



บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การสำรวจชนิดของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดนั้นมีหลายประเภท โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง การสำรวจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จะทำให้ทราบถึงชนิดของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบเพื่อเป็นแนวทางในการที่จะเลือกชนิดของวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตต่อไป การสำรวจจะทำโดยการไปจดบันทึกรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่เป็นของแห้งหรือเป็นผง สถานที่ที่ไปจดบันทึกได้แก่ ซูเปอร์มาร์เก็ต 2 แห่ง ได้แก่มาบุญครองศิริชัยซูเปอร์มาร์เก็ต และซูเปอร์มาร์เก็ตห้างเซ็นทรัล สีลม รายละเอียดสำคัญที่จดได้แก่ประเภท และส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดอื่นๆ คือ วิธีการใช้ผลิตภัณฑ์ ราคา ขนาดบรรจุ และชนิดของภาชนะบรรจุ

3.2 การสำรวจชนิดของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ผู้ตัดสินใจซื้อ (มารดา) ต้องการ

ตลาดกลุ่มเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ คือ มารดา ซึ่งเป็นผู้ตัดสินใจซื้อ การสำรวจความคิดเห็นของมารดาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่สำคัญ ได้แก่ วัตถุดิบที่มารดาต้องการให้มีในอาหารเสริม รสชาติของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของอาหารเสริม และวิธีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มารดาต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนานั้นมีคุณลักษณะตรงหรือใกล้เคียงกับลักษณะอาหารเสริมที่มารดาต้องการมากที่สุด รายละเอียดต่างๆได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อของมารดา และข้อมูลในกรณีที่มารดาเตรียมอาหารเสริมเอง การสำรวจโดยการออกแบบสอบถาม สถานที่ที่สำรวจได้แก่ คลินิกสำหรับเด็ก ตึกจิรกิติ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม 83 คน ตัวอย่างแบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ก.1

3.3 การเลือกและจัดกลุ่มวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาสูตรอาหาร

3.3.1 การเลือกชนิดของวัตถุดิบ

การเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมนั้น วัตถุดิบแต่ละกลุ่มที่เลือกมาจะเลือกมาจากอาหารหลัก 5 หมู่ของคนไทย (7) โดยจะเลือกมาเพียงบางหมู่เท่านั้นที่สัมพันธ์กับสารอาหารที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ อาหารหมู่ที่เลือกมานั้นได้แก่ อาหารหลักหมู่ที่ 1 ซึ่งได้แก่ นม ไข่ เนื้อสัตว์ และถั่ว ซึ่งอาหารหมู่นี้ส่วนใหญ่จะให้โปรตีน เนื้อสัตว์ในที่นี้จะได้แก่ เนื้อวัว หมู ตับ ปลา ไก่ ส่วนถั่วต่างๆได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว รวมถึงผลิตภัณฑ์จากถั่ว เช่น นมถั่วเหลือง แป้งถั่วเหลือง เป็นต้นอาหารหมู่ที่ 2 ได้แก่ ข้าว แป้ง เผือก มันและน้ำตาล ซึ่งอาหารหมู่นี้เป็นอาหารที่คนไทยคุ้นเคยมากที่สุด และเป็นอาหารที่คนไทยรับประทานมากที่สุด อาหารหมู่ที่ 3 ได้แก่ ผักผักต่างๆ ซึ่งจะให้วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ อาหารหมู่นี้ได้แก่ผักใบเขียวต่างๆ เช่น กะหล่ำปลี ผักบุ้ง ผักกาดขาว นอกจากนี้ยังรวมถึงผักที่มีสีเหลืองด้วย เช่น มะเขือเทศ ฟักทอง เป็นต้น เนื่องจากในกระบวนการเอกซ์ทราซันจะต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นแป้งเป็นหลักเพื่อช่วยให้วัตถุดิบเกิดการผสมตัวเป็นโคที่เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการผลิต เกิดการสุกและพองตัว (22) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลัก ทั้งนี้เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตรที่หาได้ง่าย และราคาไม่แพง มารดาคุ่นเคยและนิยมบริโภค รวมทั้งยังมีข้อได้เปรียบคือ มีสีขาว และพองตัวได้ดี (12) นอกจากนี้ แป้งยังให้แคลอรีที่ต้องการ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการละลายในน้ำร้อนได้ดี ให้ลักษณะด้านสี กลิ่น และรสชาติตามต้องการ (9) นอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าแล้ว ยังเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน และแหล่งของเกลือแร่และวิตามิน ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 2 กลุ่มนี้จะเลือกใช้ทั้งวัตถุดิบที่เป็นของสด และของแห้ง การเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นของสดเพราะเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย คนไทยคุ้นเคย ยอมรับ และรับประทานเป็นประจำ ทั้งยังมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญครบถ้วน และสามารถเลือกใช้วัตถุดิบได้มากชนิด ส่วนการใช้วัตถุดิบที่เป็นของแห้ง เพราะเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทราซัน ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านความชื้นของวัตถุดิบ การเลือกใช้วัตถุดิบทั้งของสดและของแห้งจะช่วยให้ส่วนผสมของวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นเหมาะสำหรับการผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทราซันรวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการที่ต้องการศึกษาครบถ้วน การเลือกชนิดของวัตถุดิบจะแบ่งย่อยได้ดังนี้

3.3.1.1 วัตถุดิบกลุ่มที่เป็นแหล่งของโปรตีน แบ่งได้เป็น

ก. วัตถุดิบที่เป็นของสด เช่น ไข่ไก่ ตับหมู เนื้อต่างๆ

- ช. วัตถุดิบที่เป็นของแห้ง เช่น ผลไม้แห้ง แช่แข็ง แยม แยมถั่วเหลือง
- 3.3.1.2 วัตถุดิบกลุ่มที่เป็นแหล่งของเกลือแร่และวิตามิน แบ่งได้เป็น
- ก. วัตถุดิบที่เป็นของสด ได้แก่ แครอท มะเขือเทศ
กะหล่ำปลี และผักทอง
- ข. วัตถุดิบที่เป็นของแห้ง ได้แก่ วิตามินสำเร็จรูปที่เป็นผงที่
ใช้ในอาหารสำหรับเด็ก

วัตถุดิบที่เลือกมาดังกล่าวข้างต้น จะเป็นตัวแทนของอาหารแต่ละหมู่ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญที่ศึกษาครบถ้วนดังในตารางแสดงคุณค่าทางอาหารสำหรับใช้ในเอเชียตะวันออกเฉียง (39) และตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทยของกรมอนามัย (40) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องนำมาใช้ในการศึกษาสูตรโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงในขั้นตอนต่อไป สำหรับวัตถุดิบชนิดอื่นที่ไม่ได้เลือกมาพิจารณาเป็นเพราะว่ามีข้อมูลเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ไม่ครบถ้วน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำวัตถุดิบนั้นมาศึกษาหาสูตรได้

3.3.2 การจัดกลุ่มของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาสูตรอาหาร

การจัดกลุ่มของวัตถุดิบเพื่อจะนำไปใช้ในการศึกษาสูตรนั้น จะใช้จำนวนชนิดของวัตถุดิบให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิต ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด โดยใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นองค์ประกอบหลัก เพราะแป้งเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่น เพราะช่วยให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเกิดการผสมกันเป็นโดที่เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการผลิต เกิดการสุกและพองตัวโดยเฉพาะแป้งข้าวเจ้า (22) นอกจากนี้ จะเลือกวัตถุดิบจากกลุ่มของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีน และแหล่งของเกลือแร่และวิตามิน ซึ่งวัตถุดิบที่เลือกมานั้นจะมีข้อมูลทางโภชนาการครบถ้วนสำหรับการศึกษาสูตรอาหาร โดยเลือกวัตถุดิบจากทั้ง 2 กลุ่มดังนี้

แป้งข้าวเจ้า +	วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของ	+	วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของ	+	วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของ
	โปรตีนที่เป็นของสด		โปรตีนที่เป็นของแห้ง		เกลือแร่และวิตามิน
	1 ชนิด		1 ชนิด		1 ชนิด

3.4 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง

3.4.1 การเตรียมสมการเพื่อใช้ในการศึกษาสูตรอาหารเสริม

ในการศึกษาสูตรอาหารเสริมในงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำเร็จรูปชื่อ LINDO ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แก้ปัญหาสมการด้วยวิธีการซิมเพล็กซ์ (Simplex method) ซึ่งโปรแกรม LINDO นี้ ผู้ใช้ต้องเป็นผู้เตรียมสมการต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1.1 สมการแสดงคุณค่าทางอาหาร (Nutritional constraint)

จากมาตรฐานอาหารเสริมสำหรับเด็กตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (๑) ได้กำหนดมาตรฐานปริมาณสารอาหารไว้ ๑ แบบดังข้อ 2.5.3 ซึ่งจากข้อกำหนดนี้ จะสามารถเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของสารอาหารได้ เช่น กำหนดว่าอาหารเสริมจะต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 2.5 กรัม (ค่าต่ำสุด) ต่อ 100 กิโลแคลอรี นำมาเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{Protein} - 0.025 (\text{Calorie}) \geq 0$$

สำหรับสารอาหารอื่นๆ จะเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหารได้ในทำนองเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เมื่อได้สมการแสดงคุณค่าทางอาหารตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขแล้ว จากนั้นจะเขียนสมการแสดงคุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบต่างๆ ตัวอย่าง สูตรแป้งข้าวเจ้า ตับหมู แครอท และแป้งถั่วเหลือง

กำหนดให้วัตถุดิบชนิดต่างๆ มีค่าสัญลักษณ์ของ X เรียงตามลำดับดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สมการแสดงคุณค่าทางอาหาร (Nutritional constraints) ที่ใช้ในการ
ศึกษาสูตรอาหาร

ชื่อสมการ	สมการ
Protein-Cal	Protein - 0.025(Calorie) ≥ 0
Isoleucine-Cal	Isl - 28(Protein) ≥ 0
Leucine-Protein	Leu - 49(Protein) ≥ 0
Lysine-Protein	Lys - 38.5(Protein) ≥ 0
Methionine+Cystine-Protein	Met + Cys - 24.5(Protein) ≥ 0
Phenylalanine+Tyrosine-Protein	Phe + Tyr - 42(Protein) ≥ 0
Threonine-Protein	Thr - 28(Protein) ≥ 0
Tryptophan-Protein	Trp - 7(Protein) ≥ 0
Valine-Protein	Val - 35(Protein) ≥ 0
Vitamin A-Cal	Vit A - 0.75(Calorie) ≥ 0
Vitamin A-Cal	Vit A - 1.50(Calorie) ≤ 0
Vitamin B ₁ -Cal	Vitamin B ₁ - 0.0004(Calorie) ≥ 0
Vitamin B ₂ -Cal	Vitamin B ₂ - 0.0006(Calorie) ≥ 0
Iron-Cal	Iron - 0.01(Calorie) ≥ 0
Iron-Cal	Iron - 0.02(Calorie) ≤ 0
Phosphorus-Cal	Phosphorus - 0.35(Calorie) ≥ 0
Iodine-Cal	Iodine - 0.05(Calorie) ≥ 0
Iodine-Cal	Iodine - 0.2(Calorie) ≤ 0
Calorie	Calorie ≥ 760
Objective Function	Minimize

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารอาหารที่สำคัญ ราคา และความชื้นในวัตถุดิบตัวอย่างบางชนิดในสูตร (39,40)

วัตถุดิบ	ตัวแปร	พลังงาน (Kcal/100g)	โปรตีน (g/100g)	ราคา (บาท/100g)	ความชื้น (%)
แป้งข้าวเจ้า	X1	366	6.4	1.4	11.8
ตับหมู	X2	117	19.8	7.0	73.2
แครอท	X3	37	1.1	2.5	89.6
แป้งถั่วเหลือง	X4	403	34.1	2.0	10.0

หมายเหตุ ราคาของวัตถุดิบสำรวจจากตลาดสดในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2532

โดย X เป็นน้ำหนักของส่วนผสม มีหน่วยเป็น 100 กรัม

จากตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบในตารางที่

3.2 สามารถเขียนสมการของสารอาหารของวัตถุดิบที่ใช้ได้ดังนี้

$$\text{Calorie;} \quad 366X_1 + 117X_2 + 37X_3 + 403X_4 \quad \text{_____} \quad (1)$$

$$\text{Protein;} \quad 6.4X_1 + 19.8X_2 + 1.1X_3 + 34.1X_4 \quad \text{_____} \quad (2)$$

จากสมการแสดงคุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบที่กล่าวมาข้างต้น

สามารถกำหนดเป็นสมการ (Constraints) ที่มีความสัมพันธ์กันของสารอาหารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป

ไป โดยการเอาสมการแสดงคุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบดังกล่าวมาแทนค่าลงในสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของสารอาหารที่ได้จากประกาศของกระทรวงสาธารณสุขในตารางที่ 3.2 ได้ดังนี้เช่น

$$\text{สมการ Protein-Calorie ; Protein} - 0.025 (\text{Calorie}) \geq 0 \quad (3)$$

นำสมการแคลอรีและโปรตีนของวัตถุดิบใน (1) และ (2) มาแทนค่าในสมการ (3) จะได้

$$\text{Prot.-Cal.;} \quad 6.4X_1 + 19.8X_2 + 1.1X_3 + 34.1X_4 - 0.025(366X_1 + 117X_2 + 37X_3 + 403X_4) \geq 0$$

$$\text{จะได้} \quad - 2.75X_1 + 16.88X_2 + 0.175X_3 + 24.025X_4 \geq 0$$

เนื่องจากว่า กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันมีผลต่อสารอาหารบางชนิดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ วิตามินบีหนึ่งและบีสองในผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารที่ไวต่อความร้อน โดยเฉพาะวิตามินบีหนึ่ง จากงานวิจัยต่างๆ พบว่า กระบวนการผลิตทำให้มีการสูญเสียปริมาณวิตามินบีหนึ่งมากที่สุดประมาณ 50% และสูญเสียปริมาณวิตามิน บีสองมากที่สุดประมาณ 10% (26) ดังนั้นจึงควรเพิ่มปริมาณของวิตามินดังกล่าวในมาตรฐานให้สูงขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของวิตามินบีหนึ่งขึ้นอีก 50% และปริมาณของวิตามินบีสองขึ้นอีก 10% ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการมีปริมาณวิตามินทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นไปตามมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข การเพิ่มปริมาณวิตามินทั้ง 2 ชนิดเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\text{Vit. B1-Cal.} \quad \text{Vit. B1} - 0.0006 \text{ (Calorie)} \quad \geq \quad 0$$

$$\text{Vit. B2-Cal.} \quad \text{Vit. B2} - 0.00066 \text{ (Calorie)} \quad \geq \quad 0$$

สำหรับสารอาหารอื่นๆที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่ไวต่อความร้อน และเนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นแบบ High temperature/short time ดังนั้นปริมาณของสารอาหารอื่นๆคงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงไม่มีการเพิ่มปริมาณไว้ใน การทดลองนี้

3.4.1.2 สมการจำกัดปริมาณของวัตถุดิบ และความชื้นของวัตถุดิบ

ในงานวิจัยนี้ สมการที่จำกัดปริมาณของวัตถุดิบ ได้แก่ สมการ ความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบ และสมการจำกัดปริมาณของแป้งหัวเหลือง โดยสมการความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบนั้นจะกำหนดให้ส่วนผสมของวัตถุดิบมีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25% ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน ปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งในกระบวนการ คือ ความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบ ซึ่งถ้าหากว่า ส่วนผสมของวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นสูงเกินไป จะเกิดการเกาะกันเป็นก้อนในส่วนถังป้อน (Feed Hopper) ทำให้ส่วนผสมลงไปเครื่องไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะออกมาอย่างไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอด้วย ถ้าหากว่าความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบน้อยเกินไป เครื่องจะเกิดการไหม้ได้ และจากงานวิจัยที่มีผู้ทดลองใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตอาหาร ได้แนะนำปริมาณความชื้นไว้ว่า ไม่ควรให้ส่วนผสมมีความชื้นเกิน 25% ดังนั้นสมการของความชื้นก็จะกำหนดให้มีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25% (24,27,28) สมการความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบโดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 3.1 จะเขียนได้ดังนี้

$$\text{สมการความชื้น:} \quad \frac{11.8X_1 + 73.2X_2 + 89.6X_3 + 10X_4}{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)} \leq 25$$

$$(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

$$\text{จะได้} \quad -13.2X_1 + 48.2X_2 + 64.6X_3 - 15X_4 \leq 0$$

ส่วนปริมาณแบ่งถั่วเหลืองนั้น จะกำหนดให้มีปริมาณน้อยกว่า หรือเท่ากับ 20% ทั้งนี้เพราะการมีปริมาณแบ่งถั่วเหลืองมากเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แข็ง ไม่สุก รวมทั้งมีกลิ่นของแบ่งถั่วเหลืองซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (38) ซึ่งในงานวิจัยจะแปรปริมาณแบ่งถั่วเหลืองในสูตรเป็น 5, 10, 15 และ 20% การเขียนสมการทั้งสองสมการจะเป็นดังนี้ (ตัวอย่างสูตรแบ่งข้าวเจ้า ตับหมู แครอท และแบ่งถั่วเหลือง)

สมการแบ่งถั่วเหลือง (กำหนดให้มีปริมาณแบ่งถั่วเหลืองในสูตร $\leq 15\%$)

$$\text{ให้} \quad X_4 \leq 0.15(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

$$\text{จะได้} \quad -0.15X_1 - 0.15X_2 - 0.15X_3 + 0.85X_4 \leq 0$$

3.4.1.3 สมการเป้าหมาย (Objective function)

เป็นสมการแสดงราคาของสูตรอาหารซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการให้มีราคาต่ำที่สุด จากตัวอย่างสูตรดังกล่าวข้างต้น และข้อมูลจากตารางที่ 3.2 สามารถเขียนสมการเป้าหมายของสูตรตัวอย่างได้ดังนี้

$$1.4X_1 + 7.0X_2 + 2.5X_3 + 2.0X_4 \quad \text{Minimum}$$

ดังนั้นสมการทั้งหมดที่นำมาแก้ปัญหาสมการโดยโปรแกรม LINDO นั้น จะมีสมการแสดงคุณค่าทางอาหารทั้งหมด 17 สมการ สมการเป้าหมาย 1 สมการ และสมการความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบอีก 1 สมการ รวมทั้งหมด 19 สมการ สำหรับบางสูตรที่ประกอบด้วยแบ่งถั่วเหลือง จะมีสมการจำกัดปริมาณแบ่งถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอีก 1 สมการ รวมทั้งหมด 20 สมการ

ตัวอย่างการเขียนสมการที่ใช้ในการคำนวณหาสูตรอาหาร ดังในตารางที่ 3.3 สูตรตัวอย่างได้แก่ สูตรแบ่งข้าวเจ้า ตับหมู แครอท และแบ่งถั่วเหลือง

3.4.2 เกณฑ์ในการเลือกสูตรอาหารเสริมที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการเลือกสูตรที่เหมาะสมได้แก่

3.4.2.1 คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) จากโปรแกรม LINDO ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

3.4.2.2 ปริมาณไขมันในสูตร ปริมาณไขมันในวัตถุดิบจะช่วยหล่อลื่นให้วัตถุดิบไม่เกิดการติดขัดในระหว่างผลิต โดยส่วนผสมของวัตถุดิบควรมีปริมาณไขมันอย่างน้อย 5% (12) และจากงานวิจัยผลิตถั่วลิสงแผ่นกรอบโดยใช้เครื่องเอกซ์ทราเดอร์ได้แนะนำว่า ส่วนผสมของวัตถุดิบไม่ควรมีปริมาณไขมันเกิน 10% เพราะถ้ามีปริมาณไขมันมาก จะทำให้สกรูอัดขึ้น และไม่สามารถพาวัตถุดิบเคลื่อนไปข้างหน้า ทำให้ต้องหยุดเครื่อง (23) ดังนั้น ปริมาณไขมันในสูตรที่เหมาะสมในการผลิตควรอยู่ในช่วง 5-10%

3.5 การศึกษาสูตรอาหารเสริมที่เหมาะสมโดยกระบวนการเอกซ์ทราชัน

กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทราชัน มีตัวแปรสำคัญที่ศึกษา ดังนี้ คือ ความเร็วสกรูบ่อน ความเร็วสกรูอัด อุณหภูมิภายในเครื่อง และอัตราส่วนการอัดของสกรู โดยกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

3.5.1. ความเร็วสกรูบ่อน ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ความเร็วสกรูบ่อนที่ 40 รอบต่อนาที

3.5.2 ความเร็วสกรูอัด แปรค่าความเร็วสกรูอัดในช่วงดังนี้ คือ 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที

3.5.3 อุณหภูมิภายในเครื่อง ในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิในช่วงที่ 1 ที่ 120 °C เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิให้วัตถุดิบเท่านั้น แต่อุณหภูมิช่วงที่ 2 และ 3 มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องเลือกใช้สภาวะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ โดยไม่เกิดการไหม้หรือไม่เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น จึงแปรอุณหภูมิระหว่าง 160-180 °C โดยให้อุณหภูมิของทั้งสองช่วงเท่ากัน ดังนี้คือ อุณหภูมิช่วงที่ 2:3 เป็น 160:160, 170:170 และ 180:180 °C

3.5.4 อัตราส่วนการอัดของสกรู (Compression ratio) กำหนดให้ใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูเป็น 4:1 ในงานวิจัยนี้

เนื่องจากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทราชันมีข้อจำกัดในด้านความชื้น และปริมาณของไขมันในวัตถุดิบ ดังนั้นจึงต้องมีการนำสูตรอาหารที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นตรงมาทดลองผลิต

โดยมีการเตรียมวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

ตับหมู → ล้าง → แล่เนื้อเยื่อเกี่ยวพันออก → หั่นและบดละเอียด

ไข่ไก่ → ต้มให้สุก → บดละเอียด

ไข่ไก่ → ไข่แดง → ต้มให้สุก → บดละเอียด

แครอท → ตัดชิ้น ปอกเปลือก → ล้าง → หั่นและบดละเอียด

กะหล่ำปลี → ล้าง → ตัดแต่ง เอาเฉพาะส่วนใบ → หั่นและบดละเอียด

นำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนักให้มีปริมาณเป็นไปตามปริมาณในแต่ละสูตร นำมาผสมให้เข้ากัน วิเคราะห์ปริมาณความชื้นในแต่ละสูตร ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทราเตอร์โดยกำหนดสภาวะของเครื่องดังนี้

ความเร็วสกรูอัด	100	รอบต่อนาที
ความเร็วสกรูป้อน	40	รอบต่อนาที
อุณหภูมิโซนที่ 2 : 3	160 : 160	°C
อุณหภูมิโซนที่ 1	120	°C
อัตราส่วนของการอัดของสกรู	4 : 1	
ความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบ	ขึ้นอยู่กับสูตรอาหารแต่ละสูตรแต่มีปริมาณความชื้นอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด (<25%)	

เอกซ์ทราเตอร์ที่ออกมามีลักษณะเป็นเส้น นำมาตัดให้มีความยาวประมาณ 2 ซม. อบที่อุณหภูมิ 65 °C (41) จนมีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% (3) นำไปบดเป็นผง

ประเมินผลการทดลองผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทราชัน ดังนี้

ก. สูตรที่สามารถผลิตได้จากกระบวนการ โดยพิจารณาเฉพาะสูตรที่สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ติดขัด รวมทั้งให้ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นและมีคุณภาพตามต้องการ

ข. ลักษณะทางประสาทสัมผัส นำสูตรที่ได้จากข้อ ก. ทั้งหมดมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่เป็นมารดา หรือผู้มีประสบการณ์ในการเลี้ยงเด็ก จำนวน 18 คน ใช้วิธีให้คะแนน โดยดูการยอมรับของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการละลายน้ำ

ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงในภาคผนวก ก.2

วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

3.6 การศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

นำผลิตภัณฑ์สูตรที่ได้รับการเลือกจากข้อ 3.5 มา 1 สูตร วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของส่วนผสมของวัตถุดิบ โดยอนุภาคอยู่ในขนาดไม่เกิน 50 mesh 93.2% หาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมโดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

3.6.1 ความเร็วสกรูอัด 3 ระดับ ได้แก่ 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที

3.6.2 อุณหภูมิโซนที่ 2 : โซนที่ 3 3 ระดับ ได้แก่ 160:160, 170:170

และ 180:180 °C

โดยกำหนดสภาวะอื่นๆของเครื่อง ดังนี้

ความเร็วสกรูบ่อน	40	รอบต่อนาที
อุณหภูมิโซนที่ 1	120	°C
อัตราส่วนของการอัดของสกรู	4 : 1	

เอ็กซ์ทรูเดทที่ออกมานำไปตัดเป็นเส้น อบแห้ง และบดเป็นผงเช่นเดียวกับข้อ 3.5 นำไปตรวจสอบลักษณะต่างๆดังนี้

ความหนืด (Viscosity) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscosimeter (1)

ความหนาแน่น (Bulk density) (4,42)

ค่าการดูดน้ำ (Water absorption index ;WAI) (4,16,43) ในภาคผนวก ง.

ค่าการละลายน้ำ (Water solubility index ;WSI) (16,43) ในภาคผนวก ง.

การประเมินผลทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่เป็นมารดา หรือผู้มีประสบการณ์ในการเลี้ยงเด็ก จำนวน 8 คน ใช้วิธีให้คะแนน โดยดูการยอมรับของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ก่อน

และหลังละลายน้ำ

ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงในภาคผนวก ก.

วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Symmetric factorial design ขนาด 3^3

3.7 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บของผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการเลือกจากข้อ 3.6 มาบรรจุในถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ นำผลิตภัณฑ์ไปประเมินผลดังนี้

วิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารที่ศึกษาในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น (โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส วิตามินเอ บีหนึ่ง และบีสอง (โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)

วิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย (44)

นำผลิตภัณฑ์มาเก็บเป็นเวลานาน 3 เดือนที่อุณหภูมิห้อง โดยตรวจสอบลักษณะต่างๆทุกเดือนดังนี้

ความชื้น (4)

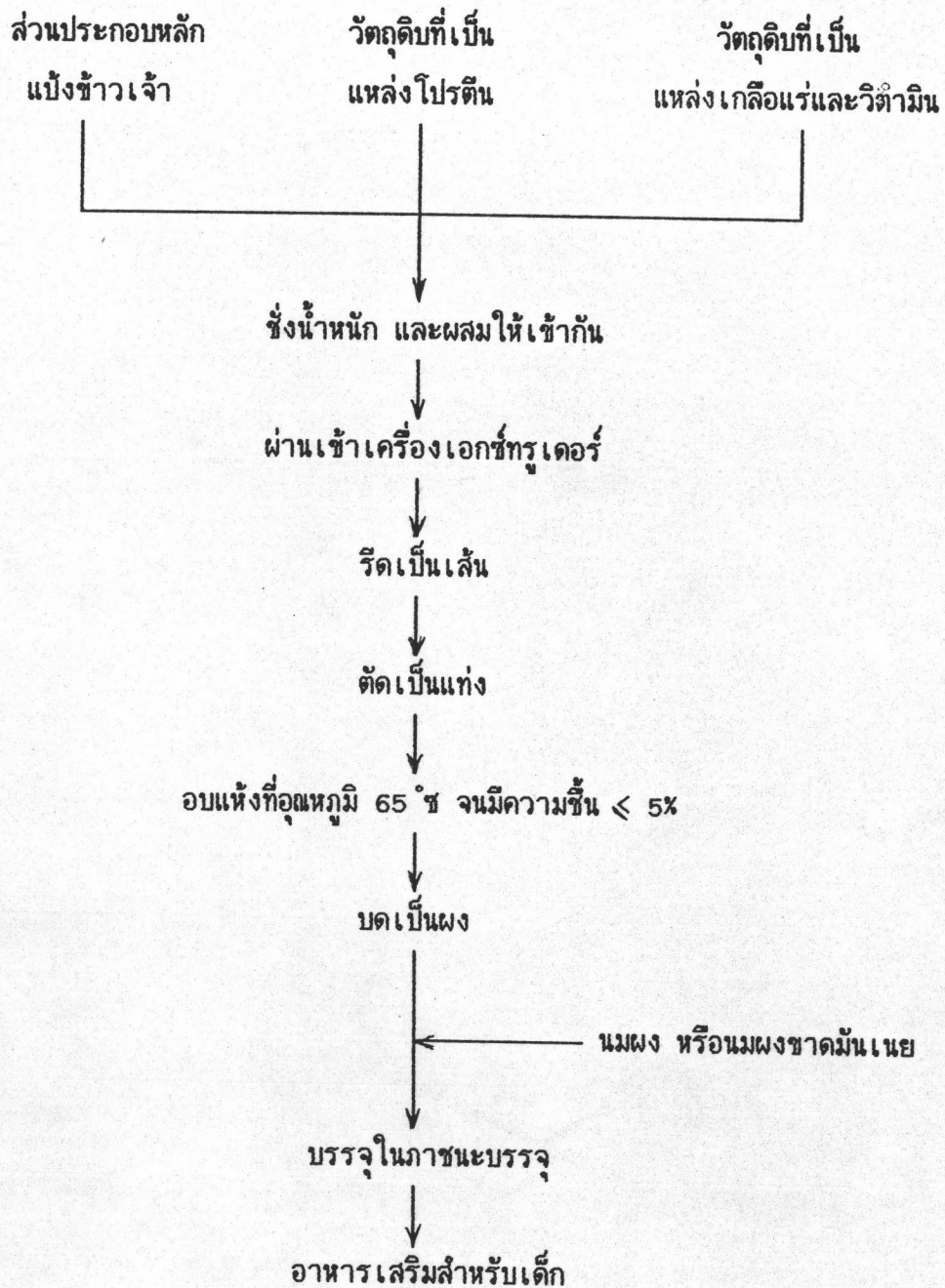
ปริมาณของวิตามิน บีหนึ่ง (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)

การประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยการใช้ผู้ทดสอบ 6 คน ใช้วิธีให้คะแนนโดยดูการยอมรับของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังละลายน้ำ

ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงในภาคผนวก ก.

วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD)

ขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการผลิตอาหารเสริมโดยกระบวนการเอกซ์ทราชัน