

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบ

1. ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ อายุ 100-120 วัน จากตลาดเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี
2. น้ำมันปาล์ม ตรา aro
3. น้ำตาลทราย ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด ประเทศไทย
4. เกลือ ตราปรงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด ประเทศไทย
5. สารดูดความชื้น ชนิด ซิลิกาเจล บริษัท เจนจรัสเคมีซัพพลาย จำกัด ประเทศไทย
6. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป Compact dry บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ กระจกบอกตวง แท่งแก้ว
 2. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น มีด เขียง
 3. อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วย แก้ว ช้อน
 4. เครื่องทอดควบคุมอุณหภูมิ (Digital Pro Deep Fryer) ยี่ห้อ Seagull
 5. มีดสำหรับสไลด์
 6. เครื่องวัดค่าสี (Handy Colorimeter) (Gardner, BKY-Gardner, Germany)
 7. ตู้อบลมร้อน (Hot air Oven) (Shel Lab, 1350FX, U.S.A.)
 8. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT2, Stable Micro System, England)
 9. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet) รุ่น (S306AK, Germany)
 10. เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) (Permat N003, F&G, Germany)
 11. เครื่องปิดผนึกระบบสุญญากาศ (Vacuum packaging machine รุ่น 420T)
 12. เครื่องวัดค่า Water activity (Novasina, Thermo constanter Th 200)
 13. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน
 14. เตาเผา (muffle furnace)
 15. ตู้บ่ม (incubator) (SLI-450ND, EYELA soft incubator, japan)
 16. เตาอบไฟฟ้า (House worth) รุ่น HW-CO04 ประเทศจีน
 17. เตาอบไฟฟ้า Severin รุ่น SEV 2024 ประเทศเยอรมนี
 18. ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตพลาสติก ขนาด 8 × 12 นิ้ว
 19. ถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน (polypropylene) ตรา หมีเหี่ยวทอง ขนาด 8 × 12 นิ้ว
 20. ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE)
- แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์
21. ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE) แบบหนาและใส

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของขนุน

นำเนื้อขนุนที่เอาเมล็ดออกแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (1990) และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab miniscan รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*)

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ

การหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying curve)

นำเนื้อขนุนดิบที่ผ่านการสไลด์มา 300 กรัม อบในเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) เพื่อให้มีความชื้นตามกำหนด โดยใช้ถาดจำนวน 4 ถาด ที่ตำแหน่งกลางของตู้ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสุ่มชั่งน้ำหนักทุกๆ 5 นาที บันทึกน้ำหนักจนกว่าจะคงที่ ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีก 2 ครั้ง โดยใช้เนื้อขนุนดิบที่ผ่านการลวก 3 และ 5 นาที ตามลำดับ นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ ณ. เวลาใดๆ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง (drying curve) แล้วหาเวลาในการอบแห้งขนุนที่ความชื้น 70 60 และ 50 เปอร์เซ็นต์(น้ำหนักเปียก) บันทึกเวลา

การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ

นำเนื้อขนุนที่แยกเอาเมล็ดออก และสไลด์ตามยาวด้วยมีดสไลด์ ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร มาศึกษากรรมวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทอด โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลอง CRD ทำการศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ 1) การไม่ลวก การลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 3 และ 5 นาที 2) การลดความชื้นด้วยการทำแห้งก่อนการทอดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนวัตถุดิบมีความชื้นลดลง 3 ระดับ คือ 70 60 และ 50 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) นำสิ่งทดลองทั้ง 9 ไปทอดด้วยเครื่องทอดแบบน้ำมันท่วม ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนดในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เวลาที่ใช้ในการทอดตัวอย่างขนุนที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างขนุน	ความชื้นที่เหลืออยู่ (เปอร์เซ็นต์)	เวลาที่ใช้ในการทอด (นาที)
เนื้อขนุนที่ไม่ผ่านการลวก	70	2
	60	2
	50	1.30
เนื้อขนุนที่ผ่านการลวก 3 นาที	70	2
	60	2
	50	1.30
เนื้อขนุนที่ผ่านการลวก 5 นาที	70	2.30
	60	2.20
	50	2

นำเนื้อขนุนที่ผ่านการทอดวางบนตะแกรงแล้วซับด้วยกระดาษซับน้ำมัน หลังจากนั้นนำไปอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยกลับด้านทุก 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดน้ำมันและความชื้นออก เก็บตัวอย่างทั้งหมดไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตพลาสติก และปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกระบบสุญญากาศ เพื่อรอทำการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ ด้วยเครื่อง Hunter Lab miniscan รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว (P/0.25S) โดยใช้ฐานรองชนิด HDP/90 Heavy Duty Platform รายงานผลเป็นค่าความแตกเปราะ (Fracturability)

3) อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ (Volume expansion ratio) ใช้วิธีการแทนที่ด้วย n-heptane

4) ความหนาแน่น (Bulk density) โดยคำนวณจากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังทอด (g)หารด้วย ปริมาตรของผลิตภัณฑ์หลังทอด (cm^3)

5) ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ในตอนที่ 1

6) ปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์ดูดซับไว้ขณะทอด ทำการวัดในรูปของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (AOAC Method 920.39, 1990)

7) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ส่วนการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เลือกสถานะในการเตรียมขั้นต้นที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 3 การศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิส และการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุนอบกรอบ

3.1 ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุนอบกรอบ

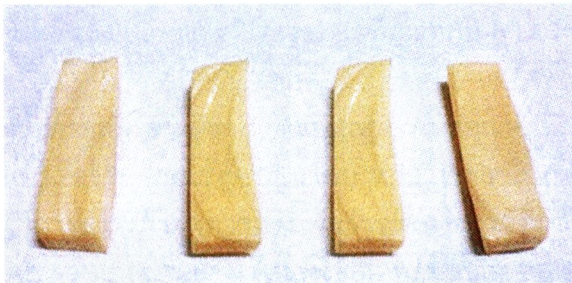
เนื่องจากการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสมีผลให้ความชื้นของตัวอย่างลดลง นอกจากนี้มีการแพร่ของตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกเข้าไปในชิ้นตัวอย่างได้ด้วย ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบกรอบได้ (Sullivan, Craig, Dekazos, Leiby, & Konstange, 1982) ขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสด้านเวลาในการออสโมซิส โดยแปรเวลาในการออสโมซิสเนื้อขนุนเป็น 4 ระดับ คือ 0 1 2 และ 3 ชั่วโมง ก่อนการนำไปอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น

การเตรียมตัวอย่าง

กำหนดคุณภาพของขนุนที่ใช้ในการทดลองดังนี้ คือ ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ โดยเลือกใช้ขนุนที่แก่จัด (อายุประมาณ 120 วัน หลังจากดอกบาน) มีลักษณะผิวเหลืองหรือมีสีเขียวอมเหลือง ตาเริ่มแตกเป็นสีน้ำตาล (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) นำมาบ่มโดยวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จัดเป็นขนุน ซึ่งมีระดับความสุก 70 เปอร์เซ็นต์ นำผลขนุนมาล้างทำความสะอาด แล้วผ่าครึ่ง ตัดแต่งให้เหลือเฉพาะส่วนเนื้อขนุน แล้วหั่นเนื้อขนุนเป็นชิ้นตามยาว โดยให้ชิ้นมีขนาด 1.5×5 เซนติเมตร แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ลักษณะของชิ้นขนุนที่ใช้ในโครงงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3-1 และ ภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 ลักษณะของเนื้อขนุนพันธุ์ทองประเสริฐที่ใช้ในโครงงานวิจัย



ภาพที่ 3-2 ลักษณะการเตรียมตัวอย่างขนุนที่ใช้ในโครงงานวิจัย

การออสโมซิส

นำชิ้นขนุนที่เตรียมไว้มาใส่ในตะกร้าสแตนเลสแบบโปร่ง รูปทรงกระบอกแบบมีฝาปิด ซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 2×2 เซนติเมตร มาแช่ในสารละลายออสโมติก คือ สารละลายผสมของน้ำตาลทราย ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และเกลือความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) กำหนดอัตราส่วนระหว่างขนุนกับสารละลายออสโมติกเป็น 1:5 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) แช่ที่อุณหภูมิห้องตามเวลาที่กำหนดแสดงดังภาพที่ 3-3 จากนั้นนำชิ้นขนุนมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายน้ำตาลส่วนเกินออก และวางซับบนกระดาษ 1-2 นาที เพื่อเตรียมสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้นต่อไป



ภาพที่ 3-3 ลักษณะการแช่ขึ้นขนุนในตะกร้าสแตนเลสแบบโปร่ง รูปทรงกระบอกแบบมีฝาปิด ซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 2 x 2 เซนติเมตร

การอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น

นำขนุนที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการออสโมซิสมาอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ทำได้โดยเกลี่ยขนุนบนถาดโลหะโดยไม่ให้ขนุนซ้อนกัน นำไปทำแห้ง 3 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ช่วงการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High Temperatures Short Time stage : HTST stage) อบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เตาอบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 ช่วงการทำให้เย็นลง (Cooling stage) อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เตาอบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 ช่วงการอบแห้งด้วยลมร้อน (Air drying stage) อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนทำให้ปริมาณความชื้นเหลือ $12 \pm 1\%$ โดยใช้ตู้อบลมร้อน ทำนายเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ปริมาณความชื้นตามกำหนด โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง ในระหว่างรอการวิเคราะห์คุณภาพเก็บตัวอย่างไว้ในถุงโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ปิดผนึกสนิทแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นไม่เกิน 1 วัน

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างขึ้นขนุนก่อนและหลังการออสโมซิส นำมาชั่งน้ำหนัก หาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) น้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) (Torreggiani, 1993) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) คำนวณได้จาก

$$WL(\%) = \frac{(W_i X_i - W_f X_f)}{W_i} \times 100$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) คำนวณได้จาก

$$SG(\%) = \frac{[(W_f(100 - X_f)/100) - (W_i(100 - X_i)/100)]}{W_i} \times 100$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) คำนวณได้จาก

$$WR(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนัก

เริ่มต้น)

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ โดยเครื่องวัด Water activity

2) ปริมาณความชื้น ตามวิธี (AOAC, 1990)

3) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

4) ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)

5) อัตราการพองตัว (Volume expansion ratio) และความหนาแน่น (Bulk density)

6) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะ
พองกรอบ และใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้น มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งช่วง HTST stage

เนื่องจากในการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้นนั้น ขั้นตอนการอบช่วง HTST เป็นขั้นตอนที่
สำคัญที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองกรอบ ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทมวลน้ำออกจากชิ้นอาหาร
จากการได้รับความร้อนอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ที่เหมาะสมกับชนิดของวัตถุดิบจนทำให้เกิดโครงสร้างของ
ผลิตภัณฑ์ขยายตัว และพองกรอบได้ (Nath & Chattopadhyay, 2008; Antonio et al., 2008;
Varnalis, Brennan & MacDougall, 2001)

นำขนุนที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1 มาดำเนินการอบแห้งแบบ
อุณหภูมิสูงเวลาสั้น ทั้ง 3 ขั้นตอน ได้แก่ HTST stage Cooling stage และ Air drying stage ตาม
วิธีในข้อ 3.1 แต่แปรการใช้อุณหภูมิและเวลาการอบช่วง HTST โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 200 – 220
องศาเซลเซียส และเวลาอบแห้งช่วง 10 – 20 นาที จึงเป็นการศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ
ดังนี้ คือ

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิในการอบช่วง HTST ได้แก่ อุณหภูมิ 200 210 และ 220 องศาเซลเซียส
ปัจจัยที่ 2 เวลาในการอบแห้ง ได้แก่ 10 15 และ 20 นาที

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (3x3) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดัง
ตารางที่ 3-2 เก็บตัวอย่างไว้ในถุงโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ปิดผนึกสนิท แล้วเก็บไว้ใน
โถดูดความชื้นไม่เกิน 1 วัน

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งช่วง HTST

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
1	200	10
2	200	15
3	200	20
4	210	10
5	210	15
6	210	20
7	220	10
8	220	15
9	220	20

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยเครื่องวัด Water activity
- 2) ปริมาณความชื้น ตามวิธี (AOAC, 1990)

3) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

4) ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)

5) อัตราการพองตัว (Volume expansion ratio) และความหนาแน่น (Bulk density)

6) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Randomized Design) สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ทั้งนี้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองกรอบ และใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้น สำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความแก่-อ่อนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบและขนุนอบกรอบ

เนื่องจากเนื้อขนุนที่มีระดับความสุกต่างกัน มีองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนุนอบกรอบ เพื่อเป็นการหาข้อมูลในการกำหนดระดับความสุกที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ในการเลือกใช้ขนุนมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ที่มีคุณภาพดี ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาผลของระดับความสุกของขนุนต่อคุณภาพของขนุนทอดกรอบและขนุนอบกรอบ

ศึกษาผลของระดับความสุกของขนุนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ

นำขนุนดิบพันธุ์ทองประเสริฐ อายุประมาณ 100-120 วัน มาบ่มเป็นระยะเวลา 0, 1 และ 2 วัน จากนั้น นำมาเตรียมชิ้นต้นตามสภาวะการเตรียมชิ้นต้นที่เหมาะสมที่เลือกได้ในตอนที่ 2 (สวก 3 นาที, ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์) นำไปทอดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที แล้วประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังนี้

1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว (P/0.25S) โดยใช้ฐานรองชนิด HDP/90 Heavy Duty Platform รายงานผลเป็นค่าความแตกเปราะ (Fracturability)

3) อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ (Volume expansion ratio)

4) ความหนาแน่น (Bulk density) โดยคำนวณจากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังทอด (g)หารด้วย ปริมาตรของผลิตภัณฑ์หลังทอด (cm^3)

5) ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ในตอนต้นที่ 1

6) ค่า Water activity โดยเครื่องวัด Water activity

7) ปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์ดูดซับไว้ขณะทอด ทำการวัดในรูปของปริมาณน้ำมันทั้งหมด (AOAC Method 920.39, 1990)

8) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ส่วนการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เลือกระดับความสุกที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ศึกษาผลของระดับความสุกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุนอบกรอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของระดับความสุกของขนุนต่อคุณภาพของขนุนอบกรอบ โดยแปรระดับความสุกของขนุนที่ใช้เป็น 3 ระดับ โดยนำขนุนที่แก่จัด (อายุประมาณ 120 วัน หลังจากดอกบาน) มีลักษณะผิวเหลืองหรือมีสีเขียวอมเหลือง ตาเริ่มแตกเป็นสีน้ำตาล นำมาบ่มโดยวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาต่างๆ ดังนี้

ขนุนระดับความสุก 60 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นเวลา 1 วัน

ขนุนระดับความสุก 70 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นเวลา 2 วัน

ขนุนระดับความสุก 80 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นเวลา 3 วัน

นำขนุนที่ระดับความสุกต่าง ๆ มาผลิตขนุนอบกรอบตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 3

การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบขนุน

สุ่มตัวอย่างเนื้อขนุนที่ระดับความสุกต่าง ๆ มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี (AOAC, 1990)

2) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

3) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)

การวิเคราะห์ค่าการถดถอยในการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างชิ้นขนุน นำมาชั่งน้ำหนัก หาปริมาณความชื้นตามวิธี (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถดถอยได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) น้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) (Torreggiani, 1993)

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ โดยเครื่องวัด Water activity
- 2) ปริมาณความชื้น ตามวิธี (AOAC, 1990)
- 3) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)
- 4) ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)
- 5) อัตราการพองตัว (Volume expansion ratio) และความหนาแน่น (Bulk density)
- 6) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เลือกระดับความสูงของขนุนที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 5 การศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบและขนุนอบกรอบ

ศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพขนุนทอดกรอบในระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบที่มีความสูงที่เหมาะสมซึ่งเลือกได้จากตอนที่ 4 (บ่ม 1 วัน, ลวก 3 นาที, ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์) มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตพลาสติกที่ปิดผนึก และถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน (polypropylene) ปิดผนึก จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เก็บในสภาวะปกติ คือ 30 องศาเซลเซียส และสภาวะควบคุม คือ การเก็บไว้ในตู้แช่เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ขนุนมาทำการทดสอบทุกๆ 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 1 เดือน ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

- 1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบ ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 ใช้หัววัดทรงกลม (Ball probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว (P/0.255) โดยใช้ฐานรองชนิด HDP/90 Heavy Duty Platform รายงานผลเป็นค่าความแตกเปราะ (Fracturability)

3) ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ในตอนต้นที่ 1

4) ค่า water activity ด้วยเครื่องวัดค่า water activity

5) ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น (AOAC, 1990)

6) ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOAC, 1990)

7) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ร่วมกับการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ส่วนการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design)

ศึกษาผลของชนิดของบรรจุภัณฑ์และการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบระหว่างการเก็บรักษา

การเลือกชนิดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ในขณะเดียวกันก็เป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และชะลอการเน่าเสีย ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (เบญจมาศ รัตนชินกร และคณะ, 2550) ในขั้นตอนนี้จึงต้องการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 4 ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรจุแบบต่าง ๆ โดยศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์และถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE) แบบหนาและใส ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุภัณฑ์อาหารอบแห้ง (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2554) โดยกำหนดการใช้ขนาดถุงเท่ากันและบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 100 กรัม/ถุง ร่วมกับการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น โดยใช้สารดูดความชื้นที่มีขนาดบรรจุ 5 กรัม/ซอง กำหนดใช้สารดูดความชื้นเท่ากับ 1 ซอง/ถุง คิดเป็นการใช้สารดูดความชื้น:ผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 1:40 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์และถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส

ปัจจัยที่ 2 การใช้สารดูดความชื้น คือ ใช้และไม่ใช้

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2x2) ได้การทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-3 โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบที่กำหนดไว้แล้วปิดผนึกให้สนิท จากนั้นเก็บรักษาตามสภาวะที่กำหนดเป็นเวลา 1 เดือน สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุก 7 วัน

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้นและชนิดบรรจุภัณฑ์

สิ่งทดลอง	ชนิดบรรจุภัณฑ์	สารดูดความชื้น
1	ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์	ใช่
2	ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์	ไม่ใช่
3	ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส	ใช่
4	ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส	ไม่ใช่

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี โดยเครื่องวัด Water activity
- 2) ปริมาณความชื้น ตามวิธี (AOAC, 1990)
- 3) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
- 4) ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness)
- 5) อัตราการพองตัว (Volume expansion ratio) และความหนาแน่น (Bulk density)
- 6) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา
- 7) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Randomized Design) สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CBD (Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ร่วมกับการเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์ที่เทียบเคียง คือ ผลไม้แห้ง ที่กำหนดไว้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 CFU/g เชื้อรากับยีสต์ต้องไม่เกิน 100 CFU/g (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550)