความดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณไอน้ำที่อุณหภูมิสูง การที่ข้าวแผ่นก่อนอบมีลักษณะแข็งทำให้ความชื้นจะถูกปิดกั้นอยู่ด้านใน ผิวของเนื้อข้าวแผ่นเสมือนเป็นเปลือกหุ้มอยู่ จึงเกิดแรงดันไอน้ำ

ทำให้เกิดการขยายตัวอย่างแรงและต่อเนื่องจนกระทั่งความดันไอและการขยายขนาดสมดุล ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ
ที่มา: Lu และคณะ (1997)

2.6.3 อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่พึงปรารถนาทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Singh, 1994) การประเมินอายุการเก็บรักษาจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตรงตามที่กำหนดไว้บนฉลาก และสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคว่าผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัย ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงระยะเวลาที่เก็บผลิตภัณฑ์ และสภาวะแวดล้อมในการเก็บผลิตภัณฑ์ (Baker และคณะ, 1988)

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์บางอย่างมีความไวในการทำปฏิกิริยากับแสง ออกซิเจน อาจเสื่อมเสียได้ง่าย ปัจจัยจากภาชนะบรรจุ สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และแสง ได้มากน้อยแค่ไหน เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุได้ช้าลง และปัจจัยที่สำคัญได้แก่ สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และแสง เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการทำงานของปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้นำไปสู่การเสื่อมเสียของอาหาร

ปัจจัยคุณภาพที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษามีดังนี้

1. ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

การเสื่อมเสียคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว โครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของอาหารไว้ คือ องค์ประกอบของอาหารเป็นสารประเภทไบโอพอลิเมอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นสารที่มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (crystalline structure) และโครงสร้างไม่มีระเบียบ (amorphous structure) โครงสร้างทั้ง 2 นี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและระดับความชื้น เมื่ออุณหภูมิของอาหารอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Tg) อาหารจะเปราะและแตกง่าย Tg เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของวัสดุซึ่งเป็นของแข็งซึ่งมีความหนืดสูงมากคล้ายแก้ว (glass) หรือมีค่ามอดุลัสสูง ไปเป็นวัสดุที่มีความแข็งลดลงและยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุให้สูงกว่า Tg วัสดุจะยังเป็นของแข็งที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น แต่ไม่สามารถไหลได้เหมือนของเหลว มีลักษณะเหนียวคล้ายหนังหรือเป็นยาง (rubbery) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุจนกระทั่งสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) วัสดุจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับของเหลว (liquid like) เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นหากปล่อยให้อาหารมีความชื้นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว คือ ความชื้น และค่า water activity (a_w) โดยค่า a_w มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w หรือ

ปริมาณความชื้น และคุณสมบัติทางกล หรือลักษณะเนื้อสัมผัสของวัสดุอาหารมีความซับซ้อนมาก นอกจากน้ำจะมีคุณสมบัติในการเป็น plasticizer แล้ว Chang และคณะ (2000) ยังกล่าวว่ามีเหตุผลที่เป็นไปได้ว่าน้ำสามารถทำหน้าที่ได้ทั้ง plasticizer หรือ nonplasticizer ก็ได้ในระบบพอลิเมอร์ของอาหารที่มีความชื้นต่ำ Moreira และคณะ (1999) กล่าวว่า ปริมาณความชื้น (moisture content) มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยทำให้โครงสร้าง starch/protein matrix เกิดพลาสติกไซซิ่ง (plasticizing) และนิ่ม ทำให้แรงกลของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป ความกรอบลดลง ธัญพืชแห้งจะมีความกรอบเมื่ออยู่ในสภาวะกระจก (glassy state) แต่การเกิดพลาสติกไซเซชัน (plasticization) จากปริมาณน้ำหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้วัสดุเปลี่ยนไปอยู่ในคล้ายยาง (rubbery state) ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะชื้น ไม่กรอบ (soggy) Kate และ Labuza (1981) ได้ทำการศึกษาความกรอบของขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไปที่ทำ จากแป้งโดยทดสอบด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสและการใช้เครื่องมือ พบว่าความกรอบจะลดลงเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อมีค่า a_w 0.35 - 0.5

2. กลิ่นและรสชาติ

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ก๊าซออกซิเจนในอากาศจะทาให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันในอาหาร เกิดสารพวกไฮโดรเพอร์ออกไซด์ แอลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น ซึ่งนิธิยา (2545) กล่าวว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่า a_w อีกด้วย ดังนั้นก๊าซออกซิเจนและปริมาณความชื้นในอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารเกิดการเหม็นหืนได้เร็วขึ้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยอาศัยหลักการทางจลนพลศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งมักเป็นการเปลี่ยนแปลงในรูปสมการอันดับ 0 สมการอันดับ 1 และอันดับ 2 ดังสมการที่ 1 ถึง 3

เมื่อ n = 0; $C_A - C_{A0} = -kt$ (1)

เมื่อ n = 1; $\ln(C_A/C_{A0}) = -kt$ (2)

เมื่อ n = 2; $1/C_A - 1/C_{A0} = -kt$ (3)

C_A คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

C_{A0} คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant)

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

โดยสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจากอุณหภูมิโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 และ 5

$$k = k_0 \exp(-Ea/RT) \quad (4)$$

$$t = (C_0 - C_{final})/k_0 \exp(-Ea/RT) \quad (5)$$

k คือ ค่าคงที่อัตรา (หน่วยต่อวัน)

k_0 คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (หน่วยต่อวัน)

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

C_0 คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

C_{final} คือ ปริมาณสารสุดท้ายที่ทำให้ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

บทที่ 3
วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

1. ปลายข้าวหอมมะลิ (บริษัท นำเซา (ประเทศไทย) จำกัด)

2. resistant starch (RS) (National Starch, Hi-Maize™ 260 Starch, USA) จัดเป็นประเภทที่ 2 (RS_2) (ราคา 140 บาท/กิโลกรัม)

3. inulin (Beneo-Orafti, Orafti® GR, Belgium) (จัดจำหน่ายโดย บริษัท DPO (Thailand) Ltd.) (ราคา 195 บาท/กิโลกรัม)

4. fructo-oligosaccharide (FOS) (Beneo-Orafti,Orafti® P95, Belgium) (จัดจำหน่ายโดย บริษัท DPO (Thailand) Ltd.) (ราคา 270 บาท/กิโลกรัม)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือ

- เครื่องบดข้าว เครื่องนึ่งแป้ง เครื่องลดอุณหภูมิ เครื่องนวดแป้ง เครื่องขึ้นรูป เครื่องอบลดความชื้น เตาย่าง ตะแกรง เครื่องนาบหาความชื้น (hot-plate) ใน pilot plant ของบริษัทนำเซา (ประเทศไทย) จำกัด
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BP 3100S, Germany)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, A 210 P, Germany)
- ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้ (hot -air oven) (Binder , WTB, Germany)
- โถดูดความชื้น
- เครื่องวัดความชื้น (moisture balance) (A&D, MX-50, Japan)
- เครื่องวัดสี (colorimeter) (Color View™ spectrophotometer, Model 9000, USA)

- เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XT plus, Stable Micro System, Surrey, UK)
- เครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyzer, RVA) (Newport Scientific, RVA-4, Australia)
- เตาแก๊ส
- เวอร์เนียร์ไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล (digital vernier micrometer)

3.2.2 **อุปกรณ์และสารเคมี**

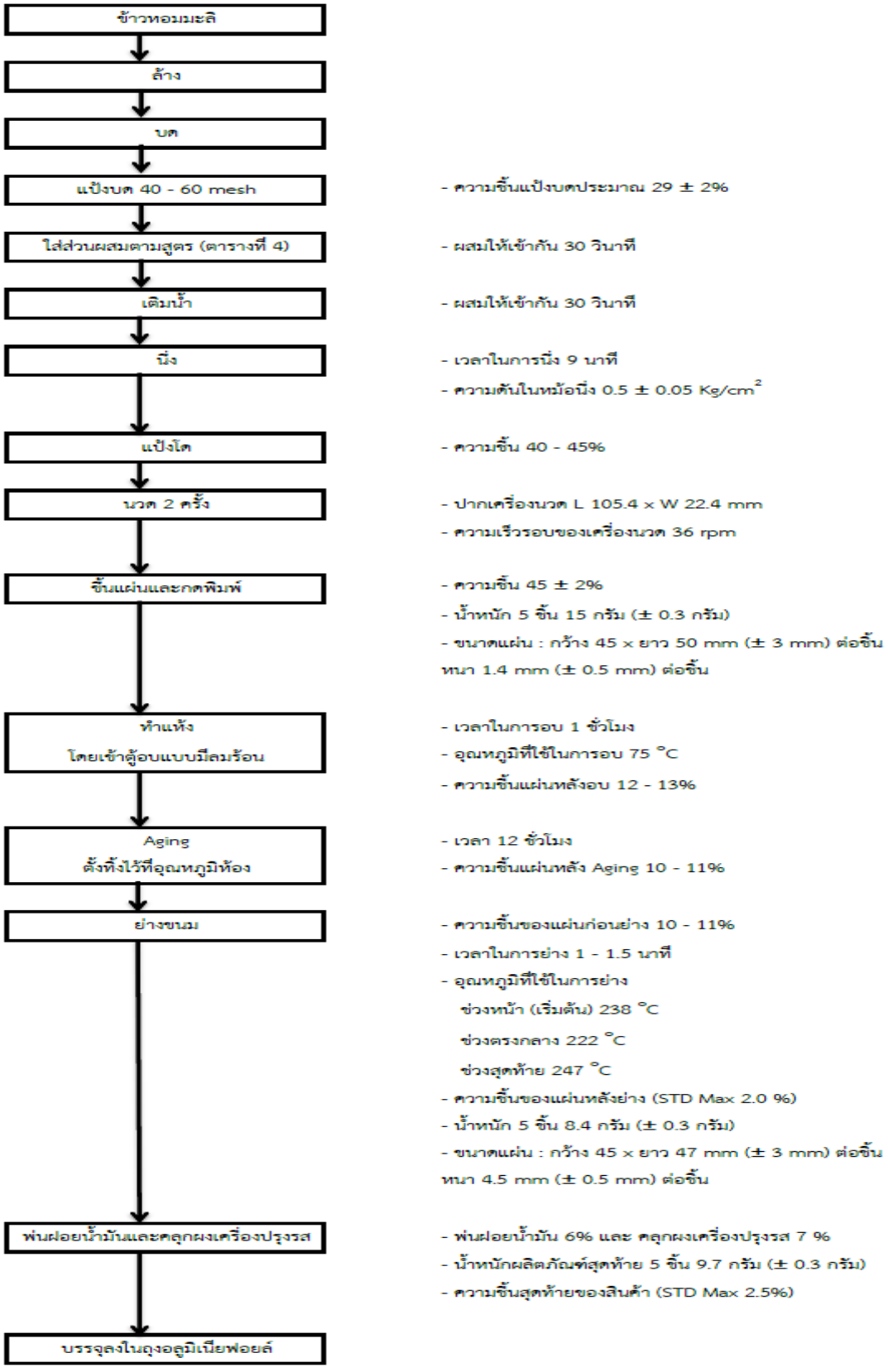
- ถ้วยอะลูมิเนียม
- ภาชนะอะลูมิเนียม
- ลังถึง
- ผ้าขาวบาง
- ไม้พาย
- ทัพพี
- ช้อน
- ถุงพลาสติกแบบ zip-lock
- กระบอกฉีดน้ำ
- พิมพ์กด (mold) รูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร
- ตะแกรงสแตนเลสขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร
- อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส
- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส
- ไม้บรรทัด
- โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การผลิตโด ข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ

การผลิตโด ข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบมีขั้นตอนการผลิตตามแผนผังในภาพที่ 17 โดยมีการเติมสารพรีไบโอติกตามชนิดและปริมาณที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4 คือ สารพรีไบโอติก 3 ชนิด ได้แก่ resistant starch, inulin และ FOS โดยแต่ละชนิดจะเติมในปริมาณที่ทำให้ได้ปริมาณ dietary fiber ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ข้าวแผ่นกรอบที่ผ่านการเคลือบน้ำมันและผงปรุงรสแล้ว) เท่ากับ 4, 8, 12 และ 18% สำหรับขั้นตอนการเตรียมโด เริ่มจากนำปลายข้าวหอมมะลิมาผ่านการล้างทำความสะอาด ขึ้นสายพานเพื่อสะเด็ดน้ำและทำการบดด้วยเครื่องบดข้าว ให้แป้งบดมีความละเอียดที่ 40-60 mesh และมีความชื้นแป้งบดประมาณ 29 $\pm$ 2% นำแป้งบดและส่วนผสมอื่นๆ ใส่ลงในหม้อนึ่ง ผสมส่วนต่างๆให้เข้ากันประมาณ 30 วินาที เติมปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณ แล้วผสมส่วนผสมให้เข้ากันอีก 30 วินาที ปิดฝาหม้อนึ่งและทำการนึ่งโดยใช้ ความดันที่ 0.5 $\pm$ 0.05 kg/cm^2 เป็นเวลา 9 นาที เมื่อครบเวลาแล้วทำการตรวจวัดความชื้นแป้งโดด้วยเครื่อง hot–plate ใน pilot plant ซึ่งความชื้นโดที่ต้องการอยู่ที่ประมาณ 40-45% หลังจากนั้นนำแป้งโดมาทำการนวดด้วยเครื่องนวด โดยทำการนวด 2 ครั้ง ซึ่งมีการกำหนดขนาดของปากเครื่องนวดที่ความยาว 105.44 x ความกว้าง 22.4 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของเครื่องนวดที่ 36 รอบต่อนาที ต่อจากนั้นทำแป้งที่ผ่านการนวดครั้งที่ 2 มาทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์วงกลม โดยทำการตรวจเช็คความชื้นและน้ำหนักการขึ้นรูป โดยการกำหนดค่ามาตราฐานไว้ที่ค่าความชื้น 45 $\pm$ 2% น้ำหนัก 5 ชิ้น 15 กรัม $\pm$ 0.3 กรัม ขนาดของแผ่นโดหลังจากขึ้นรูปวัดด้วยเครื่องเวอร์เนียไมโครมิเตอร์อยู่ที่ความกว้าง 45 x ความยาว 50 มิลลิเมตร ($\pm$ 3 มิลลิเมตร) ต่อชิ้น และความหนา 1.4 มิลลิเมตร ($\pm$ 0.5 มิลลิเมตร) ต่อชิ้น หลังจากนั้นนำแผ่นที่ขึ้นรูปแล้วมาผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบที่มีลมร้อนเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยความชื้นของแผ่นแป้งแห้งหลังการอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 12-13% หลังจากเอาแผ่นแป้งแห้งออกจากตู้อบแล้วเทใส่ภาชนะสำหรับเก็บแผ่นแป้งอบแห้ง และทำการ aging โดยทำการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ความชื้นของแผ่นแป้งแห้งหลังจาก aging อยู่ที่ประมาณ 10-11% นำแผ่นแป้งแห้งไปทำการย่างโดยใช้เตาย่างที่มีอุณหภูมิแต่ละช่วงได้แก่ ช่วงหน้า (เริ่มต้น) 238 องศาเซลเซียส ช่วงกลาง 222 องศาเซลเซียส ช่วงสุดท้าย 247 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นของแผ่นหลังการย่างต้องไม่เกิน 2.0% น้ำหนัก เท่ากับ 8.4 กรัม ($\pm$ 0.3 กรัม) ต่อ 5 ชิ้น ขนาดของแผ่นหลังย่าง ได้แก่ ความกว้าง 45 x ความยาว 47 มิลลิเมตร ($\pm$ 3 มิลลิเมตร) ต่อชิ้น ความหนา 4.5

มิลลิเมตร (± 0.5 มิลลิเมตร) ต่อชิ้น นำแผ่นหลังย่างไปทำการพ่นฝอยน้ำมันและคลุกผงเครื่องปรุงรส โดยพ่นฝอยน้ำมัน 6% และคลุกผงเครื่องปรุงรส 7% น้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย 9.7 กรัม (± 0.3 กรัม) ต่อ 5 ชิ้น ความชื้นสุดท้ายของสินค้าตามมาตราฐานต้องไม่เกิน 2.5% บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกที่เป็นส่วนผสมในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ

Treatment	ชนิดสารพรีไบโอติก	ความชื้นของสารพรีไบโอติก (%) (Wet Basis)	Dietary Fiber ในสารพรีไบโอติก (%) (Wet Basis)	Dietary Fiber ในสารพรีไบโอติก (%) (Dry Basis)	Dry Basis ของสารพรีไบโอติกในข้าวแผ่นกรอบ (%)	Dry Basis ของDietary Fiber ในข้าวแผ่นกรอบ (%)
Control (T1)	-	-	-	-	-	1.00*
T2	RS 4%	14	63	73.26	5.47	4.20
T3	RS 8%	14	63	73.26	12.31	8.40
T4	RS 12%	14	63	73.26	18.53	12.20
T5	RS 18%	14	63	73.26	28.46	18.20
T6	Inulin 4%	3	89	91.75	4.41	4.50
T7	Inulin 8%	3	89	91.75	9.52	8.50
T8	Inulin 12%	3	89	91.75	14.55	12.40
T9	Inulin 18%	3	89	91.75	21.87	18.20
T10	FOS 4%	3	90	92.78	3.97	4.10
T11	FOS 8%	3	90	92.78	9.09	8.20
T12	FOS 12%	3	90	92.78	14.28	12.40
T13	FOS 18%	3	90	92.78	21.69	18.30

หมายเหตุ ค่า % dry basis ของสารพรีไบโอติกในข้าวแผ่นกรอบ และ ปริมาณ % dry basis ของ dietary fiber ในข้าวแผ่นกรอบได้จากการคำนวณซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ง

* ปริมาณ dietary fiber ที่มากจากวัตถุดิบข้าวหอมมะลิ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

3.3.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting property) ของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ RS, inulin, FOS และส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบ

ทดสอบหาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ(ผ่านการอบแห้งจนมีความชื้นประมาณ 9 %) RS ,inulin, FOS และแป้งข้าวหอมมะลิที่มีการเติมสารพรีไบโอติกแต่ละชนิด และที่ปริมาณต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 5 โดยวิเคราะห์การเกิดเจลาทิไนซ์และสมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) ตามวิธีของกล้าณรงค์และเกื้อกูล (2543)

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. เปิดเครื่อง RVA ไว้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile: STD1

อุณหภูมิเริ่มต้น	50 องศาเซลเซียส			
อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	1	นาที
อุณหภูมิ	50-95 องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	95 องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	2.5	นาที
อุณหภูมิ	95-50 องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	2	นาที
รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด			13	นาที

ความเร็วรอบของการกวน 0-10 วินาทีแรก 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลงมาที่ 160 รอบต่อนาทีจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ชั่งตัวอย่างและน้ำกลั่นลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณ (wet basis) ของสารพรีไบโอติก แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ และน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม) (Wet Basis)		
	สารพรีไบโอติก	แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ	น้ำ
Control	-	3.29	21.71
RS 4%	0.14	3.16	21.70
RS 8%	0.28	3.03	21.69
RS 12%	0.42	2.89	21.69
RS 18%	0.63	2.70	21.67
RS 100 %	3.49	-	21.51
Inulin 4%	0.12	3.16	21.72
Inulin 8%	0.25	3.03	21.72
Inulin 12%	0.37	2.89	21.74
Inulin 18%	0.56	2.70	21.74
Inulin 100 %	3.09	-	21.91
FOS 4%	0.12	3.16	21.72
FOS 8%	0.25	3.03	21.72
FOS 12%	0.37	2.89	21.74
FOS 18%	0.56	2.70	21.74
FOS 100 %	3.09	-	21.91

หมายเหตุ : ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบคือ 8.8%

ปริมาณความชื้นของสารพรีไบโอติคือ RS 14%

ปริมาณความชื้นของสารพรีไบโอติกคือ inulin 3%

ปริมาณความชื้นของสารพรีไบโอติกคือ FOS 3%

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 6 ปริมาณ(dry basis) ของสารพรีไบโอติกแต่ละชนิดและแป้งข้าวหอมมะลิที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม) (Dry Basis)		
	สารพรีไบโอติก	แป้งข้าวหอมมะลิ วัตถุดิบ	น้ำหนักรวม
Control	0	3.00	3.00
RS 4%	0.12	2.88	3.00
RS 8%	0.24	2.76	3.00
RS 12%	0.36	2.64	3.00
RS 18%	0.54	2.46	3.00
RS 100 %	3.00	0	3.00
Inulin 4%	0.12	2.88	3.00
Inulin 8%	0.24	2.76	3.00
Inulin 12%	0.36	2.64	3.00
Inulin 18%	0.54	2.46	3.00
Inulin 100 %	3.00	0	3.00
FOS 4%	0.12	2.88	3.00
FOS 8%	0.24	2.76	3.00
FOS 12%	0.36	2.64	3.00
FOS 18%	0.54	2.46	3.00
FOS 100 %	3.00	0	3.00

หมายเหตุ ปริมาณสารพรีไบโอติกคำนวณเป็น dry basis ซึ่งแสดงวิธีคำนวณอยู่ในภาคผนวก ฉ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

3. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆและดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำ หรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำ can ที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU) ดังนี้
   4.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็น นาที
   4.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
   4.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
   4.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU
   4.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
   4.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVA
   4.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของโด

ตามวิธีของเอกสารอ้างอิงเลขที่ PD-W-813 ขั้นตอนการปฏิบัติงานของเครื่องนาบหาความชื้น (heat-plate) ใน pilot plant ของบริษัทนำเชา (ประเทศไทย) จำกัด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตั้งอุณหภูมิเครื่องที่ต้องการใช้โดยการปรับอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 250-300°C
2. เมื่อเครื่องนาบได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วจึงทำการหาความชื้นได้
3. เก็บตัวอย่างโดที่ต้องการหาความชื้น จากบริเวณปากหม้อนึ่งจำนวน 3 ก้อน
4. แบ่งโดที่ได้มาทำการหาความชื้นโดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ให้ได้น้ำหนักอยู่ในช่วง 6.00 ถึง 7.00 กรัม
5. บันทึกตัวเลขของน้ำหนักก่อนการนาบหาความชื้น
6. นำโดที่ได้ชั่งน้ำหนักแล้วไปหาความชื้น โดยการยกตัวนาบขึ้นแล้ว วางโดลงบนเครื่องนาบกดตัวนาบลงบนก้อนโด รอจนแผ่นโดเป็นสีเหลืองทอง

7. นำแผ่นโดที่นาบจนเป็นสีเหลืองทองแล้วมาชั่งน้ำหนักหลังการนาบ

8. คำนวณหาค่าของ % ความชื้นของโด โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้นของโด} = \left[\frac{\text{น้ำหนักโดเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักโดหลังการนาบให้แห้ง}}{\text{น้ำหนักโดเริ่มต้น}} \right] \times 100$$

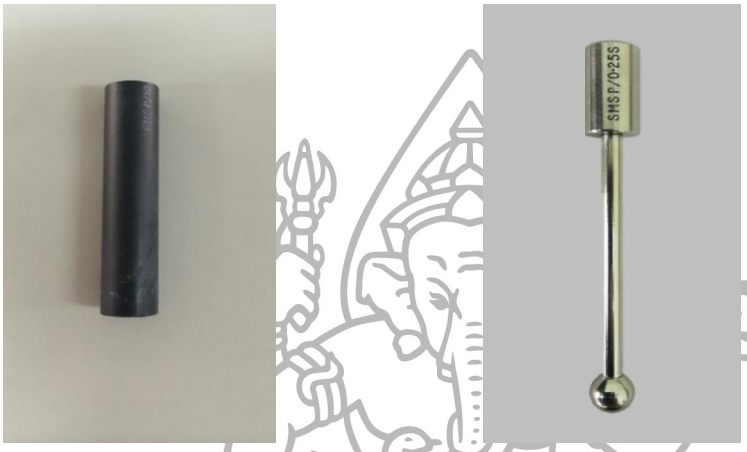
9. นำโดก้อนที่ 2 และ 3 ไปทำการหาความชื้นเช่นเดียวกับก้อนแรก

ภาพที่ 18 เครื่องนาบหาความชื้น (heat–plate)

3.3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโด

นำตัวอย่างโดมาทดสอบวิเคราะห์ค่า hardness และ ค่า stickiness ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัด P10 ดังแสดงในภาพที่ 19 (ก) โดยทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เป็น pre-test speed = 2.0 mm/s, test speed = 1.0 mm/s, post-test speed = 10.0 mm/s, distant = 25.0% นำตัวอย่างโดบรรจุใส่ลงในถ้วยพลาสติกดังแสดงในภาพที่ 20 (ก) และบรรจุตัวอย่างโด

ถ้วยละ 50 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 20 (ข) ทำการวัด 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคือ ค่า hardness โดยได้จากค่าสูงสุดจากการกด และค่า stickiness โดยได้จากพื้นที่ใต้กราฟหลังจากดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง



(ก) (ข)

ภาพที่ 19 หัววัดเนื้อสัมผัสของโด P10 (ก)และ หัววัดเนื้อสัมผัสข้าวแผ่นกรอบ P0.25S (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 20 ถ้วยพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุตัวอย่างโด (ก) และหลังบรรจุตัวอย่างโด 50 กรัมลงในถ้วยพลาสติก (ข)

3.3.5 การวิเคราะห์ขนาดของข้าวแผ่นอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์มาวัดความยาวด้วยเวอร์เนียร์มิเตอร์ ทำการวัดความยาวทั้งด้านสั้นและด้านยาว ทำการวัด 20 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.6 การวิเคราะห์ความหนาของข้าวแผ่นอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์มาวัดความหนาด้วยเวอร์เนียร์มิเตอร์ ทำการวัด 20 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าวแผ่นกรอบ

วิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังรายละเอียดด้านล่างและการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง hot–air oven โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ทำการวัดความชื้นทำการวัด 3 ซ้ำ ต่อตัวอย่าง การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นทำดังต่อไปนี้

1. นำภาชนะเปล่าพร้อมทั้งฝาปิดเข้าไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและย้ายไปไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อให้ภาชนะเย็นตัวลง จากนั้นจึงนำภาชนะเปล่าและฝาไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนลงในภาชนะ แผ่กระจายตัวอย่างให้ทั่วทั้งถ้วย
3. นำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างแล้วเข้าไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. หลังจากอบแห้งแล้ว ย้ายภาชนะพร้อมทั้งปิดฝาไปไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็นตัวลง จากนั้นจึงนำภาชนะ ฝา พร้อมตัวอย่างแห้งไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

การคำนวณ ทำการคำนวณหาปริมาณความชื้น (wet basis) ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ: W_1 = น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างก่อนอบแห้ง

W_2 = น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างหลังอบแห้ง

3.3.8 การวิเคราะห์หาค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ

นำผลิตภัณฑ์มาทำการบดให้ละเอียด ใส่ตัวอย่างปริมาณ 2 กรัมลงในเครื่องวัด a_w meter (Lab Swift, Novasina, Switzerland) ทำการวัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.9 การวิเคราะห์ขนาดของข้าวแผ่นกรอบ

นำผลิตภัณฑ์มาวัดความยาวด้วยเวอร์เนียร์ไมโครมิเตอร์ ทำการวัดความยาวทั้งด้านสั้นและด้านยาว ทำการวัด 20 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.10 การวิเคราะห์ความหนาของข้าวแผ่นกรอบ

นำผลิตภัณฑ์มาวัดความหนาด้วยเวอร์เนียร์มิเตอร์ ทำการวัด 20 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.11 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

นำตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบมาหาปริมาตรด้วยการแทนที่ด้วยงา คำนวณหาค่าความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะของตัวอย่าง ตามวิธีการดังภาคผนวก ข

3.3.12 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ

นำตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบมาทดสอบวิเคราะห์โดยใช้แรงกด (compression force) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XT plus, Stable Micro System, Surrey, UK) โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องคือ Texture Expert Version 1.22 (Stable Micro System Ltd.: Registered by Charpa Teccenter) โดยใช้หัววัด P0.25S ซึ่งแสดงในภาพที่ 19 (ข) ทำการตั้ง

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เป็น pre-test speed = 2.0 mm/s, test speed = 1.0 mm/s, post-test speed = 10.0 mm/s, distant = 25.0% นำตัวอย่างวางไว้บนฐานวัดสี่เหลี่ยมที่มีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. เพื่อให้หัวกดทะลุผ่านผลิตภัณฑ์ได้ ทำการวัด 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคือ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดให้แตก

3.3.13 การวิเคราะห์ค่าสีของข้าวแผ่นกรอบ

นำผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบมาทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี colorimeter (Gardner, Germany) แสดงผลเป็นค่า L*, a*, b* ค่าดัชนีความขาว (whiteness index) และค่า color difference (ΔE) ทำการวัด 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.3.14 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบที่เคลือบน้ำมันและสารปรุงรสซึ่งมีการเติมสารพรีไบโอติกชนิดเดียวกันที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี hedonic 9-scale scoring กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ก หลังจากที่ได้ตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุดในแต่ละชนิดของสารพรีไบโอติกแล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเปรียบ เทียบกับตัวอย่าง control โดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี hedonic 9-scale scoring กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ก

3.3.15 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) และปริมาณฟรุคแทนส์ (fructans) ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกชนิด FOS ในปริมาณ 18%

นำตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกชนิด FOS ที่ปริมาณ 18% ซึ่งได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหาร (total dietary fiber) และ ปริมาณ fructans (inulin + oligofructose) ที่ห้องปฏิบัติการสถาบันโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม ซึ่งรายละเอียดของวิธีการทดสอบและรายงานผลทดสอบจากสถาบันโภชนาการดังแสดงไว้ในภาคผนวก ช

3.3.16 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบรสชาติออริจินอล (thin rice cracker : original flavour) ซึ่งประกอบไปด้วย - ข้าวแผ่นกรอบ 87%

- plam oil with vitamin E 600 ppm 6%
- ผงปรุงรสชาติ ออริจินอล 7%

โดยข้าวแผ่นกรอบมีทั้งหมด 2 ตัวอย่างเปรียบเทียบกันได้แก่ ข้าวแผ่นกรอบ control และ ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติก FOS 18% ขนาดบรรจุ 30 กรัม บรรจุในถุงพลาสติกใส ซึ่งมีการลามิเนตโดยประกอบไปด้วย OPP (oriented polypropylene) 30/ PE (polyethylene) 15/ CPP (cast polypropylene) 20 micron เก็บตัวอย่างในสภาวะเร่งในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่มีค่า relative humidity (RH) 75% ภายในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แล้วทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คือ ปริมาณความชื้นและค่า a_w และคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือการทดสอบความชอบด้วยวิธี hedonic-9 scale scoring พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คนและแบบสอบถามตามภาคผนวก ก เสิร์ฟตัวอย่างทีละ 1 ตัวอย่าง ผู้ทดสอบจะได้รับข้าวแผ่นกรอบ 1 ชิ้น ต่อตัวอย่าง และให้รับประทานน้ำเปล่าคั่นระหว่างตัวอย่าง ทำการทดสอบทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 84 วัน

3.3.17 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์(completely randomized design, CRD) โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบใช้แผนการทดสอบแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized completely block design, RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของโด ข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ

4.1.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting property) ของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ resistant starch (RS), inulin, fructo-oligosaccharide (FOS) และส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบ

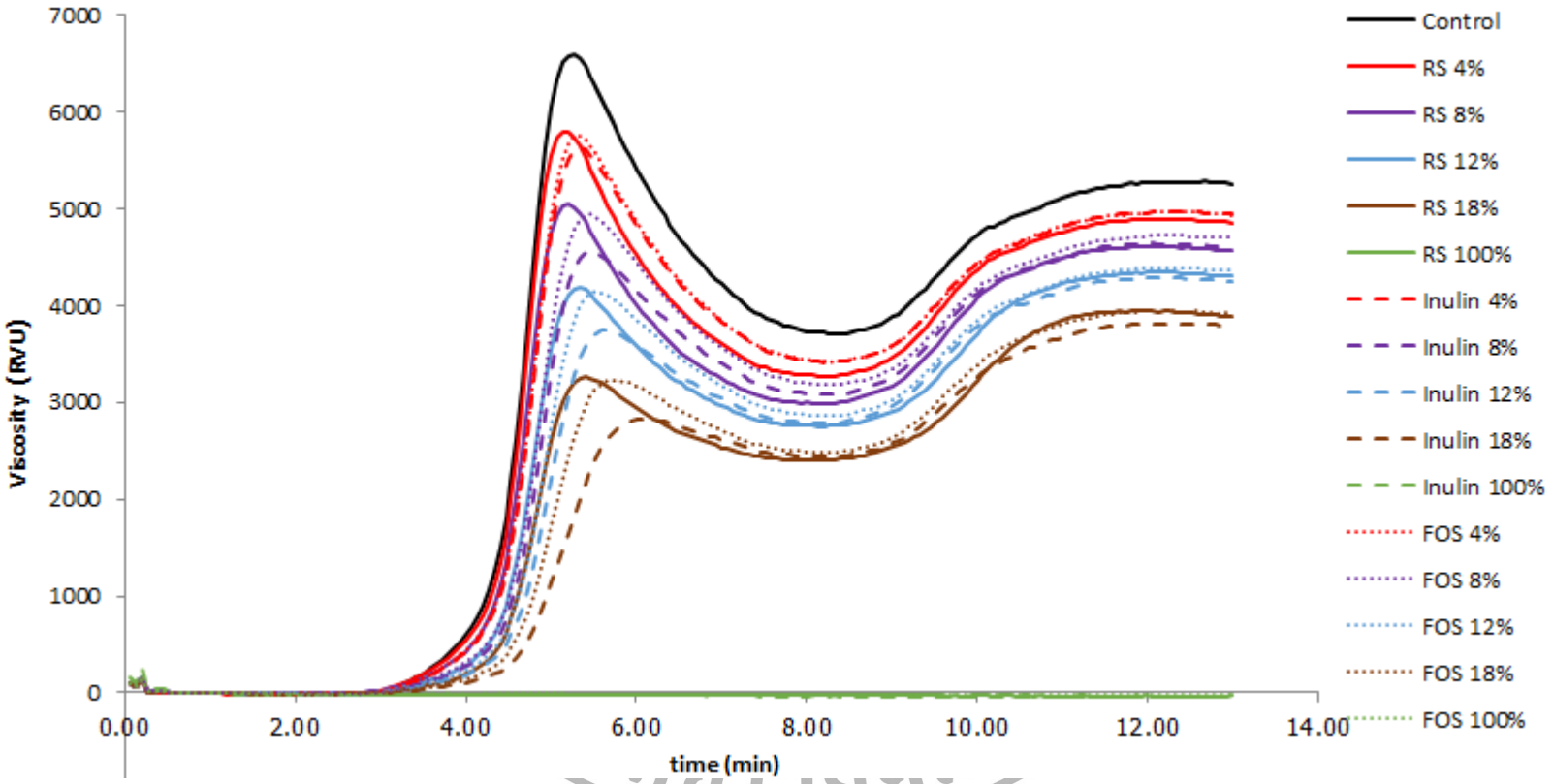
จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกดังแสดงในภาพที่ 21 และตารางที่ 7 พบว่าตัวอย่าง control ที่ไม่มีการเติมสารพรีไบโอติก จะให้ค่าความหนืดต่างๆได้แก่ความหนืดสูงสุด(peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดลดลง (breakdown) และความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูงที่สุด เนื่องจากเมื่อมีการให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีการพองตัวมากขึ้น พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย ทำให้มีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งที่แตกสลายโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่ละลายหรือกระจายออกมาอยู่ในสารละลาย ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้น เพราะโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง (กล้าณรงค์, 2546) เมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวด้วยใยอาหารพรีไบโอติกจะทำให้ค่าความหนืดต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณใยอาหารพรีไบโอติกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากใยอาหารเพียงอย่างเดียว (100%) ไม่ให้ความหนืด ดังนั้นความหนืดของส่วนผสมจึงมีที่มาจากแป้งข้าวเท่านั้น การทดแทนแป้งข้าวด้วยสารพรีไบโอติกจึงมีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมลดลง โดย inulin ทำให้ความหนืดส่วนผสมลดลงมากที่สุด รองลงไปคือ FOSและRS ตามลำดับ ส่วนค่าการคืนตัว (setback) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในขณะที่อุณหภูมิการให้ความหนืด (pasting temperature) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเติมสารพรีไบโอติกที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การให้ความหนืด บ่งชี้ว่าสารพรีไบโอติกมีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวให้ความหนืดหรือการเกิดเจลาติไนเซชันได้ยากขึ้น

ตารางที่ 7 ค่าจากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	Peak Viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak Time (นาที)	Pasting Temperature (ºC)
Control	549.70±11.84^{a}	309.41±2.95^{a}	240.29±8.90^{a}	438.25±0.59^{a}	128.84±2.35^{ab}	5.24±0.05^{gh}	89.95±0.57^{f}
RS 4%	483.84±2.24^{b}	272.54±5.13^{c}	211.29±2.88^{b}	404.25±4.24^{c}	131.70±0.88^{a}	5.17±0.05^{h}	90.38±0.04^{f}
RS 8%	420.29±9.96^{c}	248.96±2.18^{f}	171.33±7.78^{d}	380.25±5.42^{e}	131.29±3.24^{a}	5.20±0.00^{gh}	90.30±0.00^{f}
RS 12%	348.71±2.18^{e}	229.42±2.24^{h}	119.29±0.06^{fg}	358.38±1.59^{fg}	128.96±0.65^{ab}	5.33±0.00^{efg}	91.98±0.04^{d}
RS 18%	273.04±3.95^{g}	200.50±0.11^{i}	72.54±3.83^{hi}	323.88±2.54^{h}	123.38±2.41^{cde}	5.40±0.10^{def}	93.18±0.53^{c}
RS 100%	-	-	-	-	-	-	-
Inulin 4%	469.96±17.27^{b}	284.46±1.36^{b}	185.50±15.91^{c}	412.04±3.83^{b}	127.58±2.47^{abc}	5.34±0.09^{efg}	91.58±0.60^{de}
Inulin 8%	381.46±4.77^{d}	256.21±8.43^{e}	125.25±3.65^{f}	383.50±3.54^{e}	127.29±4.89^{abc}	5.47±0.09^{de}	93.13±0.60^{c}
Inulin 12%	311.96±6.77^{f}	232.04±0.53^{gh}	79.92±6.24^{h}	353.96±1.59^{g}	121.92±1.06^{de}	5.64±0.05^{c}	94.78±0.53^{b}
Inulin 18%	235.38±0.88^{h}	202.96±1.12^{i}	32.42±2.00^{i}	316.09±1.53^{i}	113.12±0.42^{f}	6.00±0.00^{a}	94.48±0.18^{b} -
Inulin 100%	-	-	-	-	-	-	-
FOS 4%	479.88±2.30^{b}	284.50±3.89^{b}	195.38±6.19^{c}	411.54±4.65^{b}	127.29±0.76^{abc}	5.30±0.04^{fg}	91.15±0.07^{e}
FOS 8%	412.20±0.18^{c}	265.00±1.53^{d}	147.21±1.36^{e}	391.75±2.01^{d}	126.75±0.47^{abcd}	5.44±0.05^{def}	92.85±0.07^{c}
FOS 12%	346.12±1.35^{e}	238.38±4.31^{g}	107.75±5.66^{g}	363.54±3.24^{f}	125.17±1.06^{bcd}	5.50±0.04^{d}	93.58±0.04^{c}
FOS 18%	269.38±1.94^{g}	207.04±1.94^{i}	62.33±3.89^{i}	325.92±1.06^{h}	118.88±0.88^{e}	5.77±0.05^{b}	95.58±0.11^{a}
FOS 100%	-	-	-	-	-	-	-

a, b, c, ...

ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ทำข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของโด

โดที่เตรียมจากแป้งข้าวและมีการปรับปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 40-45 เมื่อนำมาหาค่าความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นของโดที่ไม่มีการเติมสารพรีไบโอติกและโดที่มีการเติม RS, inulin และ FOS จะมีปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณความชื้นของโด* ที่เตรียมได้ในกระบวนการผลิตข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)
Control	43.10±0.36^{ef}
RS 4%	44.83±0.15^{a}
RS 8%	44.67±0.15^{a}
RS 12%	44.77±0.21^{a}
RS 18%	44.07±0.35^{bc}
Inulin 4%	43.70±0.26^{cd}
Inulin 8%	43.47±0.25^{de}
Inulin 12%	42.90±0.10^{f}
Inulin 18%	44.07±0.40^{bc}
FOS 4%	44.77±0.25^{a}
FOS 8%	44.80±0.10^{a}
FOS 12%	44.40±0.20^{ab}
FOS 18%	43.03±0.15^{ef}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* การวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องนาบหาความชื้น (heat-plate) ตามวิธีของเอกสารอ้างอิงเลขที่ PD-W-813 ใน pilot-plant ของบริษัทนำเชา (ประเทศไทย) จำกัด

4.1.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโด

ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของโด (ตารางที่ 9) จะได้ค่า hardness และค่า stickness จากการวิเคราะห์จะพบว่าโดที่มีการเติม inulin 4, 8, 12และ18% จะมีค่า hardness สูงกว่าcontrol ที่สุด ขณะที่ค่า hardness ของโดที่มีการเติม RS 8, 12และ18% มีค่าใกล้เคียงกับ control โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ ค่า stickness ของโดยโดที่มีการเติม FOS 4, 8 ,18 และ inulin 4% มีค่าใกล้เคียงกับ control โดยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างอื่นๆที่มีการเติมสารพรีไบโอติกมีค่า stickiness ของโดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แม้ว่าการเติมสารพรีไบโอติกจะมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของโดเปลี่ยนไปแต่โดก็ยังสามารถใช้กับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบได้ทุกตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 9 ค่า hardness และค่า stickiness ของโดที่เตรียมในกระบวนการผลิตข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	Hardness (N)	Stickiness (Ns)
Control	4.73±0.31^{e}	0.56±0.15^{f}
RS 4%	4.09±0.19^{g}	0.78±0.09^{cd}
RS 8%	4.56±0.20^{ef}	0.89±0.21^{c}
RS 12%	4.81±0.38^{e}	0.89±0.10^{c}
RS 18%	4.60±0201^{ef}	0.85±0.16^{cd}
Inulin 4%	6.20±0.40^{b}	0.49±0.14^{f}
Inulin 8%	6.29±0.46^{b}	0.85±0.15^{cd}
Inulin 12%	7.03±0.27^{a}	1.37±0.17^{b}
Inulin 18%	7.29±0.42^{a}	1.76±0.22^{a}
FOS 4%	4.38±0.25^{f}	0.63±0.15^{ef}
FOS 8%	5.14±0.27^{d}	0.62±0.07^{ef}
FOS 12%	5.67±0.37^{c}	0.74±0.06^{de}
FOS 18%	5.28±0.23^{d}	0.57±0.01^{f}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.4 การวิเคราะห์ขนาดและความหนาของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ

ขนาดความยาวและความหนาของข้าวแผ่นอบแห้งและผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบแสดงไว้ในตารางที่ 10 จะพบว่าความยาวของตัวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบเกือบทุกตัวอย่างจะใกล้เคียงกัน แต่ความหนาของข้าวแผ่นกรอบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าข้าวแผ่นอบแห้งเพราะเกิดจากการพองตัวขยายตัวในแนวตั้งมากกว่าแนวราบของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านความร้อน โดยชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกมีผลต่อความยาวและความหนา ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกจะมีแนวโน้มของค่าความยาวและความหนาลดลงเมื่อเติมปริมาณสารพรีไบโอติกที่มากขึ้นยกเว้นข้าวแผ่นกรอบที่มีการใช้ inulin 4% FOSตั้งแต่ 8% ขึ้นไปจะมีความยาวเฉลี่ยสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 10 ความยาวและความหนาโดยเฉลี่ยของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง		ข้าวแผ่นอบแห้ง		ข้าวแผ่นกรอบ	
		ความยาวเฉลี่ย (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)	ความยาวเฉลี่ย (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)
Control		46.41±0.56^{ab}	1.14±0.11^{d}	46.49±0.90^{cd}	3.97±0.06^{a}
RS	4%	46.74±0.62^{a}	1.19±0.11^{cd}	46.45±0.67^{cd}	3.85±0.14^{b}
	8%	46.15±0.59^{bc}	1.29±0.11^{b}	45.71±0.48^{e}	3.71±0.16^{c}
	12%	45.92±0.22^{cd}	1.23±0.13^{bc}	45.04±0.62^{f}	3.56±0.13^{d}
	18%	44.71±0.71^{e}	1.25±0.12^{bc}	43.83±0.58^{g}	3.69±0.11^{c}
inulin	4%	46.23±0.54^{bc}	1.45±0.14^{a}	48.39±1.18^{b}	3.87±0.16^{b}
	8%	46.28±0.63^{bc}	1.28±0.13^{bc}	46.73±0.67^{c}	3.74±0.13^{c}
	12%	45.91±0.47^{cd}	1.39±0.21^{a}	46.87±0.50^{c}	3.89±0.14^{b}
	18%	46.36±0.54^{ab}	1.25±0.10^{bc}	46.11±0.52^{de}	3.67±0.12^{c}
FOS	4%	46.22±0.70^{bc}	1.39±0.07^{a}	46.48±0.82^{cd}	3.85±0.15^{b}
	8%	45.85±0.76^{cd}	1.30±0.11^{b}	48.13±0.64^{b}	3.69±0.13^{c}
	12%	45.66±0.37^{d}	1.39±0.12^{a}	48.47±1.04^{b}	3.67±0.15^{c}
	18%	46.40±0.63^{ab}	1.29±0.13^{b}	51.04±0.86^{a}	3.38±0.14^{e}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

จากตารางที่ 11 ค่าความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะจะแปรผกผันกัน คือตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาตรจำเพาะต่ำ ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างนั้นมีการพองตัวน้อย โดยการเติมสารพรีไบโอติก มีผลทำให้ข้าวแผ่นกรอบส่วนใหญ่มีแนวโน้มพองตัวน้อยลงตามปริมาณการเติมที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นมากกว่าและปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมยกเว้นการเติม inulin 8% และ FOS 18% ที่มีความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะของข้าวแผ่นกรอบไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 11 ความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะของข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ข้าวแผ่นกรอบ	
	ความหนาแน่น (g/ml)	ปริมาตรจำเพาะ (ml/g)
Control	0.39±0.02^{de}	2.58±0.15^{abc}
RS 4%	0.44±0.07^{bcd}	2.28±0.31^{cdef}
RS 8%	0.44±0.03^{bcde}	2.31±0.18^{cde}
RS 12%	0.52±0.02^{ab}	1.93±0.08^{ef}
RS 18%	0.54±0.02^{a}	1.87±0.06^{f}
Inulin 4%	0.42±0.03^{cde}	2.38±0.12^{bcd}
Inulin 8%	0.35±0.03^{e}	2.85±0.26^{a}
Inulin 12%	0.45±0.03^{bcd}	2.24±0.14^{cdef}
Inulin 18%	0.49±0.05^{abc}	2.07±0.22^{def}
FOS 4%	0.39±0.02^{de}	2.56±0.10^{abc}
FOS 8%	0.42±0.06^{cde}	2.40±0.30^{bcd}
FOS 12%	0.44±0.11^{bcde}	2.36±0.52^{bcde}
FOS 18%	0.36±0.21^{de}	2.77±0.15^{ab}

a, b, c, ...

ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และ ค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ

ปริมาณความชื้นและค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพและความปลอดภัยระหว่างเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ จากตารางที่ 12 พบว่าปริมาณความชื้นและค่า a_w มีความสัมพันธ์กัน คือตัวอย่างที่มีความชื้นสูงก็จะมีค่า a_w สูงด้วย นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมใยอาหารพรีไบโอติก inulin ตั้งแต่ 8% ขึ้นไปและ FOS ตั้งแต่ 4% ขึ้นไป มีปริมาณความชื้นและค่า a_w สูงกว่าข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมใยอาหารพรีไบโอติก (control) และข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมใยอาหารพรีไบโอติก RS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ inulin และ FOS มีสมบัติการดูดความชื้นได้มากกว่า RS

ตารางที่ 12 ปริมาณความชื้น* ของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	a_w
Control	2.20±0.04^{h}	0.110±0.00^{fg}
RS 4%	2.25±0.03^{gh}	0.052±0.01^{i}
RS 8%	2.13±0.01^{i}	0.052±0.00^{i}
RS 12%	2.31±0.03^{g}	0.073±0.01^{h}
RS 18%	2.62±0.06^{f}	0.077±0.00^{h}
Inulin 4%	3.32±0.02^{e}	0.107±0.01^{g}
Inulin 8%	3.46±0.02^{d}	0.125±0.00^{e}
Inulin 12%	3.70±0.04^{c}	0.128±0.01^{e}
Inulin 18%	3.73±0.03^{bc}	0.147±0.01^{d}
FOS 4%	3.27±0.01^{e}	0.114±0.00^{ef}
FOS 8%	3.87±0.07^{a}	0.164±0.01^{c}
FOS 12%	3.79±0.03^{b}	0.181±0.02^{b}
FOS 18%	3.93±0.02^{a}	0.221±0.01^{a}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* หาปริมาณความชื้นด้วยวิธีของ AOAC (2000) ด้วย hot-air oven

4.1.7 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบเมื่อวัดเป็นค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก (ตารางที่ 13) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเติม RS ตั้งแต่ 8% ขึ้นไปทำให้ข้าวแผ่นกรอบมีค่าแรงกดสูงสุดมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณการเติมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่า RS มีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบมีความแข็งมากขึ้น โดยอาจเกิดจากการที่ RS เกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ช (starch gelatinization) ได้จำกัด มีการสลายตัวของโครงสร้างเม็ดสตาร์ชน้อย ข้าวแผ่นกรอบจึงมีโครงสร้างภายในที่แข็งแรงและมีเนื้อสัมผัสแข็ง ซึ่งตรงข้ามกับการเติม inulin และ FOS ตั้งแต่ 8% ขึ้นไปที่ทำให้ข้าวแผ่นกรอบมีค่าแรงกดสูงสุดลดลงตามปริมาณการเติมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงว่าทั้ง inulin และ FOS มีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบมีความแข็งน้อยลง โดย inulin และ FOS เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ดี อาจไปแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างเจลสตาร์ชแล้วลดความแข็งแรงของโครงสร้างภายในและความแข็งของข้าวแผ่นกรอบลง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 13 ค่าแรงสูงสุดของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าแรงสูงสุด (N)
Control	15.15±1.93^{de}
RS 4%	14.54±1.20^{e}
RS 8%	18.39±1.25^{c}
RS 12%	20.18±1.47^{b}
RS 18%	22.00±2.57^{a}
Inulin 4%	14.63±0.57^{e}
Inulin 8%	12.50±0.94^{f}
Inulin 12%	10.57±1.23^{g}
Inulin 18%	8.31±1.18^{h}
FOS 4%	16.20±2.82^{d}
FOS 8%	12.14±2.30^{f}
FOS 12%	10.28±1.54^{g}
FOS 18%	7.57±1.09^{h}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4.1.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

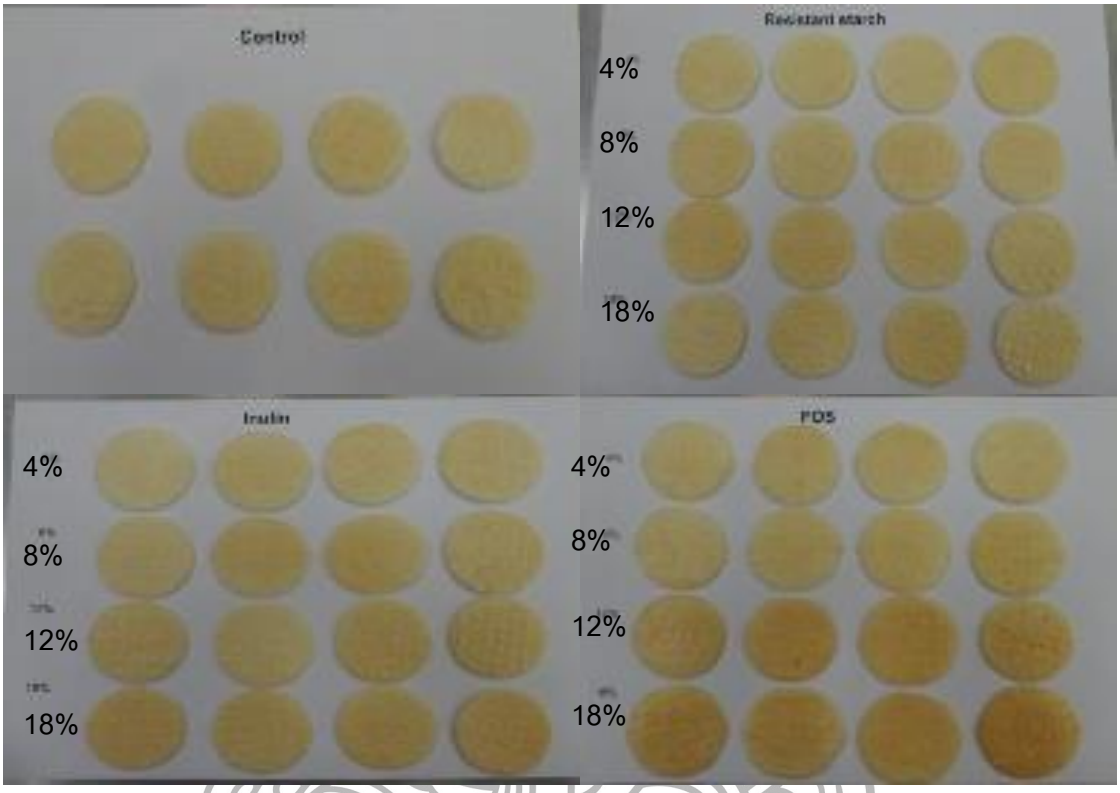
สีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Moreira, 1999) โดยสีของผลิตภัณฑ์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในกระบวนการให้ความร้อน จากค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบในตารางที่ 14 พบว่า การเติม RS ตั้งแต่ 4% ขึ้นไปและ inulin ตั้งแต่ 12% ขึ้นไปทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวแผ่นกรอบสูงขึ้น ในขณะที่การเติม FOS ตั้งแต่ 12% ขึ้นไปทำให้ค่าความสว่างและค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) นอกจากนี้การเติม FOS ตั้งแต่ 12% ขึ้นไปยังทำให้ความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์มากกว่าตัวอย่างสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) อีกด้วย จะเห็นได้ว่า RS และ inulin มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ไม่มากนัก เนื่องจาก RS และ inulin เป็น polysaccharides มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สายโมเลกุลยาว จึงมี reducing ends อยู่น้อย การเกิดปฏิกิริยาของ reducing ends กับ amino groups ของโปรตีนในปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ให้สารสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นน้อย ในขณะที่ FOS ซึ่งเป็น oligosaccharides มีสายโมเลกุลที่สั้นกว่า RS และ inulin จึงมีปลายสายโมเลกุลที่เป็น reducing ends จำนวนมาก จึงเกิดปฏิกิริยาระหว่าง reducing sugars กับโปรตีนในปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากระหว่างกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อน เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบมีสีน้ำตาลเข้มมากที่สุด

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 14 ค่าสี L*, a*, b* และค่าดัชนีความขาวของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกแตกต่างกัน

ตัวอย่าง*	L*	a*	b*	Whiteness Index	ΔE*
Control	78.00±1.46^{fg}	8.99±0.69^{cd}	28.82±1.43^{cde}	62.64±0.08^{cd}	-
RS 4%	81.45±0.94^{ab}	7.74±0.49^{e}	27.18±1.22^{ef}	66.20±1.53^{ab}	10.78±8.23^{b}
RS 8%	82.12±0.96^{a}	8.51±0.53^{de}	27.52±1.35^{def}	66.10±1.66^{ab}	13.03±12.13^{b}
RS 12%	79.59±1.56^{de}	9.76±0.89^{c}	29.60±1.51^{bc}	62.74±2.25^{cd}	7.88±5.08^{b}
RS 18%	82.11±1.59^{a}	8.62±1.19^{de}	29.00±2.34^{cd}	64.84±3.00^{bc}	15.96±14.40^{b}
Inulin 4%	79.97±0.85^{cde}	8.79±0.49^{d}	25.85±0.97^{fg}	66.14±1.25^{ab}	9.35±8.38^{b}
Inulin 8%	77.40±1.73^{g}	10.83±1.15^{b}	28.24±1.71^{cde}	62.24±2.61^{d}	11.14±12.99^{b}
Inulin 12%	81.21±0.49^{abc}	8.43±0.71^{de}	24.91±1.24^{g}	67.68±1.33^{a}	15.78±13.45^{b}
Inulin 18%	80.45±1.19^{bcd}	9.88±0.97^{c}	26.00±1.94^{fg}	66.00±2.37^{ab}	14.51±10.35^{b}
FOS 4%	79.90±1.55^{cde}	8.46±1.02^{de}	27.51±1.79^{def}	64.88±2.36^{bc}	10.20±7.35^{b}
FOS 8%	78.94±1.68^{ef}	9.87±1.77^{c}	28.63±3.10^{cde}	63.09±3.73^{cd}	8.76±7.25^{b}
FOS 12%	73.48±2.07^{h}	13.57±1.42^{a}	31.93±1.44^{a}	56.31±2.55^{e}	31.13±14.94^{a}
FOS 18%	72.48±1.44^{h}	13.25±1.24^{a}	30.83±1.17^{ab}	56.59±1.88^{e}	28.37±11.41^{a}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 22 ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งมีการเติมสารพรีไบโอติกที่มีชนิดและปริมาณแตกต่างกัน

4.1.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

4.1.9.1 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบแบบ Hedonic 9-scale Scoring

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม RS ปริมาณแตกต่างกันในตารางที่ 15 พบว่า คะแนนความชอบในด้านสีและรสชาติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบในด้านอื่นๆมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติม RS ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าการเติม RS ในระดับ 4% ได้คะแนนสูงสุดและไม่แตกต่างจากการเติมที่ระดับ 8% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงสามารถเติม RS ได้สูงสุด 8%

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม RS ในปริมาณแตกต่างกัน

	RS 4%	RS 8%	RS 12%	RS 18%
ลักษณะปรากฏ	6.23±1.17^{ab}	6.30±1.12^{a}	6.20±1.16^{ab}	5.87±1.53^{b}
สี^{ns}	5.93±1.31	6.17±1.18	6.07±1.14	5.77±1.81
เนื้อสัมผัส	5.33±1.79^{a}	4.77±1.48^{ab}	4.43±1.65^{bc}	3.73±1.68^{c}
รสชาติ^{ns}	5.10±1.71	5.23±1.45	4.67±1.71	4.53±1.59
กลิ่นขณะเคี้ยว	5.47±1.31^{a}	5.27±1.34^{ab}	4.97±1.54^{ab}	4.77±1.70^{b}
ความชอบโดยรวม	5.83±1.32^{a}	5.33±1.18^{ab}	5.07±1.51^{b}	4.43±1.65^{c}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

จากผลการทดสอบความชอบของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม inulin ปริมาณแตกต่างกันในตารางที่ 16 พบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม inulin ระดับสูงสุด 18% ไม่ต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบในด้านอื่นๆรวมทั้งความชอบโดยรวมของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงสามารถทำการเติม inulin ได้สูงสุดถึง 18%

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม inulin ในปริมาณแตกต่างกัน

	Inulin 4%	Inulin 8%	Inulin 12%	Inulin 18%
ลักษณะปรากฏ[ns]	6.47±1.11	6.23±1.36	6.33±1.12	6.10±1.12
สี[ns]	6.50±1.14	6.53±1.31	6.40±1.13	6.03±1.13
เนื้อสัมผัส	6.60±1.13[a]	6.13±1.31[ab]	5.97±1.30[b]	6.40±1.04[ab]
รสชาติ[ns]	6.23±1.22	6.23±1.41	6.13±1.20	6.07±1.64
กลิ่นขณะเคี้ยว[ns]	6.33±1.37	6.30±1.32	5.97±1.16	6.13±1.20
ความชอบโดยรวม[ns]	6.60±1.19	6.53±1.31	6.10±1.21	6.23±1.07

[a, b, c, ...] ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

[ns] ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

จากผลการทดสอบความชอบของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS ปริมาณแตกต่างกันในตารางที่ 17 พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติม FOS ระดับสูงสุด 18% ได้คะแนนความชอบในด้านอื่นๆรวมทั้งความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นจึงสามารถเติม FOS ได้สูงสุด 18%

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS ในปริมาณแตกต่างกัน

	FOS 4%	FOS 8%	FOS 12%	FOS 18%
ลักษณะปรากฏ^{ns}	6.03±1.27	5.97±1.27	5.87±1.28	6.43±1.25
สี	5.70±1.37^{b}	6.13±1.41^{ab}	6.30±1.26^{ab}	6.67±1.27^{a}
เนื้อสัมผัส	5.13±1.31^{c}	6.17±1.58^{b}	5.60±1.50^{bc}	7.33±1.15^{a}
รสชาติ	5.37±1.43^{b}	5.63±1.65^{b}	5.63±1.59^{b}	6.93±1.23^{a}
กลิ่นขณะเคี้ยว	5.40±1.25^{b}	5.97±1.50^{b}	6.00±1.64^{b}	6.80±1.42^{a}
ความชอบโดยรวม	5.50±1.22^{c}	6.13±1.28^{b}	6.00±1.39^{b}	7.37±1.25^{a}

a, b, c, ... ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

เมื่อทำการคัดเลือกข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมใยอาหารพรีไบโอติกแตกต่างกัน 3 ชนิด ในปริมาณที่สามารถเติมได้สูงที่สุด (RS 8%, inulin 18% และ FOS 18%) มาทดสอบความชอบเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้ผลดังตารางที่ 18 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเติม FOS 18% ได้คะแนนความชอบในทุกๆด้านของผลิตภัณฑ์สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนการเติม inulin 18% ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าและคะแนนความชอบด้านอื่นๆไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติม RS 8% ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกแตกต่างกัน

	Control	Resistant starch 8%	Inulin 18%	FOS 18%
ลักษณะปรากฏ	5.68±1.60[b]	5.54±1.30[b]	5.54±1.58[b]	6.57±1.20[a]
สี	5.92±1.59[b]	5.68±1.62[b]	5.98±1.57[b]	6.78±1.39[a]
เนื้อสัมผัส	5.06±1.53[c]	4.06±1.49[d]	5.60±1.81[b]	6.90±1.25[a]
รสชาติ	5.22±1.50[b]	4.66±1.93[b]	5.14±1.98[b]	6.06±1.66[a]
กลิ่นขณะเคี้ยว	5.54±1.72[b]	5.18±1.66[b]	5.54±1.54[b]	6.32±1.33[a]
ความชอบโดยรวม	5.66±1.48[b]	4.88±1.55[c]	5.50±1.72[b]	6.96±0.99[a]

a, b, c, ...

ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

4.1.10 ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) และปริมาณฟรุคแทนส์ (fructans) ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกชนิด FOS ในปริมาณ 18%

เมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย(finished product)ที่มีการเติม FOS 18% และมีความชื้นหลังบรรจุ 2.5 % ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) จากรายงานผลทดสอบของสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล เลขที่บริการ: SFC 78/2559 พบว่ามีค่าเท่ากับ 19.63% ซึ่งมีประกอบไปด้วยใยอาหารที่มาจากข้าวประมาณ 2.68% และ ปริมาณฟรุคแทนส์ (frutans) ซึ่งรวมทั้ง inulinและFOS มีค่าเท่ากับ 16.95% ซึ่งข้อมูลมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับปริมาณ FOS ที่เติมลงไปซึ่งได้จากการคำนวณ นอกจากนี้ยังสามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการในส่วนของการเสริมใยอาหาร (enriched fiber) ได้ว่าเป็นแหล่งของใยอาหาร (good source of fiber) และใยอาหารสูง (high fiber) อ้างอิงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 พ.ศ. 2542 เรื่องฉลากโภชนาการ ซึ่งจากผลของปริมาณใยอาหารทั้งหมด 19.63% คิดเป็น %Thai RDI ได้เท่ากับ 23.56% ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงที่ 30 กรัม

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารชนิดต่างๆในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบรสชาติออริจินอล ซึ่งมีการเติม FOS 18%

ชนิดของใยอาหาร	ปริมาณ (g/ 100 g)
Dietary fiber	2.68
Fructans (Inulin + Oligofructose)	16.95
Fructooligosaccharides (GF_2+GF_3+GF_4)	3.71

4.1.11 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

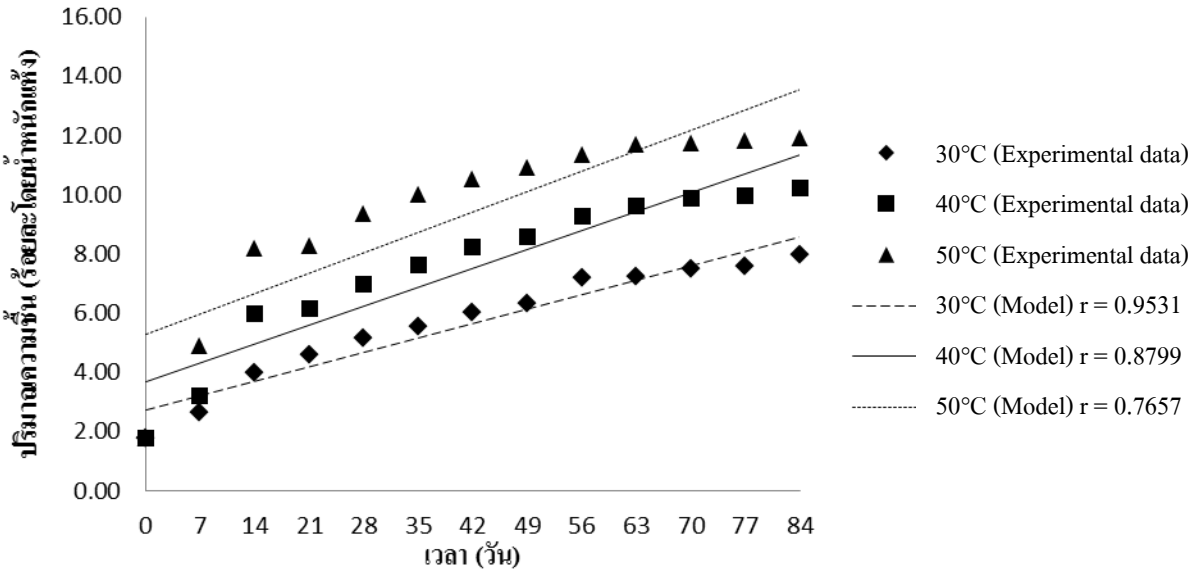
จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารพรีไบโอติกที่เป็นส่วนผสมในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ ได้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุม (control) และสูตรที่มีการเติม FOS 18% มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวแผ่นกรอบรสชาติออริจินอล (thin rice cracker original flavor) บรรจุในถุงพลาสติกใสปริมาณ 30 กรัม เก็บรักษาในสภาวะเร่งในตู้ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติม FOS โดยทำการศึกษาคุณภาพด้านเคมีคือ ปริมาณความชื้น a_w และคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลา 84 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพทางเคมี

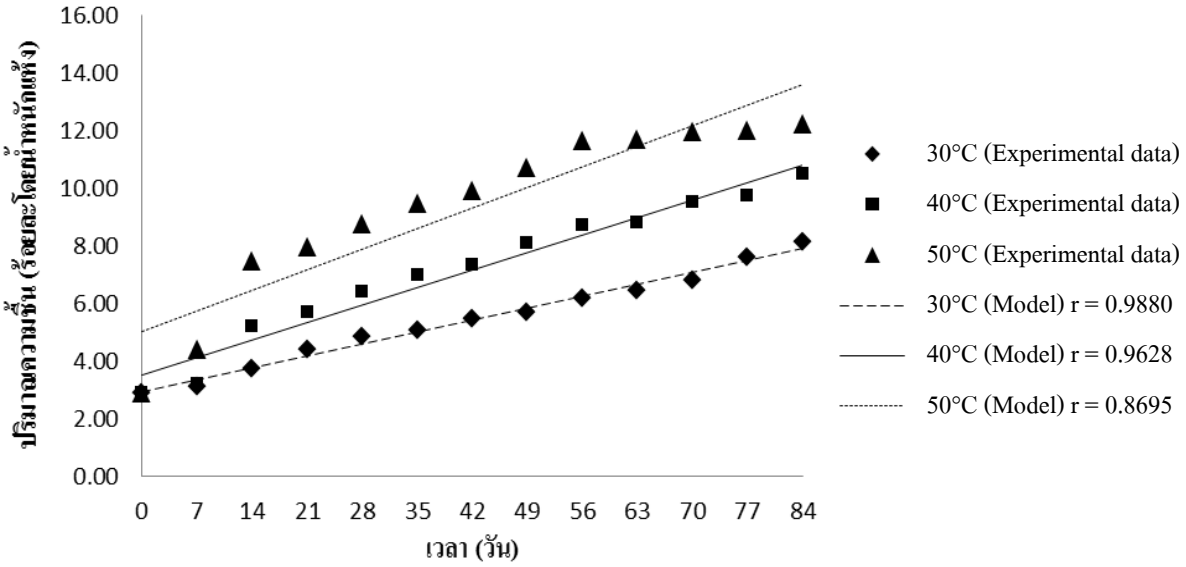
1. ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เมื่อพิจารณาข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใสที่เก็บรักษาในสภาวะเร่ง พบว่าเมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวแผ่นกรอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีค่าต่ำกว่าสูตรที่มีการเติม FOS 18% โดยข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1.76 จากนั้นความชื้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 84 ของการเก็บรักษา โดยที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นร้อยละ 7.97, 10.22 และ 11.91 ตามลำดับ (ภาพที่ 23) และเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 18% พบว่า มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 2.88 และมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 84 โดยมี

ความชื้นร้อยละ 8.13, 10.48 และ 12.23 ตามลำดับ (ภาพที่ 24) การที่ความชื้นของข้าวแผ่นกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่างแผ่นข้าวแผ่นกรอบในกระบวนการผลิตส่งผลให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าความชื้นที่จุดสมดุลกับอากาศภายในภาชนะบรรจุ และเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆข้าวแผ่นกรอบจึงมีการปรับความชื้นให้สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุเมษ (2537) ที่พบว่าอาหารแห้งจะมีการดูดความชื้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวแผ่นกรอบตัวอย่างควมคุม (control) บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวแผ่นกรอบ ที่เติม FOS 18% บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศิลปากร

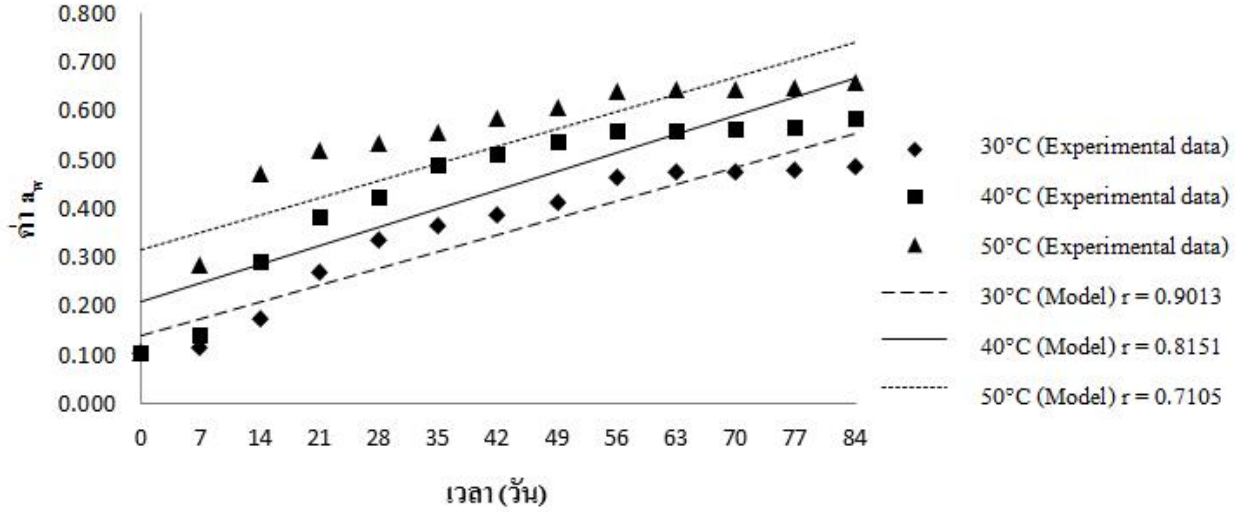
เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วยสมการจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ พบว่ามีค่าคงที่อัตราดังแสดงในตารางที่ 20 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส พบว่าข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 13.94 kJ/mol และมีค่า k_0 เท่ากับ 18.26 ต่อวัน และข้าวแผ่นกรอบสูตรเติม FOS 18 % มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 22.08 kJ/mol และมีค่า k_0 เท่ากับ 393.47 ต่อวัน

ตารางที่ 20 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา

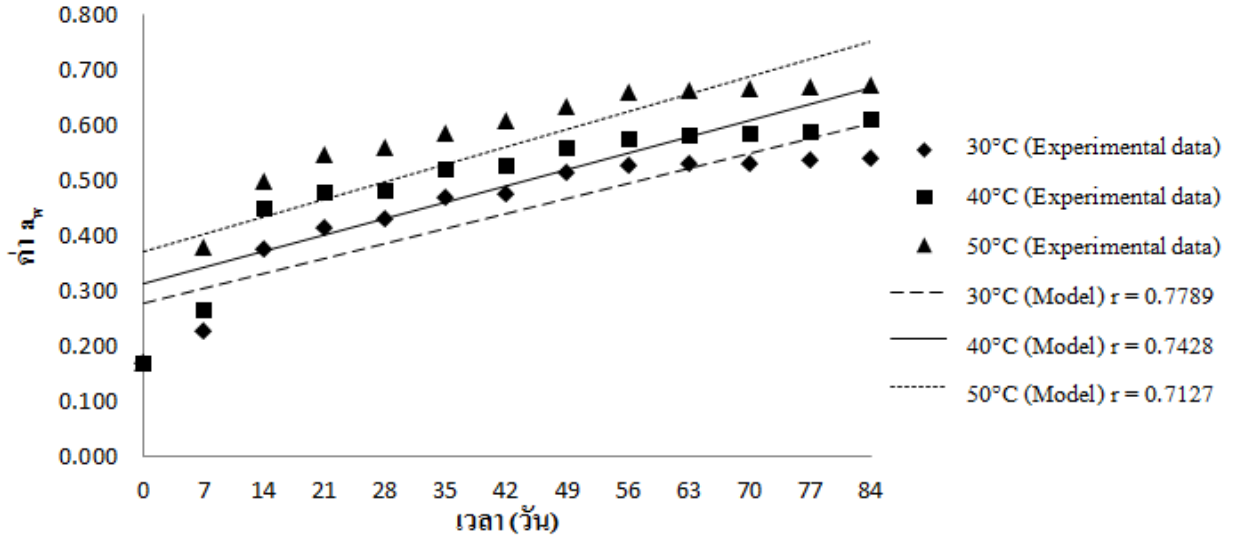
ตัวอย่าง	การบรรจุ	อันดับปฏิกิริยา (n)	k (ต่อวัน) 30 ^{0}C	40 ^{0}C	50 ^{0}C	E_a (kJ/mol)	k_0 (ต่อวัน)
Control	ถุงพลาสติกใส	0	0.0698	0.0912	0.0981	13.94	18.26
FOS 18%	ถุงพลาสติกใส	0	0.0595	0.0869	0.1022	22.08	393.47

2. ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบจะมีค่า a_w สูงขึ้น และ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีค่าต่ำกว่าสูตรที่มีการเติม FOS 18% โดยข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีค่า a_w เริ่มต้นที่ 0 วัน เท่ากับ 0.103 จากนั้นเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 84 วัน ข้าวแผ่นกรอบจะมีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.486, 0.585 และ 0.658 ตามลำดับ (ภาพที่ 25) และในข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 18% จะมีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากับ 0.166 และมีค่า a_w ที่ 84 วันเท่ากับ 0.537, 0.609 และ 0.671 ตามลำดับ (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ (control) บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวแผ่นกรอบ ที่เติม FOS 18% บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วยสมการจลนพลศาสตร์อันดับศูนย์พบว่ามีค่าคงที่อัตราดังแสดงในตารางที่ 21 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ในระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส พบว่าข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 1.49 kJ/mol และมีค่า k_0 เท่ากับ 0.009 ต่อวัน และข้าวแผ่นกรอบสูตรเติม FOS 18% มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 5.93 kJ/mol และมีค่า k_0 เท่ากับ 0.041 ต่อวัน

ตารางที่ 21 ค่าคงที่อัตรา ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส ของการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	การบรรจุ	อันดับปฏิกิริยา (n)	k (ต่อวัน) 30 ^{0}C	40 ^{0}C	50 ^{0}C	E_a (kJ/mol)	k_0 (ต่อวัน)
Control	ถุงพลาสติกใส	0	0.0049	0.0055	0.0051	1.49	0.009
FOS 18%	ถุงพลาสติกใส	0	0.0039	0.0045	0.0042	5.93	0.041

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยคะแนนความชอบ โดยวิธี 9-point hedonic scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับในคุณลักษณะทางด้าน ความกรอบ กลิ่นหืน และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 10 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใสที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 22, 23 และ 24) พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะที่แต่ละอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะมีผลทำให้ร้อยละของการยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบได้นานมากขึ้นกว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเห็นได้จากคะแนนความชอบและร้อยละการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำจะลดลงช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 22 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่าง	ความกรอบ	กลิ่นหืน	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
0 วัน	Control	$6.29^{a} \pm 1.3$	$6.84^{a} \pm 0.9$	$6.52^{a} \pm 1.3$	96.2
	FOS 18%	$6.33^{a} \pm 1.1$	$6.53^{a} \pm 1.1$	$6.59^{a} \pm 1.2$	98.6
14 วัน	Control	$6.63^{a} \pm 1.4$	$6.58^{a} \pm 1.4$	$6.46^{a} \pm 1.1$	84.5
	FOS 18%	$6.15^{a} \pm 1.2$	$6.24^{a} \pm 1.3$	$5.89^{a} \pm 1.4$	89.1
28 วัน	Control	$6.25^{a} \pm 1.1$	$6.84^{a} \pm 1.1$	$7.11^{a} \pm 0.9$	79.4
	FOS 18%	$6.28^{a} \pm 1.3$	$6.41^{a} \pm 1.2$	$6.21^{a} \pm 1.0$	81.2
42 วัน	Control	$6.54^{a} \pm 1.2$	$6.74^{a} \pm 0.8$	$6.22^{a} \pm 1.2$	71.5
	FOS 18%	$6.24^{a} \pm 1.1$	$6.36^{a} \pm 1.0$	$5.79^{a} \pm 1.4$	78.0
56 วัน	Control	$5.59^{a} \pm 0.8$	$6.15^{a} \pm 1.2$	$6.68^{a} \pm 1.1$	57.4
	FOS 18%	$6.38^{a} \pm 1.1$	$6.24^{a} \pm 1.4$	$7.11^{a} \pm 1.5$	74.0
70 วัน	Control	-	-	-	-
	FOS 18%	$5.45^{a} \pm 1.3$	$6.12^{a} \pm 1.1$	$6.35^{a} \pm 1.3$	68.2
84 วัน	Control	-	-	-	-
	FOS 18%	$4.91^{a} \pm 1.2$	$5.11^{a} \pm 1.5$	$5.26^{a} \pm 1.2$	54.5

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-b}$ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงสิ่งทดลองในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 23 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่าง	ความกรอบ	กลิ่นหืน	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
0 วัน	Control	$6.29^{a} \pm 1.3$	$6.84^{a} \pm 0.9$	$6.52^{a} \pm 1.3$	96.2
	FOS 18 %	$6.33^{a} \pm 1.1$	$6.53^{a} \pm 1.1$	$6.59^{a} \pm 1.2$	98.6
14 วัน	Control	$6.35^{a} \pm 1.4$	$6.54^{a} \pm 0.8$	$6.39^{a} \pm 1.0$	74.2
	FOS 18 %	$6.52^{a} \pm 1.0$	$5.97^{a} \pm 1.2$	$6.26^{a} \pm 1.2$	77.6
28 วัน	Control	$5.29^{a} \pm 1.4$	$5.02^{a} \pm 1.2$	$4.59^{a} \pm 1.4$	54.2
	FOS 18 %	$6.26^{a} \pm 1.2$	$6.44^{a} \pm 1.1$	$6.16^{a} \pm 1.1$	74.1
42 วัน	Control	-	-	-	-
	FOS 18 %	$5.24^{a} \pm 1.1$	$4.98^{a} \pm 1.3$	$4.86^{a} \pm 1.0$	56.4

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-b}$ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึงสิ่งทดลองในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 24 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่บรรจุในถุงพลาสติกใส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่าง	ความกรอบ	กลิ่นหืน	ความชอบรวม	ร้อยละการยอมรับ
0 วัน	Control	$6.29^{a} \pm 1.3$	$6.84^{a} \pm 0.9$	$6.52^{a} \pm 1.3$	96.2
	FOS 18%	$6.33^{a} \pm 1.1$	$6.53^{a} \pm 1.1$	$6.59^{a} \pm 1.2$	98.6
14 วัน	Control	$5.37^{a} \pm 1.3$	$5.24^{a} \pm 1.0$	$5.10^{a} \pm 1.2$	54.5
	FOS 18%	$5.21^{a} \pm 1.0$	$5.32^{a} \pm 1.1$	$5.22^{a} \pm 0.8$	58.0

หมายเหตุ ตัวอักษร $^{a-b}$ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึงสิ่งทดลองในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การคำนวณอายุการเก็บรักษา

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ข้าวแผ่นกรอบ สูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติม FOS 18% โดยใช้เกณฑ์การยอมรับของผู้บริโภคที่การยอมรับน้อยกว่าร้อยละ 60 ถือว่าแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นเสื่อมเสียหรือหมดอายุเมื่อพิจารณาจากคุณลักษณะในด้าน ความกรอบ กลิ่นหืน ความชอบรวม จากตารางที่ 22 พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำสุด คือ 30 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบของสูตรที่มีการเติม FOS 18% สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าสูตรควบคุม ซึ่งสามารถเก็บได้ปริมาณ 70 วัน ในขณะที่สูตรควบคุมเก็บได้ประมาณ 42 วัน และจากตารางที่24 พบว่าที่อุณหภูมิสูงสุด คือ 50 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบของสูตรที่มีการเติม FOS 18% และสูตรควบคุมสามารถเก็บได้ประมาณ 14 วันเท่ากัน ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า

จากตารางที่ 25 พบว่าปริมาณความชื้นส่งผลให้ข้าวแผ่นกรอบ ที่บรรจุถุงพลาสติกใสเสื่อมเสียได้เร็วที่สุด โดยการทำนายอายุการเก็บรักษาจากสมการต่อไปนี้

$$t = (C_0-C_{final})/k_0\exp(-E_a/RT) \quad (6)$$

$$t = (\ln(C_{final}-C_0))/k_0\exp(-E_a/RT) \quad (7)$$

k_0 คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (หน่วยต่อวัน)

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

C_0 คิอ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

C_{final} คือ ปริมาณสารสุดท้ายที่ทำให้ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ (ที่ปริมาณความชื้น 6% และค่า a_w 0.4)

โดยมีอายุการเก็บรักษา ของสูตรควบคุมไม่เกิน 58, 49 และ 41 วัน และสูตรที่เติม FOS 18% ไม่เกิน 67, 50 และ 38 วัน ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 25 อายุการเก็บรักษา (วัน) ของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

ค่าคุณภาพ	ตัวอย่าง	ถุงพลาสติกใส		
		30 ^{0}C	40 ^{0}C	50 ^{0}C
ปริมาณความชื้น	Control	58	49	41
	FOS 18%	67	50	38
ค่า a_w	Control	58	57	56
	FOS 18%	85	79	73

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเติมสารพรีไบโอติก 3 ชนิด (RS, inulin และ FOS) ที่ปริมาณความเข้มข้น 4, 8, 12 และ 18% ชนิดของสารและปริมาณที่เติมลงไปมีผลต่อโดและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ พบว่าความชื้นของโดที่ไม่มีการเติมสารพรีไบโอติก และโดที่มีการเติม RS, inulin และ FOS จะมีประมาณความชื้นใกล้เคียงกัน เมื่อนำโดไปผ่านกระบวนการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่เติมสาร FOS มีปริมาณความชื้นและค่า a_w มากที่สุด

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสารพรีไบโอติกพบว่าเมื่อปริมาณของสารพรีไบโอติก inulin และ FOS มากขึ้นจะทำให้ความแข็งลดลง โดยผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 18%ได้ค่าแรงสูงสุดในการกดให้ผลิตภัณฑ์แตกน้อยสุด การพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารพรีไบโอติกเพิ่มมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม RS จะมีค่า hardness มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบคือ เมื่อเติม RS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งขึ้นและความชอบของผลิตภัณฑ์น้อยลง

ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 12% และ18% จะมีค่าดัชนีความขาวต่ำสุด

จากผลในการวิจัยนี้ ใยอาหารพรีไบโอติกที่เหมาะสมสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ คือ inulin และ FOS โดยสามารถเติมได้ถึงร้อยละ 18 โดยที่ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะการเติม FOS ในปริมาณร้อยละ 18 ที่ได้คะแนนความชอบสูงที่สุดและมากกว่าตัวอย่างควบคุม (control)

ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติก FOS 18% สามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการในด้านการเสริมใยอาหาร (enriched fiber) ได้ว่าเป็นแหล่งของใยอาหาร (good source of fiber) และใยอาหารสูง (high fiber)

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาและใช้สมการอาร์เรเนียสในการอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณความชื้นเป็นดัชนีบ่งชี้วัดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุงพลาสติก โดยข้าวแผ่นกรอบสูตรควบคุมสามารถเก็บได้นานไม่เกิน 58, 49 และ 41 วันและสูตรที่เติม FOS 18% ไม่เกิน 67, 50 และ 38 วัน ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 นอกจากข้าวแผ่นกรอบแล้ว ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของบริษัทที่อาจมีการศึกษาการเติมสารพรีไบโอติก ได้แก่ โจ๊ก เครื่องดื่ม หรือ ขนมขบเคี้ยวชนิดอื่นๆ

5.2.2 อาจทำการศึกษาการใช้สารพรีไบโอติกต่างชนิดร่วมกันในผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ

5.2.3 อาจทำการศึกษาสารพรีไบโอติกชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมได้อีก เช่น galacto-oligosaccharide (GOS) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

กุหลาบ สิทธิสวนจิก. 2553. แป้งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์: แป้งเพื่อสุขภาพ. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 10(2): 70-77.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 292 หน้า.

คำรบ สมะวรรธนะ. 2546. ผลของเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าว. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 85 น.

เฉลิมขวัญ ดำคำ, มัลลิกา ชมนาวัง. 2548. คุณรู้จัก Prebiotics แล้วหรือยัง, ว.อาหาร ปีที่ 35 ฉ. 2 เมษายน- มิถุนายน 2548: น. 96-102.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

น้ำฝน ศรีตระจิตต์. 2549. แป้งกล้วยหอมดิบ : การผลิต สมบัติทางฟิสิกส์ เคมีเชิงฟิสิกส์บางประการ และผลิตภัณฑ์. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. ปีที 1 ฉบับที่ 2. หน้า 4-15.

นพมาศ พิมจุฬา. 2547. ผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติข้าวสาร แป้งข้าว และข้าวแผ่นกรอบ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 123 น.

ลัดดาวัลย์ ไกรพานนท์. 2550. การดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าโดยวิธีการให้ความร้อนชื้นร่วมกับวิธีการทางเคมี. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 186 น.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2549. ค่าดัชนีไกลเซมิกของอาหาร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วารสารอาหาร. ปีที 36 ปีที่ 3. หน้า 183-187.

สุพจน์ นวลละออง. 2552. การสกัดสารพรีไบโอติกส์จากพืชเกษตร. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 131 น.

สุพิศา สมโต. 2547. คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทยที่มีรงควัตถุ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 153 น.

สุเมษ เกตุวราภรณ์. 2537. ไม้ผลเบื้องต้น. สาขาผลไม้, สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.

อรรณพ วงศ์ธิติโรจน์. 2537. ขนมทำจากข้าว. เอกสารการประชุมวิชาการ เรื่องศักยภาพข้าวไทย ทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพ ฯ. 100 น.

Atwell, W.A., Hood, L.F., Varriano, D.R., Marston., E and Zobel.,H.F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. Cereal Food World. 33: 306.

Baker, R.C., P.W.Hahn and K.R.Robbins. 1988. Fundamentals of New food Product Development. Elsevier Science Publisher Comp. Inc., New York.

Chang, Y.P., P.B. Cheah and C.C. Seow. 2000. Variations in flexural and compressive fracture behavior of a brittle cellular food (dried bread) in response to moisture sorption. Journal. Texture studies 31: 525 – 540.

Collison, R. 1968. Swelling and gelation of starch, pp. 168-193. *In* Journal. Radley (ed.). Starch and its Derivatives. Chapman and Hall, London.

FAO. 2008. FAO Statistcs Agriculture Data. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.

Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. 1995. Dietary modulation of the human colonie microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. The Jornal of Nutrition. 125: 1401-1412.

Ishwarya, S.P. and Prabhasankar, P. 2013. Fructooligosaccharide – retention during baking and itsinfluence on biscuit quality. Food Bioscience. 4: 68-80.

Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry. 76(5): 629–637.

Juliano , B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-360.

Katz, E.E. and T.P. Labuza. (1981). Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. Journal of Food Science. 46:403-409. Kirk, J.R. (1981). Influence of water activity on stabil

Klaus, N. Englyst, Sophie Vinoy, Hans N. Englyst and Vincent Lang. 2003. Glycaemic Index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly of Aviable glucose. British Journal of Nutrition. 89: 329-339

Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry. 36: 534-544.

Lu, S., Chen, L.N., and Lii, C.Y., 1997. Correlation between the fine structure, physicochemical properties and retrogradation of smylopectins from taiwan rice varieties. Cereal Chemistry. 74(1): 34-39.

Luh, B.S. 1991. Rice, Vol. 2 Utilization. Second Edition. Van Nostrand Reinhold. New York. 413 p.

Maneerote, J., Noomhorm, A., and Takhar, P. S., 2009. Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physico-chemical properties of deep fried rice crackers. *LWT-Food Science and Technology*. 42(4): 805-812.

Manning, T. S. and Gibson, G. R. 2004. Prebiotics. Best Practice and Research. Clinical Gastroentrology. 18: 287-298.

Maribel Ovando-Martinez, Sonia Savyago-Ayerdi, Edith Agama-Acevedo, Isabel Goni, Luis A. Bello-Prez. 2009. Unripe banana flour as an ingredient to increase the Undigestible carbohydrates of pasta. Arch. Food Chemistry 113: 121-126

Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., and Barrufet, M.A., 1999. Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications. Aspen Publication, Maryland. 350 p.

Sakthivel, K., Sundaram, R.M., Shobha Rani, N., Balachandran, S.M., and Neeraja, C.N., 2009. Genetic and molecular basis of fragrance in rice. Biotechnology Advances. 27: 468–473.

Sajilata, M.G., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 2006. Resistant starch: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5: 1-17.

Smith, R.J. 1979. Food Carbohydrate. The AVI Publishing Co., Westort, Connecticut. p. 416.

Rice, J. 2002. Probiotics and prebiotics for healthful benefits (Online). Available: http://www.foodproductdesign.com/archive/2002/0702AP.html. [17 May 2006]

Tuohy, K. M., Probert, H. M., Smejkal, C. W. and Gibson, G. R. 2003. Using probiotics and prebiotics to improve gut health. Drug Discovery Today. 8: 692-700.

Vernazza, C.L., Rabiu, B. A. and Gibson, G.R. 2006. Human Colonic Microbiology and the Role of Dietary Intervention: Introduction to Prebiotics. *In* Prebiotics: Development & Application. (Gibson, G.R. And Rastall, R.A., eds.). p. 1-28. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex.

Warning, S. 1998. Resistant starch in food application. Available from http://www. Foodstarch.com/products_services/pdfs/resistance.pdf

Whistler, R.L. and Johnson, C. 1984. Effect of acid hydrolysis on the retrogradation of amylose. Cereal Chemistry. 25(6): 418-424

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

นิยามศัพท์ลักษณะคุณภาพในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ (Rice Crackers)

ความแข็ง	หมายถึงปริมาณแรงที่ใช้ฟันหน้ากัดจนขนมแตก ทดสอบโดยกัดด้วยฟันหน้า 1 ครั้ง
ความกรอบ	หมายถึงความเปราะของผลิตภัณฑ์ เมื่อเคี้ยวขนม ทดสอบโดยเคี้ยวขนมในปาก
กลิ่น	หมายถึงกลิ่นที่พึงประสงค์ กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อเคี้ยวในปาก
สี	หมายถึงสีที่ปรากฏบนตัวผลิตภัณฑ์ ทดสอบโดยการมอง
รสเค็ม	หมายถึงรสเค็มของผลิตภัณฑ์ เมื่อเคี้ยวในปาก
รสหวาน	หมายถึงรสหวานของผลิตภัณฑ์ เมื่อเคี้ยวในปาก
คุณลักษณะโดยรวม	หมายถึงคุณลักษณะทุกด้านของผลิตภัณฑ์
ความชอบโดยรวม	หมายถึงความชอบของผลิตภัณฑ์ในทุกๆด้านโดยรวม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

แบบสอบถาม

ชื่อ ..... ชุดที่ .....

ผลิตภัณฑ์ แครกเกอร์จากข้าวหอมมะลิ วันที่ .....

กรุณาชิมตัวอย่างแครกเกอร์จากข้าวหอมมะลิต่อไปนี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามความชอบของท่านโดย

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

	รหัสตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
กลิ่นขณะเคี้ยว	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

<u>วิธีการ</u>

1. **การหาปริมาตรความจุของภาชนะ**
   1.1 ชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่า บันทึกค่าน้ำหนักของภาชนะเป็นกรัม (A)
   1.2 เติมน้ำลงในภาชนะในข้อ 1.1 ซึ่งอยู่บนเครื่องชั่ง จนเต็มพอดี บันทึกค่าน้ำหนักรวมของภาชนะและน้ำเป็นกรัม (B)
   1.3 ใช้ช้อนตักน้ำออกจากภาชนะในข้อ 1.2 เล็กน้อย ก่อนยกภาชนะออกจากเครื่องชั่ง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำหกบนเครื่องชั่ง
   1.4 เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำ = $1 g/cm^3$ ดังนั้นน้ำ 1 กรัม มีปริมาตร 1 มิลลิลิตร จึงสามารถหาปริมาตรความจุของภาชนะได้จากสมการ
   ปริมาตรความจุของภาชนะ (มิลลิลิตร) = น้ำหนักของน้ำเต็มภาชนะ (กรัม)= B-A

2. **การหาความหนาแน่นเชิงกลุ่มก้อน (bulk density) ของเมล็ดงา**
   2.1 นำภาชนะเปล่าที่ทราบปริมาตรความจุแล้ว (อาจหาได้จากวิธีในข้อ 1.) ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักของภาชนะเป็นกรัม (C) ยกภาชนะออกจากเครื่องชั่ง
   2.2 นำเมล็ดงาเทใส่ภาชนะเปล่าจากข้อ 2.1 จนล้น ปาดส่วนผสมส่วนเกินออกนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักรวมของภาชนะและส่วนผสมเป็นกรัม (D)
   2.3 คำนวณความหนาแน่นเชิงกลุ่มก้อนจากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นเชิงกลุ่ม (กรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดงา (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของภาชนะ (ลิตร)}}$$

$$= \frac{D-C}{\text{ปริมาตรของภาชนะ}}$$

3. **การหาปริมาตรต่อชิ้นของข้าวแผ่นกรอบโดยการแทนทีเมล็ดงา**

3.1 หาความหนาแน่นเชิงกลุ่มก้อน (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของเมล็ดงาตามวิธีในข้อ 2.

3.2 หาภาชนะที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวชิ้นของข้าวแผ่นกรอบ นำเมล็ดงาเทใส่ภาชนะนั้นจนล้นปาดเมล็ดงาส่วนเกินออก จากนั้นเทเมล็ดงาออกจากภาชนะเพื่อชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักเมล็ดงาเป็นกรัม (X)

3.3 นำภาชนะเปล่าจากข้อ 3.2 มาเติมเมล็ดงาลงไปเล็กน้อย ให้หนาประมาณ 1 เซนติเมตร จากก้นภาชนะ วางชิ้นของข้าวแผ่นกรอบลงไป เติมเมล็ดงาใส่ในภาชนะนั้นจนล้น ปาดเมล็ดงาส่วนเกินออก จากนั้นเททั้งเมล็ดงาและข้าวแผ่นกรอบออกมาจากภาชนะ แยกเอาเฉพาะเมล็ดงามาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักเมล็ดงาเป็นกรัม (Y) หรือชั่งน้ำหนักเมล็ดงาส่วนที่เหลือ (Z)

3.4 คำนวณหาปริมาตรของชิ้นข้าวแผ่นกรอบ (มิลลิลิตร)

$$= \frac{\text{X-Y}}{\text{ความหนาแน่นเชิงกลุ่มก้อนของเมล็ดงา (bulk density)}}$$

หรือ ปริมาตรของชิ้นข้าวแผ่นกรอบ (มิลลิลิตร)

$$= \frac{\text{Z}}{\text{ความหนาแน่นของกลุ่มก้อนของเมล็ดงา (bulk density)}}$$

4. **การหาปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของข้าวแผ่นกรอบ**

4.1 หาปริมาตรของชิ้นผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ตามวิธีในข้อ 3

4.2 นำชิ้นข้าวแผ่นกรอบมาชั่งน้ำหนัก

4.3 คำนวณหาปริมาตรจำเพาะของชิ้นข้าวแผ่นกรอบจากสมการ

ปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ(มิลลิลิตร/กรัม)

$$= \frac{\text{ปริมาตรของชิ้นข้าวแผ่นกรอบ}}{\text{น้ำหนักของชิ้นข้าวแผ่นกรอบ}}$$

ยกตัวอย่างการคำนวณของข้าวแผ่นกรอบ

1. ปริมาตรของภาชนะ เท่ากับ 818.17 มิลลิลิตร และ น้ำหนักของเมล็ดงาเท่ากับ 442.14 กรัม

2. ความหนาแน่นเชิงกลุ่มก้อนของเมล็ดงา หรือ bulk density ของเมล็ดงา (กรัมต่อมิลลิลิตร) =

$$\frac{442.14 \text{ กรัม}}{818.17 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.540 \text{ กรัมต่อมิลลิลิตร}$$

3. ปริมาตรจำเพาะของเมล็ดงา (มิลลิลิตรต่อกรัม) =

$$\frac{818.17 \text{ มิลลิลิตร}}{442.14 \text{ กรัม}} = 1.850 \text{ มิลลิลิตรต่อกรัม}$$

4. Control ซ้ำ 1

น้ำหนักข้าวแผ่นกรอบ 5 ชิ้น = 8.44 กรัม

น้ำหนักเมล็ดงงา + น้ำหนักข้าวแผ่นกกรอบ = 438.01 กรัม

น้ำหนักเมล็ดงา = 429.57 กรัม

ปริมาตรของเมล็ดงา = 797.892 มิลลิลิตร [คำนวณมากจาก 429.57 กรัม x 1.850 มิลลิลิตรต่อกรัม]

ปริมาตรของข้าวแผ่นกรอบ = 23.278 มิลลิลิตร [คำนวณมากจาก 818.17 มิลลิลิตร -797.892 มิลลิลิตร]

ดังนั้น

Bulk density ของข้าวแผ่นกรอบ

$$\frac{8.44 \text{ กรัม}}{23.278 \text{ มิลลิลิตร}} = 0.363 \text{ กรัมต่อมิลลิลิตร}$$

ปริมาตรจำเพาะของข้าวแผ่นกรอบ

$$\frac{23.278 \text{ มิลลิลิตร}}{8.44 \text{ กรัม}} = 2.758 \text{ มิลลิลิตรต่อกรัม}$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ค่าสี

1. การหาค่า Whiteness Index (WI)

$$\text{Whiteness Index} = 100-[(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}]^{1/2}$$

2. การหาค่า color difference (ΔE)

$$\Delta E = (\Delta L^2+\Delta a^2+\Delta b^2)$$

ΔL = ค่าความแตกต่างของค่า L* เทียบกับตัวควบคุม

Δa = ค่าความแตกต่างของค่า a* เทียบกับตัวควบคุม

Δb = ค่าความแตกต่างของค่า b* เทียบกับตัวควบคุม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ง
วิธีการคำนวณปริมาณของสารพรีไบโอติกและปริมาณใยอาหาร

ตารางที่ 26 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของสารพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ (ยกตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติม FOS 18%)

Ingredient	kg/ Batch	Moisture (%)	kg Dry Basis	วิธีคำนวณ kg Dry Basis	% Dry Basis ของข้าวแผ่นกรอบ*	% Dry Basis ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย**	kg น้ำในสูตร	วิธีคำนวณ kg น้ำในสูตร
Rice Flour (mesh 40)	12.13	29	8.61	(12.13*(1-29/100))	78.28	68.11	3.52	(12.13-8.61)
Water (including steam moisture 45 %)	5.41	100						
Rosemary Oleoresin	0.003	0	0.003	(0.003*(1-0/100))	0.03	0.03	0	(0.003-0.003)
FOS -Orafit-P95 from	2.46	3	2.39	(2.46*(1-3/100))	21.69	18.87	0.07	(2.46-2.39)
Total	20.00		11.00		100.00	87.00	3.59	

* ยังไม่ผ่านการเคลือบน้ำมันและผงปรุงรส

** ผ่านการเคลือบน้ำมันและผงปรุงรสแล้ว (น้ำมันและผงปรุงรสรวมคิดเป็น 13.00% Dry Basis)

1. วิธีคำนวณน้ำในสูตร ได้แก่

กรณีที่ต้องการความชื้นของแป้งโด 45%

แป้งโดมี Dry Basis 55 kg จะมีน้ำทั้งหมด 45 kg

จากสูตรด้านบน แป้งโดมี Dry Basis 11 kg จะต้องเติมน้ำทั้งหมด เท่ากับ (11*45)/55 = 9 kg

แต่เนื่องจากเรามีน้ำอยู่ในสูตรมีอยู่ 3.59 kg

ดังนั้นต้องเติมน้ำในสูตรทั้งหมด 9-3.59 = 5.41 kg

2. ในส่วนของผลิตภัณฑ์สุดท้าย หรือ Finished Product จะประกอบไปด้วย

2.1 ข้าวแผ่นกรอบหลังเผา 87% โดยมีส่วนประกอบของ

- Rice Flour
- Posemary Oleoresin
- FOS

2.2 Plam Oil with vitamin E 600 ppm 6%

2.3 Seasoning Original Flavour Powder 7%

3. นำค่าที่ได้จากข้อ 2.1 ไปเข้าฟังก์ชันในการคิดคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อหาค่า Dietary Fiber ตาม function ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 27 Nutrition Facts per 100 g of Thin Rice Cracker (Original Flavour) with FOS 18% (Finished Product*)

Nutrition Facts	Quantity	Amount/Serving	Quantity	%DV*	Amount/Serving	Quantity	%DV*
		Total Fat	6.5 g	10%	Total Carb.	68.2 g	23%
Serving Size	100 g	Sat. Fat	1.56 g	8%	Fibre	18.27 g	73%
Servings about	1.0	Unsat. Fat	4.93 g		Sugars	5.6 g	
Calories (kcal)	352	- Mono Unsat.	2.79 g		Protein	5.3 g	
Fat Cal.	58	- Poly Unsat.	2.14 g		Potassium	25.87 mg	
Percent Daily Values(DV)		Cholest.	0.00 g	0%	Iron	0.01 mg	0%
are based on 2000		Sodium	928 mg	39%			
calorie diet.							
		Vitamin A	0.0 mcg RE	0%			
		Calcium	6.0 mg	1%			

*
Coated with sprayed oil and seasoning powder

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 28 Nutrition Facts of Thin Rice Cracker (Original Flavour) with FOS 18% (Finished Product*)

Nutrition Information	Quantity
Typical Values per	100 g
Energy:	1636 kJ
	352 kcal
Protein:	5.3 g
Carbohydrate	68.2 g
of which Sugars:	5.6 g
Fibre:	18.3 g
Fat:	6.5 g
of which Saturated:	1.6 g
of which Unsaturated:	4.9 g
Sodium:	928 mg

Remark:

* Coated with sprayed oil and seasoning powder

ข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบการคำนวณ

- คุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบต่าง ๆ จาก product specification เป็นหลัก
- คุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบต่าง ๆ จาก website http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/ หรือ จากแหล่งข้อมูลอื่นที่เชื่อถือได้
- คุณค่าทางโภชนาการของข้าวและน้ำมันพืชที่ได้ส่งไปวิเคราะห์ภายนอก

ตารางที่ 29 Nutrition Facts per 100 g of Ingredients and their consumed amounts in Thin Rice Cracker (Original Flavour) with FOS 18% (Finished Product*)

INGREDIENTS (100 g)(Dry basis)	CARB (g)	PROTEIN (g)	FAT (g)	FIBER (g)	SODIUM (g)	SUGAR (g)	CHOLES (g)	Ca (g)	Vit A (g_RE)	K (g)	Fe (g)	CALORI (kcal)	CONSUMED Amount (g)	
White Rice (Mahidol U.Analysis, 2000)	91.48	7.61	0.71	1.12	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	402.74	68.13	87
FOS -Orafti -P95	7.22	0.00	0.00	92.78	0.00	7.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.87	18.87	
Fat & Oil	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	900.00	6.00	13
Salt	0.00	0.00	0.00	0.00	38.84	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	1.84	
Soy Sauce Powder	30.53	12.11	0.00	0.00	22.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.53	0.86	
Flavour Oil	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	900.00	0.01	
Sugar	100.01	0.00	0.00	0.00	0.00	99.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	400.00	4.29	
												SUM	100.00	

*Coated with sprayed oil and seasoning powder

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 30 Nutrition Facts per 100 g of Ingredients and their consumed amounts in Thin Rice Cracker (Original Flavour) with FOS 18%

INGREDIENTS	CALORI/PC	CALORI(FAT) /PC	TOT FAT	TOTAL CHOLES	TOT Na	TOT CARB	TOT FIBER	TOT PROTEIN	TOT SUGAR	TOT Ca	TOT Fe	TOT VIT.A	K
White Rice (Mahidol U.Analysis, 2000)	274.39	4.35	0.48	0.00	0.02	62.33	0.76*	5.18	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03
FOS -Orafti -P95	5.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	17.51**	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Fat & Oil***	54.00	54.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soy Sauce Powder	1.47	0.00	0.00	0.00	0.19	0.26	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flavour Oil	0.09	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sugar	17.16	0.00	0.00	0.00	0.00	4.29	0.00	0.00	4.29	0.00	0.00	0.00	0.00
SUM	352.55	58.44	6.49	0.00	0.93	68.24	18.27	5.29	5.65	0.01	0.00	0.00	0.03

* Total fiber (Dry basis) = %consumed amount x % fiber = $\frac{68.13 \times 1.12}{100} = 0.76\%$

** Total fiber (Dry basis) = %consumed amount x % fiber = $\frac{18.87 \times 92.78}{100} = 17.51\ \%$

ตารางที่ 31 แสดงปริมาณส่วนผสม (wet basis) ใน 1 batch

Treatment	ชนิดสารพรีไบโอติก	ปริมาณส่วนผสมใน 1 batch (kg)				
		แป้งข้าว	สารพรีไบโอติก	น้ำ	Rosemary Oleoresin	รวม
Control (T1)	-	15.49	-	4.51	0.003	20.003
T2	RS 4%	14.64	0.70	4.66	0.003	20.003
T3	RS 8%	13.63	1.58	4.79	0.003	20.003
T4	RS 12%	12.62	2.37	5.01	0.003	20.003
T5	RS 18%	11.08	3.64	5.28	0.003	20.003
T6	Inulin 4%	14.81	0.50	4.69	0.003	20.003
T7	Inulin 8%	14.02	1.08	4.90	0.003	20.003
T8	Inulin 12%	13.23	1.65	5.12	0.003	20.003
T9	Inulin 18%	12.10	2.48	5.42	0.003	20.003
T10	FOS 4%	14.88	0.45	4.67	0.003	20.003
T11	FOS 8%	14.07	1.03	4.90	0.003	20.003
T12	FOS 12%	13.28	1.62	5.10	0.003	20.003
T13	FOS 18%	12.13	2.46	5.41	0.003	20.003

ตารางที่ 32 แสดงปริมาณส่วนผสม (dry basis) ใน 1 batch

Treatment	ชนิดสารพรีไบโอติก	ปริมาณส่วนผสมใน 1 batch (kg)			
		แป้งข้าว	สารพรีไบโอติก	Rosemary Oleoresin	รวม
Control (T1)	-	99.97	-	0.03	100
T2	RS 4%	94.50	5.47	0.03	100
T3	RS 8%	87.66	12.31	0.03	100
T4	RS 12%	81.44	18.53	0.03	100
T5	RS 18%	71.51	28.46	0.03	100
T6	Inulin 4%	95.56	4.41	0.03	100
T7	Inulin 8%	90.45	9.52	0.03	100
T8	Inulin 12%	85.42	14.55	0.03	100
T9	Inulin 18%	78.10	21.87	0.03	100
T10	FOS 4%	96.00	3.97	0.03	100
T11	FOS 8%	90.88	9.09	0.03	100
T12	FOS 12%	85.69	14.28	0.03	100
T13	FOS 18%	78.28	21.69	0.03	100

ภาคผนวก จ
ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2542
เรื่อง ฉลากโภชนาการ

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541

เรื่อง ฉลากโภชนาการ

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดให้มีการแสดงฉลากโภชนาการ เพื่อให้ข้อมูลและความรู้ด้านคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแก่ประชาชน อันเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคทางด้านอาหารและโภชนาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้อาหารดังต่อไปนี้ เป็นอาหารที่ต้องแสดงฉลากโภชนาการ

1.1 อาหารที่มีการกล่าวอ้างทางโภชนาการ

1.2 อาหารที่มีการใช้คุณค่าในการส่งเสริมการขาย

1.3 อาหารที่ระบุกลุ่มผู้บริโภคในการส่งเสริมการขาย

1.4 อาหารอื่นตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนด โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

ข้อ 2 ในประกาศนี้

"อาหารที่มีการกล่าวอ้างทางโภชนาการ" หมายถึง อาหารที่แสดงข้อมูลทางโภชนาการบนฉลากเกี่ยวกับชนิดหรือปริมาณสารอาหาร ปริมาณสารอาหารโดยเปรียบเทียบ หรือหน้าที่ของสารอาหาร แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงอาหารที่มีการกล่าวอ้างทางโภชนาการเพื่อปฏิบัติให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องนั้น ๆ

"อาหารที่มีการใช้คุณค่าในการส่งเสริมการขาย" หมายถึง อาหารที่มีการนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณประโยชน์หรือหน้าที่ของตัวผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบหรือสารอาหารอย่างหนึ่งอย่างใดของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อร่างกายหรือสุขภาพ มาใช้เพื่อประโยชน์ในการส่งเสริมการขาย

"อาหารที่ระบุกลุ่มผู้บริโภคในการส่งเสริมการขาย" หมายถึง อาหารที่มุ่งจะใช้กับกลุ่ม ผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม เช่น กลุ่มวัยเรียน กลุ่มผู้บริหาร กลุ่มผู้สูงอายุ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงอาหารที่มีการระบุกลุ่มผู้บริโภคเพื่อปฏิบัติให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องนั้น ๆ

"สารอาหาร" หมายถึง สารอาหารที่กำหนดไว้ในบัญชีหมายเลข 3 แนบท้ายประกาศฉบับนี้ และให้หมายความรวมถึงพลังงานที่ได้จากสารอาหารด้วย

ข้อ 3 การแสดงฉลากอาหารตามข้อ 1 ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก และต้องแสดงฉลากโภชนาการ โดยปฏิบัติตามประกาศฉบับนี้ด้วย

ข้อ 4 การแสดงฉลากโภชนาการจะต้องแสดงข้อความเป็นภาษาไทย แต่จะมีภาษาต่างประเทศด้วยก็ได้ โดยจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขตามบัญชีแนบท้ายประกาศฉบับนี้ ดังนี้

4.1 บัญชีหมายเลข 1 : รูปแบบและเงื่อนไขของการแสดงกรอบข้อมูลโภชนาการ

4.2 บัญชีหมายเลข 2 : วิธีการกำหนดปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคกับจำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ

4.3 บัญชีหมายเลข 3 : สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่หกปีขึ้นไป

4.4 บัญชีหมายเลข 4 : หลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร

ข้อ 5 ประกาศฉบับนี้ไม่ใช้บังคับกับ

5.1 นมดัดแปลงสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก อาหารทารกและอาหารสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก อาหารเสริมสำหรับทารกและเด็กเล็ก และอาหารอื่นซึ่งได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดในส่วนที่เกี่ยวกับการแสดงสารอาหารบนฉลากไว้แล้วโดยเฉพาะ

5.2 อาหารที่มิได้จำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภคหรืออาหารที่มิได้ผลิตหรือนำสั่งเข้ามาเพื่อจำหน่ายในประเทศ

5.3 อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุย่อย ซึ่งมุ่งหมายจะจำหน่ายรวมกันในภาชนะบรรจุใหญ่

ข้อ 6 ประกาศฉบับนี้

6.1 ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

6.2 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้า ซึ่งอาหารที่ได้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร อาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ฉลากอาหาร อาหารที่ได้รับแจ้งรายละเอียด หรืออาหารที่จะต้องแสดงฉลากโภชนาการตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับนี้ ยื่นคำขอแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือยื่นขออนุญาตใช้ฉลากอาหารตามประกาศฉบับนี้ แล้วแต่กรณี ให้ถูกต้องภายในหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันที่ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับ และเมื่อได้ยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้คงใช้ฉลากนั้นไปพลางก่อนได้จนกว่าจะได้รับอนุญาต หรือถึงวันที่ผู้อนุญาตได้แจ้งให้ทราบถึงการไม่อนุญาตให้ใช้ฉลากนั้นต่อไป

ในการอนุญาตให้ใช้ฉลากใหม่ตามวรรคหนึ่ง ถ้าปรากฏว่าฉลากเดิมที่ได้จัดทำไว้ใช้ก่อนวันที่ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับเหลืออยู่ และไม่ถูกต้องตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับนี้ ผู้อนุญาตจะอนุญาตให้ใช้ฉลากเดิมไปพลางก่อนจนกว่าจะหมดก็ได้แต่ต้องไม่เกินหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับ

ประกาศ ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2541

รักเกียรติ สุขธนะ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับทั่วไป เล่ม 115 ตอนที่ 47 ง. ลงวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ.2541)

บัญชีหมายเลข 2

แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541

วิธีการกำหนดปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคกับจำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ

1. **หนึ่งหน่วยบริโภค** หมายถึง ปริมาณอาหารที่คนไทยปกติทั่วไปรับประทานได้หมดใน 1 ครั้ง ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่ระบุในฉลากโภชนาการเป็นปริมาณอาหารที่ผู้ผลิตแนะนำให้ผู้บริโภครับประทานผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในแต่ละครั้ง หรือเรียกว่า "กินครั้งละ" นั่นเอง

ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคนี้กำหนดได้จากปริมาณ "หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง" ซึ่งเป็นค่าปริมาณอาหารโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้งที่ประมวลได้จากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคและข้อมูลจากผู้ผลิตเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคดังกล่าวอาจไม่เท่ากับปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงก็ได้ แต่จะต้องเป็นค่าที่ใกล้เคียงตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

2. **จำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ** หมายถึง จำนวนครั้งของการบริโภคอาหารนั้นที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยภาชนะบรรจุ

3. **ตารางปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ** เพื่อประโยชน์ในการแสดง "หนึ่งหน่วยบริโภค" ในฉลากโภชนาการ จึงกำหนดปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ โดยจัดเป็น 7 กลุ่ม ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือลักษณะการบริโภคผลิตภัณฑ์ ได้แก่

3.1 กลุ่มนมและผลิตภัณฑ์ (Dairy products)

3.2 กลุ่มเครื่องดื่ม (พร้อมดื่ม) (Beverages)

3.3 กลุ่มอาหารขบเคี้ยวและขนมหวาน (Snack food and desserts)

3.4 กลุ่มอาหารกึ่งสำเร็จรูป (Semi- processed foods)

3.5 กลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery products)

3.6 กลุ่มธัญพืชและผลิตภัณฑ์ (Cereals and grain products)

3.7 กลุ่มอื่น ๆ (Miscellaneous)

3.1 กลุ่มนมและผลิตภัณฑ์ (Dairy products)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	
1.	นมและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม	200	มล.
2.	นมข้นไม่หวาน (นมข้นจืด) (condensed, evaporated, undiluted)	15	มล.
3.	นมข้นหวาน (sweetened, condensed)	20	ก.
4.	โยเกิร์ตชนิดครึ่งแข็งครึ่งเหลว	150	ก.
5.	โยเกิร์ตชนิดพร้อมดื่ม	150	มล.
6.	โยเกิร์ตแช่แข็ง	80	ก.
7.	ครีมและครีมเทียม (เหลว)	15	มล.
8.	ครีมและครีมเทียม (ผง)	3	ก.
9.	ครีมเปรี้ยว	30	ก.
10.	ครีมพร่องมันเนย (half & half)	30	มล.
11.	ครีมชีสและชีสสเปรด	30	ก.
12.	เนยแข็งชนิดคอตเตจ	110	ก.
13.	เนยแข็งชนิดริคอตตาและคอตเตจชนิดแห้ง	55	ก.
14.	เนยแข็งชนิดพาร์มีซาน โรมาโน	5	ก.
15.	เนยแข็งชนิดอื่น	30	ก.

3.2 กลุ่มเครื่องดื่ม (พร้อมดื่ม) (Beverages)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง
1.	น้ำผลไม้	200 มล.
2.	เครื่องดื่มจากพืช ผัก และธัญพืช รวมทั้งนมถั่วเหลือง	
3.	เครื่องดื่มที่มีหรือไม่มีกาซผสมอยู่ (รวมทั้งน้ำบริโภคและน้ำแร่)	
4.	ชา กาแฟ และเครื่องดื่มอื่น ๆ	

3.3 กลุ่มอาหารขบเคี้ยวและขนมหวาน (Snack food and desserts)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	
1.	ข้าวเกรียบ ข้าวโพดคั่ว มันฝรั่งทอด ขนมกรอบ กล้วยฉาบ และ extruded snack ต่าง ๆ	30	ก.
2.	ถั่วและนัต (เช่น ถั่วอบเกลือ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบเกลือ)	30	ก.
3.	ช็อกโกแลตและขนมโกโก้	40	ก.
4.	คัสตาร์ด พุดดิ้ง	140	ก.
5.	ขนมหวานไทย เช่น สังขยา วุ้น ฝอยทอง ทองหยิบ ทองหยอด	80	ก.
6.	วุ้นสำเร็จรูปและขนมเยลลี่	20	ก.
7.	ไอศกรีมนม ไอศกรีมตัดแปลง ไอศกรีมผสม รวมทั้งส่วนเคลือบและกรวย	80	ก.
8.	ไอศกรีมหวานเย็น น้ำผลไม้แช่แข็ง	80	ก.
9.	ไอศกรีมซันเดย์	80	ก.
10.	ลูกอม ลูกกวาด ทอฟฟี่ อมยิ้ม มาร์ชแมลโลว์	6	ก.
11.	หมากฝรั่ง	3	ก.
12.	ขนมที่ทำจากธัญพืช ถั่ว นัต และน้ำตาลเป็นหลัก (Grain-based bars) ทั้งชนิดที่มีและไม่มีไส้หรือเคลือบ เช่น Granola bars, rice cereal bars กระยาสารท ถั่วตัด ข้าวพอง ข้าวแตน นางเล็ด	40	ก.

3.4 กลุ่มอาหารกึ่งสำเร็จรูป (Semi-processed food)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	
1.	บะหมี่ เส้นหมี่ วุ้นเส้น ก๋วยเตี๋ยว ก๋วยจั๊บ	50	ก.
2.	ข้าวต้ม โจ๊ก	50	ก.

3.5 กลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery products)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง
1.	ขนมปัง (Bread)	50 ก.
2.	บราวนี	30 ก.
3.	คุกกี้	30 ก.
4.	เค้ก - ชนิดหนัก เช่น ชีสเค้ก เค้กผลไม้ ซึ่งมีส่วนผสมของผลไม้ นัต ตั้งแต่ 35% ขึ้นไป - คัพเค้ก เอแคลร์ ครีมพัฟ ชิฟฟอน สปันจ์เค้กที่มีหรือไม่มีไอซิ่งหรือไส้	 80 ก. 55 ก.
5.	เค้กกาแฟ โดนัต และมัฟฟิน	55 ก.
6.	ขนมปังกรอบ แครกเกอร์ เวเฟอร์ บิสกิต	30 ก.
7.	แครกเกอร์ที่เป็นกรวยไอศกรีม	15 ก.
8.	แพนเค้ก	110 ก.
9.	วอฟเฟิล	85 ก.
10.	พาย เพสตรี้ ทั้งชนิดที่มีและไม่มีไส้	55 ก.

3.6 กลุ่มธัญพืชและผลิตภัณฑ์ (Cereals and grain products)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง
1.	อาหารเช้าจากธัญพืช (Breakfast cereal) (พร้อมบริโภค) - ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 20 กรัมต่อ 1 ถ้วย - ที่มีน้ำหนักระหว่าง 20 กรัมถึงน้อยกว่า 43 กรัมต่อ 1 ถ้วย - ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 43 กรัมขึ้นไปต่อ 1 ถ้วย	 15 ก. 30 ก. 55 ก.
2.	รำข้าว (Bran) หรือจมูกข้าวสาลี (Wheat germ)	15 ก.
3.	แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งท้าวยายม่อม และ Cornmeal	30 ก.
4.	แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง	10 ก.
5.	พาสต้า (มะกะโรนี สปาเกตตี และอื่น ๆ)	55 ก. (ดิบ) 140 ก. (ต้มสุก) 25 ก. (ทอดกรอบ)
6.	ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เล่ย์	50 ก. (ดิบ) 130 ก. (สุก)

3.7 กลุ่มอื่น ๆ (Miscellaneous)

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	
1.	อาหารที่บรรจุกระป๋อง ขวดแก้วที่ปิดสนิท ซองอลูมิเนียมฟอยล์ retort pouch		
	- เนื้อสัตว์ ปลา หอย ในน้ำ น้ำมัน น้ำเกลือ (ไม่รวมของเหลว)	55	ก.
	- เนื้อสัตว์ ปลา หอย ในซอส เช่น ซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	85	ก.
	- เนื้อสัตว์ ปลา หอย ทอดแล้วบรรจุแบบแห้ง เช่น ปลาเกล็ดขาวทอดกรอบ	25	ก.
	- เนื้อสัตว์ ปลา หอย ทอดแล้วบรรจุกับของเหลว เช่น หอยลายผัดพริก ปลาดุกอุยสามรส	85	ก.
	- ปลาแอนโชวี่	15	ก.
	- ผัก (ไม่รวมของเหลว) เช่น ถั่วฝักยาวในน้ำเกลือ ข้าวโพดอ่อนในน้ำเกลือ	130	ก.
	- ผักหรือถั่วในซอส	130	ก.
	- ผลไม้ (รวมของเหลว)	140	ก.
	- ซุปพร้อมบริโภคและแกงต่าง ๆ	200	ก.
	- ซุปสกัด	40	มล.
	- น้ำกะทิพร้อมบริโภค	80	มล.
2.	เบคอน	15	ก.
3.	ไส้กรอกที่มีอัตราส่วนความชื้น : โปรตีน น้อยกว่า 2 : 1 เช่น กุนเชียง เปปเปอโรนี รวมทั้งเนื้อสวรรค์ หมูสวรรค์	40	ก.
4.	ไส้กรอกชนิดอื่น ๆ และหมูยอ	55	ก.
5.	เนื้อสัตว์แห้ง เช่น หมูหยอง เนื้อทุบ	20	ก.
6.	เนื้อสัตว์ดอง รมควัน	55	ก.
7.	ผักแช่อิ่มหรือดอง (ไม่รวมของเหลว)	20	ก.
8.	ผลไม้แช่อิ่มหรือดอง (ไม่รวมของเหลว)	30	ก.
9.	ผลไม้แห้งและผลไม้กวน	30	ก.
10.	เนย มาการีน น้ำมัน และไขมันบริโภค	1	ชต.
11.	มายองเนส แซนด์วิชสเปรด สังขยาทาขนมปัง เนยถั่ว น้ำพริกเผา	15	ก.
12.	น้ำสลัดชนิดต่าง ๆ	30	ก.
13.	ซอสสำหรับจิ้ม เช่น ซอสมัสตาร์ด	1	ชต.

ลำดับที่	ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	
14.	ซอสที่ใช้กับอาหารเฉพาะอย่าง (entrée sauce)		
	- ซอสสปาเกตตี	125	ก.
	- ซอสพิซซ่า	30	ก.
	- น้ำจิ้มสุกี้	30	ก.
	- น้ำจิ้มไก่ น้ำจิ้มสะเต๊ะ หน้าตั้ง น้ำปลาหวาน	50	ก.
15.	เครื่องปรุงรส		
	- น้ำส้มสายชู น้ำปลา น้ำเกลือปรุงอาหาร	1	ชต.
	- ซอสมะเขือเทศ ซีอิ๊ว ซอสพริก ซอสมะละกอ ซอสแป้ง ซีอิ๊วหวาน เต้าเจี้ยว	1	ชต.
	- ซอสเปรี้ยว	1	ชช.
	- น้ำพริกคลุกข้าว เช่น น้ำพริกตาแดง น้ำพริกสวรรค์	1	ชต.
16.	น้ำผึ้ง แยม เยลลี่	1	ชต.
17.	น้ำเชื่อม เช่น เมเปิลไซรัปและผลิตภัณฑ์ราดหน้าขนมต่าง ๆ	30	มล.
18.	น้ำตาล	4	ก.
19.	เกลือ (รวมทั้งวัตถุทดแทนเกลือ เกลือปรุงรส)	1	ก.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บัญชีหมายเลข 3
แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541

สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป
(THAI RECOMMENDED DAILY INTAKES-THAI RDI)

"มาตรการสำคัญในการดำเนินการปรับปรุงและส่งเสริมให้ประชาชนมีภาวะโภชนาการที่ดี สามารถดำรงสุขภาพอนามัยอย่างสมบูรณ์ คือ การวางแผนจัดการด้านอาหารบริโภค โดยมุ่งให้ประชาชนส่วนรวมของประเทศได้รับอาหารบริโภคประจำวันซึ่งประกอบด้วยสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการอย่างเหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ซึ่งความต้องการอาหารและโภชนาการในระดับบุคคล กลุ่มบุคคล หรือชุมชน จะเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมและองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ประเทศต่าง ๆ จะต้องจัดให้มีแนวทางหรือหลักการในการแนะนำอาหารบริโภคสำหรับประชาชนในประเทศของตน ให้บริโภคอาหารมีคุณค่าสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับความต้องการด้านโภชนาการอย่างแท้จริง..."

กรมอนามัยได้จัดทำ**ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Recommended Daily Dietary Allowances for Healthy Thais)** ซึ่งใช้ชื่อย่อว่า RDA ขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2532 บัญชี RDA นี้กำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทยไว้ รวม 17 ชนิด โดยแบ่งกลุ่มคนไทยเป็นกลุ่มใหญ่ 8 กลุ่มตามอายุและเพศ และเนื่องจากความต้องการสารอาหารบางชนิดแตกต่างกันตามอายุ แต่ละกลุ่มจึงยังมีการแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามระดับอายุอีกด้วย ข้อกำหนดนี้จึงจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีสารอาหารตามความต้องการสำหรับแต่ละกลุ่มโดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามการจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารทั่ว ๆ ไป กำหนดไว้ว่าต้องแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นโดยแจ้งชนิดและปริมาณของสารอาหารที่มี รวมถึงให้แจ้งด้วยว่าปริมาณสารอาหารที่มีนั้นมีอยู่เป็นสัดส่วนเท่าใดของปริมาณที่ผู้บริโภคต้องการต่อวัน และเนื่องจากผู้บริโภคในที่นี้หมายถึงบุคคลทั่วไปตั้งแต่เด็กถึงผู้ใหญ่ จึงจำเป็นจะต้องมีค่าความต้องการสารอาหารต่อวันสำหรับบุคคลทั่วไปนี้เพียงค่าเดียวเป็นค่ากลาง เพื่อใช้สำหรับการคำนวณและเปรียบเทียบ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงได้พิจารณาจัดทำบัญชี**สารอาหารที่แนะนำให้ควรบริโภคประจำวันสำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes – Thai RDI)** นี้ขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการเป็นค่าอ้างอิงสำหรับคำนวณในแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหาร อย่างไรก็ตามค่า Thai RDI ซึ่งเป็นค่ากลางสำหรับคนไทยทั่วไปนั้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรอาหาร ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการกำหนดนโยบายทางโภชนาการกว้าง ๆ สำหรับบุคคลทั่วไป เช่น การเติมสารอาหาร หรือการประยุกต์ใช้อื่น ๆ ได้ตามความเหมาะสมโดยต้องคำนึงด้วยว่าข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับผู้ที่มีสุขภาพปกติ (healthy) มิใช่ผู้ป่วย เด็กทารก หญิงมีครรภ์ หรือกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งมีความต้องการ

ทางโภชนาการต่างไปจากกลุ่มบุคคลปกติ นอกจากนั้น**การได้รับสารอาหารต่าง ๆ ตามที่กำหนดนี้ควรได้รับจากการบริโภคอาหารหลัก 5 หมู่เป็นสำคัญ** เนื่องจากยังมีสารอาหารอื่น ๆ อีกมากในอาหารหลักของเราที่ยังไม่ได้รับการแยกออก และเป็นที่รู้จักเป็นตัวเดี่ยว ๆ แต่ก็มีความสำคัญและจำเป็นต่อระบบการทำงานตามปกติของร่างกาย

สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหาร หรือที่เรียกว่า "ฉลากโภชนาการ" (Nutrition Labeling) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากค่า Recommended Daily Dietary Allowances for Healthy Thais (Thai RDA) โดยเลือกค่าสูงสุดจากค่าที่แนะนำสำหรับคนอายุ 20-29 ปีทั้ง 2 เพศ, ค่า Daily Values (DV), Daily Reference Values (DRV), Reference Daily Intakes (RDI) (หรือค่า US RDA เดิม) ซึ่งกำหนดโดย United States Food and Drug Administration และค่า Nutrient Reference Values (NRV) จาก Codex โดยกำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นระดับที่คนไทย (ผู้ใหญ่) ส่วนใหญ่ที่มีสภาวะทางสุขภาพปกติต้องการ เป็นฐานหรือเป็นตัวเลขกลางในการคำนวณ **เพื่อวัตถุประสงค์ในการแสดงฉลากโภชนาการเท่านั้น** ทั้งนี้ความต้องการพลังงานที่แท้จริงต่อวันของแต่ละบุคคลอาจน้อยหรือมากกว่า 2,000 กิโลแคลอรีได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เพศ และความแตกต่างของระดับการใช้พลังงานทางกายภาพ (physical activity level) ของแต่ละบุคคล

ลำดับที่ (No.)	สารอาหาร (Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai RDI)	หน่วย (Unit)
1.	ไขมันทั้งหมด (Total Fat)	65*	กรัม (g)
2.	ไขมันอิ่มตัว (Saturated Fat)	20*	กรัม (g)
3.	โคเลสเตอรอล (Cholesterol)	300	มิลลิกรัม (mg)
4.	โปรตีน (Protein)	50*	กรัม (g)
5.	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total Carbohydrate)	300*	กรัม (g)
6.	ใยอาหาร (Dietary Fiber)	25	กรัม (g)
7.	วิตามินเอ (Vitamin A)	800	ไมโครกรัม อาร์ อี (µg RE)
8.	วิตามินบี 1 (Thiamin)	1.5	มิลลิกรัม (mg)
9.	วิตามินบี 2 (Riboflavin)	1.7	มิลลิกรัม (mg)
10.	ไนอะซิน (Niacin)	20	มิลลิกรัม เอ็น อี (mg NE)
11.	วิตามินบี 6 (Vitamin B6)	2	มิลลิกรัม (mg)

ลำดับที่ (No.)	สารอาหาร (Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai RDI)	หน่วย (Unit)
12.	โฟเลต (Folate)	200	ไมโครกรัม (µg)
13.	ไบโอติน (Biotin)	150	ไมโครกรัม (µg)
14.	กรดแพนโทธินิค (Pantothenic Acid)	6	มิลลิกรัม (mg)
15.	วิตามินบี 12 (Vitamin B12)	2	ไมโครกรัม (µg)
16.	วิตามินซี (Vitamin C)	60	มิลลิกรัม (mg)
17.	วิตามินดี (Vitamin D)	5	ไมโครกรัม (µg)
18.	วิตามินอี (Vitamin E)	10	มิลลิกรัม แอลฟา-ที อี (mgα-TE)
19.	วิตามินเค (Vitamin K)	80	ไมโครกรัม (µg)
20.	แคลเซียม (Calcium)	800	มิลลิกรัม (mg)
21.	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	800	มิลลิกรัม (mg)
22.	เหล็ก (Iron)	15	มิลลิกรัม (mg)
23.	ไอโอดีน (Iodine)	150	ไมโครกรัม (µg)
24.	แมกนีเซียม (Magnesium)	350	มิลลิกรัม (mg)
25.	สังกะสี (Zinc)	15	มิลลิกรัม (mg)
26.	ทองแดง (Copper)	2	มิลลิกรัม (mg)
27.	โพแทสเซียม (Potassium)	3,500	มิลลิกรัม (mg)
28.	โซเดียม (Sodium)	2,400	มิลลิกรัม (mg)
29.	แมงกานีส (Manganese)	3.5	มิลลิกรัม (mg)
30.	ซีลีเนียม (Selenium)	70	ไมโครกรัม (µg)
31.	ฟลูออไรด์ (Fluoride)	2	มิลลิกรัม (mg)
32.	โมลิบดินัม (Molybdenum)	160	ไมโครกรัม (µg)
33.	โครเมียม (Chromium)	130	ไมโครกรัม (µg)
34.	คลอไรด์ (Chloride)	3,400	มิลลิกรัม (mg)

* ปริมาณของไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ที่แนะนำให้บริโภคต่อวันคิดจากการเปรียบเทียบพลังงานที่ควรได้จากสารอาหารดังกล่าวเป็นร้อยละ 30, 10, 10 และ 60 ตามลำดับของพลังงานทั้งหมดหากพลังงานทั้งหมดที่ควรได้รับต่อวันเป็น 2,000 กิโลแคลอรี
(ไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี, โปรตีน 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี, คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี)

หมายเหตุ 1. สำหรับน้ำตาลไม่ควรบริโภคเกินร้อยละ 10 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้รับต่อวัน

2. คำอธิบายหน่วยของวิตามินเอ ไนอะซิน วิตามินอี และวิตามินดี

2.1 วิตามินเอ RE = Retinol equivalent

1 RE = 1 μg retinol = 6 μg β-carotene = 3.33 IU

2.2 ไนอะซิน NE = Niacin equivalent

1 NE = 1 mg niacin = 60 mg tryptophan

2.3 วิตามินอี α-TE = α-Tocopherol equivalent

1 α-TE = 1 mg D-α-tocopherol = 1.5 IU

2.4 วิตามินดีมีหน่วยเป็น ไมโครกรัม โดยคำนวณเป็น cholecalciferol

1 μg = 40 IU

เอกสารอ้างอิง 1. กรมอนามัย. 2532. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคสำหรับคนไทย

2. Codex Alimentarius. 1993. Codex Guidelines on Nutrition Labelling CAC/GL 2-1985 (Rev.1-1993)

3. U.S. Food and Drug Administration . 1995. Code of Federal Regulations 21 CFR part 101 : Food Labeling.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บัญชีหมายเลข 4

แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541

หลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร

1. **การกล่าวอ้างทางโภชนาการ (Nutrition claim)** หมายถึง การแสดงข้อความหรือข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโภชนาการของอาหารนั้น เช่น การระบุถึงปริมาณของพลังงาน โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ตลอดจนวิตามินหรือเกลือแร่ต่าง ๆ การกล่าวอ้างทางโภชนาการแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การกล่าวอ้างปริมาณสารอาหาร (Nutrient content claim) การกล่าวอ้างปริมาณโดยเปรียบเทียบ (Comparative claim) และการกล่าวอ้างหน้าที่ของสารอาหาร (Nutrient function claim)

1.1 <u>การกล่าวอ้างปริมาณสารอาหาร</u> (Nutrient content claim) คือ การกล่าวอ้างถึงระดับ (level) ของสารอาหารหรือพลังงานในอาหารนั้น เช่น "เป็นแหล่งของแคลเซียม (source of calcium)" "มีปริมาณใยอาหารสูงและไขมันต่ำ (high in fiber and low in fat)" เป็นต้น อย่างไรก็ตาม**ไม่อนุญาตการกล่าวอ้าง "ปราศจาก" หรือ "ต่ำ" หากอาหารนั้นหรืออาหารชนิดนั้นโดยธรรมชาติทั่วไปเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว**โดยมิได้มีการใช้กระบวนการผลิตพิเศษ มีกระบวนการปรับโดยเฉพาะ หรือมีการปรับสูตรเพื่อให้อาหารนั้นมีปริมาณสารอาหารที่จะกล่าวอ้างลดลงจนเป็นไปตามเงื่อนไข เนื่องจากจะทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่าอาหารจากผู้ผลิตนั้นแต่เพียงผู้เดียวที่มีคุณสมบัตินี้ ตัวอย่างเช่น ไม่อนุญาตให้น้ำบริโภคแสดงข้อความ "ปราศจากพลังงาน" หรือ "ไขมันต่ำ" เนื่องจากน้ำบริโภคทั่วไปจากผู้ผลิตทุกรายก็มีคุณสมบัตินี้ด้วย ในทางกลับกัน หากอาหารจากผู้ผลิตรายหนึ่งมีการปรับสูตรหรือใช้วัตถุดิบที่แตกต่างไปจากปกติทั่วไปจนสารอาหารที่จะกล่าวอ้างมีปริมาณที่เป็นไปตามเงื่อนไขแล้ว อาหารนั้นก็สามารถกล่าวอ้างว่า "ปราศจาก" หรือ "ต่ำ" ได้

1.2 <u>การกล่าวอ้างปริมาณโดยเปรียบเทียบ</u> (Comparative claim) เป็นการเปรียบเทียบปริมาณของสารอาหารหรือพลังงานที่มีในอาหารตั้งแต่สองอย่างขึ้นไป ตัวอย่างการกล่าวอ้าง ได้แก่ "น้อยกว่า (less than หรือ fewer)" "มากกว่า (more than)" "ลดปริมาณลง (reduced)" "พลังงานน้อย (lite, light)" "เสริม (added, fortified, enriched)" เป็นต้น ในกรณีกล่าวอ้างปริมาณโดยเปรียบเทียบเช่นนี้ อาหารที่ถูกเปรียบเทียบโดยอาหารที่มีการกล่าวอ้างเรียกว่า "อาหารอ้างอิง" อาหารอ้างอิงสำหรับใช้เปรียบเทียบเพื่อแสดงข้อกล่าวอ้างโดยเปรียบเทียบ อนุญาตได้เพียงสองแบบ คือ อนุญาตให้เปรียบเทียบกับ

(1) ผลิตภัณฑ์สูตรปกติของผู้ผลิตเอง

(2) ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันทั่ว ๆ ไปที่เป็นตัวแทนของอาหารประเภทดังกล่าวที่มีจำหน่ายในประเทศ

ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่เปรียบเทียบจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันหรือคล้ายคลึงกันเท่านั้น เช่น ซอสปรุงรสกับซอสปรุงรส ที่สำคัญคือ **ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างปริมาณโดยเปรียบเทียบหากอาหารอ้างอิงมีสารอาหารหรือพลังงานที่จะเปรียบเทียบนั้น อยู่ในปริมาณที่เป็นไปตามเงื่อนไขของ "ต่ำ" หรือ "น้อยมาก" อยู่แล้ว**

การแสดงข้อกล่าวอ้างโดยเปรียบเทียบจะต้องระบุชื่อชนิดของอาหารอ้างอิงและแสดงการเปรียบเทียบระดับของสารอาหารหรือพลังงานนั้นที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์หรือเศษส่วนเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิง และระบุปริมาณสารอาหารนั้นต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่ระบุที่ฉลากด้วย เช่น การกล่าวอ้าง "ลดโซเดียม" จะต้องกำกับด้วยข้อความว่า "ลดปริมาณโซเดียมลง 50% เทียบกับซอสปรุงรสสูตรปกติ, ซอสปรุงรสชนิดโซเดียมน้อยมีโซเดียม 200 มก. ต่อ 30 มล. ซอสปรุงรสสูตรปกติมีโซเดียม 400 มก. ต่อ 30 มล."

1.3 <u>การกล่าวอ้างเกี่ยวกับหน้าที่ของสารอาหาร</u> (Nutrient function claim) คือ การกล่าวถึงหน้าที่ของสารอาหารที่มีต่อร่างกาย มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้คือ

(1) สารอาหารที่มีการกล่าวอ้างถึง ต้องมีอยู่ในบัญชีสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) ซึ่งเป็นบัญชีหมายเลข 3 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับนี้

(2) ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวอ้างต้องมีสารอาหารนั้นอยู่ในระดับที่จัดว่า "เป็นแหล่งของ" ของสารอาหารนั้นในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง<u>และ</u>ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก สำหรับในกรณีที่ไม่มีการกำหนดค่าหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไว้ และอาหารนั้นไม่มีลักษณะการบริโภคใกล้เคียงกับอาหารที่มีการกำหนดค่าหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไว้ ให้คำนวณต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ 100 กรัม หรือ 100 มิลลิลิตร

(3) การกล่าวอ้างหน้าที่ของสารอาหาร ต้องเป็นการกล่าวถึงสารอาหารตามข้อ 1.3 (1) โดยไม่ใช่การกล่าวอ้างถึงตัวผลิตภัณฑ์เป็นการเฉพาะ

(4) การกล่าวอ้างดังกล่าวต้องมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เชื่อถือได้

(5) การกล่าวอ้างจะต้องไม่มีข้อความระบุหรือมีความหมายให้เข้าใจว่าการบริโภคสารอาหารนั้นจะสามารถป้องกันหรือบำบัดรักษาโรคได้

<u>ตัวอย่างการกล่าวอ้างเกี่ยวกับหน้าที่ของสารอาหาร</u>

"แคลเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน"

"แคลเซียมช่วยในกระบวนการสร้างกระดูกและฟันที่แข็งแรง"

"ไฟเลตเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างเม็ดเลือดแดง"

"วิตามิน บี 1 และวิตามิน บี 12 ช่วยในการทำงานของระบบประสาท"

อนึ่ง ข้อความกล่าวอ้างเกี่ยวกับหน้าที่ของสารอาหารจะต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

2. เงื่อนไขในการกล่าวอ้างทางโภชนาการ

2.1 เกณฑ์การกล่าวอ้างทางโภชนาการประเภทการกล่าวอ้างปริมาณสารอาหาร และการกล่าวอ้างปริมาณโดยเปรียบเทียบตามข้อ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ มีการกำหนดเงื่อนไขไว้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 สำหรับอาหารที่มีการกำหนดปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไว้ตามบัญชีหมายเลข 2 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับนี้ และอาหารที่มีลักษณะการบริโภคใกล้เคียงกับอาหารที่มีการกำหนดปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไว้แล้ว ซึ่งสามารถอนุโลมใช้ค่าปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงตามบัญชีดังกล่าวได้ให้แสดงการกล่าวอ้างทางโภชนาการตามเงื่อนไขในตารางที่ 1 ของบัญชีนี้

อนึ่ง เฉพาะอาหารที่มีปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไม่เกิน 30 กรัม หรือ ไม่เกิน 2 ช้อนโต๊ะ เงื่อนไขในการแสดงข้อกล่าวอ้างตามตารางที่ 1 นี้ ให้คำนวณต่อปริมาณอาหารนั้น 50 กรัม แทนการคำนวณต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและต่อปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก (กรณีที่เป็นอาหารแห้งที่โดยทั่วไปแล้วจะต้องเติมน้ำหรือของเหลวที่มีคุณค่าทางโภชนาการน้อยจนไม่มีนัยสำคัญก่อนจึงจะบริโภค น้ำหนัก 50 กรัมนี้ ให้หมายถึงน้ำหนักอาหารหลังจากที่เติมน้ำหรือของเหลวแล้ว อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดนี้ไม่ใช้บังคับกับเครื่องดื่มแห้ง หรือผลิตภัณฑ์ลักษณะเดียวกัน เช่น นมผง ซึ่งจะใช้ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของเครื่องดื่ม คือ 200 มิลลิลิตรของอาหารหลังเติมน้ำ)

กรณีที่ 2 สำหรับอาหารที่ไม่เป็นไปตามกรณีที่ 1 เท่านั้น ที่จะให้กล่าวอ้างทางโภชนาการโดยคำนวณต่อปริมาณอาหาร 100 กรัม หรือ 100 มิลลิลิตร ตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 2 ของบัญชีนี้

2.2 อาหารที่อยู่ในเกณฑ์ที่จะแสดงการกล่าวอ้างทางโภชนาการตามตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2 ของบัญชีนี้ได้ หรืออาหารที่มีการกล่าวอ้างเกี่ยวกับหน้าที่ของสารอาหารจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มเติมดังนี้ด้วยคือ

<u>สำหรับอาหารในกรณีที่ 1 ของข้อ 2.1</u> หากอาหารนั้นในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก (หรือ ในปริมาณอาหาร 50 กรัม เฉพาะอาหารที่มีปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไม่เกิน 30 กรัม หรือ ไม่เกิน 2 ช้อนโต๊ะ) มีปริมาณ

ไขมันทั้งหมด	มากกว่า 13 กรัม	หรือ
ไขมันอิ่มตัว	มากกว่า 4 กรัม	หรือ
โคเลสเตอรอล	มากกว่า 60 มิลลิกรัม	หรือ
โซเดียม	มากกว่า 360 มิลลิกรัม	

หรือ

<u>สำหรับอาหารในกรณีที่ 2 ของข้อ 2.1</u> หากอาหารนั้นในปริมาณ 100 กรัม หรือ 100 มิลลิลิตร มีปริมาณ

ไขมันทั้งหมด	มากกว่า 13 กรัม	หรือ
ไขมันอิ่มตัว	มากกว่า 4 กรัม	หรือ
โคเลสเตอรอล	มากกว่า 60 มิลลิกรัม	หรือ
โซเดียม	มากกว่า 360 มิลลิกรัม	

การแสดงข้อกล่าวอ้างใดก็ตามจะต้องกำกับด้วยข้อความแสดงปริมาณไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล หรือโซเดียม ที่อยู่ในระดับเกินปริมาณดังกล่าวไว้ติดกับข้อกล่าวอ้างนั้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดหรือเห็นได้ชัดที่สุดบนฉลากด้วย โดยข้อความกำกับนี้จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง

ตัวอย่าง

"โซเดียมต่ำ

ไขมันทั้งหมด 14 กรัมต่อ 200 มิลลิลิตร"

2.3 เงื่อนไขการแสดงข้อความที่เกี่ยวกับสุขภาพ เช่น "เพื่อสุขภาพ (healthy, healthful, healthiness, health)" หรือข้อความในลักษณะเดียวกัน มีดังต่อไปนี้คือ

(1) อาหารนั้นจะต้องเข้าข่ายเงื่อนไขการแสดงข้อความ "ไขมันต่ำ (low fat)" และ "ไขมันอิ่มตัวต่ำ (low saturated fat)" ได้ตามเกณฑ์ในตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2 แล้วแต่กรณี และ

(2) อาหารนั้นในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก หรือในปริมาณ 100 กรัม (หรือ 100 มิลลิลิตร) แล้วแต่ว่าเข้าข่ายในกรณีที่ 1 หรือกรณีที่ 2 ตามข้อ 2.1 จะต้องประกอบด้วย

โซเดียม ไม่เกิน 360 มิลลิกรัม และ

โคเลสเตอรอล ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม และ

วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 โปรตีน แคลเซียม เหล็ก และใยอาหาร อย่างน้อยร้อยละ 10 ของ Thai RDI

หมายเหตุ สำหรับผักสดหรือผลไม้สดให้ยกเว้นข้อกำหนดด้านปริมาณวิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 โปรตีน แคลเซียม เหล็ก และใยอาหาร

2.4 เงื่อนไขอื่น ๆ

หากมีการกล่าวถึงชนิดและปริมาณสารอาหารใดเป็นการเฉพาะบนฉลากนอกกรอบข้อมูลโภชนาการ โดยที่ไม่มุ่งหมายเพื่อเป็นการกล่าวอ้างแต่เพื่อเป็นการแจ้งปริมาณให้ผู้บริโภคทราบ ทั้งนี้รวมถึงการกล่าวถึงชนิดและปริมาณสารอาหารที่เป็นส่วนหนึ่งของชื่ออาหารด้วย โดยที่อาหารนั้นไม่อยู่ในเกณฑ์ที่จะแสดงข้อกล่าวอ้างตามเงื่อนไขได้ ให้ระบุข้อความที่สื่อว่าไม่มีจุดมุ่งหมายในการกล่าวอ้างใด ๆ กำกับข้อมูลปริมาณสารอาหารดังกล่าวไว้ด้วย เช่น "มีโซเดียม 200 มก. ต่อ 30 มิลลิลิตร – ไม่ใช่อาหารชนิดโซเดียมต่ำ"

3. ตัวอย่างการกล่าวอ้างทางโภชนาการ

ตัวอย่างที่ 1 โยเกิร์ตพร้อมดื่ม ยูเอชที ตราตาร์ตาร์ ขนาดบรรจุกล่องละ 180 มิลลิลิตร

อาหารนี้มีผลวิเคราะห์ต่อ 100 มล. ดังนี้ ไขมันทั้งหมด 1.83 ก. ไขมันอิ่มตัว 0.70 ก. โคเลสเตอรอล 0 มก. โซเดียม 36.44 มก.	**คำอธิบาย**
1. ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง คือ 150 มล.	-จากบัญชีหมายเลข 2 ข้อ 3.1 ลำดับที่ 5
2. ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก : 1 กล่อง (180 มล.)	-ถ้าอาหารในภาชนะบรรจุนั้นสามารถบริโภคได้หมดใน 1 ครั้ง ให้ใช้ปริมาณทั้งหมด เช่น 1 กล่อง (บัญชีหมายเลข 2 ข้อ 4.1(2))

	คำอธิบาย
อาหารนี้มีผลวิเคราะห์ต่อ 100 มล. ดังนี้ ไขมันทั้งหมด 1.83 ก. ไขมันอิ่มตัว 0.70 ก. โคเลสเตอรอล 0 มก. โซเดียม 36.44 มก.	
3. โยเกิร์ตพร้อมดื่มนี้ มีการพัฒนาสูตรขึ้นเป็นการเฉพาะ จึงอยู่ในข่ายที่จะแสดงข้อกล่าวอ้าง เช่น ไขมันต่ำ ได้ ถ้าคำนวณแล้วพบว่าอยู่ในเกณฑ์	-ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้าง "ปราศจาก" หรือ "ต่ำ" หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติทั่วไป เป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว (บัญชีหมายเลข 4 ข้อ 1.1)
4. <u>คำนวณ</u>	
4.1 ปริมาณไขมันทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง	-อาหารนี้ เป็นอาหารในข้อ 2.1 กรณีที่ 1 ของบัญชีหมายเลข 4 จึงต้องใช้ตารางที่ 1 ในการคำนวณว่าเป็นไปตามเกณฑ์หรือไม่
= (1.83/100) x 150 = 2.7 กรัม ปัดเศษเป็น <u>3.0 กรัม</u>	-ปัดเศษตามหลักเกณฑ์ในบัญชีหมายเลข 1 ข้อ 2.5 ได้ไขมันไม่เกิน 3 กรัม
4.2 ปริมาณไขมันต่อปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก = (1.83/100) x 180 = 3.3 กรัม ปัดเศษเป็น <u>3.5 กรัม</u>	-ปัดเศษตามหลักเกณฑ์ในบัญชีหมายเลข 1 ข้อ 2.5 ได้ไขมันเกิน 3 กรัม
<u>สรุป</u> โยเกิร์ตพร้อมดื่มนี้ไม่สามารถกล่าวอ้าง "ไขมันต่ำ" ได้	-เงื่อนไขคือ ต้องมีไขมันไม่เกิน 3 กรัม ทั้งต่อหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก (บัญชีหมายเลข 4 ตารางที่ 1)

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> อาหารเช่นเดียวกับ ตัวอย่างที่ 1 แต่มีขนาดบรรจุกล่องละ 150 มิลลิลิตร (เท่ากับหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง)

	คำอธิบาย
1. อาหารนี้จะแสดงข้อกล่าวอ้างว่า "ไขมันต่ำ" ได้ เนื่องจากมีไขมันทั้งหมดไม่เกิน 3 กรัม ทั้งต่อหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง<u>และ</u>ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก	
2. อย่างไรก็ตามต้องตรวจสอบปริมาณไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล และโซเดียม ทั้งต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง<u>และ</u>ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลากเพิ่มเติมด้วย เนื่องจากอาจต้องแสดงข้อความกำกับข้อกล่าวอ้าง	-ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขของบัญชีหมายเลข 4 ข้อ 2.2 ด้วย
ไขมันทั้งหมด (1.83/100) x 150 = 2.7 กรัม ปัดเศษเป็น <u>3.0 กรัม</u>	-ต้องไม่เกิน 13 กรัม
ไขมันอิ่มตัว (0.70/100) x 150 = 1.05 กรัม ปัดเศษเป็น <u>1.0 กรัม</u>	-ต้องไม่เกิน 4 กรัม
โคเลสเตอรอล (0/100) x 150 = <u>0 มิลลิกรัม</u>	-ต้องไม่เกิน 60 มิลลิกรัม
โซเดียม (36.44/100) x 150 = 54.66 มิลลิกรัม ปัดเศษเป็น <u>55 มิลลิกรัม</u>	-ต้องไม่เกิน 360 มิลลิกรัม -ปัดเศษตามหลักเกณฑ์ในบัญชีหมายเลข 1 ข้อ 2.5
<u>สรุป</u> โยเกิร์ตพร้อมดื่มตามตัวอย่างที่ 2 นี้สามารถกล่าวอ้าง "ไขมันต่ำ" ได้ โดยไม่ต้องมีข้อความแสดงปริมาณไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล หรือโซเดียม กำกับ	

ตัวอย่างที่ 3 ข้าวเกรียบกุ้ง บรรจุถุงพลาสติกน้ำหนักสุทธิ 75 กรัม

อาหารนี้มีผลวิเคราะห์ต่อ 100 ก. ดังนี้ ไขมันทั้งหมด 32.14 ก. ไขมันอิ่มตัว 12.99 ก. โคเลสเตอรอล 0 มก. โซเดียม 981.5 มก. แคลเซียม 70.5 มก. เหล็ก 3.0 มก.	**คำอธิบาย**
1. ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง คือ 30 ก.	-จากบัญชีหมายเลข 2 ข้อ 3.3 ลำดับที่ 1
2. คำนวณการกล่าวอ้างปริมาณสารอาหาร เทียบกับข้าวเกรียบน้ำหนัก 50 กรัม	-หากปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงมีค่าไม่เกิน 30 ก. หรือไม่เกิน 2 ชต.ให้คำนวณการกล่าวอ้างเทียบกับอาหารปริมาณ 50 ก. (บัญชีหมายเลข 4 ข้อ 2.1 กรณีที่ 1)
2.1 แคลเซียม (70.5/100) x 50 = 35.25 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละของ Thai RDI ได้ (35.25/800) x 100 = 4.41 % ปัดเศษเป็น 4 % ดังนั้น อาหารนี้ไม่สามารถกล่าวอ้างปริมาณแคลเซียมได้	-Thai RDI ของแคลเซียมคือ 800 มิลลิกรัม (บัญชีหมายเลข 3 ลำดับที่ 20) -ปัดเศษตามหลักเกณฑ์ในบัญชีหมายเลข 1 ข้อ 2.5 -การกล่าวอ้างได้ จะต้องมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 10 ของ Thai RDI ขึ้นไป
2.2 เหล็ก (3.0/100) x 50 = 1.5 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละของ Thai RDI ได้ (1.5/15) x 100 = 10 % ดังนั้น อาหารนี้จะกล่าวอ้างว่า "มีเหล็ก" หรือ "เป็นแหล่งของเหล็ก" ได้	-Thai RDI ของเหล็กคือ 15 มิลลิกรัม (บัญชีหมายเลข 3 ลำดับที่ 22) -การกล่าวอ้างได้ จะต้องมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 10 ของ Thai RDI ขึ้นไป
3. อย่างไรก็ตามต้องตรวจสอบปริมาณไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล และโซเดียม ต่ออาหารปริมาณ 50 กรัมเพิ่มเติมด้วย เนื่องจากอาจต้องแสดงข้อความกำกับข้อกล่าวอ้าง	-ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขของบัญชีหมายเลข 4 ข้อ 2.2 ด้วย สำหรับในกรณีนี้ ใช้การคำนวณต่ออาหาร 50 กรัม เนื่องจากปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงมีค่าไม่เกิน 30 กรัม
ไขมันทั้งหมด (32.14/100) x 50 = 16.07 กรัม ปัดเศษเป็น 16 กรัม	-ต้องไม่เกิน 13 กรัม
ไขมันอิ่มตัว (12.99/100) x 50 = 6.495 กรัม ปัดเศษเป็น 6 กรัม	-ต้องไม่เกิน 4 กรัม
โคเลสเตอรอล (0/100) x 50 = 0 มิลลิกรัม	-ต้องไม่เกิน 60 มิลลิกรัม
โซเดียม (981.5/100) x 50 = 490.75 มิลลิกรัม ปัดเศษเป็น 490 มิลลิกรัม	-ต้องไม่เกิน 360 มิลลิกรัม -ปัดเศษตามหลักเกณฑ์ในบัญชีหมายเลข 1 ข้อ 2.5
สรุป ข้าวเกรียบนี้ จะแสดงข้อกล่าวอ้างว่า "มีเหล็ก" หรือ "เป็นแหล่งของเหล็ก" ได้โดยจะต้องมีข้อความแสดงปริมาณไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว และโซเดียม กำกับ โดยข้อความกำกับนี้จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง ดังนี้ **"เป็นแหล่งของเหล็ก** ไขมันทั้งหมด 16 ก. ไขมันอิ่มตัว 6 ก. โซเดียม 490 มก. ต่อข้าวเกรียบ 50 ก."	

4. เอกสารอ้างอิง

4.1 United States Food And Drug Administration. 1997. Code of Federal Regulations 21 CFR Part 101 Subpart D : Specific Requirements for Nutrient Content Claims.

4.2 Codex Alimentarius. 1997. Guidelines for Use of Nutrition Claims.

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการกล่าวอ้างทางโภชนาการโดยใช้เกณฑ์ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (สำหรับอาหารที่เป็นไปตามข้อ 2.1 กรณีที่ 1)

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
พลังงาน	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero)	มีพลังงานน้อยกว่า 5 กิโลแคลอรี	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ต่ำ (low, few, low source of, low in)	มีพลังงานไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี	
	ลด, น้อยกว่า (reduced, reduced in, less, fewer, lower, lower in)	ลดปริมาณพลังงานลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "พลังงานต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	พลังงานน้อย (light, lite)	1.ลดปริมาณไขมันลงตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปเทียบกับอาหารอ้างอิง (สำหรับผลิตภัณฑ์นั้นมีพลังงานจากไขมันตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป ของพลังงานทั้งหมด) หรือ 2.ลดพลังงานลงตั้งแต่ 1/3 ส่วนขึ้นไปเทียบกับอาหารอ้างอิง (สำหรับผลิตภัณฑ์นั้นมีพลังงานจากไขมันน้อยกว่าร้อยละ 50 ของพลังงานทั้งหมด)	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "ไขมันต่ำ" หรือ "พลังงานต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย 3.ถ้าอาหารที่แสดงข้อกล่าวอ้างนี้มีพลังงานน้อยกว่า 40 กิโลแคลอรี หรือมีไขมันน้อยกว่า 3 กรัมต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงร้อยละหรือสัดส่วนของพลังงานที่ลดลง

มหาวิทยาลัยศิลป

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
ไขมันทั้งหมด	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero, nonfat)	มีไขมันทั้งหมดน้อยกว่า 0.5 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ถ้ามีส่วนผสมที่เป็นไขมันหรือส่วนผสมที่เข้าใจโดยทั่วไปว่ามีไขมัน ให้ทำเครื่องหมายกำกับชื่อส่วนผสมนั้น แล้วอธิบายว่า "มีผลต่อปริมาณไขมันน้อยมาก" 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ต่ำ (low, low in, low source of, little)	มีไขมันทั้งหมดไม่เกิน 3 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้น โดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ลด, น้อยกว่า (reduced, reduced in, lower, lower in, less)	ลดปริมาณไขมันทั้งหมดลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "ไขมันต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
ไขมันอิ่มตัว	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero)	1.มีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า 0.5 กรัม และ 2.ปริมาณกรดไขมันรูปแบบทรานส์น้อยกว่า 0.5 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ถ้ามีส่วนผสมที่เป็นไขมันอิ่มตัวหรือเข้าใจโดยทั่วไปว่ามีไขมันอิ่มตัว ให้ทำเครื่องหมายกำกับชื่อส่วนผสมนั้น แล้วอธิบายว่า "มีผลต่อปริมาณไขมันอิ่มตัวน้อยมาก" 3.ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดและโคเลสเตอรอลควบคู่กับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปริมาณไขมันอิ่มตัวทุกแห่ง โดยมีขนาดไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง ยกเว้น ก. ถ้าผลิตภัณฑ์มีโคเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณโคเลสเตอรอลกำกับ ข.หากผลิตภัณฑ์มีไขมันทั้งหมดไม่เกิน 0.5 กรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดกำกับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับไขมันอิ่มตัว 4.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
ไขมันอิ่มตัว	ต่ำ (low, low in, low source of, a little)	1.มีกรดไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 1 กรัม และ 2.พลังงานจากกรดไขมันอิ่มตัวไม่เกินร้อยละ 15 ของพลังงานทั้งหมด	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดและโคเลสเตอรอลควบคู่กับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปริมาณไขมันอิ่มตัวทุกแห่ง โดยมีขนาดไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง <u>ยกเว้น</u> ก. ถ้าผลิตภัณฑ์มีโคเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณโคเลสเตอรอลกำกับ ข.หากผลิตภัณฑ์มีไขมันทั้งหมดไม่เกิน 3 กรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดกำกับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับไขมันอิ่มตัว 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ลด, น้อยกว่า (reduced, reduced in, lower, lower in, less)	ลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป เมื่อ เทียบกับอาหารอ้างอิง	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็น "ไขมันอิ่มตัวต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดและโคเลสเตอรอลควบคู่กับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับปริมาณไขมันอิ่มตัวทุกแห่ง โดยมีขนาดไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง <u>ยกเว้น</u> ก. ถ้าผลิตภัณฑ์มีโคเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณโคเลสเตอรอลกำกับ ข.หากผลิตภัณฑ์มีไขมันทั้งหมดไม่เกิน 3 กรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง ไม่ต้องแสดงปริมาณไขมันทั้งหมดกำกับข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับไขมันอิ่มตัว 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
โคเลสเตอรอล	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero)	1.มีโคเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม และ 2.กรดไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 2 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ถ้ามีส่วนผสมที่เข้าใจโดยทั่วไปว่ามีโคเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบ ให้ทำเครื่องหมายกำกับชื่อส่วนผสมนั้นแล้วอธิบายว่า "มีผลต่อปริมาณโคเลสเตอรอลน้อยมาก" 3.ถ้ามีปริมาณไขมันทั้งหมดเกิน 13 กรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและต่อปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก ต้องระบุปริมาณไขมันทั้งหมดต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก โดยแสดงควบคู่กับข้อกล่าวอ้างทุกด้าน หากแสดงข้อกล่าวอ้างหลายแห่งในฉลากด้านเดียวกัน ให้แสดงติดกับข้อกล่าวอ้างที่เด่นที่สุด และใช้ตัวอักษรขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้างดังกล่าว 4.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ต่ำ (low, low in, low source of, little)	1.มีโคเลสเตอรอลไม่เกิน 20 มิลลิกรัม และ 2.กรดไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 2 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ถ้ามีปริมาณไขมันทั้งหมดเกิน 13 กรัม ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและต่อปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก ต้องระบุปริมาณไขมันทั้งหมดต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก โดยแสดงควบคู่กับข้อกล่าวอ้างทุกด้าน หากแสดงข้อกล่าวอ้างหลายแห่งในฉลากด้านเดียวกัน ให้แสดงติดกับข้อกล่าวอ้างที่เด่นที่สุด และใช้ตัวอักษรขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้างดังกล่าว 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
โคเลสเตอรอล	ลด, น้อยกว่า (reduced, reduced in, lower, lower in, less)	1.ลดปริมาณโคเลสเตอรอลลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง และ 2.มีกรดไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 2 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "โคเลสเตอรอลต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย 3.หากมีปริมาณไขมันทั้งหมดมากกว่า 13 กรัมต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก ให้กำกับข้อความระบุปริมาณโคเลสเตอรอลที่ลดลงเทียบกับที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิง ด้วยปริมาณไขมันทั้งหมดที่มีอยู่ในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก โดยใช้ตัวอักษรขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง
โซเดียม	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero)	มีโซเดียมน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.คิดเป็นปริมาณโซเดียมในอาหาร ไม่ใช่เกลือ (โซเดียมคลอไรด์) และ 3.ถ้ามีส่วนผสมที่เป็นเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) หรือส่วนผสมที่เข้าใจโดยทั่วไปว่ามีโซเดียม ให้ทำเครื่องหมายกำกับชื่อส่วนผสมนั้นแล้วอธิบายว่า "มีผลต่อปริมาณโซเดียมน้อยมาก" 4.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ปราศจากเกลือ (salt free)	ต้องได้ตามเงื่อนไขและเงื่อนไขเพิ่มเติมของ "ปราศจากโซเดียม"	
	ต่ำมาก (very low, very low in)	มีโซเดียมน้อยกว่า 35 มิลลิกรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.คิดเป็นปริมาณโซเดียมในอาหาร ไม่ใช่เกลือ (โซเดียมคลอไรด์) และ 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ต่ำ (low, low in, low source of, little)	มีโซเดียมน้อยกว่า 140 มิลลิกรัม	
	ลด, น้อยกว่า (reduced, reduced in, lower, lower in, less)	ลดปริมาณโซเดียมลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "โซเดียมต่ำ" อยู่แล้ว 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
โซเดียม	โซเดียมน้อย (light, lite)	ลดปริมาณโซเดียมลงตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารอ้างอิงเป็นอาหาร "โซเดียมต่ำ" อยู่แล้ว 2.หากอาหารอ้างอิงมีพลังงานมากกว่า 40 กิโลแคลอรี หรือมีไขมันมากกว่า 3 กรัมต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง การกล่าวอ้างว่า "light" สำหรับโซเดียมในกรณีนี้ต้องกำกับว่า "โซเดียมน้อย (light in sodium)" เนื่องจาก "light, lite" อาจหมายถึง "พลังงานน้อย" ได้อีกด้วย 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ไม่เติมเกลือ / ไม่ใส่เกลือ (unsalted, no salt, no salt added, without salt added)	1.ไม่มีการเติมเกลือระหว่างกระบวนการผลิต และ 2.อาหารที่ใช้เปรียบเทียบต้องเป็นอาหารที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งโดยปกติแล้วใช้เกลือในการผลิต	หากผลิตภัณฑ์ไม่ได้ตามเงื่อนไข "ปราศจากโซเดียม" ต้องกำกับว่า "ไม่ใช่อาหารที่ปราศจากโซเดียม" ด้วย
	ใส่เกลือเล็กน้อย (lightly salted)	ใส่เกลือน้อยกว่าอาหารปกติ ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป	ต้องกำกับว่า "ไม่ใช่อาหารโซเดียมต่ำ" ด้วย
น้ำตาล (หมายถึง mono- และ di-saccha-rides)	ปราศจาก, ไม่มี (free, without, free of, no, zero, sugarless)	มีน้ำตาลน้อยกว่า 0.5 กรัม	1.ห้ามใช้ข้อกล่าวอ้างนี้ หากอาหารนั้นโดยธรรมชาติเป็นไปตามเงื่อนไขอยู่แล้ว 2.ถ้าอาหารมีส่วนผสมที่เป็นน้ำตาลหรือส่วนผสมที่เข้าใจโดยทั่วไปว่ามีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ให้ทำเครื่องหมายกำกับชื่อส่วนผสมนั้นแล้วอธิบายว่า "มีผลต่อปริมาณน้ำตาลน้อยมาก" 3.ถ้าอาหารเป็นไปตามเงื่อนไข "พลังงานต่ำ" หรือ "ลดพลังงาน" หรือ "พลังงานน้อย" ให้แสดงข้อกล่าวอ้างดังกล่าวบนฉลากด้วย 4.ถ้าอาหารไม่เป็น "พลังงานต่ำ" หรือ "ลดพลังงาน" หรือ "พลังงานน้อย" ให้กำกับว่า "ไม่ใช่อาหารพลังงานต่ำ" หรือ "ไม่ใช่อาหารลดพลังงาน" หรือ "ไม่ใช่สำหรับการควบคุมน้ำหนัก" ตามลำดับ 5.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.1 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
น้ำตาล (หมายถึง mono- และ di-saccha-rides)	ลดปริมาณลง, น้อยกว่า (reduced, reduced in, lower, lower in, less)	ลดปริมาณน้ำตาลลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง	ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 1.2 และ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	ไม่เติมน้ำตาล / ไม่ใส่น้ำตาล (no added sugar, without added sugar, no sugar added)	1.ไม่มีการเติมน้ำตาลหรือส่วนผสมที่มีน้ำตาลในระหว่างการผลิตหรือการบรรจุและ 2.ไม่มีส่วนผสมที่มีการเติม หรือเพิ่มปริมาณน้ำตาล เช่น แยม เยลลี หรือน้ำผลไม้เข้มข้น และ 3.ต้องไม่มีน้ำตาลเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หรือถ้ามีต้องรวมกันแล้วได้ตามเงื่อนไข "ปราศจาก/ไม่มี" และ 4.อาหารอ้างอิงมีการเติมน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ส่วนอาหารนี้ไม่มีการเติม	ถ้าอาหารนั้นไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของ "พลังงานต่ำ" หรือ "ลดพลังงาน" ต้องกำกับว่า "ไม่ใช่อาหารพลังงานต่ำ" หรือ "ไม่ใช่อาหารลดพลังงาน"
	"ไม่ปรับความหวานเพิ่ม" หรือ "ไม่เติมวัตถุให้ความหวาน" (unsweetened, contains no added sweeteners)	ใช้กับอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงอยู่แล้วโดยธรรมชาติ เช่น น้ำผลไม้ อย่างไรก็ตามห้ามใช้ข้อความ "ปราศจากน้ำตาล (sugar free)"	
โปรตีน ใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ (ไม่รวมโซเดียม)	สูง, อุดม (high, rich in, excellent source of)	มีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 20 ของ Thai RDI** ขึ้นไป	1.สำหรับใยอาหาร หากปริมาณไขมันทั้งหมดไม่เป็นไปตามเงื่อนไข "ต่ำ" การกล่าวอ้างปริมาณใยอาหารต้องกำกับด้วยปริมาณไขมันทั้งหมดต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลากด้วยอักษรที่มีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

พลังงาน/สารอาหาร	ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) *	เงื่อนไขเพิ่มเติม
โปรตีน ใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ (ไม่รวมโซเดียม)	เป็นแหล่งของ, มี (good source, contains, provides)	มีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณร้อยละ 10-19 ของ Thai RDI**	1.สำหรับใยอาหาร หากปริมาณไขมันทั้งหมดไม่เป็นไปตามเงื่อนไข "ต่ำ" การกล่าวอ้างปริมาณใยอาหารต้องกำกับด้วยปริมาณไขมันทั้งหมดต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลากด้วยอักษรที่มีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง 2.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย
	เสริม, เพิ่ม, มากกว่า (increased, more, added, fortified, enriched)	เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิงแล้ว อาหารนี้มีสารอาหารที่จะกล่าวอ้างอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิง โดยปริมาณค่าความแตกต่างนั้นจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของ Thai RDI**	1.ต้องระบุอาหารอ้างอิงด้วย 2.สำหรับใยอาหาร หากปริมาณไขมันทั้งหมดไม่เป็นไปตามเงื่อนไข "ต่ำ" การกล่าวอ้างปริมาณใยอาหารต้องกำกับด้วยปริมาณไขมันทั้งหมดต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลากด้วยอักษรที่มีขนาดไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของข้อกล่าวอ้าง 3.ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในข้อ 2.2 ของบัญชีนี้ด้วย

หมายเหตุ

* เฉพาะอาหารที่มีปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงไม่เกิน 30 กรัม หรือ ไม่เกิน 2 ช้อนโต๊ะ เงื่อนไขในการแสดงข้อกล่าวอ้างตามตารางที่ 1 นี้ ให้คำนวณต่อปริมาณอาหารนั้น 50 กรัม แทนการคำนวณต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงและต่อปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก (กรณีที่เป็นอาหารแห้งที่โดยทั่วไปแล้วจะต้องเติมน้ำหรือของเหลวที่มีคุณค่าทางโภชนาการน้อยจนไม่มีนัยสำคัญก่อนจึงจะบริโภค น้ำหนัก 50 กรัมนี้ ให้หมายถึงน้ำหนักอาหารหลังจากที่เติมน้ำหรือของเหลวแล้ว อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดนี้ไม่ใช้บังคับกับเครื่องดื่มแห้ง หรือผลิตภัณฑ์ลักษณะเดียวกัน เช่น นมผง ซึ่งจะใช้ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงเป็น 200 มิลลิลิตรของอาหารหลังเติมน้ำ)

** Thai RDI หมายถึง สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes)

มหาวิทยาลัยศิลปา

ภาคผนวก ฉ
วิธีการคำนวณตัวอย่างแป้งที่มีการเติมสารพรีไบโอติกสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ตารางที่ 33 วิธีการคำนวณตัวอย่างแป้ง ที่มีการเติมสารพรีไบโอติกแต่ละความเข้มข้น ที่ total dry basic 3%

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)		น้ำ	Total	ความชื้นวัตถุดิบ
	สารพรีไบโอติก	แป้งข้าวหอมมะลิ วัตถุดิบ	(กรัม)	(กรัม)	(%)
Control	-	3.29	21.71	25.00	8.80%
RS 4 %	0.14	3.16	21.70	25.00	14%
RS 8 %	0.28	3.03	21.69	25.00	14%
RS 12%	0.42	2.89	21.69	25.00	14%
RS 18%	0.63	2.70	21.67	25.00	14%
RS 100 %	3.49	0.00	21.51	25.00	14%
Inulin 4 %	0.12	3.16	21.72	25.00	3%
Inulin 8 %	0.25	3.03	21.72	25.00	3%
Inulin 12%	0.37	2.89	21.74	25.00	3%
Inulin 18%	0.56	2.70	21.74	25.00	3%
Inulin 100 %	3.09	0.00	21.91	25.00	3%
FOS 4 %	0.12	3.16	21.72	25.00	3%
FOS 8 %	0.25	3.03	21.72	25.00	3%
FOS 12%	0.37	2.89	21.74	25.00	3%
FOS 18%	0.56	2.70	21.74	25.00	3%
FOS 100 %	3.09		21.91	25.00	3%

หมายเหตุ : การคำนวณคิดที่ความเข้มข้น Dry Basis 3

ยกตัวอย่างการคำนวณ ของตัวอย่างสารละลายแป้งที่มีการเติม RS 4% ดังต่อไปนี้

1.ที่ Dry Basis 100% จะประกอบด้วย

-แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ 96 กรัม

-ตัวอย่างสารพรีไบโอติก RS 4 กรัม

2. กรณีที่ต้องการ Total Dry Basis ที่ 3 กรัม จะประกอบไปด้วย

-แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ 2.88 กรัม (คำนวณจาก 96*3/100)

-ตัวอย่างสารพรีไบโอติก RS 0.12 กรัม(คำนวณจาก 4*3/100)

3. เนื่องจากแป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ มีความชื้น 8.8%และตัวอย่างสารพรีไบโอติก RS มีความชื้น 14%

4. ดังนั้นถ้าต้องการชั่งน้ำหนักทั้งหมดรวมน้ำต้องชั่งปริมาณน้ำและวัตถุดิบดังนี้

-แป้งข้าวหอมมะลิวัตถุดิบ 3.16 กรัม [คำนวณมาจาก (2.88* (1-8.8/100)]

-ตัวอย่างสารพรีไบโอติก RS 0.14 กรัม [คำนวณมาจาก (0.12* (1-14/100)]

-ปริมาณน้ำที่ต้องเท่ากับ 21.70 กรัม [คำนวณมาจาก (25-3.16-0.14)]

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ช

วิธีการคำนวณปริมาณเส้นใยอาหาร (Dieatry Fiber) **และ ปริมาณฟรุคแทนส์ใน ข้าวแผ่นกรอบที่มีการเติมสารพรีไบโอติกซนิด** FOS 18%

DMSc F 1047: **การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในอาหาร โดย Enzymatic-Gravimetric Method**

Determination of total dietary fiber in foods by Enzymatic-Gravimetric Method

1. ขอบข่าย (Scope)

ใช้วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในอาหาร โดย enzymatic – gravimetric method

2. เอกสารอ้างอิง (References)

AOAC Official Method 985.29 Total Dietary Fiber in Foods. Codex-Adopted-AOAC Method

3. หลักการ (Principle)

ตัวอย่างอาหารแห้ง 2 ชุด (portion) ถ้ามีปริมาณไขมันมากกว่า 10% ให้สกัดไขมันออกก่อน นำมา gelatinize ด้วย Termamyl (heat stable α-amylase) หลังจากนั้นนำมาย่อยด้วยเอนไซม์ protease และ amyloglucosidase เพื่อกำจัดโปรตีนและแป้ง เติม ethanol เพื่อตกตะกอน soluble dietary fiber กรองและล้างตะกอนที่ได้ หลังจากทำตะกอนให้แห้งชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างชุดที่ 1 มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตัวอย่างชุดที่ 2 นำมาวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ปริมาณใยอาหารทั้งหมดคือน้ำหนักตะกอนที่เหลือหลังจากที่หักน้ำหนักโปรตีนและเถ้าออก

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance) ที่มีความละเอียด 0.0001 g

4.2 ตู้อบสุญญากาศ (vacuum oven)

4.3 ตู้อบร้อน (hot air oven)

4.4 ระบบสุญญากาศ (vacuum source) พร้อมชุดกรองสารละลายตัวอย่าง และภาชนะสำหรับใส่และย่อยตัวอย่าง (digestion flask)

4.5 เครื่องบดหรือปั่นตัวอย่าง

4.6 อ่างน้ำร้อนชนิดน้ำเดือด (boiling water bath) และชนิดควบคุมอุณหภูมิแบบมีระบบเขย่า (thermostat shaking water bath) ซึ่งสามารถปรับตั้งอุณหภูมิได้ที่ 60°C

4.7 pH meter

4.8 เตาเผา (muffle furnace)

4.9 Fritted Crucible ขนาด 30 ml ทำด้วย borosilicate glass ที่ฐานมี filter Porosity No. 2 (Pyrex No. 32940, coarse, ASTM 40-60 μm หรือ Tecator part No. 1000-1001 standard crucible หรือเทียบเท่า) ก่อนใช้งานให้ทำความสะอาด และเผาที่ 525°C เป็นเวลา 1 hr ทิ้งให้เย็นลงประมาณ 130°C หรือต่ำกว่า แช่ crucible ในน้ำ และฉีดล้างด้วยน้ำกลั่น ทิ้งให้แห้ง

4.10 โถดูดความชื้นพร้อมสารดูดความชื้น (desiccator with desiccant)

5. สารเคมี (Reagent)

สารเคมีทุกชนิดไม่ต่ำกว่าระดับ AR grade และน้ำ (H_2O) ที่ใช้เป็นน้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือน้ำกลั่น 3 ครั้ง ที่มีค่า resistivity ≥ 18 MΩ-cm

5.1 Acetone

5.2 98% Ethanol (v/v) (technical grade)

5.3 8% Ethanol: เติม H_2O 207 ml ลงใน volumetric flask ขนาด 1 L ปรับปริมาตรด้วย 95% ethanol ผสมให้เข้ากัน (อาจเตรียมโดยผสม H_2O และ 95% ethanol ในอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร)

5.4 Phosphate buffer 0.08 M, pH 6.0: ชั่ง sodium phosphate dibasic, anhydrous (Na_2HPO_4) 1.400 g (หรือ dihydrate 1.753 g) และ sodium phosphate monobasic monohydrate ($NaH_2PO_4.H_2O$) 9.68 g (หรือ dihydrate 10.94 g) ละลายด้วย H_2O 700 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L ตรวจสอบค่า pH ด้วย pH meter เก็บในขวดสีชาและไว้ในตู้เย็น

5.6 HCl 0.325 M: เจือจาง 1M HCl 325 ml ด้วย H_2O ปรับปริมาตรเป็น 1 L

5.7 NaOH 0.275 M: ชั่ง NaOH 11 g ละลายด้วย H_2O ปรับปริมาตรเป็น 1 L

5.8 Celite, acid-washed

5.9 เอนไซม์ 3 ชนิดได้แก่

5.9.1 Termamyl solution (heat stable α-amylase) เก็บในตู้เย็น

5.9.2 Protease เก็บในตู้เย็น

5.9.3 Amyloglucosidase เก็บในตู้เย็น

หรืออาจใช้ชุดเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด (Sigma Chemical Co., Kit No. TDF-100 หรือเทียบเท่า) เก็บในตู้เย็น

6. การเตรียมตัวอย่าง (Preparation of test sample)

6.1 เตรียมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดตัวอย่างโดยใช้ cyclone mill หรือ motar (ครกบด) แร่งผ่านตะแกรงขนาด 0.3-0.5 mm

6.2 ชั่งตัวอย่าง 30 g อบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 18 ± 2 hr เก็บในภาชนะที่มีฝาปิด และเก็บใน desiccator จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหาร

6.3 ชั่งตัวอย่างที่อบแล้วมา 0.5-1 g จำนวน 2 ชุดในภาชนะย่อยตัวอย่าง (digestion flask) แต่ละชุดควรมีน้ำหนัก ต่างกันไม่เกิน 20 mg (ตัวอย่างที่มีไขมัน มากกว่า 10% และตัวอย่างอาหารผสม (mixed diet) ให้สกัดไขมันออกโดยใช้ petroleumether สกัด 3 ครั้ง ครั้งละ 25 ml)

7. ขั้นตอนการทดสอบ (Procedure)

ทุกครั้งที่วิเคราะห์ตัวอย่างให้ทำ blank 2 ชุด ควบคู่ไปด้วยทุกครั้งเพื่อตรวจวัดปริมาณ residue ใน reagent ซึ่งมีผลต่อค่า dietary fiber ในตัวอย่าง

7.1 ชั่ง celite ประมาณ 0.5 g จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ใน fritted crucible ที่เตรียมไว้อบในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 130°C จนได้น้ำหนักคงที่ (ประมาณ 2 hr) ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

7.2 เติม phosphate buffer pH 6.0 (ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้) 50 ml ลงใน digestion flask ปรับ pH ของสารละลายตัวอย่างเป็น 6.0 ± 0.2 เขย่าเบาๆให้ตัวอย่างกระจายสม่ำเสมอ

7.3 เติม Termamyl solution (heat stable α - amylase) 0.1 ml (100 µl) แล้วปิด flask ด้วย aluminium foil

7.4 บ่มตัวอย่างโดยนำ digestion flask ตั้งในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 15 min โดยเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิของสารละลายใน digestionflask ถึง 95-100°C (โดยปกติจะใช้เวลาในการบ่มทั้งหมดไม่เกิน 30 min ในระหว่างการบ่มให้เปิดระบบเขย่า digestion flask เบา ๆ ทุก ๆ 5 min

7.5 ทิ้งให้ digestion flask เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำมาปรับ pH ให้เป็น 7.5 ± 0.2 โดยเติมสารละลาย 0.275 N NaOH 10 ml

7.6 เติม protease 5 mg แต่เนื่องจาก protease ที่ใช้มีลักษณะเป็นผงและมักจะติดอยู่ที่ spatula ดังนั้น จึงเตรียมเป็นสารละลาย โดยชั่ง protease 50 mg ใส่ใน phosphate buffer 1 ml แล้วจึงปิเปตมา 0.1 ml ใส่ใน digestion flask ฉีดล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ข้างภาชนะด้วยน้ำกลั่น ปิด flask ด้วย aluminium foil

7.7 บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิแบบมีระบบเขย่าต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 60˚C เป็นเวลา 30 min (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิของสารละลายข้างใน digestion flask ถึง 60˚C) เปิดระบบเขย่าต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการบ่ม

7.8 ทิ้งให้สารละลายตัวอย่างใน digestion flask เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 4 - 4.6 โดยเติม 0.325 M HCl ประมาณ 10 ml

7.9 เติมสารละลาย amyloglucosidase 0.3 ml ฉีดล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ข้างภาชนะด้วยน้ำกลั่น แล้วปิด flask ด้วย aluminium foil

7.10 บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิแบบมีระบบเขย่าต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 60˚C เป็นเวลา 30 min (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิของสารละลายใน digestion flask ถึงอุณหภูมิ 60˚C) เปิดระบบเขย่าต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการบ่ม

7.11 เติม 95% ethanol ซึ่งอุ่นไว้แล้วที่ 60˚C ปริมาตร 280 ml หรือประมาณ 4 เท่าของปริมาตรของสารละลาย ตัวอย่าง (วัดปริมาตรก่อนนำไปอุ่นที่ 60˚C) ใส่ใน digestion flask ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 1 hr

7.12 นำ crucible และ celite ที่ชั่งไว้แล้วในข้อ 7.1 มาทำให้ celite เรียบ ติดกับฐานของ crucible ด้วย 78% ethanol 10 ml โดยใช้ขวดฉีด (wash bottle) ลงบน celite เปิดระบบกรองสุญญากาศ

7.13 กรองสารละลายตัวอย่างใน digestion flask ที่ผ่านการตกตะกอนแล้วในข้อ 7.11 ลงใน crucible ที่เตรียมไว้ในข้อ 7.12 ล้างตะกอนด้วย 78% ethanol 3 ครั้ง ครั้งละ 20 ml, 95% ethanol 2 ครั้ง ครั้งละ 10 ml และ acetone 2 ครั้ง ครั้งละ 10 ml ครั้งแรกของการล้างให้ฉีดล้างด้านข้างของ digestion flask เพื่อให้ residue ที่ติดอยู่ลงไปใน crucible ให้หมด

7.14 อบ crucible ที่มี celite และresidue ที่ได้จากข้อ 7.13 ในตู้อบร้อนอุณหภูมิ 105˚C หรือในตู้อบสูญญากาศอุณหภูมิ 70˚C ค้างคืน (ประมาณ 18 hr) แล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

7.15 นำ residue ชุดที่หนึ่ง มาหาปริมาณโปรตีนที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์ (indigestible protein) โดยขูดทั้ง celite และ residue ใส่ลงในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 250 ml แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนใน residue โดยวิธี Kjeldahl

7.16 นำ residue ชุดที่สองหาปริมาณเถ้าโดยนำมาเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 525˚C เป็นเวลา 5 hr แล้วทิ้งให้ crucible เย็นลงต่ำกว่า 250˚C แล้วจึงนำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

8. การคำนวณและรายงานผล (Calculationand expression of results)

การหาค่า Blank

B = Blank (g) = RB- PB-AB

เมื่อ RB = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก residue ของ blank 2 ชุด (g)

PB = น้ำหนักของโปรตีนใน residue ของ blank ชุดที่นำมาหาโปรตีน (g)

AB = น้ำหนักของเถ้าใน residue ของ blank ชุดที่นำมาหาเถ้า (g)

Total Dietary Fiber, % = $[(R- P-A - B) \times 100]/W$

เมื่อ R = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก residue ของตัวอย่าง 2 ชุด (g)

P = น้ำหนักโปรตีนใน residue ของตัวอย่าง ชุดที่นำมาหาโปรตีน (g)

A = น้ำหนักเถ้าใน residue ของตัวอย่างชุดที่นำมาหาเถ้า (g)

B = น้ำหนัก blank (g)

W = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวอย่าง 2 ชุด (คำนวณเป็นน้ำหนักตัวอย่างที่ยังไม่อบแห้ง) (g)

9. การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ (Assuring the Quality of Test Results)

9.1 วิเคราะห์ 2 ซ้ำ (duplicate) ทุกตัวอย่าง

9.2 ทดสอบความบริสุทธิ์ของเอนไซม์ (enzyme purity) โดยทดสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์ทุก lot ของเอนไซม์ หรือทุก 6 เดือน โดยใช้ตัวอย่างดังแสดงในตาราง

Test samples for enzyme purity

Test sample	Activity tested	Test portion weight, g	Expected recovery, %
Citrus pectin	Pectinase	0.1	95-100
Stractan (larch gum)	Hemicellulase	0.1	95-100
Wheat starch	Amylase	1.0	0-1
Corn starch	Amylase	1.0	0-2
Casein	Protease	0.3	0-2
β-Glucan (barley gum)[a]	β-Glucanase	0.1	95-100

[a]Sigma Chemical Co. or Megazyme International Ireland, Ltd.

10. รายละเอียดอื่น

ไม่ฉีดล้าง acetone ลงใน digestion flask ซึ่งทำด้วยพลาสติก เพราะ acetone มีฤทธิ์กัดกร่อนพลาสติก จะทำให้ภาชนะเสียหายได้

การวิเคราะห์ปริมาณ ฟรุคแทนส์ (fructans) ในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบด้วยวิธี Modified method based on AOAC method 997.08 (2005) using high temperature gas chromatography (Joye, D. and Hoebregs, H.(2000) J.AOAC International 83(4); 1020-1025)

การวิเคราะห์หาปริมาณ ฟรุคแทนส์ (อินนูลิน และฟรุค โตโอลิโกแซคคาไรค์)

วิเคราะห์หาปริมาณอินนูลิน ตามวิธี มาตรฐานสากล AOAC 997.08 (2005) รายละเอียดของการวิเคราะห์ระบุไว้ในการศึกษาของ Judprasong และคณะในปี ค.ศ. 2011 โดยชั่งตัวอย่างให้มีปริมาณ อินนูลินประมาณ 1 กรัมสกัดน้ำ ตาลในตัวอย่างด้วยน้ำ ร้อน แล้ววัดปริมาณน้ำ ตาลที่เพิ่มขึ้น แบ่งสารละลายที่ สกัดได้มาย่อยด้วยเอนไซม์อินนูลิเนส (Inulinase ของ บริษัท Sigma-Aldrich® โดยมี activity 321 INU/G) โดย ใช้เอนไซม์ในปริมาณที่มากเพียงพอ ทำการเปลี่ยนรูปแบบของน้ำ ตาลจากที่ระเหยไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่สามารถ ระเหย และตรวจวัดได้ (volatile oxime-trimethylsilyl de rivatives) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่ (Gas chromatography, GC) ใช้คอลัมน์ Al-clad capillary column (HT-5) ที่เคลือบด้วย 5%-phenyl-polycarboranesiloxane (Restek®, USA) ในขณะที่ปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคา ไรค์นั้นตรวจวัดด้วยเครื่อง GC อีกเครื่องหนึ่ง ใช้คอลัมน์ HP-1 capillary fused silica column ที่เคลือบด้วย 100% dimethylpolysiloxane (Agilent® J&W, USA) GC ทั้ง สองเครื่องมีลักษณะการฉีดสารละลายแบบ Cool-on column injection และตรวจวัดด้วย Flame Ionization Detector (FID) เปรียบเทียบค่า Retention time ของน้ำ ตาลและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรค์ต่างๆในสารละลายตัวอย่าง เทียบกับสารละลายน้ำ ตาลมาตรฐานชนิดต่างๆ (Fructose, glucose, sucrose, GF2, GF3 และ GF4) และ คำ นวณเป็นปริมาณอินนูลิน และฟรุคโตโอลิโกแซคคา ไรค์ต่อไป

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง centrifuges
2. Rotary vacuum evaporator
3. เครื่อง freeze dryer
4. Gas chromatography, GC

สารเคมี ได้แก่ อินนูลิเนส(Inulinase ของ บริษัท Sigma-Aldrich® โดยมี activity 321 INU/G)

Food and Nutrition Laboratory
Institute of Nutrition, Mahidol University
Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, THAILAND
ห้องปฏิบัติการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

รายงานผลการทดสอบ

ตัวอย่างอาหาร: ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบรสชาติออริจินอล (Thin Rice Cracker Original Flavour)

เลขที่บริการ: SFC 78/2559

รายละเอียดของตัวอย่างอาหาร: เป็นแผ่นวงกลมบางสีน้ำตาล บรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยล์ จำนวน 1 ถุง (ไม่มีฉลาก)

ผู้ขอรับบริการ: โครงการ MSD5610154
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

วันที่รับตัวอย่าง: 9 ตุลาคม 2558

วันที่ทดสอบตัวอย่าง: 29 ตุลาคม 2558

วิธีทดสอบ : Modified method based on AOAC method 997.08 (2005) using high temperature gas chromatography (Joye, D. and Hoebregs, H. (2000) J. AOAC International 83(4); 1020-1025)

ผลการทดสอบ: (ต่อ 100 กรัม)

Dietary fiber (g)	2.68
Fructans (Inulin + Oligofructose) (g)	16.95
Fructooligosaccharides (FOS) (g)	3.71
- GF2 (g)	0.44
- GF3 (g)	1.32
- GF4 (g)	1.96

หมายเหตุ : G = glucose, F = fructose

ห้ามนำรายงานนี้ไปประกาศโฆษณา
PROHIBITED FOR ADVERTISING

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกราช เกตวัลห์)
รองผู้อำนวยการฝ่ายทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
ปฏิบัติหน้าที่แทน ผู้อำนวยการสถาบันโภชนาการ

รายงานผลการทดสอบ ตามหนังสือเลขที่ ศธ 0517.21/ 0039 ลงวันที่ 12 มกราคม 2559

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.
ผลการทดสอบใช้ได้กับตัวอย่างนี้เท่านั้น ห้ามนำเอกสารนี้ไปประกาศโฆษณาก่อนได้รับอนุญาต

งานบริการวิชาการ Tel. 02 441 9346, 02 800 2380 ext. 406, 418; Fax. 02 441 9344

Food and Nutrition Laboratory
Institute of Nutrition, Mahidol University
Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, THAILAND
ห้องปฏิบัติการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

วิธีทดสอบ

Dietary fiber (g)	AOAC (2012) 985.29
Fructans (Inulin + Oligofructose) (g)	Modified method based on AOAC method 997.08 (2005) using high temperature gas chromatography (Joye, D. and Hoebregs, H. (2000) J. AOAC International 83(4); 1020-1025)

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.
ผลการทดสอบใช้ได้กับตัวอย่างนี้เท่านั้น ห้ามนำเอกสารนี้ไปประกาศโฆษณาก่อนได้รับอนุญาต

งานบริการวิชาการ Tel. 02 441 9346, 02 800 2380 ext. 406, 418; Fax. 02 441 9344

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นางสาว ดวงใจ แก้วจั่น

เกิด 19 พฤษภาคม 2516

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 43 หมู่ 1 ตำบลทุ่งน้อย อำเภอเมือง
จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73000

สถานที่ทำงาน บริษัท นำเชา (ประเทศไทย) จำกัด
59/4 หมู่ 10 ถนนเพชรเกษม ตำบลหนองอ้อ อำเภอบ้านโป่ง
จังหวัดราชบุรี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านลำท่าโพ

พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชินีบรูณะ

พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม เขตภาษีเจริญ
จังหวัดกรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2555 ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร จากมหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2538-2539 เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ บริษัท ยูเนี่ยนโฟรเซนโปรดักส์ จำกัด
ตำบลมหาชัย อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร

พ.ศ. 2539 - ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท นำเชา (ประเทศไทย) จำกัด
ตำบลหนองอ้อ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ. 2558 นำเสนอผลงานทางวิชาการ การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 36
"The 36th National Graduate Research Conference"
ระหว่างวันที่ 29-31 ตุลาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่

ได้รับเลือกเป็นผู้นำเสนอความก้าวหน้าในผลงานวิจัย "ดีเด่น"
ในงานประชุมวิชาการ "โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่อ
อุตสาหกรรม ครั้งที่ 1 " โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
วันที่ 22 กรกฎาคม 2558 ณ ห้องแกรนด์ฮอลล์ ชั้น 2
ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพมหานคร

มหาวิทยาลัยศิลปากร