โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บ

ชื่อนิสิต นางสาวชาลิสา สุขสมิทธิ์
นางสาวจิรดา วัฒนสุข

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บ

โดย

นางสาวชาลิสา สุขสมิทธิ์

นางสาวจิรดา วัฒนสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2562

DETERMINATION OF THE CHANGES IN THE SOFT COOKIE QUALITY DURING STORAGE

Chalisa Suksmith

Jirada Vaddanasuka

Project Advisor
Associate Professor Kanitha Tananuwong, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of
Bachelor of Science Program in Food Technology Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

หัวข้องานวิจัย การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บ

โดย นางสาว ชาลิสา สุขสมิทธิ์

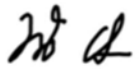
นางสาวจิรดา วัฒนสุข

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลัก สูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประจำปีการศึกษา 2562



.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บ

โดย นางสาวชาลิสา สุขสมิทธิ์

นางสาวจิรดา วัฒนสุข

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่ากิจกรรมของน้ำ ความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ เตรียมตัวอย่างคุกกี้ทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (สูตรที่1) สูตรทดแทนไขมัน30%ในสูตรด้วยอินูลิน (สูตรที่2) และ สูตรทดแทนไขมัน 30%ในสูตรด้วยอินูลินร่วมกับการทดแทนน้ำตาลทรายขาวทั้งหมดในสูตรด้วยไซลิทอล (สูตรที่ 3) บรรจุคุกกี้ในถาดพลาสติกชนิด polypropylene ขนาด 70 mm x 70 mm x 25 mm (1 ชิ้น/ถาด) แล้วจึงบรรจุถาดคุกกี้ 6 ถาด ในถุงพลาสติกชนิด polyvinylidene chloride/ Nylon/Linear Low Density Polyethylene ซึ่งมีค่า Water vapor transmission rate ≤ 0.20 g/m^2/day และ Oxygen transmission rate ≤ 0.20 cc/m^2/day เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกๆ 4 - 8 วัน เพื่อตรวจวัดค่าค่ากิจกรรมของน้ำ (a_W) ความชื้น และลักษณะ เนื้อสัมผัสจากผลการทดลองพบว่าความชื้นของคุกกี้ทุกสูตรไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเก็บ($p>0.05$) แต่ค่า a_W และค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้แต่ละสูตรมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บ สำหรับคุกกี้สูตรที่1 พบว่าค่าa_W เพิ่มขึ้น อย่างมากในช่วง 5 วันแรกของการเก็บรักษา ($p\leq0.05$) จากนั้นจึงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาการเก็บ ($p>0.05$) ค่า Hardness และ Gumminess มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) ส่วนค่า Springiness และ Cohesiveness มีแนวโน้มลดลงระหว่างการ เก็บ ($p\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเนื้อคุกกี้ที่แข็งและเปราะมากขึ้นระหว่างการเก็บ ส่วนในคุกกี้สูตรที่ 2 พบว่าค่า a_W ค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา ($p\leq0.05$) จากนั้นจึงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาการเก็บ ($p>0.05$) ค่า Springiness และ Cohesiveness มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บเช่นเดียวกับสูตรที่ 1 ($p\leq0.05$) แต่ค่า Hardness และ Gumminess ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเก็บ ($p\leq0.05$) และสาหรับคุกกี้สูตรที่สามนั้น ค่า a_W Hardness Gumminess และ Springiness ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเก็บ ($p>0.05$) แต่ค่า Cohesiveness มีแนวโน้ม ลดลงระหว่างการเก็บ ($p\leq0.05$) การเปลี่ยนแปลงค่า a_W และค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มอาจเกิดจากการตกผลึกซ้ำของซูโครส (sucrose recrystallization) ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยน้าอิสระจากการรวมตัวกันของน้าตาลเพื่อให้เกิด โครงสร้างผลึก อย่างไรก็ดี การเติมอินูลินและไซลิทอลในสูตร อาจช่วยชะลอการผลึกซ้ำของซูโครส จึงช่วยชะลอการ เปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บได้

Project Title	Determination of the change in soft cookie quality during storage
Student	Chalisa Suksmith
	Jirada Vaddanasuka
Study Program	Bachelor of Science in Food Technology
Advisor	Associate Professor Kanitha Tananuwong, Ph.D.
Department	Food Technology
Academic Year	2019

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the changes in chemical and physical properties, which were water activity, moisture content and texture of soft cookies during storage. Three formulas of cookie samples were prepared, which were control formula (formula 1), 30% fat replacement with inulin (formula 2) and 30% fat replacement with inulin combined with refined sugar replacement with xylitol (formula 3). The cookies were packed in 70 mm x 70 mm x 25 mm polypropylene plastic trays (1 piece/tray). Six cookie trays were placed in a laminated plastic pouch made from polyvinylidene chloride/Nylon/Linear Low Density Polyethylene plastic film. The plastic film had water vapor transmission rate of ≤ 0.20 g/m^2/day and oxygen transmission rate of ≤ 0.20 cc/m^2/day. The samples were stored in a temperature controlled cabinet at 25 $\pm$ 1 degree Celsius for 4 weeks. Random sampling of the cookie samples was done every 4-8 days, to evaluate water activity (a_w), moisture content and textural parameters. Results showed that moisture content of the cookies in every formulas did not change during storage ($p>0.05$). However, significant change in a_w and textural parameters of each formula during storage was found ($p\leq0.05$). For the formula 1, a_w strongly increased during the first 5 days of the storage ($p\leq0.05$) then it was relatively stable ($p>0.05$). Hardness and gumminess tended to increase ($p\leq0.05$) while springiness and cohesiveness decreased during the storage ($p\leq0.05$), corresponding to harder and more brittle cookies during storage. For the formula 2, a_w slightly increased during the first 10 days of the storage ($p\leq0.05$) then it was relatively stable ($p>0.05$). Springiness and cohesiveness tended to decrease ($p\leq0.05$) but hardness and gumminess did not changed during storage ($p\leq0.05$). For the formula 3, a_w, hardness, gumminess and springiness were not significantly different ($p>0.05$) but cohesiveness tended to decrease during storage ($p\leq0.05$). Changes in a_w and textural parameters of the soft cookies might occur from sucrose recrystallization, leading to free water release. However, adding Inulin and xylitol in the formula could retard sucrose crystallization, and thus delay the change of soft cookie texture during storage.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรในระดับปริญญาบัณฑิตของ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุน สนับสนุนจากโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ปีการศึกษา 2562 ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณ ไว้ ณโอกาสนี้

โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ ตลอดหลักสูตร ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำมาบูรณาการให้เกิดเป็นงานวิจัยนี้ได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณหัวหน้าห้องปฏิบัติการ บุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษางานวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องในอนาคตต่อไป

นางสาวชาลิสา สุขสมิทธิ์

นางสาวจิรดา วัฒนสุข

สารบัญ

หน้า

หน้าปกใน ..... ก

หน้าปกภาษาอังกฤษ ..... ข

หัวข้องานวิจัย ..... ค

บทคัดย่อ ..... ง

Abstract ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ 2

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 2

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ 2

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี 4

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

บทที่ 3 วัตถุดิบขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 8

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง 8

3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บรักษา 8

3.3 แผนการทดลองทางสถิติ 10

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 11

4.1 ผลการศึกษาค่า a_w และความชื้นของคุกกี้ชนิดนิ่ม 11

4.2 ผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่ม 13

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 18

5.1 สรุปผลการทดลอง 18

5.2 ข้อเสนอแนะ 18

เอกสารอ้างอิง 19

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่ม 21

ภาคผนวก ข ข้อเสนอโครงการวิจัย 25

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 ค่าวอเตอร์แอคทิวีตี้ของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และการเสื่อม..... 3
เสียจากจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ

3.1 ส่วนประกอบของคุกกี้สูตรต่างๆ สำหรับการเตรียมส่วนผสมเหลวหนึ่งรอบ..... 9
ต่อการอบ1 ซ้ำ 1 รอบ

4.1 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 1 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 11

4.2 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 2 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 12

4.3 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 3 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 12

4.4 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 1 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 13

4.5 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 2 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 14

4.6 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 3 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน..... 14

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อรา	3
2	ความสัมพันธ์ของระดับ a_w ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆ	4
3	การเกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity	5
3.1	บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองนี้	10
4.1	ค่า a_w ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือสูตรผสมอินูลิน และ สูตรที่ 3 คือสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล	13
4.2	ค่า Hardness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลิน และสูตรที่ 3 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล	16
4.3	ค่า Springiness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลิน และสูตรที่ 3 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล	16
4.4	ค่า Cohesiveness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลิน และสูตรที่ 3 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล	17

บทที่ 1
บทนำ

คุกกี้ชนิดนิ่ม เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดหนึ่งที่มีปริมาณความชื้นมากกว่า 6% โดยน้ำหนักขึ้นไป โดยทั่วไปคุกกี้ชนิดนิ่มสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 3 สัปดาห์ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (Thulin และคณะ, 1993) ส่วนประกอบของคุกกี้ชนิดนิ่ม (โดยน้ำหนัก) ประกอบด้วยแป้งและ shortening 20-80% น้ำตาลทราย 35-45% และอาจมีส่วนผสมอื่นๆ เช่น สารช่วยรักษาความชุ่มชื้นและอิมัลซิฟายเออร์ (อบเชย อิ่มสบาย, 2552) นิรัชรา แสงหิ่งห้อย และคณะ (2559) ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ชนิดนิ่มให้มีน้ำตาลน้อย เพิ่มเส้นใยอาหาร และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ในงานวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บของคุกกี้ โดยในคุกกี้ชนิดนี้มีส่วนประกอบของน้ำตาลทราย มีการรายงานว่าน้ำตาลทรายในคุกกี้จะเกิดการตกผลึกระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ ส่งผลให้คุกกี้ชนิดนิ่มมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างมากขึ้นระหว่างการเก็บด้วย (Belcourt และ Labuza 2007) ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรดังกล่าว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของคุกกี้ชนิดนิ่มต่างสูตรและศึกษากลไกหลักของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังกล่าว โดยมีสมมติฐานว่า การตกผลึกของน้ำตาลทรายในคุกกี้ชนิดนิ่มจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ระหว่างการเก็บ กล่าวคือ ทำให้คุกกี้แข็งเปราะ ซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย คือ ได้ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ และกลไกหลักที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวระหว่างการเก็บ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาปรับใช้ในการปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเบเกอรี่ระหว่างการเก็บ

เบเกอรี่ส่วนใหญ่นั้นจะมีคุณภาพที่ดีที่สุดเมื่อผลิตภัณฑ์นั้น เพิ่งออกจากเตาอบ แต่เมื่อการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลาที่นานก็จะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแบ่งเป็น 3 ด้าน ดังนี้

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

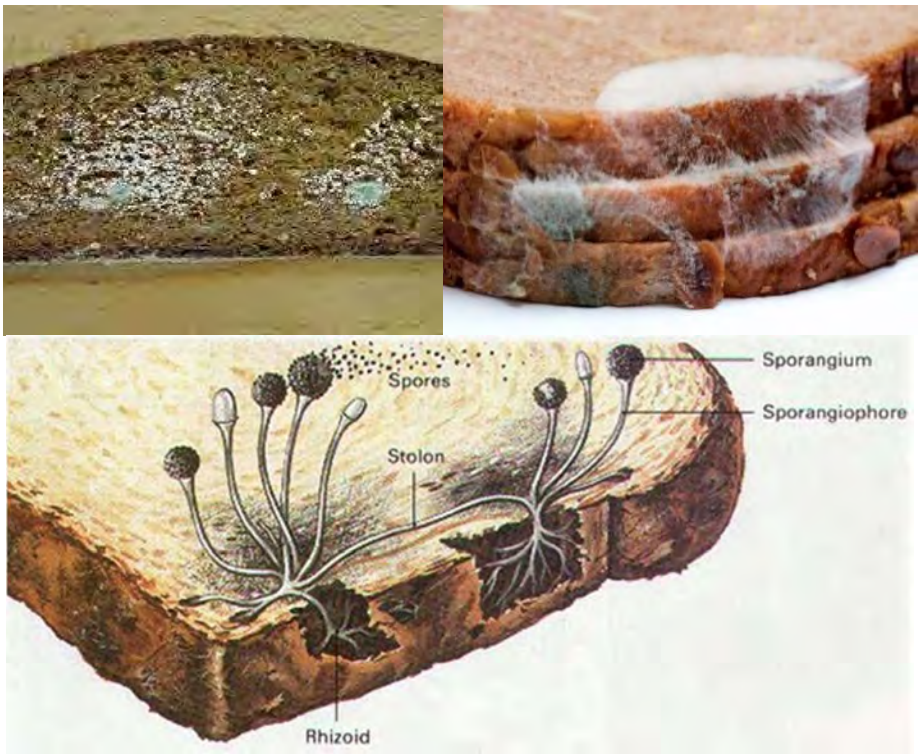
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ คือการสูญเสียความชื้นหรือดูดความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการสูญเสียและการดูดความชื้นขึ้นกับ ค่า a_W และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ซึ่งในผลิตภัณฑ์ประเภทคุกกี้ หรือบิสกิต จะมีค่า a_W ต่ำ อยู่ประมาณ 0.5 ± 0.2 (Robertson, 2013) ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มลง นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบที่มีค่า a_W สูงจะมีการสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มาจากกระบวนการเกิด retrogradation ของสตาร์ช หรือที่เรียกว่า staling ซึ่งจะทำให้การจัดเรียงโครงสร้างขององค์ประกอบของสตาร์ชเป็นระเบียบมากขึ้น โดยการเกาะกันของแอมิโลส และแอมิโล-เพกติน สายที่คู่ขนานด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง และทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แข็งและร่วนมากขึ้น (ณัฐดนัย หาญการสุจริต, 2559)

ในกรณีของคุกกี้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญคือ การตกผลึกใหม่ของน้ำตาลทราย (sucrose recrystallization) ซึ่งส่งผลให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แห้งและแข็งกระด้างขึ้นระหว่างการเก็บรักษา มีรายงานว่าคุกกี้หลังการอบจะมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มน่ารับประทาน แต่เมื่อทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องระยะหนึ่งจะทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างมากขึ้น (Belcourt และ Labuza 2007)

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และขนมอบต่างๆมักพบการเสื่อมเสียจากรามากที่สุดเนื่องจากมีค่า a_w ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งการเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆในแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับ a_w ของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยการเสื่อมเสียจากราจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนที่สุด และจะมีสีแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา (ณัฐดนัย หาญการสุจริต, 2559)

Robertson (2013) รายงานค่า water activities ของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มี ค่า a_w มากกว่าหรือเท่ากับ 0.90 เช่น ขนมปัง จะเกิดเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย และสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มี a_w เท่ากับ 0.70-0.90 เช่น เค้กผลไม้ จะพบการเจริญของราและยีสต์ (รูปที่ 1) ซึ่งรานั้นจะมีความทนทานต่อ a_w ต่ำๆได้ดีกว่าจุลินทรีย์ประเภทอื่นๆ โดยราบางชนิดอาจะทน a_w ได้ต่ำถึง 0.65 และจากรูปที่ 2 จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีระดับ a_w ต่ำกว่า 0.70 เช่น คุกกี้ บิสกิต จะพบการเจริญของเชื้อรา ชนิด Xerophile และยีสต์ชนิด Qsmophile



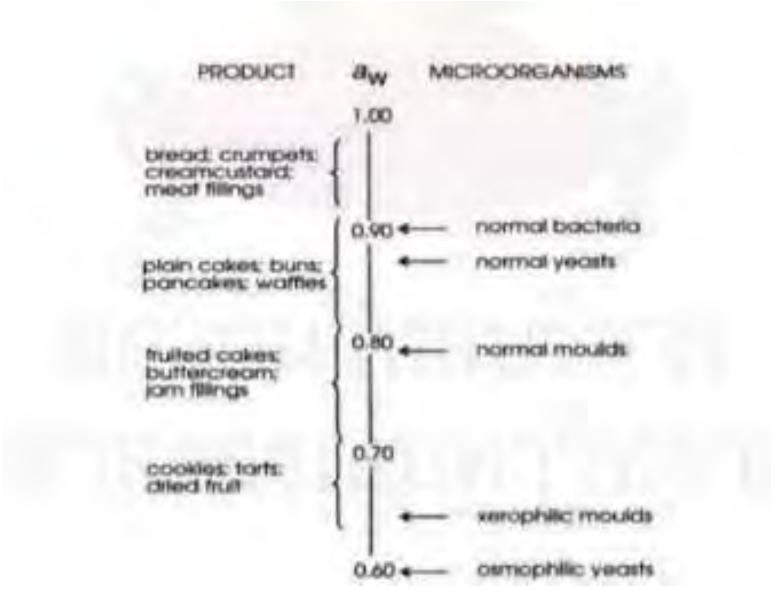
รูปที่ 1 ลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ที่มา : ณัฐดนัย หาญการสุจริต (2559).

ตารางที่ 1 ค่าวอเตอร์แอคตีวิตี้ของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ

ค่า Water Activity	**ชนิดผลิตภัณฑ์**	**สาเหตุของการเสื่อมเสีย**
0.99	ครีม คัสตาร์ด	การเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย
0.90 – 0.97	ขนมปัง	การเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย
0.90 – 0.95	เค้กที่มีความชุ่ม (moist cakes) เช่น เค้กแครอท	การเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย ยีสต์ และ รา
0.8 - 0.89	เค้กทั่วไป (plain cakes)	การเสื่อมเสียจากยีสต์และรา
0.7 – 0.79	เค้กผลไม้	การเสื่อมเสียจากยีสต์กลุ่ม osmophilic yeast และ เชื้อรากลุ่ม Xerophilic molds
0.6 – 0.69	ผลไม้แห้ง หรือเค้กผลไม้บางชนิด	การเสื่อมเสียจากยีสต์กลุ่ม osmophilic yeast , sugar-tolerant yeast และ เชื้อรากลุ่ม Specialized xerophilic molds
< 0.6	บิสกิต ช็อกโกแลต ผลไม้แห้ง	ไม่พบการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Robertson (2013)

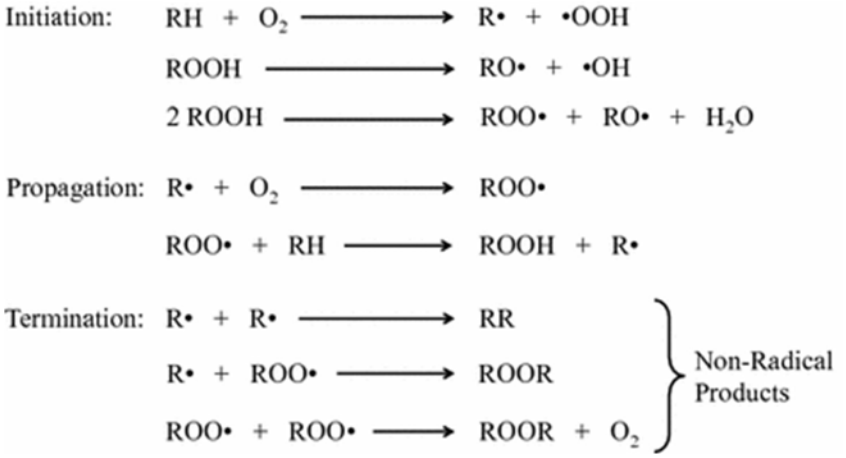


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของระดับ a_w ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆ
ที่มา : Blakistone (1999)

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ในผลิตภัณฑ์ขนมอบมักมีส่วนประกอบมาจากไขมันในปริมาณสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยา rancidity (การเหม็นหืน) ซึ่ง นอกจากทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมอบอีกด้วย ซึ่งปฏิกิริยา rancidity ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เกิดได้จาก 2 ปฏิกิริยาหลัก ได้ แก่ hydrolytic rancidity และ oxidative rancidity (ศิรินทิพย์ แสงสว่าง, 2547)

Oxidative rancidity คือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับก๊าซออกซิเจน โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลาเมื่อน้ำมันหรือไขมันสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการเหม็นหืน (lipid oxidation) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ lipoxygenase หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชันของไขมันได้ โดยปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชัน มีแสง อุณหภูมิและโลหะหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากรูปที่ 3 ทั้งนี้ สารกลุ่ม hydroperoxides จากขั้นตอน propagation สามารถสลายตัวและทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นทั้ง volatile compound และ nonvolatile compound ชนิดต่างๆ เช่น aldehyde ketone alcohol และอื่นๆ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของไขมัน ที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน (ศิรินทิพย์ แสงสว่าง, 2547)



รูปที่ 3 การเกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity
ที่มา : Potes และคณะ (2016)

Hydrolytic rancidity เกิดจากปฏิกิริยา hydrolysis ของไขมัน โดยมีน้ำและเอนไซม์ไลเพส ที่มีอยู่ในอาหาร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการสลายของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ซึ่งกรดไขมันอิสระที่ระเหยได้ เช่น short chain fatty acid จะให้กลิ่นหืนซึ่งเป็นการเสื่อมเสียของอาหาร และเป็นเหตุให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง คือ lipid oxidation ทำให้เกิดการเหม็นหืนมากขึ้น (คงวุฒิ นิรันตสุข, 2549)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิรินทิพย์ แสงสว่าง (2547) ศึกษาการยืดอายุการเก็บพายไส้เผือกโดยใช้สารคงความชื้นและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ โดยศึกษาการยืดอายุการเก็บพายไส้เผือกสูตรที่บรรจุในถุง Polyvinylidene Chloride oriented polypropylene and polyethylene file (PVDC/OPP/PE) ในสภาพบรรยากาศ 5 ภาวะได้แก่ สภาพบรรยากาศปกติ สภาพบรรยากาศปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน (air + oxygen absorber) 20 carbon dioxide /80 nitrogen 50 carbon dioxide /50 nitrogen และ 80 carbon dioxide /20 nitrogen เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าพายไส้เผือกสูตรทางการค้ามีอายุการเก็บ 7 21 14 และ 28 วันตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์พายไส้เผือกสูตรลดค่า water activity มีอายุการเก็บ 14 35 21 และ 35วัน ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาที่ภาวะ air + oxygen absorber และ 80 carbon dioxide /20 nitrogen ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ยาวนานที่สุด อย่างไรก็ดีพบว่ามีการเจริญของ anaerobe organism ในผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ภาวะ air + oxygen absorber

Belcourt และ Labuaza (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุในการแข็งตัวของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บรักษาโดยตั้งสมมติฐานว่าการตกผลึกซ้ำของซูโครส (sucrose recrystallization) และ การปลดปล่อยความชื้นจากการรวมตัวกันของน้ำตาลเพื่อให้เกิดโครงสร้างผลึก เป็นสาเหตุให้เกิดการแข็งตัวของคุกกี้ชนิดนิ่มเมื่อเวลาผ่านไป ในงานวิจัยนี้มีการใช้ raffinose หรือ trisaccharide ที่รู้จักกันในชื่อของสารยับยั้งการเกิดผลึก เติม raffinose ที่ความเข้มข้น 5% (w/w) เพื่อยับยั้งการตกผลึกซ้ำของซูโครสระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ โดยการวัดแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบเจาะ พบว่าคุกกี้ที่มีการเติม raffinose มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า และมีการตกผลึกซ้ำของซูโครสที่ลดลงระหว่างเก็บ ดังนั้น

สมมุติฐานที่ว่าการตกผลึกซ้ำของซูโครสเป็นสาเหตุหนึ่งในการแข็งตัวของคุกกี้จึงเป็นสมมุติฐานที่สามารถยอมรับได้

Romeo และคณะ (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของคุกกี้อัลมอนด์เพสตรี้ระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ภายใต้อุณหภูมิและเวลาการเก็บที่แตกต่างกัน โดยสังเกตความบรรจุคุกกี้อัลมอนด์เพสตรี้ในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 4 แบบ คือ ฟิล์มโพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หนา 15 μm อลูมิเนียมฟอยล์ (ALL) บรรจุภัณฑ์พลาสติกปิดผนึกที่มีการดัดแปลงบรรยากาศโดยการเติมก๊าซไนโตรเจนและใช้ฟิล์มโพลิเอททิลีนหนา 170 μm (modified atmosphere/ MAP) และภาชนะที่สัมผัสอากาศ (ตัวควบคุม) เก็บตัวอย่างไว้ที่ 20 และ 30 องศาเซลเซียส ตรวจวัดค่าสัดส่วนของแข็ง ค่า aw ค่าสี และ ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสโดยใช้ texture analyzer จากผลการทดลองพบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาคุกกี้อัลมอนด์เพสตรี้ คือ บรรจุภัณฑ์แบบ MAP เนื่องจากเนื่องจากตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้มีค่าสัดส่วนของแข็ง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นน้อยกว่า ตัวอย่างที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบอื่นระหว่างการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกสมบูรณ์และป้องกันความชื้นและออกซิเจนได้ดี จะช่วยเก็บรักษาคุกกี้อัลมอนด์เพสตรี้คุกกี้ ให้มีความนุ่ม ความชุ่มชื้นและปราศจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ และพบว่าการเก็บคุกกี้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าด้วย

Secch และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของการเติมผงเวย์โปรตีนชนิดหวาน (sweet ovine whey powder) ในคุกกี้ Amaretti เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคุกกี้และยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำและสามารถชะลอการตกผลึกของน้ำตาลซูโครสได้ โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี เนื้อสัมผัส และสมบัติทางประสาทสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 120 วัน โดยเปรียบเทียบคุกกี้ Amaretti สูตรปกติ (CON) และคุกกี้ Amaretti สูตรที่เติมผงเวย์ (A15) โดยเก็บไว้ในฟิล์มที่กันความชื้นได้ดี (high water vapour barrier film) ภายใต้ภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จากการทดลองพบว่าผงเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำ ซึ่งเห็นได้จากกราฟ sorption isotherms และ magnetic resonance imaging (MRI) ช่วยชะลอการเพิ่มความแข็งของเนื้อคุกกี้ลงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บของคุกกี้ Amaretti ได้ และการเติมผงเวย์โปรตีนไม่ได้ส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้เปลี่ยนไป นอกจากนี้ เทคนิค MRI ยังช่วยให้มองเห็นถึงความแตกต่างของโครงสร้างภายในและการกระจายตัวของโปรตอนในคุกกี้ทั้งสองสูตร ซึ่งพบว่าคุกกี้สูตร A15 มีโครงสร้างภายในที่การกระจายตัวของโปรตอนมีความสม่ำเสมอมากกว่า

Alamprese และคณะ (2017) ศึกษาเกี่ยวกับการยืดอายุการเก็บขนมปังแท่งสูตรโฮลวีท โดยการเติมสารสกัดโรสแมรี่ และเติมไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์ ศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆทั้งหมด 4 อุณหภูมิ (20 27 35 และ 48 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลาทั้งหมด 200 วัน จากผลการทดลองพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเพียงเล็กน้อยระหว่างเก็บรักษา แต่ค่าเพอร์ออกไซด์มีค่าสูง (13–539 meqO2/kgfat) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลของความเข้มข้น hexanal (เพิ่มขึ้นถึง13–34 mg/kg) เป็นสิ่งยืนยันว่าการเสื่อมสภาพของขนมปังแท่งสูตรโฮลวีทมีความสัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชั่นของลิพิดเป็นหลัก จากการศึกษาด้านจลนศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ระหว่างเก็บรักษาและการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี survival analysis ได้แสดงให้เห็นว่า สำหรับการเก็บรักษาที่ 20 และ 25 องศาเซลเซียส การเติมสารสกัดโรสแมรี่ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 42% เมื่อเทียบกับอายุการเก็บของตัวอย่างควบคุม ซึ่งการเติมสารสกัดโรสแมรี่นี้ให้ผลดีกว่าการใช้ไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์ (ซึ่งยืดอายุการเก็บได้ 24-29 %) แต่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังแท่งสูตรโฮลวีทคือการเติมสารสกัดโรสแมรี่รวมกับการใช้ไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์

ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ 83% ที่ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอายุการเก็บของตัวอย่างควบคุม

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสมที่นำมาใช้ในการเตรียมตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่ม ได้แก่ แป้งสาลีตราพัดโบก (บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์) น้ำตาลทรายชนิดละลายเร็วยี่ห้อลิน (บริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) น้ำตาลทรายแดงยี่ห้อวังขนาย (บริษัทน้ำตาลวังขนาย จำกัด) มาการีนยี่ห้อเบสท์ฟู้ด (บริษัทยูนิลีเวอร์ (ประเทศไทย) จำกัด) ไข่ไก่สดตราซีพี (บริษัทซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด) กลิ่นวนิลาตราวินเนอร์ (บริษัทเกรทฮิลท์ เทรดดิ้ง จำกัด) ผงฟูดับเบิ้ลแอคชั่นตราอิมพีเรียล (บริษัท เคซีจี คอร์เปอเรชั่น จำกัด) เกลือตราปรุงทิพย์ (บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธ์ จำกัด) อินูลิน Frutafit CLR (Sensus , Netherland) และไซลิทอล Xivia C (Dansico,UK)

3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บรักษา

ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ (เตาอบรุ่น PL – 6 Infrared Food Oven, กล้วยน้ำไทเตาอบ, ประเทศไทย) ก่อนการเตรียมตัวอย่าง โดยปรับอุณหภูมิไฟล่าง 160 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเตาไฟบน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เตรียมตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่ม ตามสูตรที่แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยเริ่มจากการเตรียมถาดอะลูมิเนียมสำหรับอบ แล้วรองด้วยกระดาษไข จากนั้นเตรียมผสมแป้งสาลี ผงฟู และเกลือ โดยนำไปร่อนผ่านตะแกรง 30 mesh แล้วพักไว้ จากนั้นนำมาการีนมาตีผสมให้เข้ากับน้ำตาลทรายแดงและน้ำตาลทรายละเอียด โดยตีผสมด้วยเครื่องผสม KitchenAid รุ่น K5SS ใช้หัวตีรูปใบพัดด้วยความเร็วปานกลาง ระดับ 2 จากนั้นค่อยๆ เติมไข่และกลิ่นวนิลาภายในเวลา 3 นาที จากนั้นใส่ส่วนผสมแห้งที่เตรียมไว้ลงในเครื่องผสมและค่อยๆ ตีด้วยความเร็วต่ำระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที ตักส่วนผสมของเหลวโดยใช้ที่ตักไอศกรีมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ตักให้มีน้ำหนักสุทธิประมาณ 17 $\pm$ 0.4 กรัม วางเรียงบนถาดอบโดยกะระยะห่างของคุกกี้แต่ละชิ้นให้เหมาะสม จากนั้นนำไปอบในเตาโดยมีอุณหภูมิไฟล่าง 160 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไฟบน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 นาที นำคุกกี้ออกมาพักไว้ที่อุณหูมิห้องประมาณ 30 นาที หากเป็นคุกกี้สูตรที่สองและสาม ให้ตีผสมอินูลินและน้ำตาลทรายแต่ละชนิดเข้ากับมาการีน และในสูตรที่สาม ให้ตีผสม Xylitol อินูลิน และน้ำตาลทรายแดงเข้ากับมาการีน

โดยแต่ละครั้งของการเตรียมตัวอย่างคุกกี้ จะตีส่วนผสมให้ได้น้ำหนักรวมประมาณ 818 กรัม และนำไปอบพร้อมกัน ให้ได้ประมาณ 48 ชิ้นต่อการอบ 1 ครั้ง ทั้งนี้กำหนดให้การตีส่วนผสมเหลว 1 ครั้ง และการอบ 1 ครั้งเป็นการทดลอง 1 ซ้ำ

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของคุกกี้สูตรต่างๆ สำหรับการเตรียมส่วนผสมเหลวหนึ่งรอบ ต่อการอบ1 ซ้ำ 1 รอบ

ส่วนประกอบ	สูตรควบคุม (สูตรที่ 1)	สูตรผสมอินูลิน (สูตรที่ 2)	สูตรผสมอินูลินและไซลิทอล (สูตรที่ 3)
แป้งสาลี (กรัม)	317.24	317.24	317.24
น้ำตาลทรายแดง (กรัม)	135.24	135.24	135.24
มาการีน (กรัม)	158.30	110.82	110.82
ไข่ไก่ (กรัม)	100.36	100.36	100.36
น้ำตาลทรายละเอียด (กรัม)	97.66	97.66	0.00
กลิ่นวนิลา (กรัม)	2.04	2.04	2.04
ผงฟู (กรัม)	3.60	3.60	3.60
เกลือป่น (กรัม)	3.60	3.60	3.60
อินูลิน (กรัม)	0.00	47.48	47.48
ไซลิทอล (กรัม)	0.00	0.00	97.66
รวม (กรัม)	818.04	818.04	818.04

เตรียมตัวอย่างคุกกี้ตามสูตรคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) สูตรแทนที่ไขมันด้วยอินูลิน 30% ของไขมันที่ใช้ (สูตรที่ 2) และสูตรแทนที่ไขมันด้วยอินูลินร่วมกับการแทนที่น้ำตาลทรายขาวทั้งหมดด้วย Xylitol (ตารางที่ 3.1) โดยแต่ละสูตรจะทำทั้งหมด 3 ซ้ำ บรรจุตัวอย่างคุกกี้แต่ละสูตร โดยวางคุกกี้แต่ละชิ้นในถาดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน ขนาด 70 mm x 70 mm x 25 mm แล้วจึงบรรจุคุกกี้ 6 ชิ้น ในถุงพลาสติกชนิด polyvinylidene chloride/Nylon/Linear Low Density Polyethylene ขนาด 220 mm x 40 mm x 290 mm ซึ่งมีค่า Water vapor transmission rate $\leq$ 0.20 g/m^2/day และ Oxygen transmission rate $\leq$ 0.20 cc/m^2/day จากนั้นปิดผนึกถุงด้วยความร้อนด้วยเครื่องปิดผนึก จะได้ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ในการทำคุกกี้ 1 ซ้ำ จะได้ตัวอย่างคุกกี้ 8 ถุง เพื่อสุ่มตรวจคุณภาพระหว่างการเก็บที่เวลาต่างๆ) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปเรียงใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.1 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองนี้

สุ่มตัวอย่างคุกกี้ 1 ถุง (สำหรับแต่ละซ้ำของการทดลอง) ทุกๆ 4-8 วัน มาตรวจวัดสมบัติดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก.1)
- วัดค่ากิจกรรมของน้ำ (aw) ด้วยเครื่อง Aqua lab series 3 (ภาคผนวก ก.2)
-วัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analyzer รุ่น TA.XT2i) ตามวิธีของ นิรัชรา แสงหิ่งห้อย และคณะ (2559) (ภาคผนวก ก.3)

3.3 แผนการทดลองทางสถิติ

ทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) เพื่อศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสต่อสมบัติต่างๆของคุกกี้ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาค่า a_w และความชื้นของคุกกี้ชนิดนิ่ม

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรก ($p\leq 0.05$) จากนั้นจึงมีค่าคงที่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเกิดการตกผลึกซ้ำของซูโครส (sucrose recrystallization) ของน้ำตาลทราย ทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำอิสระ จึงทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้น (Belcourt & Labuza (2007))

ตารางที่ 4.1 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 1 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	**a_w**	**ความชื้น^{ns} (%)**
1	$0.614^{b} \pm 0.024$	9.88 ± 0.48
5	$0.678^{a} \pm 0.012$	9.35 ± 0.33
9	$0.708^{a} \pm 0.030$	9.68 ± 0.13
18	$0.697^{a} \pm 0.001$	9.79 ± 0.08
26	$0.703^{a} \pm 0.006$	9.71 ± 0.08

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ
a, b, c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)
ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 2 (สูตรผสมอินูลิน) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าสูตรที่ 1 นั่นคือค่อยๆ เพิ่มขึ้นภายใน 10 วันของการเก็บรักษา ($p\leq 0.05$) จากนั้นจึงคงที่ ($p>0.05$) เนื่องจากการผสมอินูลินในสูตรอาจช่วยชะลอการตกผลึกของน้ำตาลทราย จึงทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไม่รวดเร็วเหมือนในสูตรที่ 1

ตารางที่ 4.2 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 2 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	a_w	ความชื้น^{ns} (%)
1	$0.599^{b} \pm 0.043$	9.60 ± 0.09
5	$0.623^{b} \pm 0.047$	9.37 ± 0.85
10	$0.653^{ab} \pm 0.009$	9.60 ± 0.24
19	$0.697^{a} \pm 0.001$	9.58 ± 0.24
28	$0.692^{a} \pm 0.003$	9.76 ± 0.53

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ
a, b, c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

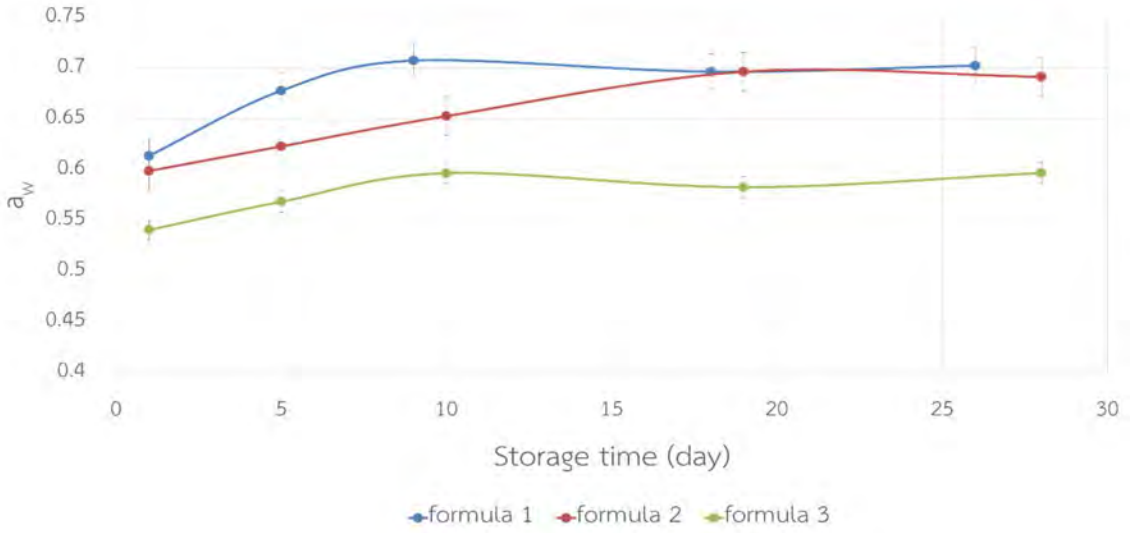
จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความชื้นและค่า a_w ของคุกกี้สูตรที่ 3 (สูตรผสมอินูลินและไซลิทอล) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเก็บรักษา ($p > 0.05$) เนื่องมาจากการลดปริมาณน้ำตาลทรายในสูตรลงโดยการแทนที่น้ำตาลทรายขาวทั้งหมดด้วยไซลิทอล จึงอาจส่งผลให้เกิดการตกผลึกซ้ำของซูโครสน้อยกว่าสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ อินูลินและไซลิทอลยังอาจช่วยชะลอการเกิดการตกผลึกซ้ำของซูโครสระหว่างเก็บอีกด้วย

ตารางที่ 4.3 ค่า a_w และความชื้นของคุกกี้สูตรที่ 3 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	a_w^{ns}	ความชื้น^{ns} (%)
1	0.541 ± 0.030	10.18 ± 0.49
5	0.569 ± 0.036	9.99 ± 0.20
10	0.597 ± 0.006	9.96 ± 0.82
19	0.583 ± 0.008	10.26 ± 0.33
28	0.597 ± 0.015	9.98 ± 0.35

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ
ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่า ค่า a_w ของคุกกี้สูตรที่ 1 เพิ่มขึ้นเร็วที่สุดและมากที่สุด (ภายใน 5 วันแรก) แต่การเติมอินูลิน และ/หรือไซลิทอล ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า a_w ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 2 และ 3 ระหว่างการเก็บได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าทางเนื้อสัมผัส ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 4.1 ค่า a_w ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือสูตรผสมอินูลิน และ สูตรที่ 3 คือสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล

4.2 ผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่ม

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คุกกี้สูตรที่ 1 มีค่า hardness และ ค่า gumminess เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่า springiness และ ค่า cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า chewiness ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Belcourt และ Labuza (2007) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายระหว่างการเก็บ ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่มมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น และยังสอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า a_w ระหว่างการเก็บ (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1) ซึ่งอาจอธิบายได้จากการปลดปล่อยน้ำอิสระเนื่องจากการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นด้วย

ตารางที่ 4.4 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 1 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	Hardness (g-force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g-force)	Chewiness^{ns} (g-force)
1	$2555^{c} \pm 146$	$0.462^{a} \pm 0.005$	$0.339^{a} \pm 0.019$	$868^{b} \pm 97$	409 ± 50
5	$6003^{b} \pm 960$	$0.455^{a} \pm 0.020$	$0.244^{b} \pm 0.025$	$1504^{b} \pm 328$	679 ± 116
9	$5955^{b} \pm 1430$	$0.505^{a} \pm 0.034$	$0.220^{b} \pm 0.038$	$1356^{b} \pm 525$	695 ± 319
18	$6934^{b} \pm 1494$	$0.384^{b} \pm 0.024$	$0.201^{b} \pm 0.026$	$1445^{b} \pm 478$	563 ± 220
26	$10658^{a} \pm 2024$	$0.312^{c} \pm 0.069$	$0.226^{b} \pm 0.033$	$2424^{a} \pm 368$	749 ± 194

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คุกกี้สูตรที่ 2 มีค่า hardness และ gumminess ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดการเก็บ ($p > 0.05$) แต่ค่า springiness และ cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มอินูลินอาจช่วยชะลอการตกผลึกของน้ำตาลทรายในสูตร ซึ่งสังเกตได้จากค่า hardness ที่ค่อนข้างคงที่ระหว่างการเก็บ ซึ่งสอดคล้องกับค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (รูปที่ 4.1) อย่างไรก็ดี ค่า springiness และ cohesiveness ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บ ($p \leq 0.05$) แสดงถึงเนื้อสัมผัสที่ยังคงเปราะและร่วนมากขึ้นเมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้น

ตารางที่ 4.5 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 2 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	Hardness^{ns} (g-force)	springiness	Cohesiveness	Gumminess^{ns} (g-force)	Chewiness (g-force)
1	7438±2920	0.320^{a} ±0.012	0.229^{a} ±0.017	1760 ±803	582^{a}±292
5	7188±2779	0.309^{a} ±0.007	0.157^{b}±0.019	1218 ±627	382^{ab}±199
10	6773±783	0.284^{b} ±0.007	0.121^{bc}±0.028	863 ±303	250^{b}±95
19	5839±568	0.225^{c} ±0.014	0.084^{c}±0.019	497 ±101	115^{b}±29
28	6729±712	0.203^{d} ±0.010	0.091^{c}±0.091	618 ±182	127^{b}±40

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ
a, b, c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คุกกี้สูตรที่ 3 มีค่า hardness gumminess springiness และ Chewiness ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ค่า cohesiveness มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น การผสมอินูลินและไซลิทอลอาจชะลอการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายในคุกกี้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น จึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้สูตรเพิ่มอินูลินและไซลิทอลนั้น ยังคงนุ่มและยืดหยุ่น ไม่แข็งเปราะ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาด้วย

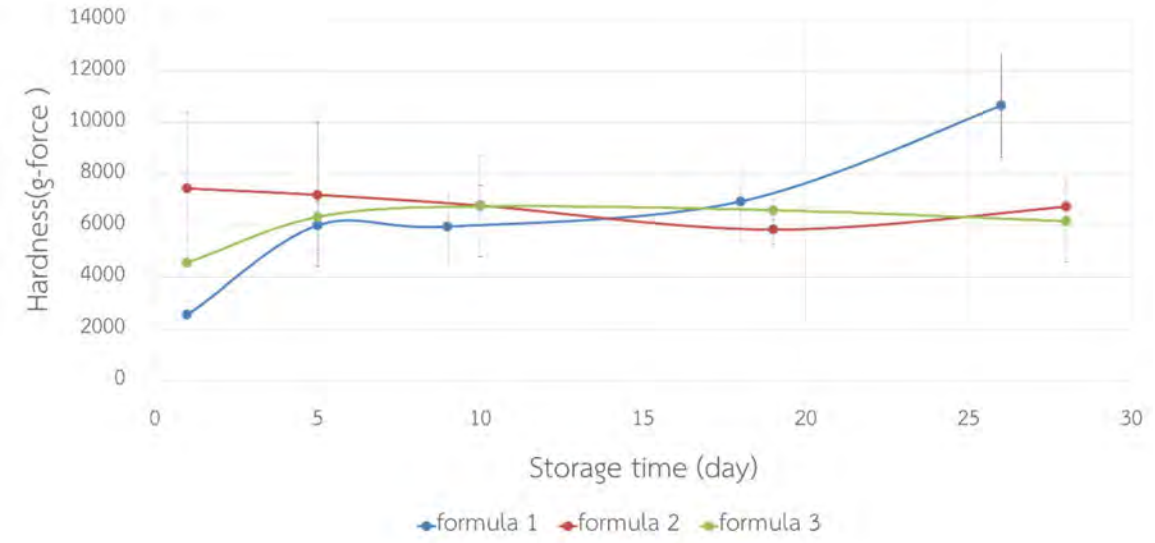
ตารางที่ 4.6 ค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรที่ 3 ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	Hardness^{ns} (g-froce)	Springiness^{ns}	Cohesiveness	Gumminess^{ns} (g-force)	Chewiness^{ns} (g-force)
1	4556±190	0.397±0.038	0.304^{a}±0.016	1405±91	579±77
5	6330±1432	0.395±0.043	0.280^{ab}±0.022	1821±557	748±302
10	6744±1951	0.398±0.048	0.278^{ab}±0.008	1901±608	781±341
19	6594±386	0.399±0.020	0.280^{ab}±0.010	1868±167	760±88
28	6163±1591	0.378±0.009	0.260^{b}±0.010	1609±326	625±170

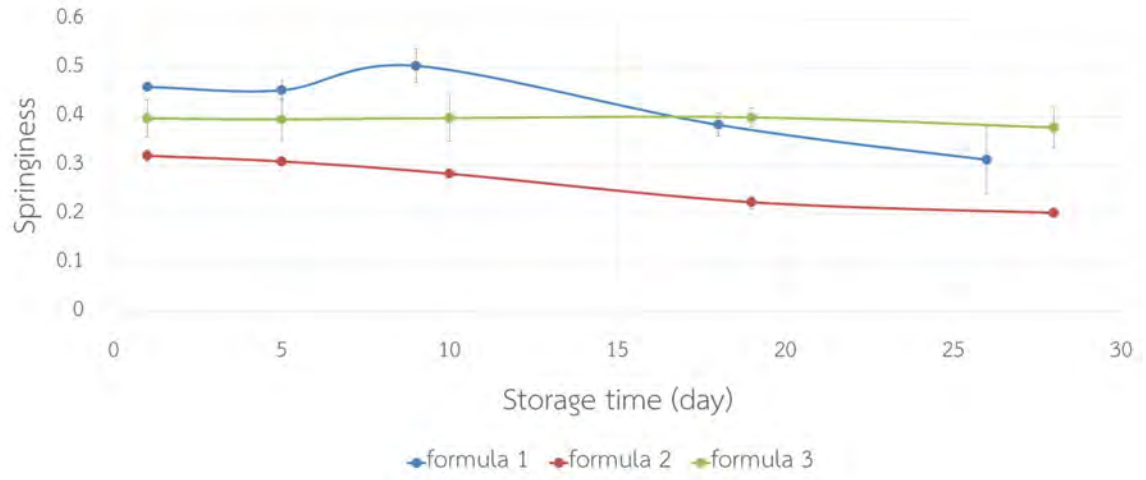
รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ
a, b, c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากรูปที่ 4.2 – 4.4 พบว่า ค่า Hardness ของคุกกี้สูตรที่ 1 เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับคุกกี้สูตรที่ 2 และ 3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า hardness เพียงเล็กน้อยระหว่างการเก็บ ส่วนค่า springiness และ cohesiveness ของคุกกี้สูตรที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มลดลงระหว่างเก็บ แสดงให้เห็นว่าคุกกี้มีความเปราะร่วนที่มากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ อย่างไรก็ดี คุกกี้สูตรที่ 3 มีแนวโน้มของค่า springiness และ cohesiveness ที่ค่อนข้างคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและยืดหยุ่น ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของคุกกี้ชนิดนิ่ม ที่ยังคงอยู่ในช่วงเวลา 28 วันของการทดลอง

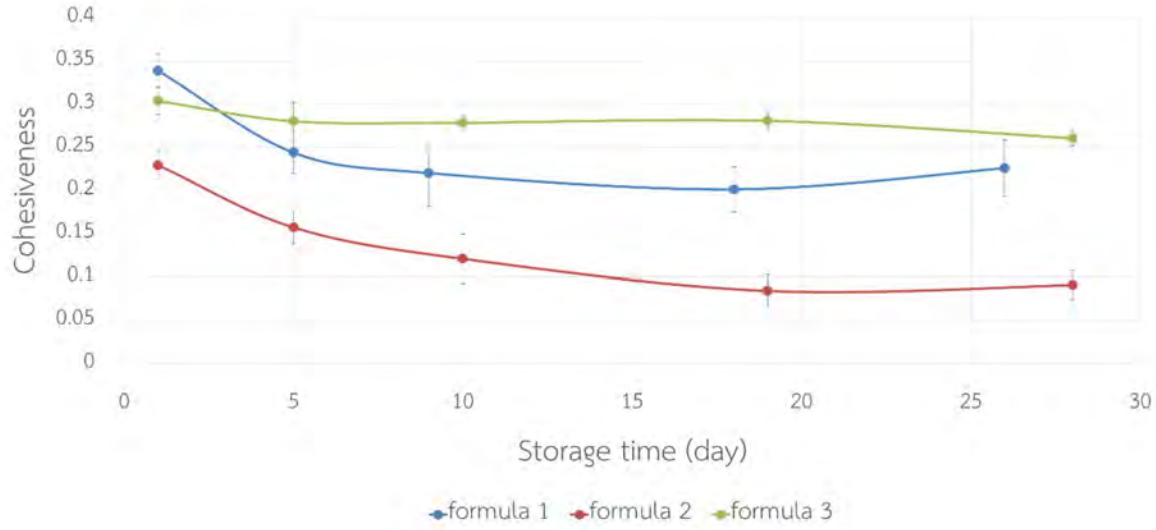
อย่างไรก็ดี จากรูปที่ 4.2 – 4.4. เมื่อพิจารณาค่า hardness springiness และ cohesiveness ของสูตรที่ 2 เทียบกับสูตรอื่นๆ พบว่าสูตรดังกล่าวมีค่า hardness สูงสุด (ในช่วง 5 วันแรกของการเก็บ) แต่มีค่า springiness และ cohesiveness ต่ำที่สุด (ตลอดช่วงเวลาการเก็บรักษา) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้อินูลินแทนที่ไขมันในสูตร ทำให้กลูเตนสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากไขมันที่เป็นตัวขวางของอันตรกิริยาระหว่างน้ำกับกลูเตนนั้นลดลง ทำให้เนื้อคุกกี้แน่นขึ้น แต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่า และมีความเปราะร่วนมากกว่าสูตรอื่นๆ (Rodriguez-Garcia และคณะ, 2013; นิรัชรา แสงหิ่งห้อย และคณะ, 2559) แต่เมื่อใช้ไซลิทอลทดแทนน้ำตาลทรายขาวในสูตร กลับทำให้คุกกี้มีค่า springiness และ cohesiveness เพิ่มขึ้นจากคุกกี้สูตรที่ 2 (ที่เวลาการเก็บรักษาเท่ากัน) อาจเป็นเพราะเกิดการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายในระดับที่ต่ำกว่า เนื่องจากผลของการแทนที่น้ำตาลทรายขาวด้วยไซลิทอล ทำให้น้ำตาลทรายโดยรวมในสูตรลดลง ซึ่งอาจเกิดร่วมกับผลการชะลอการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายเนื่องจากไซลิทอลเอง ซึ่งการลดการตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทรายนี้ อาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสโดยรวมมากกว่าผลที่เกิดจากการใช้อินูลินแทนที่ไขมัน จึงทำให้คุกกี้สูตรที่ 3 มีความยืดหยุ่นมากกว่าและเกาะตัวกันดีกว่าสูตรที่ 2



รูปที่ 4.2 ค่า Hardness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลิน และสูตรที่ 3 คือคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล



รูปที่ 4.3 ค่า Springiness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือสูตรผสมอินูลินและ สูตรที่ 3 คือสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล



รูปที่ 4.4 ค่า Cohesiveness ของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ ที่เวลาการเก็บรักษาต่างกัน โดยสูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือสูตรผสมอินูลินและ สูตรที่ 3 คือสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆระหว่างการเก็บรักษา เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าความชื้นของคุกกี้ทุกสูตรไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเก็บ ($p>0.05$) แต่ค่า a_w และค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้แต่ละสูตรมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บ โดยคุกกี้สูตรควบคุม มีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 5 วันแรกของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) จากนั้นจึงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาการเก็บ ($p>0.05$) ส่วนค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า springiness & cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องลักษณะคุกกี้ที่มีความแข็งและร่วนมากขึ้นระหว่างการเก็บ

ส่วนในสูตรที่สองเมื่อแทนที่ไขมันในสูตรด้วยอินูลิน พบว่าเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่า a_w เพิ่มในอัตราที่ช้ากว่าสูตรควบคุม นั่นคือค่อยๆ เพิ่มขึ้นภายใน 10 วันของการเก็บรักษา ($p\leq0.05$) จากนั้นจึงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาการเก็บ ($p>0.05$) ส่วนค่า hardness และ gumminess ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดการเก็บ ($p > 0.05$) เนื่องจากการผสมอินูลิน อาจช่วยชะลอการตกผลึกของน้ำตาลทรายในสูตร ซึ่งสังเกตได้จากค่า hardness ที่คงที่และการเพิ่มของ a_w ด้วยอัตราที่ช้าลง อย่างไรก็ดี ค่า springiness และ cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บ ($p \leq 0.05$) แสดงถึงเนื้อสัมผัสที่ยังคงเปราะและร่วนมากขึ้นเมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้น

สำหรับคุกกี้สูตรที่สาม สูตรผสมอินูลินและไซลิทอล พบว่าค่า a_w hardness gumminess และ springiness ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บ ($p > 0.05$) แต่ค่า Cohesiveness มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บ ($p\leq0.05$) อาจเป็นเพราะการผสมอินูลินและไซลิทอล อาจช่วยชะลอการเกิด sucrose recrystallization ระหว่างเก็บ ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้ยังคงนุ่มและยืดหยุ่น ไม่แข็งเปราะ ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงค่า a_w และค่าทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มอาจเกิดจากการตกผลึกซ้ำของซูโครส (sucrose recrystallization) ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำอิสระจากการรวมตัวกันของน้ำตาลเพื่อให้เกิดโครงสร้างผลึก อย่างไรก็ดีการเติมอินูลินและไซลิทอลในสูตร อาจช่วยชะลอการผลึกซ้ำของซูโครส จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการทดลองเพิ่มเติมโดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค และใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อช่วยทำนายอายุการเก็บรักษาของคุกกี้ชนิดนิ่ม

เอกสารอ้างอิง

คงวุฒิ นิรัตนสุข (2543), การศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ณัฐดนัย หาญการสุจริต (2559), เอกสารประกอบการสอนวิชาการบรรจุในอุตสาหกรรมอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ และวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรัชรา แสงหิ่งห้อย,พิมนปัตถน์ เล่าซู และอริสา เก๊จวลีวรรณ (2559), การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ชนิดนิ่มสูตรน้ำตาลน้อยและใยอาหารสูง, โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิรินทิพย์ แสงสว่าง (2547), การยืดอายุการเก็บพายไส้พายเผือกโดยใช้สารคงความชื้นและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alamprese, C., Cappa, C.,Ratti, S.,Limbo, S.,Signorelli, M., Fessas, D., et al. (2017). Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. Food Chemistry, 230: 532-539.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 17 th ed. Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists.

Belcourt, L. and Labuza, T. (2007). Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in cookies. Journal of Food Science, 1:72-65.

Blakistone, B.A. (1999). Principles and Application of Modified Atmosphere Packaging of Food 2nd ed. Maryland: Aspen Publisher.

Potes, N., Lim, A.S.L. and Roos, Y.H. (2016). Chemical stability: Browning and oxidation. In Engineering Foods for Bioactives Stability and Delivery. Roos, Y. H. and Livney, Y. D. (Eds.). pp. 361-400. New York: Springer-Verlag.

Robertson, G. L. (2013). Food Packaging: Principles and Practice. New York: CRC press.

Romeo, F.V., De Luca, S., Piscopo, A., Santisi, V. and Poiana, M. (2010). Shelf-life of almond pastry cookies with different types of packaging and levels of temperature. Journal of Food Science and Technology, 1: 233-239.

Secchi, N., Stara, G., Anedda, R., Campus, M., Piga, A., Roggio, T. and Catzeddu, P. (2011). Effectiveness of sweet ovine whey powder in increasing the shelf life of Amaretti cookies. Journal of food Science and Technology, 44: 1073-1078.

ภาคผนวก ก.
วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่ม

ก.1 การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert 600, Germany)
2. เครื่องชั่ง (ทศนิยม4ตำแหน่ง)
3. Desiccator
4. คีมคีบ
5. ถ้วยอลูมิเนียม
6. อุปกรณ์สำหรับบดคุกกี้

- วิธีการวิเคราะห์

1. บดตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่มให้เป็นผงละเอียดสม่ำเสมอ
2. ชั่งตัวอย่างคุกกี้ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2g ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนอยู่แล้ว
3. อบตัวอย่างให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่ 105°Cจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่
4. ทิ้งให้เย็นใน Desiccator
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและคำนวณความชื้นจากสมการที่1(โดยน้ำหนักเปียก)

$$\text{ความชื้น(\%โดยน้ำหนักเปียก)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})\ x\ 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}} \qquad (1)$$

6. วิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่าง4ชิ้นที่ได้จากการอบ 1 ครั้ง

ก.2 การวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_W)

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (Aqua lab series 3 , U.S.A)
2. ถ้วยสำหรับวัด Water activity
3. อุปกรณ์สาหรับบดคุกกี้

- วิธีการวิเคราะห์

1. บดตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่มให้เป็นผงละเอียดสม่ำเสมอ
2. ชั่งตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่มที่บดแล้ว 2 g ใส่ในถ้วยวัด Water activity

3. นำถ้วยวัด Water activity ใส่ในเครื่องวัด a_W จากนั้น รอประมาณ 2 นาที ต่อตัวอย่าง จน ได้ค่า a_W คงที่
4. บันทึกค่าที่ได้จากการวิเคราะห์
5. วิเคราะห์ค่าa_Wของตัวอย่าง3ชิ้นที่ได้จากการอบ1ครั้ง

ก.3 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (นิรัชรา แสงหิ่งห้อย และคณะ, 2559)

■ อุปกรณ์และเครื่องมือ

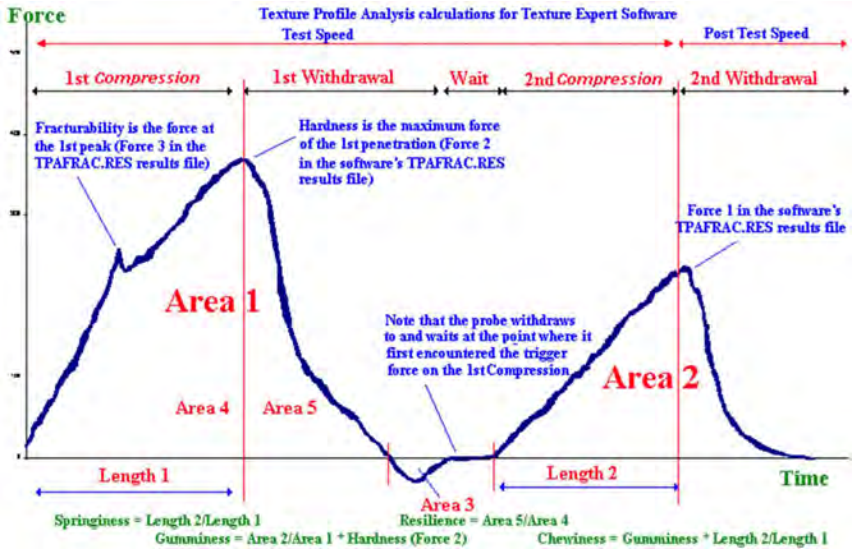
1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (Stable Micro System, รุ่น TA.XT2i, UK)
2. หัววัดรูปทรงกระบอก (Probe) SMS P/100 เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm

■ วิธีการวิเคราะห์

1. ประกอบหัววัดรูปทรงกระบอกเข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
2. Calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1,000 กรัม
3. Calibrate Height โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 25 mm
4. เลือกรูปแบบการวิเคราะห์เป็นแบบ Texture Profile Analysis (TPA) จากนั้นจึงตั้งค่าเครื่องให้รายละเอียดดังต่อไปนี้

Mode	:	Measure for compression
Option	:	Texture Profile Analysis
Force Unit	:	gram
Pre-test speed	:	1 mm/sec
Test- Speed	:	5 mm/sec
Distance	:	30% Strain (30% ของระยะความสูงตัวอย่าง)
Trigger type	:	Auto- 5 g
Time	:	5 sec

5. วางตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่มบนแท่นวางตัวอย่างครั้งละ 1 ชิ้นโดยให้แนวหัววัดอยู่ตรงกลางของตัวอย่างคุกกี้ชนิดนิ่ม
6. ควบคุมสภาวะการทางานของเครื่องด้วยคอมพิวเตอร์ จากนั้นวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงค่าจากการวัดเนื้อสัมผัส

ที่มา : http://ahbey92.blogspot.com/

7. บันทึกค่าที่ประมวลผลได้จากเครื่องดังนี้
   - o ค่า Hardness คือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดมีหน่วยเป็นหน่วยของแรงเช่นนิวตัน (N)
   - o ค่า Adhesiveness คืองานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง เป็นพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก จากรูปที่ ก.1 คือ Area3
   - o ค่า Cohesiveness คือแรงยึด เกาะกันภายในอาหารเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟ ส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดครั้งที่ 2 และครั้งที่ 1 จากรูปที่ ก.1 คือ Area2 / Area1
   - o ค่า Springiness คือ ความสูงของอาหารที่คืนกลับระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งแรกกับเริ่มการกดครั้งที่ 2 จากรูปที่ ก.1 คือ Distance / Distance1
   - o ค่า Gumminess คือพลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น semi-solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้หาได้จาก hardness x cohesiveness
   - o ค่า Chewiness คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหาร solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ หาได้จาก gumminess x springiness
8. วัดเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง6ชิ้นที่ได้จากการอบ1ครั้ง

ภาคผนวก ข.

รายละเอียดโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ประจำปีงบประมาณ2562
คณะวิทยาศาสตร์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บ (Determination of the change in soft cookie quality during storage)

นิสิตผู้ร่วมโครงการ นางสาวชาลิสา สุขสมิทธิ์
นางสาวจิรดา วัฒนสุข

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รศ.ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

มูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

นิรัชรา แสงหิ่งห้อย และคณะ (2559) ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ชนิดนิ่มให้มีน้ำตาลน้อย เพิ่มเส้นใยอาหาร และเป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค แต่ในงานวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของคุกกี้ชนิดนิ่ม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างระยะเวลาการเก็บ และเนื่องจากมีการรายงานว่า น้ำตาลทรายในคุกกี้จะเกิดการตกผลึกระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ ส่งผลให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างขึ้นระหว่างการเก็บ (Belcourt และ Labuza 2007) ซึ่งในคุกกี้ชนิดนี้มีส่วนประกอบของน้ำตาลทราย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาเพื่อดูว่า การตกผลึกของของน้ำตาลทรายในคุกกี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะทางกายภาพของคุกกี้ระหว่างการเก็บรักษาอย่างไร

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เบเกอรี่ส่วนใหญ่นั้นจะมีคุณภาพที่ดีที่สุดเมื่อผลิตภัณฑ์นั้น เพิ่งออกจากเตาอบ แต่เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลาที่นานก็จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเบเกอรี่ระหว่างการเก็บ ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ คือการสูญเสียความชื้นหรือดูดความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการสูญเสียและการดูดความชื้นขึ้นกับ ค่า a_W และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ซึ่งในผลิตภัณฑ์ประเภทคุกกี้ หรือบิสกิต จะมีค่า a_W ต่ำ อยู่ประมาณ 0.5 ± 0.2 (Robertson, 2013) ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มลง นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบที่มีค่า a_W สูงจะมีการสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มาจากกระบวนการเกิด retrogradation ของสตาร์ช หรือที่เรียกว่า staling ซึ่งจะทำให้การจัดเรียงโครงสร้างขององค์ประกอบของสตาร์ชเป็นระเบียบมากขึ้น โดยการเกาะกันของแอมิโลส และแอมิโลเพกตินสายที่คู่ขนานด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง และทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แข็งและร่วนมากขึ้น (ณัฐดนัย หาญการสุจริต ,2559).

ในกรณีของคุกกี้ชนิดนิ่ม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดหนึ่งที่มีปริมาณความชื้นมากกว่า 6% โดยน้ำหนักขึ้นไป มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญคือ การตกผลึกใหม่ของน้ำตาลทราย (sucrose recrystallization) ซึ่งส่งผลให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แห้งและแข็งกระด้างขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและมีรายงานว่าคุกกี้หลังการอบจะมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มน่ารับประทาน แต่เมื่อทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องระยะหนึ่งจะทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างมากขึ้น (Belcourt และ Labuza 2007)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิรินทิพย์ แสงสว่าง (2547) ศึกษาการยืดอายุการเก็บพายไส้เผือกโดยใช้สารคงความชื้นและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ โดยศึกษาการยืดอายุการเก็บพายไส้เผือกสูตรที่บรรจุในถุง Polyvinylidene Chloride oriented polypropylene and polyethylene file (PVDC/OPP/PE) ในสภาพบรรยากาศ 5 ภาวะได้แก่ สภาพบรรยากาศปกติ สภาพบรรยากาศปกติที่มีสารดูดซับออกซิเจน (air + oxygen absorber) 20 carbon dioxide /80 nitrogen 50 carbon dioxide /50 nitrogen และ 80 carbon dioxide /20 nitrogen เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าพายไส้เผือกสูตรทางการค้ามีอายุการเก็บ 7 21 14 และ 28 วันตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์พายไส้เผือกสูตรลดค่า water activity มีอายุการเก็บ 14 35 21 และ 35วัน ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาที่ภาวะ air + oxygen absorber และ 80 carbon dioxide /20 nitrogen ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ยาวนานที่สุด อย่างไรก็ดีพบว่ามีการเจริญของ anaerobe organism ในผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ภาวะ air + oxygen absorber

Belcourt และ Labuaza (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุในการแข็งตัวของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บรักษาโดยตั้งสมมติฐานว่าการตกผลึกซ้ำของซูโครส (sucrose recrystallization) และ การปลดปล่อยความชื้นจากการรวมตัวกันของน้ำตาลเพื่อให้เกิดโครงสร้างผลึก เป็นสาเหตุให้เกิดการแข็งตัวของคุกกี้ชนิดนิ่มเมื่อเวลาผ่านไป ในงานวิจัยนี้มีการใช้ raffinose หรือ trisaccharide ที่รู้จักกันในชื่อของสารยับยั้งการเกิดผลึกเติม raffinose ที่ความเข้มข้น 5% (w/w) เพื่อยับยั้งการตกผลึกซ้ำของซูโครสระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัสของคุกกี้ โดยการวัดแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบเจาะ พบว่าคุกกี้ที่มีการเติม raffinose มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า และมีการตกผลึกซ้ำของซูโครสที่ลดลงระหว่างเก็บ ดังนั้นสมมุติฐานที่ว่าการตกผลึกซ้ำของซูโครสเป็นสาเหตุหนึ่งในการแข็งตัวของคุกกี้จึงเป็นสมมุติฐานที่สามารถยอมรับได้

Alamprese และคณะ (2017) ศึกษาเกี่ยวกับการยืดอายุการเก็บขนมปังแท่งสูตรโฮลวีท โดยการเติมสารสกัดโรสแมรี่ และเติมไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์ ศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆทั้งหมด 4 อุณหภูมิ (20 27 35 และ 48 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลาทั้งหมด 200 วัน จากผลการทดลองพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเพียงเล็กน้อยระหว่างเก็บรักษา แต่ค่าเพอร์ออกไซด์มีค่าสูง (13–539 meqO2/kgfat) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลของความเข้มข้น hexanal (เพิ่มขึ้นถึง13–34 mg/kg) เป็นสิ่งยืนยันว่าการเสื่อมสภาพของขนมปังแท่งสูตรโฮลวีทมีความสัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชั่นของลิพิดเป็นหลัก จากการศึกษาด้านจลนศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ระหว่างเก็บรักษาและการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี survival analysis ได้แสดงให้เห็นว่า สำหรับการเก็บรักษาที่ 20 และ 25 องศาเซลเซียส การเติมสารสกัดโรสแมรี่ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 42% เมื่อเทียบกับอายุการเก็บของตัวอย่างควบคุม ซึ่งการเติมสารสกัดโรสแมรี่นี้ให้ผลดีกว่าการใช้ไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์ (ซึ่งยืดอายุการเก็บได้ 24-29 %) แต่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังแท่งสูตรโฮลวีทคือการเติมสารสกัดโรสแมรี่รวมกับการใช้ไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์

ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ 83% ที่ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอายุการเก็บของตัวอย่างควบคุม

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่ากิจกรรมของน้ำ ความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาคุกกี้ชนิดนิ่มสูตรต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบกลไกหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างระยะเวลาการเก็บ
2. พัฒนาทักษะและกระบวนการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการวางแผนการทางานอย่างเป็นระบบ

รายละเอียดของของวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมอบ , การตกผลึกซ้ำของน้ำตาลทราย รวมถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษา และการทดสอบทางกายภาพ
2. เตรียมวัตถุดิบส่วนผสม วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยรวมถึงการออกแบบและวางแผนการทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง รวบรวมข้อมูลและผลการทดลองดังนี้

3.1 ทำคุกกี้ทั้งหมด 3 สูตร ดังนี้ สูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม สูตรที่ 2 คือสูตรผสมอินูลิน และสูตรที่ 3 คือสูตรผสมอินูลินและไซลิทอล โดยอ้างอิงสูตรและวิธีเตรียมคุกกี้จากงานวิจัยของนิรัชรา แสงหิ่งห้อย (2559)

3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่มระหว่างการเก็บรักษา

3.2.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของคุกกี้ชนิดนิ่ม

- วิเคราะห์ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- วัด ค่ากิจกรรมของน้า (a_W) ด้วยเครื่อง Aqua lab series 3
- วัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analyzer รุ่น TA.XT2i)

3.2.2 แผนการทดลองทางสถิติ

ทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) เพื่อศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสต่อสมบัติต่างๆของคุกกี้ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจัดทำรายงานและเสนอผลงาน

เอกสารอ้างอิง

ณัฐดนัย หาญการสุจริต (2559), เอกสารประกอบการสอนวิชาการบรรจุในอุตสาหกรรมอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ และวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรัชรา แสงหิ่งห้อย,พิมนปัตถน์ เล่าชู และอริสา เก๊จวลีวรรณ (2559), การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ชนิดนิ่มสูตรน้ำตาลน้อยและใยอาหารสูง, โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิรินทิพย์ แสงสว่าง (2547), การยืดอายุการเก็บพายไส้พายเผือกโดยใช้สารคงความชื้นและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alamprese, C., Cappa, C.,Ratti, S.,Limbo, S.,Signorelli, M., Fessas, D., et al. (2017). Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. Food Chemistry, 230: 532-539.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 17 th ed. Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists.

Belcourt, L. and Labuza, T. (2007). Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in cookies. Journal of Food Science, 1:72-65.

Robertson, G. L. (2013). Food Packaging: Principles and Practice. New York: CRC press.

แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินโครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการศึกษาประมาณ 1 ปี ซึ่งแบ่งระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนของการดำเนินงานดัง นี้

กิจกรรม (ตัวอย่าง)	ส.ค. 62	ก.ย. 62	ต.ค. 62	พ.ย. 62	ธ.ค. 62	ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย. 63	พ.ค. 63
1.ค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จากหนังสือ วารสาร สิ่งพิมพ์ต่างๆและ จากอินเตอร์เน็ต และ ทำการรวบรวมข้อมูล										
2.ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล วางแผนและออกแบบการทดลอง จัดหา อุปกรณ์และวัตถุดิบที่ ต้องใช้ในการทดลอง										
3.ดำเนินการทดลอง และรวบรวมข้อมูล และผลที่ได้จากการทดลอง										
4. วิเคราะห์และ สรุปผลการทดลอง จัดทำรายงาน และ เสนอผลงาน										

งบประมาณที่จำเป็นต้องใช้สำหรับดำเนินโครงการ

1. ค่าใช้จ่ายทั่วไป

ค่าพาหนะ	900 บาท
ค่าถ่ายเอกสารข้อมูล	600 บาท

2. ค่าวัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์ในการทำคุกกี้	2000 บาท
สารเคมี	1200 บาท
อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์	1000 บาท

3. ค่าวัตถุดิบ 4300 บาท

งบประมาณรวม : ค่าใช้จ่าย 1500 บาท
ค่าวัสดุอุปกรณ์ 4200 บาท
ค่าวัตถุดิบ 4300 บาท
รวมทั้งสิ้น 10000 บาท

ภาคผนวก ค.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ชาลิสา สุขสมิทธิ์
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	080-6273048
E-mail	amychalisa@hotmail.com

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวจิรดา วัฒนสุข
ตำแหน่ง	ผู้วิจัยร่วม
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	086-7744499
E-mail	jomjam77715@gmail.com