บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ES Balance: Model ES-3000A ยี่ห้อ Zepper)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง (MFD by A&D Co., LTD: Model HL-2000, Korea)
3. เครื่องปิดฝากระป๋อง (Seamer: Model VFM20 serial No. s198091)
4. กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ ขนาด 307x201 (บ.สวอนอินดัสทรีส์ ประเทศไทย จำกัด)
5. หม้อนึ่งความดัน
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. เครื่องครัว

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

-เวอร์เนีย

-เครื่องวัดสี (Minolta Camera: Model CR-310, Japan and Hunter Lab: Color Quest II Colorimeter, USA)

-เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser, Instron: Model CR-5565, Instron Crop.)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

-เครื่องย่อยตัวอย่าง (Digestor, Tecator, Sweden)

-เครื่องกลั่นไนโตรเจน (2100 Kjeltec Distillation Unit, Foss Tecator, Sweden)

-เครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Appartus)

-ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Memmertt: Model ULM-400, USA)

-เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Ohaus: Model Precision Standard)

-เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Satorius: Model A120S)

-เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnace, Gallenkamp: Model FSE 520, England)

-เตาไฟฟ้า (Hot Plate)

-โถอบแห้ง (Desiccator, Glaswerk: Model GL. 32, Werthein)

-เครื่องปั่นผสม (ยี่ห้อ National)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชุดอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

-ถ้วยชิมขนาดเล็ก

-ถาดชิมขนาดกลาง

-แก้วน้ำ

-ช้อน

3.2 สารเคมี

1. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid; H_2SO_4, Merck, Germany)
2. กรดบอริค (Boric acid; H_3BO_3, Seelze-Hannover, France)
3. เมทธิวเรด (Methyl red, May & Baker, England)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, J. T. Baker, USA)
5. กรดไฮโดรคลอริค (Hydrochloric acid; HCl, Merck, Germany)
6. ปิโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether, J. T. Baker, USA: B. P. = 40-60 °C)

3.3 วัตถุดิบ

1. ข้าวกล้อง พันธุ์หอมมะลิ 105 (สถานีทดลองข้าวพิมาย จ. นครราชสีมา)
2. ข้าวโพดสด พันธุ์sweet นำมาฝานเป็นเมล็ด
3. ลูกเดือย ตราไร่ทิพย์ ผลิตโดย ไร่ธัญญะ จำกัด 62/3 หมู่ 3 ต.บางใหญ่ อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี
4. ถั่วลันเตา ตรายูเอฟซี ผลิตโดย ออร์คิด ฟู้ดส์ จำกัด 469/1 หมู่ 3 ต. ดอนยายหอม อ. เมือง จ.นครปฐม

5. ถั่วลิสง ตราไร่ทิพย์ ผลิตโดย ไร่ธัญญะ จำกัด 62/3 หมู่ 3 ต.บางใหญ่ อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี
6. งาขาว ตราเจดีย์ทอง จัดจำหน่ายโดย หจก. อุตสาหกรรมอาหารสากลกรุงศรีอยุธยา 219 ซ. พูนสิน ถ. สุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ

3.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง

สูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋อง ได้จาการกำหนดคุณค่าทางโภชนาการไว้ที่ ร้อยละ15 RDA ของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามินบี1 ไนอะซิน (niacin) ฟอสฟอรัส (phosphorous) และพลังงาน (ตาราง 3.1) โดยใช้วัตถุดิบ ข้าวกล้อง ข้าวโพด ลูกเดือย ถั่วลันเตา ถั่วลิสง และงา (นงลักษณ์, 2543) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารและราคาตาม ตาราง 3.1 จากนั้นนำมาเข้าโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear programming) โดยกำหนดสมการเป้าหมาย คือราคาต่ำสุด และสมการข้อจำกัดเป็น ข้อกำหนดร้อยละ15 RDA ของสารอาหารดังกล่าว ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINDO แก้สมการ ได้สูตรพื้นฐานดังนี้

สูตรพื้นฐาน

ข้าวกล้อง	ร้อยละ	48
ข้าวโพด	ร้อยละ	7
ลูกเดือย	ร้อยละ	5
ถั่วลันเตา	ร้อยละ	5
ถั่วลิสง	ร้อยละ	25
งา	ร้อยละ	10

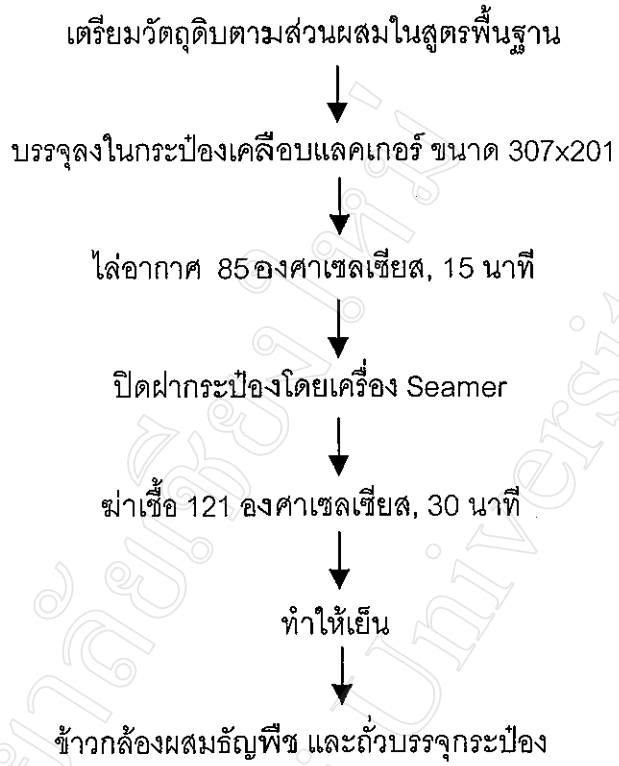
ตาราง 3.1 ข้อมูลทางคุณค่าอาหารและราคาของวัตถุดิบ และค่าเป้าหมายทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

สารอาหาร	ร้อยละ 100 RDA	ร้อยละ 15 RDA	ข้าวกล้อง[1]	ข้าวโพด[1]	ลูกเดือย[2]	ถั่วลันเตา[1]	ถั่วลิสง[1]	งา[2]
พลังงาน (kcal)	2700	405	354	188	352	94	548	628
คาร์โบไฮเดรต (g)	300	45	76.0	39.3	67.0	16.9	21.6	7.2
โปรตีน (g)	57	8.55	7.6	4.9	14.8	6.2	23.4	23.5
วิตามินบี1 (mg/100g)	1.5	0.225	0.34	0.26	0.34	0.28	1.0	0.78
ไนอะซิน (mg/100g)	3.8	2.85	5.0	1.5	2.1	2.8	16.8	3.5
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	240	180	246	116	148	102	357	714
ราคา (บาท/kg)	-	-	0.025	0.007	0.031	0.150	0.037	0.037

หมายเหตุ ที่มา: 1 กรมอนามัย, 2536

2 กรมอนามัย, 2535

ในการผลิตข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง โดยทดลองหาเวลาในการฆ่าเชื้อ กำหนดค่า $F_0 = 3$ (วุฒิชัย, 2539) และกำหนดอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส ได้เวลาในการฆ่าเชื้อ 30 นาที จากนั้นผ่านกรรมวิธีการผลิตดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 กรรมวิธีการทำข้าวบรรจุกระป๋อง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fellow, 1990 และ วุฒิชัย, 2539

การทดลองแบ่งเป็น 4 ตอน คือ

1. **การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋อง**

การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง โดยใช้กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ ขนาด 307x 201 ทำการผันแปรปริมาณน้ำ 6 ระดับ ได้แก่ 130, 120, 110, 100, 90 และ 80 กรัม ต่อปริมาณข้าวกล้องผสมธัญพืช 100 กรัม (ตามสูตรพื้นฐาน) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completly Randomized Design) ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี Duncant Multiple Range

การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Ranking Test โดยให้คะแนนเป็นลำดับ จากชอบมากที่สุดเป็นลำดับที่ 1 ถึงไม่ชอบมากที่สุดให้เป็นลำดับที่ 6 ใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน วิเคราะห์ผลโดยวิธีไคสแควร์ (Chi-square)

การทดสอบทางกายภาพหาค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ (ดัดแปลงจาก Sesmat and Meullenet, 2001) และหาอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (ภาคผนวก ง) ในรูป Elongation ratio (Julino and Perez, 1984)

2. การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความชอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง

ปัจจัยที่ศึกษาในการทำข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง มีทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวโพด ลูกเดือย ถั่วลันเตา ถั่วลิสง และงา กำหนดปริมาณข้าวกล้องให้คงที่ ศึกษาปัจจัย 5 ปัจจัย ทำการคัดเลือกโดยวิธี Plackett and Burman Design (Earle and Andruson, 1985) เลือกแผนการทดลองแบบ N = 8 treatment ส่วนที่เหลืออีก 2 ปัจจัยเป็น dummy variable (ตาราง 3.3) ทำการผลิตเป็นข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋องดังภาพ 3.1

ตาราง 3.2 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของปัจจัยที่ศึกษา

ค่าปริมาณของปัจจัยที่กำหนดในระดับสูงและต่ำ		
Variable (factor)	Min(-)	Max(+)
ข้าวโพด	5	15
ลูกเดือย	5	15
ถั่วลันเตา	5	15
ถั่วลิสง	10	25
งา	5	10

สิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic Scaling Test 9 point โดยแบ่งสเกลเป็น 9 คะแนน จากชอบมากที่สุดจนถึงไม่ชอบมากที่สุด (9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉยๆ 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิม 28 คน โดยวางแผน

การทดลองแบบ BIB ประเภทที่ 1 แผน16 t=8 k=4 r=7 b=14 λ=3 นำค่า adjust mean วิเคราะห์โดยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ90 เพื่อคัดเลือกปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อความชอบผลิตภัณฑ์

ตาราง 3.3 การกำหนดระดับปัจจัยและปริมาณที่ใช้ในการทดลองแบบ Plackett and Burman Design (N = 8 treatment)

สิ่งทดลอง	ปัจจัย A ข้าวโพด	ปัจจัย B ลูกเดือย	ปัจจัย C ถั่วลันเตา	ปัจจัย D ถั่วลิสง	ปัจจัย E งา	ปัจจัย F Dummy	ปัจจัย G Dummy
1	+	+	-	+	-	-	+
2	+	-	+	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	+	+
4	+	-	-	+	+	+	-
5	-	-	+	+	+	-	+
6	-	+	+	+	-	+	-
7	+	+	+	-	+	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย - การใช้ปัจจัยที่ระดับต่ำ + การใช้ปัจจัยที่ระดับสูง

3. การพัฒนาสูตรข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋อง

เมื่อทราบปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์จากการทดลองในตอนที่ 2 จึงนำปัจจัยมาวางแผนการทดลองแบบ 2^n Factorial in Central Composited Design (Gacula and Singh, 1984) แล้วทำการผลิตเป็นข้าวกล้องผสมธัญพืช และถั่วบรรจุกระป๋องโดยคำนวณค่า แอลฟา (α) ดังนี้

การคำนวณ α (Gacula and Singh, 1984)

$$M = m+r(2n+1)$$

$$\rho = [M^{1/2}-m^{1/2}]^2$$

$$\alpha = [\rho m/(4r^2)]^{1/4}$$

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี Hedonic scaling Test (9 คะแนน) วางแผนการทดสอบซิมแบบ BIB วิเคราะห์ Regression แบบ stepwise โดยนำสมการที่ได้วิเคราะห์ Optimization หาสูตรที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านกายภาพ คือ ค่าสี (L, a, b) โดยใช้ Hunter Lab ความแข็งของส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ (hardness) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Instron 5565 การตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น (AOAC, 1995) วิเคราะห์ผลการตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี โดยวิธี Regression แบบ stepwise หาความสัมพันธ์ของวัตถุดิบกับค่าทางกายภาพ และเคมี

4. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋อง

โดยผลิตภัณฑ์ที่มีสูตรที่เหมาะสมจากการจากการวิเคราะห์ Optimizationโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ นำมาทดสอบกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 200 คน ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling Test โดยการออกแบบทดสอบร่วมกับการสัมภาษณ์และทดสอบซิมผลิตภัณฑ์ โดยใช้ตัวอย่าง 1 กระป๋อง ต่อคนนำกลับไปทดสอบที่บ้าน (Home use test) ซึ่งวิธีในการบริโภคผลิตภัณฑ์แสดงใน ภาคผนวก ค วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป การวิเคราะห์ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย สหสัมพันธ์ สมการถดถอย และ multivariate analysis ใช้วิธีการจำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis)

5. การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย

5.1ด้านกายภาพ

-ค่าสี (L, a, b) โดยใช้ Hunter Lab เป็นค่า L, a, b

-ความแข็งของส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ (hardness) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Instron 5565 ดัดแปลงจาก (Sesmat and Meullenet, 2001)

5.2ด้านเคมี

-Proximate analysis คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและ เถ้า (AOAC, 1995)

-ปริมาณ ไรโบฟลาวิน โดยใช้ fluorometric method (AOAC, 2000)

-ปริมาณไนอะซิน โดยใช้ micro biological method (AOAC, 2000)

-ปริมาณฟอสฟอรัส โดยใช้ colorimetric method (AOAC, 2000)