การพัฒนาการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยโดยวิธีการเอนแคปซูเลชั่น

อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2566

การพัฒนาการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยโดยวิธีการเอนแคปซูเลชั่น

อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การพัฒนาการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยโดยวิธีการเอนแคปซูเลชั่น

อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การพัฒนาการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยโดยวิธีการเอนแคปซูเลชั่น
ชื่อผู้เขียน นายอาทิตย์ ดุเจโต๊ะ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม

บทคัดย่อ

เฉาก๊วยนั้นเป็นอาหารที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศจีนจนถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นที่รู้จักกันดีในฐานะที่เป็นทั้งอาหารหวานและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลลิกโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการสกัด และกำลังไมโครเวฟ การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ และวิธีพื้นผิวตอบสนอง นำมาการวิเคราะห์คัดเลือกปัจจัยและหาสภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจาก ผงเฉาก๊วยคือ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย (X_1) 1:435 กรัมต่อมิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 450 วัตต์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้สูงสุด 69.70 ไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การศึกษาการผลิตเม็ดเจลลี่จากสารสกัดเฉาก๊วยโดยใช้วิธีการเอนแคปซูเลชั่นพบว่า อัตราส่วน Calcium chloride ($CaCl_2$) ต่อตัวทำละลาย (กรัม/มิลลิลิตร) 1:10 อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (กรัม/มิลลิลิตร) 1:100 และ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (กรัม/มิลลิลิตร 0.5:10 ค่า Hardness เท่ากับ 4582.937 (g) ค่าความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 820.235 ค่าการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) เท่ากับ 243.978

การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยพบว่าการใช้อุปกรณ์หยอดได้เม็ดเจลลี่เฉาก๊วยที่มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอกัน และยังมีหางคล้ายลูกอ๊อด โดยมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.9 ± 0.24 (mm) และค่า Hardness 2199.326±75 (g) Gumminess 653.5953±11 Chewiness 373.651±59 และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย พบว่าในคุณลักษณะต่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.00 - 6.98 ซึ่งเป็นความชอบในระดับเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง โดยต้นทุนในการประกอบเครื่องหยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยอยู่ที่ 20,000 บาท และต้นทุกการผลิต

ต่อรอบอยู่ที่ 10.94 บาทต่อกิโลกรัม วิจัยนี้สามารถประยุกต์ทำน้ำเฉาก๊วยที่มีคุณภาพ ประสิทธิภาพที่ดีและมีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาโดยสารสกัดจากผลผลิตทางการเกษตร

คำสำคัญ : การสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม, เฉาก๊วย, เอนแคปซูเลชั่น

Title DEVELOPMENT OF PELLETS PRODUCTION FOR BLACK GRASS JELLY BY ENCAPSULATION

Author Mr. Artit Dujeto

Degree Master of Engineering in Food Engineering

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Nukrob Narkprasom

ABSTRACT

Grass jelly is a well-known dessert and healthy beverage in China and Southeast Asia. This research study aimed to increase the total phenolic compounds through microwave-assisted extraction. The effects of extraction variables (raw material -liquid ratio, irradiation time and microwave power) were tested. The factorial 2 levels and response surface design were applied to analyze the level of significant variables and optimum conditions. The results showed that the highest total phenolic compounds (69.70 μgGAE/gdry weight) from Mesona chinensis Benth powder was obtained at raw material -liquid ratio of 1:435 g/mL, irradiation time of 50 min and microwave power of 450 W.

The study on the production of pellets grass jelly by encapsulation method showed that the ratio of Calcium chloride ($CaCl_2$) to solvent (g/ml) 1:10 and ratio of Sodium Alginate to extract Grass Jelly (g/ml) 1:100 and tapioca starch ratio to grass jelly extract (g/ml 0.5:10, Hardness was 4582.937 (g), Gumminess was 820.235, Chewiness was 243.978.

Using a device to drop the grass jelly that is inconsistent in size and has a tadpole-like tail. The diameter is 7.9 ± 0.24 (mm) and Hardness 2199.326±75 (g) Gumminess 653.5953±11 Chewiness 373.651±59 and the sensory test of pellets black grass jelly . It was found that the different characteristics of the products were appearance, color, smell, taste, texture, and overall liking. The average score is in the range of 6.00 - 6.98, which is a slight level of preference. to like moderate. The cost of assembling a pellets dropper is 20,000 baht The Variable Cost is 10.94 baht per

kilogram. This research can be applied in the food and pharmaceutical industries to produce better quality products.

Keywords : Microwave Assisted Extraction, Mesona chinensis Bentham, Encapsulation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นผลงานที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทแรงกายแรงใจในการทำงาน วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการการผลิตเฉาก๊วย งานวิจัยนี้สำเร็จได้เพราะคำแนะนำและความร่วมมือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณท่านผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนเอาใจใส่ดูแลอย่างสม่ำเสมอ จนวิทยานิพนธ์เล่มสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ ซึ่งเป็นกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาในเรื่องการออกแบบการทดทองและการทดสอบต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและส่งเสริมการศึกษาตลอดมา และขอขอบคุณสมาชิกครอบครัวทุกๆที่เป็นกำลังใจให้อย่างดีตลอดมา

อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

ขอบเขตของงานวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการตรวจเอกสาร 5

ต้นเฉาก๊วย 5

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 5

สรรพคุณของต้นเฉาก๊วย 6

การผลิตเฉาก๊วย 6

การสกัด 7

การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟร่วม 7

เอนแคปซูเลชั่น (encapsulation) 7

เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชั่น (encapsulation techniques) 8

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้วิธีทางเคมี (chemical process) 8

Coacervation 8
การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment) 9
การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องมือ (mechanical processes) 9
เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying technique) 9
การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด (fluidized bed coating หรือ Air suspension coating) 10
เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) 10
ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น 10
คาร์โบไฮเดรต 10
โปรตีน (Protein) 11
สตาร์ช (starch) และแป้ง (flour) 11
อัลจิเนต (alginate) 12
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) 12
เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ 13
สี (color) 14
การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) 15
การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) 15
การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย 16
การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ 17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย 22
วัตถุดิบ 22
อุปกรณ์ และเครื่องมือ 22
สารเคมี 23

วิธีดำเนินงานวิจัย 24
ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย 25
ศึกษากระบวนการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟรวม 25
การเตรียมตัวอย่างหญ้าเฉาก๊วย และหาคุณสมบัติเบื้องต้น 25
การสกัดหญ้าเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม 26
การใช้เครื่องไมโครเวฟสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากหญ้าเฉาก๊วย 26
การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย 27
การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย 27
ศึกษากระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิค เอนแคปซูเลชั่น 28
การเตรียมตัวอย่างสารสกัดหญ้าเฉาก๊วย และหาคุณสมบัติเบื้องต้น 28
การขึ้นรูปเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม 29
การขึ้นรูปเฉาก๊วยโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น 30
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น 30
ออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ 31
ออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์ 31
การทดสอบอุปกรณ์ 32
การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย 32
การวิเคราะห์คุณภาพสี 32
การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 32
ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินผลิตภัณฑ์เบื้องต้น 33
การวิเคราห์เชิงเศรษฐศาสตร์ 33
การวิเคราะห์ทางสถิติ 34
สถานที่ดำเนินงานวิจัย 34
บทที่4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 35

ผลของการสกัดหญ้าเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม 35
ผลการทดลองเบื้องต้นอิทธิพลของปัจจัยในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมด 36
ผลของการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเฉาก๊วย 38
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น 45
การพัฒนากระบวนการผลิตและการออกแบบอุปกรณ์ 50
การทดสอบอุปกรณ์ 53
ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย 55
ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ 56
บทที่5 สรุปและข้อเสนอแนะ 58
สรุปผลการทดลอง 58
ข้อเสนอแนะ 59
ภาคผนวก 60
ภาคผนวก ก ภาพการดำเนินงาน 61
ภาคผนวก ข ตัวอย่างแบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลลี่เฉาก๊วย 69
ภาคผนวก ค การวัดฟีนอลิก 71
ภาคผนวก ง 73
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 73
ภาคผนวก จ 76
การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ 76
ภาคผนวก ฉ 80
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 80
บรรณานุกรม 99
ประวัติผู้วิจัย 104

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟินอลลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย 28

ตารางที่ 2 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น 30

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการสกัดแบบดั้งเดิมและการสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม 35

ตารางที่ 4 การออกแบบพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน 39

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากผงเฉาก๊วย 40

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและสมการการทำนายการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง 43

ตารางที่ 7 ค่าสีของผลิตภัณฑ์(L*,a*,b*) ของการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 46

ตารางที่ 8 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพ (Hardness, Fractur ability, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess ,Chewiness และ Resilience) ของการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 47

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์และร้อยละความเชื่อมั่นของสมการถดถอย 48

ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนของอุปกรณ์หยอด 51

ตารางที่ 11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) ค่า Hardness (g) Gumminess Chewiness ของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากอุปกรณ์หยอดและเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ 54

ตารางที่ 12 จำนวนและสัดส่วนร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้การยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย 56

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องหยอดและแม่พิมพ์ 57

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะตัวเฉาก๊วย 6

ภาพที่ 2 การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 9

ภาพที่ 3 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรเลอร์ 13

ภาพที่ 4ระบบสี CIELAB 15

ภาพที่ 5 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24

ภาพที่ 6 ผงหญ้าเฉาก๊วยบรรจุไว้ในถุงฟอยด์ซิปล็อคเพื่อป้องกันความชื้น 25

ภาพที่ 7 ส่วนประกอบเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม 26

ภาพที่ 8 การผสมแป้งกับสารสกัดเฉาก๊วย 29

ภาพที่ 9 การเท่เฉาก๊วยในแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูป 29

ภาพที่ 10 เครื่องหยอดแบบมือ(ก.)และเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump(ข.) 31

ภาพที่ 11 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ 36

ภาพที่ 12 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนด 37

ภาพที่ 13 อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนด 37

ภาพที่ 14 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ 41

ภาพที่ 15 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่เวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที 42

ภาพที่ 16 อิทธิพลของเวลาและกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบในการสกัด 350 มิลลิลิตรต่อกรัม 43

ภาพที่ 17 (ก) การหยอดด้วยเครื่องแบบมือ (ข) การหยอดด้วยเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump 50

ภาพที่ 18 โครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ..... 52
ภาพที่ 19 โครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อประกอบส่วนประกอบต่างๆ 52
ภาพที่ 20 อุปกรณ์หยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย..... 53
ภาพที่ 21 ลักษณะเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากตลาด 54
ภาพที่ 22 ลักษณะของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากอุปกรณ์หยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย (ก) ที่ได้คุณภาพ (ข) ที่ไม่มีคุณภาพ..... 55

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

เฉาก๊วยหรือว่าหญ้าเฉาก๊วย *(Mesona chinensis)* เป็นพืชชนิดหนึ่งในตระกูลเดียวกับมิ้นต์ (พืชจำพวกสะระแหน่) พบได้มากในประเทศจีน ซึ่งในสารสกัดเฉาก๊วยจะมีประกอบไปด้วย Polyphenols และ flavonoids เช่น สารแคมพ์เฟอรอล (kaempferol) และกรดคาเฟอิก (caffeic acid)เฉาก๊วยได้รับการรับรองจากสำนักวิจัยสมุนไพรแห่งชาติว่ามีสรรพคุณทางยาซึ่งสามารถใช้แก้ร้อนใน กระหายน้ำ ไข้หวัด ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อข้อพับอักเสบ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์จีนทั่วไป (ตั้งประดิษฐ์ ฤดีวรรณ, 2003) โดยพบว่าในต้นเฉาก๊วยมี กรดยูโซลิก (ursolic acid) ซึ่งเป็นสารที่สามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (hypoglycemic principle) (Sheu et al., 1984) สารสกัดน้ำจากเฉาก๊วยสามารถป้องกันไม่ให้ DNA ถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี ได้มากกว่าไฮโดนเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งความสามารถนี้เกิดเนื่องมาจากในสารสกัดน้ำเฉาก๊วยมีสารประกอบฟีนอลลิกและสารอื่น ๆ (Gow-Chin Yen & Chien-Ya Hung, 2000) นอกจากนี้ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง และป้องกันโรคร้ายแรงในอนาคต (Gow-Chin Yen & Chien-Ya Hung, 2000)ในประเทศจีนจะใช้เป็นสมุนไพรในการรักษาโรคตับ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และอาการปวดข้อ และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการป้องกันโรคหลอดเลือด (Hung et al., 2000) นอกจากต้นเฉาก๊วย (*mesona chinensis*) จะถูกนำมาใช้เป็นยาแล้วหญ้าเฉาก๊วยยังถูกนำมาทำเป็นของหวาน เฉาก๊วย (Black jelly) เป็นของหวานที่เป็ที่นิยมในประเทศไทย จะมีลักษณะเหนียวหนึบนิยมกินคู่กับน้ำตาลทรายแดงน้ำเชื่อม หรือจะใส่ส่วนผสมอื่นๆ ลงไปตามแต่ความชอบ เฉาก๊วยที่มีสองแบบหลักๆ คือ แบบที่เป็นก้อน เวลารับประทานจะต้องมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และเฉาก๊วยสำเร็จรูป ซึ่งสามารถรับประทานได้ทันที (ตั้งประดิษฐ์ ฤดีวรรณ, 2003) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เฉาก๊วยนับได้ว่าเป็นที่นิยมในท้องตลาดเป็นจำนวนมาก ด้วยสรรพคุณเชิงยาที่ดีของเฉาก๊วยทำให้มีผู้นิยมบริโภค ผู้ผลิตได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฉาก๊วยออกเป็นในหลากหลายรูปแบบ เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เยลลี่ หรือรูปแบบผง เพื่อนำไปรับประทานเป็นของหวาน หรือเป็นส่วนประกอบในอาหารและเครื่องดื่มต่อไป แนวโน้มของตลาดเฉาก๊วยในประเทศไทย มีอัตราการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคที่มีอากาศร้อน ทำให้มีความต้องการการบริโภคเครื่องดื่มจากเฉาก๊วยเพื่อดับกระหายคลายร้อน แต่ปัจจุบันกระแสความนิยมในการบริโภคชานมไข่มุกเข้ามาแย่งส่วนแบ่งทางการตลาดของเครื่อง ดื่มประเภทชา กาแฟ รวมถึงเฉาก๊วยมากขึ้น ด้วยความโดดเด่นของผลิตภัณฑ์ที่มี

เม็ดเจลลี่สีดำเป็นจุดขาย จึงทำให้มีแนวคิดในการพัฒนาเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยที่มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมเรื่องสุขภาพ

กระบวนการผลิตเฉาก๊วยมีสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกการต้มสกัด นำหญ้าเฉาก๊วยแห้งมาต้มสกัดกับน้ำ จนได้ยางไม้และเพคติน ซึ่งมีลักษณะสีน้ำตาลดำ จากนั้นกรองเอาแต่น้ำ 2 การขึ้นรูปเฉาก๊วย นำสารสกัดเฉาก๊วยที่ได้ไปผสมกับแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งท้าวยายม่อม ตามสัดส่วน ซึ่งจะทำให้ได้ความเหนียวหนึบนุ่มนิ่มที่แตกต่างกัน

สารประกอบฟีนอลลิกจะออกมาในกระบวนการการต้มสกัดน้ำเฉาก๊วย โดยสารประกอบฟีนอลลิกจากต้นเฉาก๊วย สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันและกรดฟีนอลิกที่สำคัญที่สุดในต้นเฉาก๊วย คือ caffeic acid เพราะมีความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้สูงที่สุด และมีการนำเทคนิคในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกหลายแบบได้แก่ การสกัดแบบให้ความร้อน การสกัดแบบ Soxhlet การสกัดแบบ Ultrasound และการสกัดแบบไมโครเวฟร่วม

การใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัด (Microwave-Assisted Extraction : MAE) โดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลน้ำในเซลล์พืชสั่นสะเทือน ทำให้เซลล์แตกออกจากการได้รับความร้อนยิ่งยวด และปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา (อารีรัตน์ ชื่อดี, 2017) โดยเทคนิคการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการสกัดสารสำคัญ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในกระบวนการสกัดสั้น ตัวทำละลายน้อย ผลผลิตสูงและมีคุณภาพกว่า และต้นทุนต่ำกว่าแบบใช้ความร้อนในการสกัด (Hosseini et al., 2016)

การขึ้นรูปเฉาก๊วยปัจจุบัน เริ่มจากการต้มสารสกัดเฉาก๊วยให้เดือด เติมแป้งตามอัตราส่วน กวนแป้งกับน้ำสารสกัดจนเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ซึ่งมีลักษณะเหนียวข้น จากนั้นนำไปใส่แม่พิมพ์ เพื่อให้เฉาก๊วยเกิดการคืนตัว (retrogradation) โดยวิธีที่ง่ายสุดคือการนำเฉาก๊วยเทลงถาดเมื่อแข็งตัวกลายเป็นวุ้นใช้มีดตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ทั้งนี้รูปทรงของเฉาก๊วยนั้นขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์จึงได้มีการขึ้นรูปเป็นทรงกลมเพื่อง่ายในการบริโภคโดยใช้หลอดแทน การผลิตในขั้นตอนนี้จะต้องใช้เวลาและความชำนาญในการทำเนื่องจากเฉาก๊วยจะคืนตัวเร็ว ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับนวัตกรรมกระบวนการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลมโดยการห่อหุ้มในรูปแคปซูล Encapsulation ซึ่งเป็นเทคโนโลยีกักเก็บสารไว้ในแคปซูลเพื่อส่งสารไปยังส่วนต่าง ๆ สารประกอบที่ใช้ทำเปลือกของเม็ดนั้นมีหลากหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้คือเปลือกที่เกิดขึ้นจากพันธะระหว่างสารประกอบสองชนิด ได้แก่ อัลจิเนต กับแคลเซียมไอออน ซึ่งอัลจิเนตเป็นสารประกอบพอลิแซกคาไรด์จากธรรมชาติทำให้เม็ดเจลลี่ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียวหนึบแบบรสชาติดั้งเดิม และเครื่องมือที่พัฒนาทำให้มีกำลังการผลิตมากขึ้น โดยอาศัยหลักการขึ้นรูปของเหลวของสารสกัดเฉาก๊วยกับแป้งผสมด้วยการผสมอัลจิเนต นำมาหยดลงหัวหยอดหยอดลงภาชนะที่มีแคลเซียมไอออนเพื่อทำการขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ทำให้ต้องมีการศึกษาเทคนิคทางสถิติ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการออกแบบการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญและลดจำนวนในการทดลอง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการหาสภาวะของกระบวนการเพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้เลือกแบบการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับนำมาการวิเคราะห์คัดเลือกปัจจัยและวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนนำมาการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแก้ปัญหาได้สูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสภาวะที่มีปัจจัยหรือตัวแปรที่มีจำนวนมากได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษากระบวนการและอุปกรณ์ในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญในหญ้าเฉาก๊วยและศึกษาการผลิตเม็ดเจลลี่จากสารสกัดเฉาก๊วยโดยใช้วิธีการเอนแคปซูเลชั่น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสกัดสารฟีนอลิกจากหญ้าเฉาก๊วยและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม (Microwave-Assisted Extraction : MAE)
2. เพื่อศึกษาการผลิตเม็ดเจลลี่จากสารสกัดเฉาก๊วยโดยใช้วิธีการเอนแคปซูเลชั่น
3. เพื่อการศึกษากระบวนการ และอุปกรณ์ในการผลิตเฉาก๊วยเม็ดเจลลี่ที่เหมาะสมที่เหมาะสม

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ในการศึกษากระบวนการ และอุปกรณ์ในการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วย โดยจะศึกษา อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปได้แก่ แม่พิมพ์ และอุปกรณ์หยอดที่ได้ออกแบบ
2. การสกัดสารฟินอลิกและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยหญ้าเฉาก๊วยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้

3. การผลิตเม็ดเจลลี่จากสารสกัดเฉาก๊วยโดยใช้วิธีการเอนแคปซูเลชั่น โดยทำการควบคุม ความเข้มข้นของ สารที่นำมาเคลือบ (wall material) คือ แป้งมันสำปะหลัง (flour) แคลเซียมคอลไรด์ (Calcium chloride ($CaCl_2$)) และ โซเดียมอัลจิเนต (Sodium Alginate)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจกระบวนการ และเครื่องจักรในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต
2. ได้สูตรในการผลิตเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการตรวจเอกสาร

ต้นเฉาก๊วย

ต้นเฉาก๊วยหรือว่าหญ้าเฉาก๊วยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mesona chinensis Bentham* หรือ M. *elegans Hayata* หรือ *M. procumbens Hemsley* อยู่ในวงศ์ Labiatae พืชในวงศ์นี้ที่รู้จักกันคือ สะระแหน่ โหรพา แมงลัก กระเพราเป็นต้น (ตั้งประดิษฐ์ ฤดีวรรณ, 2003)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เฉาก๊วยเป็นไม้ล้มลุก เป็นไม้พุ่มกิ่งเลื้อยขนาดเล็ก ลำต้นมีขนาดเล็ก เป็นเหลี่ยมคล้ายสะระแหน่ แต่ทรงพุ่มใหญ่กว่า ลำต้นเปราะหักง่าย ต้นอ่อนมีสีเขียว ต้นแก่มีสีน้ำตาล กิ่งแตกแขนงออกตามข้อของลำต้น ช่วงห่างระหว่างข้อ 3-5 เซนติเมตร ลำต้น และกิ่งทอดยาวคลุมตามดินได้ 50 – 120 เซนติเมตร ใบเฉาก๊วยแทงออกเป็นใบเดี่ยว แตกออกเป็นคู่ๆตรงกันข้ามบนกิ่ง คือ มี 2 ใบ /ข้อ มีก้านใบมีสีขาว ยาวประมาณ 1 – 1.5 เซนติเมตร ใบรูปใบหอก คล้ายใบสะระแหน่ ปลายใบแหลมโคนใบสอบ ขอบใบหยักเป็นฟันเลื้อย แผ่นใบเป็นร่องตามเส้นใบ ขนาดใบยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.8-3 เซนติเมตร ใบมีสีเขียวสดถึงเขียวเข้ม และมีขนขนาดเล็กปกคลุม เมื่อจับแผ่นใบจะรู้สึกสากมือ และหากขยี้ใบจะมีลักษณะเป็นเมือกลื่น ดอกเฉาก๊วยแทงออกเป็นช่อ คล้ายกับดอกแมงลักหรือโหระพา มีช่อดอกยาว 5-10 เซนติเมตร แต่ละช่อมีดอกจำนวนมาก แต่ละดอกมีก้านดอกยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร กลีบดอกมีสีขาวอมม่วงอ่อน ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ถัดมาด้านในเป็นเกสรตัวผู้ 1 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน ส่วนเมล็ดมีขนาดเล็กสีดำอมน้ำตาล มีลักษณะรูปไข่ (อัญชลี เรืองเดช, 1991)

ภาพที่ 1 ลักษณะตัวเฉาก๊วย

สรรพคุณของต้นเฉาก๊วย

เฉาก๊วยมีสรรพคุณทางยาซึ่งรับรองโดยกองวิจัยสมุนไพรแห่งชาติของกรุงปักกิ่งว่าสามารถใช้แก้ร้อนใน กระหายน้ำ ไข้หวัด ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อข้อพับอักเสบ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์จีนทั่วไป (ตั้งประดิษฐ์ ฤดีวรรณ, 2003) ใช้ในการรักษาโรคเบาหวาน โดยพบว่าในต้นเฉาก๊วยมีกรดยูโซลิก (ursolic acid) ซึ่งเป็นสารที่สามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (hypoglycemic principle) (Sheu et al., 1984) สารสกัดน้ำจากเฉาก๊วยสามารถป้องกันไม่ให้ DNA (human lymphocyte) ถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี ได้มากกว่าไฮโดนเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งความสามารถนี้เกิดเนื่องมาจากในสารสกัดน้ำเฉาก๊วยมีสารประกอบฟีนอลลิกและสารอื่น ๆ (Gow-Chin Yen & Chien-Ya Hung, 2000)

การผลิตเฉาก๊วย

คนไทยนิยมบริโภคเฉาก๊วยเป็นของหวานโดยมีวิธีการผลิตเฉาก๊วย เริ่มจากนำหญ้าเฉาก๊วยแห้งมาล้างเพื่อทำความสะอาด จากนั้นนำไปต้มในหม้อ โดยอุณหภูมิน้ำเดือด ในอัตราส่วนเฉาก๊วย 1 กิโลกรัม ต่อน้ำสะอาด 10 ลิตร จากนั้นให้ใส่โซดาแอช หรือโซเดียมคาร์บอเนต ลงไป 1 กรัม ต้มเป็นเวลา 3 ถึง 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองกากหญ้าเฉาก๊วยออกโดยใช้ผ้าขาวบางหรือตะแกรง นำน้ำ

เฉาก๊วยที่ได้มาให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิของน้ำเฉาก๊วยอยู่ที่ 90-100 องศาเซลเซียส ทำการเติมแป้งมันสำปะหลัง หรือว่าเป็นท้าว ตามอัตราส่วนที่ต้องการ ทำการกวนจนน้ำเฉาก๊วยมีลักษณะเหนียวข้น จากนั้นนำน้ำเฉาก๊วยที่ได้มาเทใส่ในพิมพ์หรือถาดเพื่อขึ้นรูป โดยปล่อยให้อุณหภูมิของเฉาก๊วยเย็นตัวลงที่อุณหภูมห้อง จากนั้นทำการตัดเฉาก๊วยตามขนาดที่ต้องการ โดยปกติแล้วเฉาก๊วยจะทานคู่กับน้ำเชื่อมซึ่งการทำน้ำเชื่อมนั้น ใช้น้ำสะอาดกับน้ำตาลทราย ในอัตรา 1:1

การสกัด

การสกัดเป็นกระบวนการที่แยกองค์ประกอบที่มีในวัตถุดิบหรือสารออกมาโดยต้องมีตัวทำละลายเช่น น้ำ หรือเอทานอล ที่จะพาสารในวัตถุดิบที่ต้องการสกัดออกมากระบวนการนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสารสำคัญที่ต้องการแยกละลายออกมากับตัวทำละลาย ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆยังคงเหลือในวัตถุดิบ

การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟร่วม

การใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัด (Microwave-Assisted Extraction : MAE) คือการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการสกัด ซึ่งคลื่นไมโครเวฟจะสร้างความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือ โมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้นหรืออาจ กล่าวได้ว่าเมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าและด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายใน ทำให้เซลล์แตกออกจากการได้รับความร้อนยิ่งยวด และปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา (อารีรัตน์ ซื่อดี, 2017) โดยเทคนิคการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการสกัดสารสำคัญ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในกระบวนการต่ำ ตัวทำละลายน้อย ผลผลิตสูงและมีคุณภาพกว่าและต้นทุนต่ำกว่าแบบใช้ความร้อนในการสกัด (Hosseini et al., 2016)

เอนแคปซูเลชั่น (encapsulation)

เอนแคปซูเลชั่นคือกระบวนการระหว่างสารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบที่ถูกเคลือบด้วยสารห่อหุ้ม โดยสารที่ถูกเคลือบ (coated) จะเป็นของเหลวโดยส่วนมาก สารบางตัวอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สซึ่งจะถูกเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase และสารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า coating หรือ wall material หรือ shell เทคโนโลยีการแอนแคปซูเลชั่น (Encapsulation technology) เป็นกระบวนการสร้างแคปซูลที่มีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน

ชั้นโพลิเมอร์บาง จะเป็นตัวควบคุมและปลดปล่อยสารสำคัญภายในเมื่อเราต้องการ (ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี & อภิรดา พรปัณณวิชญ์, 2018)

เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชั่น (encapsulation techniques)

การเอนแคปซูเลชั่นสารสามารถทำได้หลายวิธี โดยสามารถแบบได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process) และการเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้วิธีทางเคมี (chemical process)

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้วิธีทางเคมีสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

Coacervation

Coacervation คือการเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิคนี้ใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ซึ่งไปด้วย เฟส 3 เฟสซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกันได้แก่เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) สารที่ จะนำมาเอนแคปซูเลชั่น (core material) และเฟสของสารเคลือบ (coating material phase) การทำให้เกิดการเคลือบผิวในกรณีนี้จะเกี่ยวข้องกับการปรับ สภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันให้อยู่ในสภาวะที่ประจุเป็น กลางและเคลือบอยู่บนผิวของสารแกนกลาง ขั้นตอนการเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิค coacervation ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
2. การเกิด coacervated wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย และการเกิด coacervation สามารถทำได้โดย

- การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ
- การปรับเปลี่ยน pH
- การเติม ionic salt

การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment)

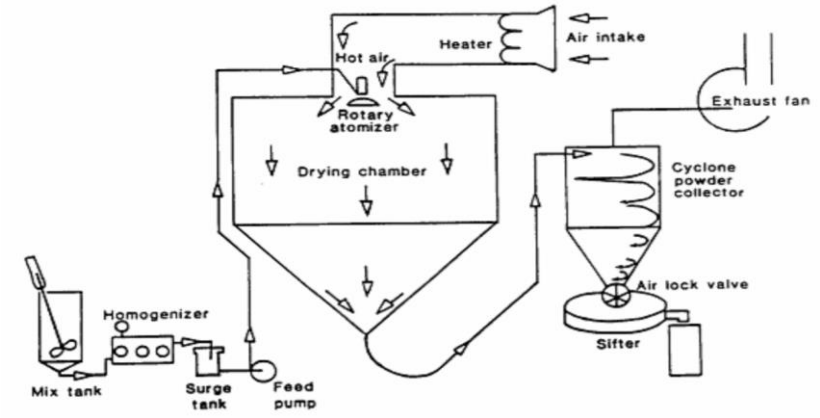
วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา (pharmaceutical industry) ปัจจุบันได้ มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid – base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการ form เป็นไลโปโซม โดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ่มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือในไขมันไว้ภายใน

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องมือ (mechanical processes)

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องมือสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying technique)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยคือเทคนิคการเอนแคปซูเลชั่นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และ ต้นทุนการผลิตโดยวิธีการนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิคการ อบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัม หรือ ส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลชั่นมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) จากนั้นนำไปทำการอบแห้งแบบพ่นฝอย



ภาพที่ 2 การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา Atmane et al. (2006)

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด (fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่ต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูงในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกฟีดผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค ความหนาของสารเคลือบผิวสามารถควบคุมได้โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ อยู่ภายในห้องอบแห้ง

เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

การเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ ในการเอนแคปซูเลชั่นสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน การเอนแคปซูเลชั่นจะเกิดระหว่าง ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายในส่วนที่น้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะ ช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้สารละลายที่มี สารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรส ไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น

คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่ สามารถนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบ ได้แก่ สตาร์ช (starch), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), corn syrup solids และ gum acacia คาร์โบไฮเดรต

โปรตีน (Protein)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility), ความหนืด (viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิด ฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด steric stabilizing layer ขึ้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (oil droplets) จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง (recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

สตาร์ช (starch) และแป้ง (flour)

แป้งหรือ flour ผลิตจากส่วนของพืชที่มีการสะสมอาหาร เช่น เมล็ด ของข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ และ เผือก เป็นต้น นำมาผ่านกระบวนการทำให้ละเอียดด้วยวิธีการบดหรือโม่ซึ่ง มีทั้งวิธีแบบแห้ง (Dry Milling) และวิธีแบบเปียก (Wet Milling) แป้งที่ ผลิตได้โดยทั่วไป จะมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีองค์ประกอบทางเคมีและ คุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต องค์ประกอบของแป้ง ขึ้นกับชนิดของธัญพืชและส่วนของเมล็ดที่ถูกนำมาบดเป็นแป้ง ซึ่งจะทำให้แป้งมี คุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยจะมีส่วนประกอบของโปรตีน ไขมันรวมอยู่ด้วย แป้งใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลากหลายประเภทเช่น ขนมเบเกอรี่ อาหารแปรรูป เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนม และอาหารกึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

สตาร์ช (starch) คือพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบในส่วนต่างๆของพืช มาผ่านกระบวนการสกัดแยกเอาส่วนประกอบอื่นๆออก ให้มีความบริสุทธิ์ สตาร์ชเป็นแหล่งสะสมอาหารของเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ที่มีน้ำตาลกลูโคส (glucose) เป็นมอโนเมอร์ ของน้ำตาลกลูโคส ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งแอลฟา1,4 ได้เป็นโครงสร้างแบบแอไมโลส (amylose) ส่วนที่ตำแหน่ง แอลฟา 1,4 และ แอลฟา 1,6 ได้เป็นแอไมโลเพกทิน (amylopectin) เม็ดสตาร์ช (starch granule) เม็ดสตาร์ชของพืชแต่ละชนิดจะมี แอไมโลสและแอไมโลแพกตินอัดแน่นอยู่ โดยมีสัดส่วนของแอไมโลสและแอไมโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ความหนืด (viscosity) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2022)

อัลจิเนต (alginate)

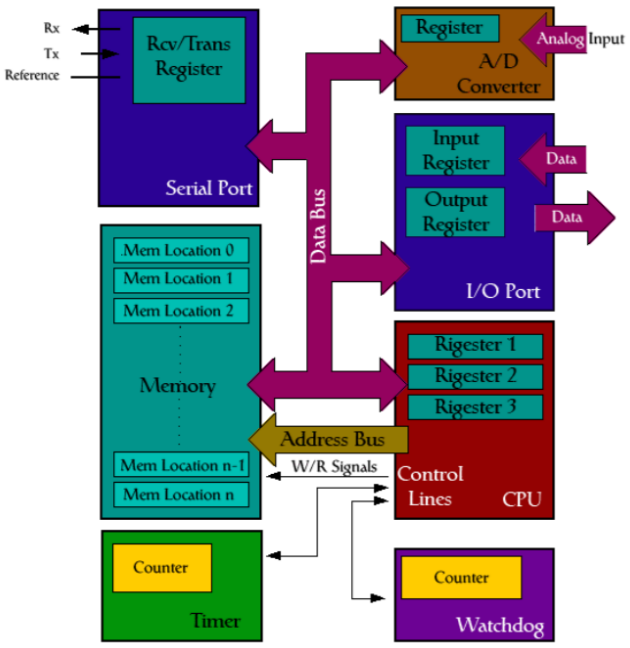
อัลจิเนต (alginate) เป็นเอกโซโพลิแซคคาไลด์ (exopolysaccharide, EPS) ชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วยย่อยจำนวน 50 – 200,000 หน่วยของน้ำตาล 2 โมเลกุลคือ mannuronic acid (M) และ guluronic acid (G) ที่ เชื่อมกันด้วยพันธะ β-1,4 D-mannuronic acid และ α-1, 4 C-5 epimer α-L-guluronic acid โดยสามารถสกัดได้จากพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณผนังเซลล์ ของสาหร่ายทะเล (seaweed) เช่น *Laminaria digitata, L. hyperborean* และ *Macrocystis pyrifera* หรือ สาหร่ายสี น้ำตาล (brown algae) เช่น *Phaeophyceae* sp. อัลจิเนทถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในทางอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเมื่อนำอัลจิเนทไปละลายหรือกระจายตัวในนั้นจะทำให้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เกี่ยวของกับการเป็น emulsifier, stabilizer, encapsulating agent และ หน้าที่อื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารโดยจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษา.

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)

(Microcontroller มักย่อว่า µC, uC หรือ MCU) คือระบบคอนโทรลขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย การออกแบบวงจรที่เหมาะสมจะสามารถโปรแกรมคำสั่ง เพื่อควบคุม input / output เพื่อสั่งงานให้ไป ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ไมโครคอนโทรลเลอจะเป็นอุปกรณ์ควบคุม ขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: central processing unit)
2. หน่วยความจำ (memory) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บ โปรแกรมหลัก (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data Memory)
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (input port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (output port)
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

การบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกันสามารถมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog



ภาพที่ 3 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรเลอร์

ที่มา (ภู่รักษ, 2022)

เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับหรือวัดค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ต่างๆเช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนการการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณ โดยทั้งสองตัวนี้มีความแตกต่างกันทางหน้าที่ กล่าวคือเซนเซอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพและเปลี่ยนแปลงปริมาณนั้นเป็นปริมาณที่วัดหรือบันทึกได้ตัวอย่างเช่น โพเทนชิโอมิเตอร์ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ ทำหน้าที่แปลงผันการเปลี่ยนแปลงการกระจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจึงเรียกโพเทนชิโอมิเตอร์ว่าเซนเซอร์ (ภู่รักษ, 2022)

สี (color)

สี (color) สีเป็นสมบัติเชิงแสงที่นำมาใช้บรรยายลักษณะภายนอกของวัตถุได้ง่ายที่สุดแบบหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตออกมาเพื่อการอุปโภค บริโภคต่างใช้สีเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว หรือเพื่อดึงดูด ความสนใจของผู้บริโภค การบรรยายลักษณะของสีหรือการวัดค่าสีจึงมีบทบาทสำคัญในงานควบคุม คุณภาพสินค้าในปัจจุบัน อย่างไรก็ดีมาตรฐานการบรรยายลักษณะของสีอาจแตกต่างกันไปตาม ประสบการณ์ของผู้บรรยาย หรือตามลักษณะของแสงตกกระทบ ฯลฯ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานการวัดค่าสีขึ้นเป็นมาตรฐานสากลเพื่อสะดวกในการอ้างอิงสำหรับการบรรยายลักษณะของสี เครื่องมือที่ใช้วัดสีเรียกว่าเครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัดถุเทียบกับมาตราฐานอ้างอิงที่เป็น reflectance curve วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกัน วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมาก็จะมีความยาวคลื่นต่างกันโดยที่ สีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นที่ 430-460 นาโนเมตร สีเขียว มีความยาวคลื่นที่ 500-580 นาโนเมตร และสีแดง มีความยาวคลื่นที่ 620-780 นาโนเมตร (ศศิภา เต็กอวยพร, 2011)

การวิเคราะห์สีระบบ CIE L* a* b* (CIE LAB) ระบบ CIE L*a*b* เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ color space โดยกำหนดให้L* เป็นค่า ความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100

แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

แกน a* ที่เป็น – สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

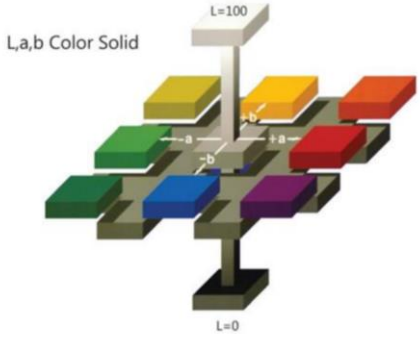
แกน b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b* ที่เป็น – สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 จะพบว่าจุดหนึ่งใน Space นั้น เป็น L1* a1* b1* และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุดใน Space เป็น L2* a2* b2* ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสี แสดงดังสมการที่ 1 และภาพที่ 4

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad \text{...(1)}$$

โดยที่ ΔE คือค่าความแตกต่างของสี



ภาพที่ 4ระบบสี CIELAB

ที่มา :(Hunter Lab, 2015)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) คือการวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร (texture measurement) แล้วแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัส (texture properties) ด้านต่างๆ โดยการทดสอบเนื้อสัมผัสสามารถทำได้โดยการทดสอบเชิงวัตถุวิสัย (objective method) เช่นการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) และสามารถใช้ผู้ประเมิน ประเมินด้วยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) โดยผู้ประเมินจะทำการการชิมตัวอย่าง เพื่อทำการประเมิน

เนื้อสัมผัสคือสมบัติทางกลของอาหาร โดยมีผลมาการโครงสร้างของอาหาร สามารถรับรู้ได้จาการสัมผัสเช่นการเคี้ยว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างอาหารที่เป็นของแข็งหรือหารไหลของอาหาร เหลว เมื่อมีแรงมากระทำ สามารถวัดได้ในรูป แรง ระยะทาง หรือเวลา โดยทั่วไปใช้คำว่าลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) กับของแข็ง หรือของกึ่งแข็ง (semi-solid) และใช้คำว่าความหนืด (viscosity) กับของเหลว โดยจะมีการวัดค่าดังนี้

1. Adhesivenessหรือ Stickiness คือค่าความเหนียวของอาหาร ซึ่งจะต้องใช้แรงหรืองานเพื่อใช้ในการดึงอาหารออกจากพื้นผิวที่สัมผัสกับอาหารหรือพื้นผิวของหัววัด

2.Consistency คือความคงตัวของอาหารส่วนมากจะใช้กับอาหารเหลว เช่น นม ซอส น้ำเชื่อมเป็นต้น

3.Crispness ความกรอบ เป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกันด้วยแรงกดพร้อมกับการเกิดเสียง

4. Extensibility ระดับการขยายหรือยืดตัวของตัวอย่างก่อนที่จะขาด เป็นสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความยืดหยุ่น (elasticity)สมบัตินี้มักจะใช้แสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทโด (dough) พาสต้า แพนเค้ก เส้นก๋วยเตี๋ยว หมากฝรั่ง เป็นต้น

5.Firmness/Hardness/Softness ความแน่นเนื้อ (firmness) ความแข็ง (hardness) และ นุ่ม (softness) เป็นกลุ่มสมบัติด้านเนื้อสัมผัสประเภทเดียวกัน ซึ่งวัดค่าเป็นความชันของกราฟระหว่างแรงกับการเปลี่ยนแปลง รูปร่าง มีหน่วยเป็น แรงต่อระยะทาง เช่น นิวตันต่อมิลลิเมตร (N/mm) ผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่มมาก มีความแข็งน้อย หรือมีความแน่นเนื้อน้อยจะต้านทานต่อการเสียสภาพจากแรงกระทำได้น้อย

6.Fractur ability คือแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกัน มักเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแต่เปราะ เช่น ขนมอบ (bakery)ของขบเคี้ยว หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของแห้งกรอบ

7.Toughness ความเหนียวหรือความทนต่อการฉีกขาดของอาหาร โดย คำนวนได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงและระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากการวัดเนื้อสัมผัสในช่วงจุดเริ่มต้นถึงจุดที่แรงสูงสุด ซึ่งใช้อธิบายคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประเภท เช่นเนื้อสัตว์ ปลา ไก่ และผลิตภัณฑ์อบบางชนิดที่ทำจากแป้งข้าวสาลี เช่น แพนเค้ก และพิซซ่า อาหารเส้น เช่นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน

การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย

การทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัย เป็นการวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องมือวัด โดยใช้ตัวตรวจรู้ (sensor) ซึ่งมีความแม่นยำ และสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมของการวัดได้ดี โดยมีวิธีการทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัยดังนี้

1.การทดสอบแรงกด (compression test)

2.การทดสอบแรงดึง (tensile test หรือ tension test)

3.การทดสอบแรงกดทะลุ (penetration test หรือ puncture test)

4.การทดสอบแรงโก่งตัว bending test หรือ fracture test

5.การทดสอบแรงตัด cutting test หรือ shearing test

6.การทดสอบแรงผลักกัน (Extrusion test)

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางวัตถุวิสัย วัดค่าแสดงได้ดังนี้

1.ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (force) กับระยะเวลาการเปลี่ยนรูป (deformation) แสดงเป็นรูปกราฟเรียกว่า force-deformation curve

2.ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา แสดงเป็นรูปกราฟ เรียกว่า force-time curve

3.ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) กับความเครียด (strain) แสดงเป็นรูปกราฟ เรียกว่า stress-strain curve

4.สมบัติทางเนื้อสัมผัส (texture properties) เป็นสมบัติทางวิศวกรรมของอาหาร (engineering properties of food) ซึ่งเป็นสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ในกลุ่ม rheological properties

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเป็นอย่างมาก การผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค บริษัทผู้ผลิตจะให้ความสำคัญต่อการทดสอบก่อนที่จะมีการผลิตเพื่อจำหน่าย นอกจากนี้ยังเป็นการทดสอบกลุ่มเป้าหมายและสังเกตปฏิกิริยาของผู้บริโภคต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้น การทดสอบผู้บริโภคจึงเป็นงานขั้นตอนที่มีความสำคัญหนึ่งในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 1986)

มนุษย์มีความสามารถในการรับรู้ กลิ่น สี และรสชาติของอาหารการใช้ประสาทสัมผัสในการตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีกลิ่น รส เนื้อสัมผัสต่างๆ โดยผ่านประสาทจากอวัยวะต่างๆ เช่น ตา สามารถรับรู้ถึงสี ลิ้น สามารถรับรู้ถึง รสชาติ จมูก สามารถรับรู้ถึงกลิ่น และ การรับรู้ถึงเนื้อสามารถรับรู้ได้จากการสัมผัสต่างๆ เช่นการกัด การจับเป็นต้น ดั้งนั้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส เรียกว่า Sensory test หรือ Subjective test หรือ Organoleptic test ความแม่นยำของการทดสอบจะเปลี่ยนได้ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัยทางร่างกายได้แก่ เพศ อายุ พันธุกรรม ปัจจยัทางสังคมและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่วัฒนธรรม ครอบครัว ฐานะการศึกษา ทัศนคติ รวมทั้งการฝึกฝนทางด้านการใช้ประสาทสัมผัสในการวิเคราะห์ลักษณะต่างๆ ของอาหาร โดยลักษณะคุณภาพ จะใช้ในการประเมิน ประกอบไปด้วย ลักษณะที่ปรากฏ (สีความใส ความขุ่น) รสชาติ (หวาน เค็ม ขม เปรี้ยว) กลิ่น (กลิ่นหอม กลิ่นหืน กลิ่นคาว) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความละเอียด ความสาก) และความชอบ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2004)

การทดสอบการยอมรับ (Affective method) ของผู้บริโภคสามารถทำได้หลายๆ รูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะผู้บริโภค ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้ได้เมื่อมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาพอสมควร เพื่อทดสอบว่าผู้บริโภมีความพึ่งพอใจหรือชอบผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด การทดสอบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยมีวิธีการดังนี้

1. การทดสอบการยอมรับ (acceptance test)
2. การทดสอบความชอบกว่า (preference test)

3. การทดสอบความชอบ (hedonic test)

4. การทดสอบความพอดี (just - about - right, JAR)

5. การทดสอบปฏิกิริยาผบู้ริโภค (food action test, FACT)

การทดสอบความชอบโดยใช้สเกลแบบฮีโดนิก (hedonic test) เป็นการ ทดสอบการยอมรับอย่างแท้จริงโดยแสดงออกมาในรูปปฏิกิริยาของผู้ทดสอบในระดับการชอบ หรือไม่ชอบของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดย ความชอบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถช่วยให้ผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์เข้าใจคุณลักษณะการยอมรับหรือระดับ ความพอใจของผบู้ริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ การทดสอบแบบฮีโดนิก (hedonic) มีสเกลแบบตัวเลขแสดงระดับความชอบแต่ละระดับโดยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจะถูกนำเสนอพร้อมกัน ผู้ชิมมต้องบันทึกระดับความชอบและความไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เป็นลักษณะของคะแนน โดยผูทดสอบ จะต้องชิมและให้คะแนทันที (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2004)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุวรรณี สินไสววงศ์ (1991) ศึกษาการผลิตเฉาก๊วยผง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลต้มต้นเฉาก๊วยแห้งทั้งต้นและต้นเฉาก๊วยบดในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง โดยสารละลายที่ใช้มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.125, 0.250, 0.300, 0.350 และ 0.375 ในปริมาณ 36 เท่าของต้นเฉาก๊วย นำน้ำที่ได้จากการสกัดมาทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียส และที่ 100 ± 2 องศาเซลเซียส หรือเคลือบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นำเฉาก๊วยผงที่ได้มาศึกษาการละลายโดยใส่ลงในน้ำเย็นแล้วต้มให้เดือด หรือใส่ลงในน้ำเดือดโดยตรง ใส่แป้งมันสำปะหลังลงไปเพื่อให้เกิดเจล ผลการวิจัยพบว่า การใช้ต้นเฉาก๊วยบดกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.450 เป็นเวลา 3ชั่วโมง ให้ผลการสกัดสารเกิดเจลดีที่สุดโดยสารละลายมีปริมาณ 24 เท่าของต้นเฉาก๊วย และที่อุณหภูมิ 55 ±2 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งเฉาก๊วย ซึ่งละลายได้ดีในน้ำเดือด และการแช่เฉาก๊วยผงในน้ำเย็นก่อนต้มให้เดือดไม่ทำให้การละลายมากขึ้น การเพิ่มปริมาณเฉาก๊วยผงและปริมาณแป้งมันสำปะหลังจะทำให้เจลที่เตรียมได้มีความแข็งแรงมากขึ้น เจลที่ได้จากการเตรียมโดยใช้เฉาก๊วยผงร้อยละ 0.75 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 3 เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมาก เจลมีลักษณะหยุ่นตัวสูงและมีกลิ่นเฉาก๊วยเล็กน้อย มีค่า ความหยุ่นแข็งแรงเท่ากับ 2.78 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลการวิเคราะห์เฉาก๊วยผงปรากฏว่า มีความชื้นร้อยละ 8.99 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 44.95 โปรตีนร้อยละ 8.33 ไขมันร้อยละ 0.39 เถ้าร้อยละ 37.34 และสารเยื่อใยร้อยละ 24.06

อัญชลี เรืองเดช (1991) ศึกษาชนิดและปริมาณของแป้งที่ใช้ในการกำหนดสูตรมารตรฐานของผลิตภัณฑ์น้ำเฉาก๊วยเห็ดหูหนูพร้อมดื่ม โดยใช้แป้งมันและแป้งท้าวที่อัตราส่วน 3:7, 4:6, :5, 6:4 และ7:3 พบว่า การใช้แป้งมันและแป้งท้าวที่อัตราส่วน 4:6 ได้รับคะแนนด้านการ การยอมรับโดยรวมมากที่สุด คือ 6.95±1.42 คะแนน และจากการวิเคราะห์โดยการตรวจนับจำนวน E.coli และยีสต์และรา พบว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน 13 วัน โดยเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด

นุชเนตร ตาเย๊ะและคณะ (2018) ได้ศึกษา ปริมาณเจลาตินปลาในส่วนผสมเฉาก๊วยเพื่อกำหนดสูตรมาตรฐาน และปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมน้ำนมแพะพาสเจอไรส์ในสูตรเพิ่มความหวาน พบว่า การใช้เจลาตินปลาร้อยละ 1 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.65±0.12 ปริมาณเจลาตินปลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การขับน้ำออกจากเจลเฉาก๊วยลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($p<0.05$) น้ำนมแพะที่เติมน้ำตาลร้อยละ 12 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติมากที่สุดเท่ากับ 7.60±0.66 และ 7.55±0.77 ตามลำดับ แตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำาคัญ ($p<.05$) ผลิตภัณฑ์เฉาก๊วยมีองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า เยื่อใย และความชื้น ร้อยละ 0.17±0.13, 0.02±0.15,45.62±0.21, 10.20±0.34, 0.03±0.10 และ 43.96±0.42 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำนมแพะพาสเจอไรส์ มีปริมาณโปรตีน ไขมัน แลกโทสและเนื้อนมทั้งหมดร้อยละ 3.30±0.05, 3.68±0.10, 6.47±0.06 และ 12.15±0.08 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน (มอก.738/2547) ผลิตภัณฑ์เฉาก๊วยในน้ำนมแพะฮาลาลพร้อมบริโภคสามารถเก็บรักษาได้นาน 8 วันที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส โดยเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และอีโคไลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

วนิดา เผอิญโชค (2004) ศึกษาสมบัติของสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์ พบว่ามีความหนืดน้อยกว่าและมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร เมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้น สตาร์ชออกซิไดซ์มีค่าดรรชนีการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีกำลังการพองตัวลดลง มีค่าการละลายน้ำสูงขึ้น ส่วนในสตาร์ชออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ พบว่าเมื่อระดับออกซิเดชันสูงขึ้นมีค่าดรรชนีการดูดซับน้ำลดลง ค่าดรรชนีการละลายน้ำสูงขึ้นและค่าความหนืดปรากฏลดลง

สันติสุข สว่างกล้า และ ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร (2017) ศึกษา เครื่องผลิตฝอยทองควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์ ระบบประกอบขึ้นด้วยสองส่วนที่สำคัญหลัก คือ ส่วนประกอบแรกเป็นฮีตเตอร์และอุปกรณ์คุมอุณหภูมิ ส่วนที่สองชุดควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 สำหรับหัวจ่ายของเครื่องผลิตฝอยทอง หลังจากไข่แดงสุกตามเวลาที่กำหนดแล้ว ชุด ไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 จะควบคุมกลไกของเครื่องผลิตฝอยทอง ให้ตักฝอยทองยกออกจากกระทะทองเหลือง โดยมีจอแอลซีดีแสดงผล อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการ ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ได้แก่ 50, 80 และ

100 องศาเซลเซียส มีผลต่อเวลาในการผลิตฝอยทองใน ปริมาณของไข่แดงที่แตกต่างกันโดยที่ 100 องศาเซลเซียสจะทำให้ได้ผลผลิตที่รวดเร็วกว่า

ชนม์นิภา ว่องวีรวัฒนกุล (2017) ได้ศึกษาความคงตัวและฤทธิ์ทางชีวภาพของไม่โครบีดของสารสกัดเฉาก๊วยภายใต้สภาวะจำลอง โดยในการศึกษาครั้งนี้สารสกัด เฉาก๊วยถูกเอนแคปซูเลชั่นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (3และ5% w/v) และโซเดียมอัลจิเนต (1.5และ1.8%w/v) เพื่อให้อยู่ในรูปเม็ดไมโครบีดเฉาก๊วย (3และ5%โดยมวลต่อปริมาตร) เม็ดไมโครบีดเฉาก๊วยที่ได้จากสารสกัดเฉาก๊วย 75% w/v แคลเซียมคลอไรด์ 3%w/v และโซเดียมอัลจิเนต 1.5%w/v ถูกนำไปศึกษาต่อ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชั่นและลักษณะทรงกลมเมื่อเทียบกับเม็ดบีดที่ได้จากสภาวะอื่นๆ ผลการศึกษาด้วยเครื่อง Fourier transform infrared รายงานว่าไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นระหว่างอัลจิเนตและสารสกัดเฉาก๊วย

Suchen Liu et al. (2019) ได้ศึกษาผลของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ต่อเจลแป้งข้าวโพด และพอลิแซ็กคาไรด์จากเฉาก๊วย โดยพบว่าโซเดียม Na_2CO_3) ช่วยให้เกิดการเจลาติไนเซชั่น (gelatinization) และลดความหนืดของส่วนผสม อย่างไรก็ตาม ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์จากเฉาก๊วยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมดูลัสของแรงเฉือนของของเหลวเพิ่มขึ้น 0.2% ของพอลิแซ็กคาไรด์จากเฉาก๊วย เมื่อเทียบกับเจลที่ผสมแป้งข้าวโพด และพอลิแซ็กคาไรด์จากเฉาก๊วย

H Hendratama et al. (2019) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อองค์ประกอบของฟีนอล แทนนิน และฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระ การวิเคราะห์ฟีนอลและแทนนินใช้สารรีเอเจนต์ที่มีคุณภาพของโฟลิน ในขณะที่การวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ใช้วิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและอัตราส่วนของตัวทำละลายมีผลทำให้ปริมาณฟีนอล แทนนินและฟลาโวนอยด์ การสกัดฟีนอล แทนนิน และฟลาโวนอยด์ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) เกิดขึ้นที่ช่วงอุณหภูมิ 94-100°C ด้วยอัตราส่วนตัวทำละลาย 23-24 มล./ก.

Gow-Chin Yen and Chien-Ya Hung (2000) ได้ศึกษาผลของการแปรรูปสกัดเฉาก๊วย Hsian-tsao (Mesona procumbens Hemsl.) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมจากโดยสารสกัดจะถูกสกัดที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา0.5-3ชั่วโมงชั่วโมงโดยเติมสารละลาย Na2CO3 หรือ NaHCO3 0 ถึง 1.5% พบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มสูงขึ้นจากสกัดเฉาก๊วยและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดลดลงเมื่อความเข้มข้นของด่างและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

Terigar et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการสกัดไอโซฟลาโวนหลัก จากแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องสกัดด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาการสกัดไอโซฟลาโวนสี่ชนิดที่อุณหภูมิความร้อน

ต่างกัน (55 และ 73 °C) และเวลาการสกัด (0, 4, 8, 12 และ 16 นาที) พบว่า ผลผลิตรวมของไอโซฟลาโวนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นสองเท่า ในขณะที่ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้คือ 12% และการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้ไมโครเวฟช่วยอย่างต่อเนื่องเป็นวิธีการที่ได้ผลสำหรับการสกัดไอโซฟลาโวนจากถั่วเหลืองในเวลาที่ค่อนข้างสั้นและมีผลผลิตสูง

Ezzohra et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการสกัดโพลีฟีนอลจากชาเขียวโดยใช้ การสกัดด้วยไมโครเวฟร่วมโดยพบว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟร่วม (80 องศาเซลเซียส 30 นาที) ปริมาณฟลาโวนอลของสารสกัดสูงถึง 97.46 (+/- 0.08) มก. ซึ่งการสกัดด้วยไมโครเวฟร่วมซึ่งประสิทธิภาพมากกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการสกัดฟลาโวนอลแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วการสกัดด้วยไมโครเวฟร่วมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะให้ผลผลิตฟีนอลทั้งหมดในปริมาณที่สูงกว่าแต่การสกัดด้วยไมโครเวฟร่วม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะดีเหมาะสมหรับการสกัดฟลาโวนอลจากชาเขียว

Nukrob et al. (2015) ได้ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากกากเมล็ดมะเกี๋ยง (Cleistocalyxnervosum) ที่ได้จากการทำเครื่องดื่มมะเกี๋ยงอย่างละเอียดโดยใช้วิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วย พบว่าฟีนอลิกทั้งหมดจากเมล็ดมะเกี๋ยงจะมีค่าสูงสุดเมื่อการสกัดด้วยพลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 213 วินาที และสัดส่วนเอทานอล 51%(v/v) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเหล่านี้ ค่าที่ทำนายและค่าการทดลองของฟีนอลิกทั้งหมดจากเมล็ดมะเกี๋ยงคือ 75.659 mgGAE/gDW และ 75.132±0.576 mgGAE/gDW ตามลำดับ

Banjong and Katsuwan (2018) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดด้วย ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตน้ำมัน3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที กำาลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 800 วัตต์และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำาละลาย 7% ซึ่งในสภาวะดังกล่าว ทำาให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมีน 28%

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

1. ต้นเฉาก๊วยแห้ง (บริษัท แอลพีเอชพี มาร์เก็ตติ้ง จำกัด และ สำนักงานฟาร์ม มหาวิทยาลัยแม่โจ้)
2. แป้งมันสำปะหลัง (ตราแป้งทิพย์)

อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. เครื่องผสม ยี่ห้อ Hyasong รุ่น HM825S
2. มอเตอร์ KIMPO รุ่น M315-002
3. เครื่องชั่งละเอียดทดสนิยม 2 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA3202S-CW
4. เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น MiniScan XE plus
5. เครื่อง Texture analysis
6. Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Master refractometer
7. Carbon Fiber Composites Digital Caliper
8. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
9.ชุดสกัดแบบใช้คลื่นไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung รุ่น ME711K ความถี่ 2450 (MHz) ประเทศมาเลเซีย
10. เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ Gernmy Industrial Corp. รุ่น PLC-012E ประเทศ ไต้หวัน
11. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแห่ง ยี่ห้อ Ohaus coppocation รุ่น PA214
12. เครื่องวัด ค่า AW ยี่ห้อ Aqua Lab
13. ขวดรูปชมพู่ 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex ประเทศเยอรมัน
14. ขวดก้นกลม 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex ประเทศเยอรมัน
15. บิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex No.1000 ประเทศเยอรมัน
16. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex ประเทศเยอรมัน
17. ออโต้ปิเปต Autoclavable ยี่ห้อ Nichipet EX II ประเทศ ญี่ปุ่น
18. ขวดแก้ว ยี่ห้อ Pyrex ประเทศเยอรมัน
19. หลอดทดลอง

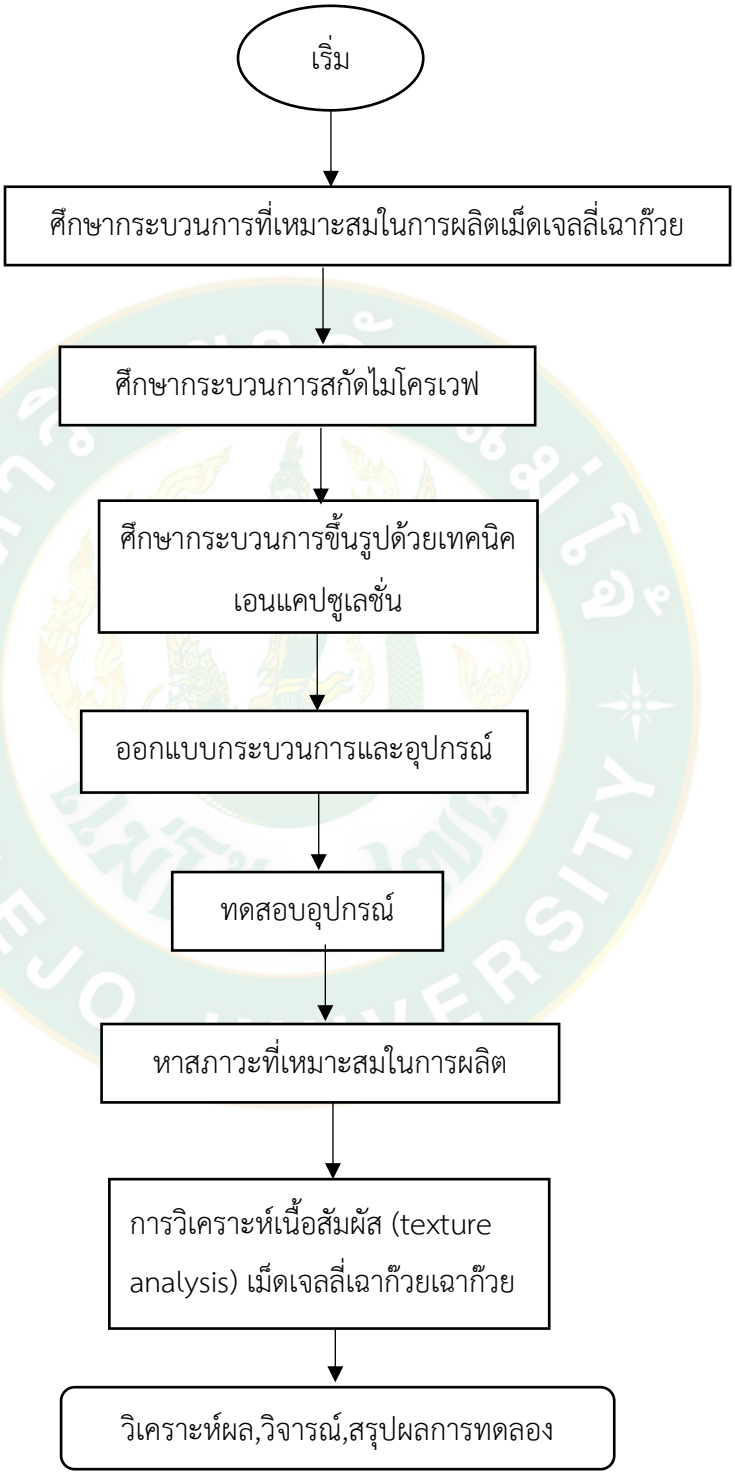
20. กระบอกตวง
21. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. Calcium chloride ($CaCl_2$)
2. Sodium Alginate
3.กรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$) บริษัท Fluka ประเทศ เยอรมัน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

วิธีดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

ในกระบวนการผลิตเฉาก๊วยมีสองขั้นตอนหลักคือ 1การสกัดหญ้าเฉาก๊วย โดยวิธีการแบบดั้งเดิมนั้นจะทำโดยหญ้าเฉาก๊วยมาต้มสกัดกับน้ำได้สารละลายสีน้ำตาลดำ จากนั้นกรองเอาแต่น้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเอาเทคโนโลยีการด้วยเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม มาสกัดเพื่อสกัดสารสกัดจากเฉาก๊วยให้มีคุณภาพ 2 การขึ้นรูปเฉาก๊วย โดยวิธีการแบบดั้งเดิมคือ นำสารสกัดเฉาก๊วยที่ได้ไปผสมกับแป้งมันสำปะหลังตามสัดส่วน ซึ่งจะทำให้ได้ความเหนียวหนึบนุ่มนิ่มที่แตกต่างกัน จากนั้นเทลงแม่พิมพ์ทิ้งให้เย็นตัว โดยงานวิจัยนี้ ได้มีการนำเทคนิคการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่นมาประยุกต์

ศึกษากระบวนการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟรวม

การเตรียมตัวอย่างหญ้าเฉาก๊วย และหาคุณสมบัติเบื้องต้น

1. หญ้าเฉาก๊วยรับมาจากบริษัท แอลพีเอชพี มาร์เก็ตติ้ง จำกัด และสำนักฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยเริ่มแรกหญ้าเฉาก๊วยที่ได้มาจะมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอกัน จึงต้องนำมาบดให้มีขนาดเล็ก นำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 ไมคอน ให้มีขนาดที่เท่ากัน

2. นำหญ้าเฉาก๊วยผงที่ได้ไปหาความชื้นเริ่มต้นและนำไปวัดค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ด้วยเครื่องวัด a_w Meter นำตัวอย่างที่เหลือมาบรรจุไว้ในถุงฟอยด์ซิปล็อคเพื่อป้องกันอากาศและเตรียมในการทดลองต่อไป

ภาพที่ 6 ผงหญ้าเฉาก๊วยบรรจุไว้ในถุงฟอยด์ซิปล็อคเพื่อป้องกันความชื้น

การสกัดหญ้าเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม

นำผงหญ้าเฉาก๊วยที่เตรียมไว้มาต้มที่อัตราส่วนเฉาก๊วยแห้ง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.45%(w/v) และทำการต้มสกัดด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาทีในกระบวนการต้ม เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เหมาะสม โดยทำการวัดคุณภาพด้วยเครื่องวัดความหวาน (Refractometer) ให้ได้ค่าเท่ากับ 1 จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างในขวดเก็บตัวอย่าง

การใช้เครื่องไมโครเวฟสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากหญ้าเฉาก๊วย

เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วมประกอบด้วยชุดสกัดซอกซ์เลท (Soxhlet) และ ตู้อบไมโครเวฟในครัวเรือน (Sumsung, MS23F300EEK) นำมาปรับปรุงและประกอบเข้าด้วยกัน โดยชุดควบแน่นของซอกซ์เลทต่อเข้ากับระบบน้ำหล่อเย็นของคอนเดนเซอร์ใช้เครื่อง cooling bath model WBCI-15 โดยปรับน้ำหล่อเย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ในการหล่อเย็น เพื่อควบแน่นตัวทำละลายและลดการระเหยออก ตรวจการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ ด้วยเครื่องมือวัดการรั่วไหลแบบดิจิตอลชนิดพกพา (R.M.C.E. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) (Narkprasom et al., 2019) เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 100-800 วัตต์ โดยใช้ขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร เป็นภาชนะในการสกัด

ภาพที่ 7 ส่วนประกอบเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม

ผงเฉาก๊วย 1 กรัม ใส่ในขวดสกัดก้นกลม ขนาด 500 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำที่อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายต่างๆ (1: 200 - 500 กรัมต่อมิลลิลิตร) นำไปสกัดแบบไมโครเวฟร่วมให้ความร้อนที่กำลังไฟฟ้า (300-600 วัตต์) เป็นเวลาที่ใช้ในการสกัด (20 - 50 นาที) หลังจากให้ความร้อนโดย

ไมโครเวฟ นำตัวอย่างพักไว้ให้เย็นแล้วมาแยกของเหลวกับของแข็งด้วยกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรอง (Whatman no 1) ของเหลวใสถูกรวบรวมเก็บ เพื่อนำไปวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตร (Narkprasom, 2019)

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟ โดยอิทธิพลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ(150 – 500 มิลลิลิตรต่อกรัม) ณ เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟคงที่ (35 นาที และ 450 วัตต์) อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัด (20 - 50 นาที) ณ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 450 วัตต์) และศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ (100 - 800 วัตต์) ณ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 35 นาที) วางแผนการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 2^{3-1} (Fractional Factorial Experiments) โดยศึกษาระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำและระดับสูง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงใน ตารางที่ 1 และทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

การหาสภาวะที่เหมาะสมคำนวณโดยวิธีกำหนดการเชิงเส้น (linear programing) โดยคำสั่ง Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel นำสมการ 1 มาหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายผลตอบสนองสูงสุด หรือสภาวะที่สกัดได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยสูงสุด (Y) ซึ่งคำนวณจากค่ารหัสของตัวแปรปัจจัยต่างๆในการสกัด (x1,x2,x3) ที่มีข้อกำหนด คือ $-1 \leq x1, x2, x3 \leq 1$ โดยค่ารหัสมาจากค่าจริงของปัจจัยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X1) 200 – 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการสกัด (X2) 20 - 50 นาที และปัจจัยกำลังไมโครเวฟ (X3) 300 - 600 วัตต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งการทำนายค่าสูงสุด ในการทดลองนี้จะเลือกพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้ในกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ ทำการทดลองหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สภาวะต่างๆ ที่ปัจจัย 3 ระดับ จำนวน 17 การทดลอง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย (X1) (กรัม/มิลลิลิตร)	200	350	500
เวลาที่ใช้ในการสกัด (X2) (นาที)	20	35	50
กำลังไมโครเวฟ (X3) (วัตต์)	300	450	600

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา (x_1, x_2, x_3) กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยการสร้างสมการพหุนามลำดับที่สองดังรูปแบบสมการที่ 1

$$Y = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{23}X_2X_3+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{11}X_1^2+\beta_{22}X_2^2+\beta_{33}X_3^2 \quad (1)$$

โดยที่ Y คือค่าทำนายการตอบสนอง, β_0 เป็นค่าคงที่, X_1, X_2, X_3 เป็นตัวแปรอิสระ, β_1, β_2, β_3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น, β_{12}, β_{13}, β_{23} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร, β_{11}, β_{22}, β_{33} เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง ซึ่งประสิทธิภาพของการทำนายผลผลิตสูงสุด

ศึกษากระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิค เอนแคปซูเลชั่น

การเตรียมตัวอย่างสารสกัดหญ้าเฉาก๊วย และหาคุณสมบัติเบื้องต้น

นำหญ้าเฉาก๊วยจาก บริษัท แอลพีเอชพี มาร์เก็ตติ้ง จำกัด มาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปต้มที่อัตราส่วนเฉาก๊วยแห้ง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 กิโลกรัม และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.45%(w/v) และทำการต้มสกัดในน้ำ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงใน

กระบวนการต้ม ทำให้ได้ตัวอย่างที่มีความเหมาะสมโดยทำการวัดคุณภาพด้วยเครื่องวัดความหวาน (Refractometer) ให้ได้ค่าเท่ากับ 1 ทำการเก็บตัวอย่างในขวดแก้วสำหรับการทดลองต่อไป

การขึ้นรูปเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม

การขึ้นรูปเฉาก๊วยปัจจุบัน เริ่มจากการต้มสารสกัดเฉาก๊วยให้เดือด เติมแป้งมันสำปะหลังตามอัตราส่วนน้ำสกัดเฉาก๊วย 1000 กรัม ต่อน้ำ 50 กรัม กวนแป้งกับน้ำสารสกัดจนเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ซึ่งมีลักษณะเหนียวข้น จากนั้นนำไปใส่แม่พิมพ์ เพื่อให้เฉาก๊วยเกิดการคืนตัว (retrogradation) โดยรูปทรงของเฉาก๊วยจะขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์ การผลิตในขั้นตอนนี้จะต้องใช้เวลาในการคืนตัว

ภาพที่ 8 *การผสมแป้งกับสารสกัดเฉาก๊วย*

ภาพที่ 9 *การเท่เฉาก๊วยในแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูป*

การขึ้นรูปเฉาก๊วยโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น

น้ำสารสกัดเฉาก๊วย 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมกับ Sodium Alginate ที่อัตราส่วนผงต่อสารสกัดเฉาก๊วย (1: 100 - 300 กรัมต่อมิลลิลิตร) และผสมแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อสารสกัดเฉาก๊วย (1: 10 - 20 กรัมต่อมิลลิลิตร) จากนั้นนำไปหยอดลงในสารละลาย Calcium chloride ($CaCl_2$) ที่ความเข้มข้น 1: 10 - 20 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เครื่องหยออดแบบมือ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดแล้วเก็บไว้ในขวดขวดเพื่อนำไปวิเคราะห์ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ ค่าเนื้อสัมผัสคือ Hardness, Fracturability, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess ,Chewiness และ Resilience

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น

คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของ Calcium chloride ($CaCl_2$) Sodium Alginate และ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ที่มีอิทธิพลต่อ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ ค่าเนื้อสัมผัสประกอบด้วย Hardness, Fracturability, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess ,Chewiness และ Resilience วางแผนการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 2^{3-1} (Fractional Factorial Experiments) โดยศึกษาระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำและระดับสูง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงใน ตารางที่ 2 และทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญในขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น

ตารางที่ 2 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น

ปัจจัย	ระดับ	
	ต่ำ(-1)	สูง(1)
อัตราส่วน Calcium chloride ($CaCl_2$) ต่อตัวทำละลาย (K_1) (กรัม/มิลลิลิตร)	1: 10	1: 20
อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย	1: 100	1: 300

(K_2) (กรัม/มิลลิลิตร)		
อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K_3) (กรัม/มิลลิลิตร)	0.5: 10	1: 10

ออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์

ออกแบบกระบวนการและอุปกรณ์

ในการวิจัยนี้ได้พัฒนาส่วนของกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างสม่ำเสมอ และคงตัวได้ดีขึ้น โดยศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อุปกรณ์หยอดเพื่อทำการขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอดแบบมือ และเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump แทนการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ โดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตคือ

1.ราคา

2.ความสะดวกในการใช้งาน

3.ปริมาณของเสีย

โดยใช้โปรแกรม Auto cad ในการเขียนแบบและทำการสร้างเครื่อง

(ก.) (ข.)

ภาพที่ 10 เครื่องหยอดแบบมือ(ก.)และเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump(ข.)

การทดสอบอุปกรณ์

การทดสอบอุปกรณ์ เริ่มจากการน้ำสารสกัดเฉาก๊วย ผสมกับ Sodium Alginate ที่อัตราส่วนผงต่อสารสกัดเฉาก๊วย (1: 100 - 300 กรัมต่อมิลลิลิตร) และผสมแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อสารสกัดเฉาก๊วย (1: 10 - 20 กรัมต่อมิลลิลิตร) จากนั้นนำไปหยอดลงในสารละลาย Calcium chloride ($CaCl_2$) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 1: 10 - 20 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เครื่องหยอดที่ได้ออกแบบ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาล้าง แล้วเก็บไว้ในขวดขวดเพื่อนำไปวิเคราะห์ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ ค่าเนื้อสัมผัสประกอบด้วย Hardness, Gumminess , และ Chewiness

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analysis) เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย วิเคราะห์โดยนำชิ้นตัวอย่างวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสอาหารที่มีโหลดเซลล์ 20 กิโลกรัม และหัวแบนทรงกระบอกขนาด 50 มม. (P50) วัดความแน่นเนื้อที่ความเครียดร้อยละ 50 และอัตราการบีบอัด 1 มม.ต่อวินาที (Arpassorn et al., 2012)

การวิเคราะห์คุณภาพสี

วิเคราะห์คุณภาพด้านสีของตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น MiniScan XE plus) การวิเคราะห์สีจะวิเคราะห์ด้วยระบบ CIE โดยการวิเคราะห์วัดสีในเทอมของ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (+a*) และสีเขียว (-a*) และค่าสีเหลือง (+b*) และสีน้ำเงิน (-b*) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolics) โดยวิธี Folin-Ciocalteus โดยดัดแปลงวิธีของ (Polikovsky, 2016) โดยนำตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 2 (w/v) 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin-Ciocalteus reagent 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโน

เมตร จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค รายงานผลเป็นมิลลิกรัมGAEต่อกรัมตัวอย่างสด

ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินผลิตภัณฑ์เบื้องต้น

ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย เพื่อประเมินคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผ่านการพัฒนาจากผู้บริโภคทั่วไป อย่างน้อย 15 คน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale

การวิเคราห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การคำนวณต้นทุนในการผลิตเฉาก๊วยโดยจะคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปเม็ดเจลลี่โดยจะทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้ที่เกิดขึ้นของการใช้อุปกรณ์หยอด และแม่พิมพ์ ซึ่งแบ่งค่าใช้จ่ายออกเป็น 2ส่วน คือ ค่าใช้จ่าย คงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร(Variable Cost) โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

1. ค่าวัสดุอุปกรณ์
2. ค่าการประกอบอุกรณ์

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

1.ค่าพลังงานไฟฟ้า คำนวณจาก

Cost = Unit X Electricity Charge

โดย Unit = กำลังฟ้า(วัตต์)/1000 *จำนวนชั่วโมงที่ใช้

Electricity Charge = 5 บาท

2.ค่าวัตถุดิบ

3.ค่าแรงงาน กำหนดให้ค่าแรงอยู่ที่ 35 บาท/ชั่วโมง/คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์โดยอาศัยหลักวิชาการทางสถิติของคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดย วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งพิจารณาค่าที่ความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ดำเนินการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ (E215) อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมอาหาร (สำหรับนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมอาหาร) คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยโดยแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ซึ่งเป็นกระบวนการที่คุ้มค่าต่อการลงทุนสามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัดในการผลิตน้ำเฉาก๊วยพร้อมดื่มและเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้ได้คุณภาพดีต่อไป และส่วนที่สองการศึกษากระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่นเพื่อออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้มีคุณภาพที่ดี ช่วยลดต้นทุนแรงงาน และเวลาในการผลิต

ผลของการสกัดหญ้าเฉาก๊วยโดยวิธีดั้งเดิม

การทดลองเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการสกัดแบบดั้งเดิมและการสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม พบว่าการสกัดแบบดั้งเดิมที่ใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 240 นาที จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ 43.927 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง และที่การสัดโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วมที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ 49.353 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมจะได้ปริมาณสารสำคัญที่มากกว่าและใช้เวลาในการสกัดที่น้อยกว่า

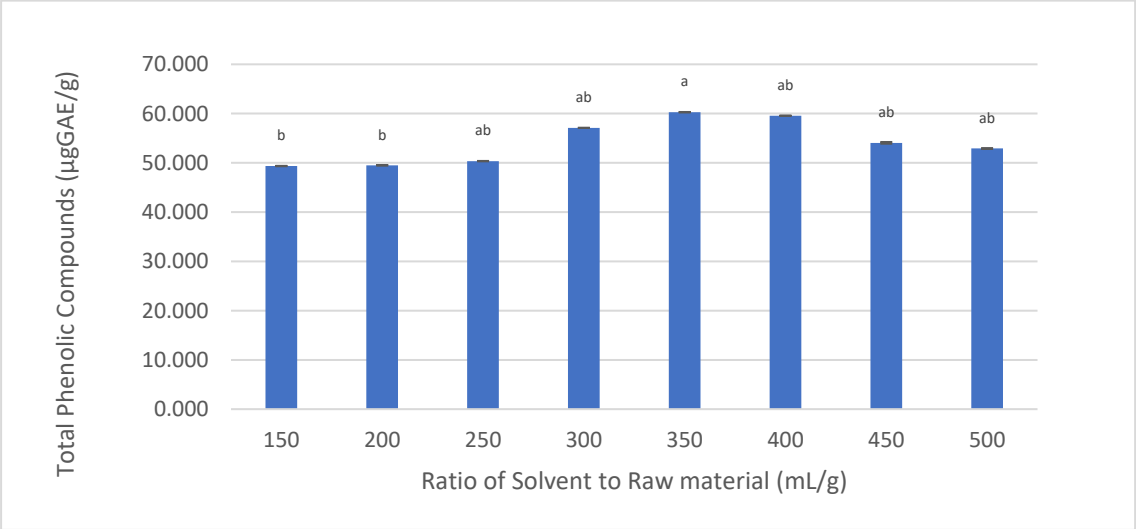
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการสกัดแบบดั้งเดิมและการสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม

	อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (มิลลิลิตรกรัมต่อกรัม)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด(ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)
การสกัดแบบดั้งเดิม (90 ^{0}C)	100	240	43.927
การสกัดโดยเทคนิคไมโครเวฟ	100	35	49.353

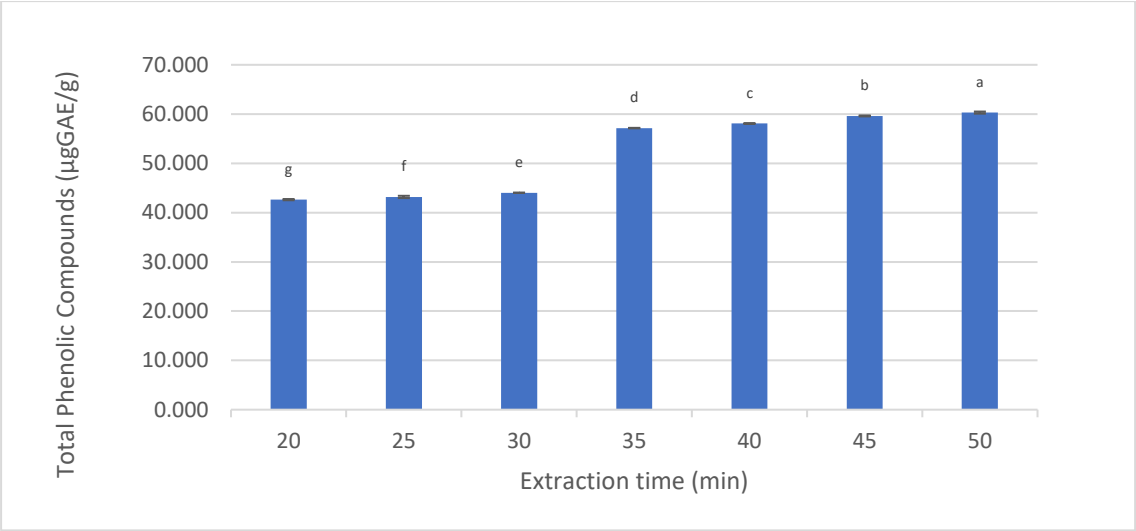
ร่วม (450 watt)

ผลการทดลองเบื้องต้นอิทธิพลของปัจจัยในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมด

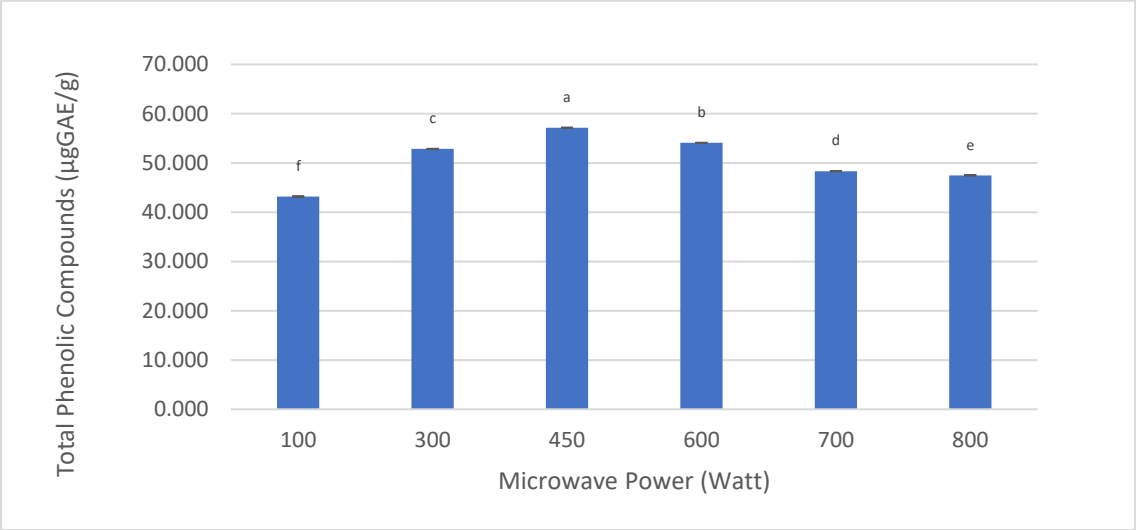
การทดลองเบื้องต้นอิทธิพลของปัจจัยในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและผลการวิเคราห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยที่ภาพที่ 11 แสดงการศึกษาปัจจัยระดับอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 150 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ที่เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟคงที่ (35 นาที และ 450 วัตต์) พบว่า ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยเมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 150 – 350 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 400 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยระดับอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด



ภาพที่ 11 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์



ภาพที่ 12 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนด อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 กรัมต่อมิลลิลิตร และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์



ภาพที่ 13 อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนด อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 กรัมต่อมิลลิลิตร และเวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที

ภาพที่ 12 แสดงการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด 20 - 50 นาที ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 450 นาที) พบว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 35 นาที ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนเวลาที่ 50 นาที สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยที่

เวลาสกัดเพิ่มขึ้นจาก 20 – 35 นาที มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 34.066 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เวลาสกัดเพิ่มขึ้นจาก 35 - 50 นาที มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเพียงแค่ 5.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเวลาสกัดที่ใช้ระยะเวลานานทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในช่วง 20 - 50 นาที ในการหาสภาวะที่เหมาะสม และภาพที่ 13 แสดงการศึกษากำลังไมโครเวฟ 300 - 600 วัตต์ ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 35 นาที) พบว่า เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น (100-450 วัตต์) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มมากขึ้น (600-800 วัตต์) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะลดลง ดังนั้นจึงเลือกกำลังไมโครเวฟสำหรับการสกัดในช่วง 300-600 วัตต์ ในการหาสภาวะที่เหมาะสม

ผลของการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเฉาก๊วย

จากผลการทดลองเบื้องต้นศึกษาปัจจัยของ 3 ปัจจัย ของการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเฉาก๊วย ทำให้ทราบช่วงสภาวะที่สำคัญ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) ที่ 200 -500 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) ที่ 20 – 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) ที่ 300 - 600 วัตต์ วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box Behnken Design) นำมาประยุกต์ใช้ศึกษาผลกระทบจากปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อกัน ซึ่งสามารถออกแบบ 17 การทดลอง ประกอบด้วย ตำแหน่งกึ่งกลางขอบ 12 ตำแหน่ง และทำซ้ำจุดศูนย์กลาง 5 ซ้ำ (X_1 = 350 มิลลิลิตรต่อกรัม, X_2 = 35 นาที และ X_3 = 450 วัตต์) ของกล่อง 3 มิติ (3 ปัจจัย) โดยปัจจัยในการสกัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่ารหัสแสดงในตารางที่ 1 และผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของแต่ละสภาวะการทดลองพร้อมทั้งค่าทำนายจากสมการ 2 แสดงในตารางที่ 4

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก} = 65.08 + 6.50X_1 + 0.72X_2 - 0.22X_3 + 1.28X_1X_2 - 0.58X_1X_3 - 1.15X_2X_3 - 7.00X^2_1 + 1.36X^2_2 - 2.71X^2_3 \quad (2)$$

จากการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองโดยนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายถูกนำมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน แสดงในตารางที่ 5 พบว่าค่า Significance F ต่ำกว่า 0.001 แสดงความแตกต่างทาง

สถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนน้อย โดยมีค่า R^2 = 0.953, Multiple R = 0.976 และ Adjusted R^2 = 0.892 ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ 1 ดังนั้นสมการที่ใช้ทำนายมีความแม่นยำสามารถใช้ทำนายหาสภาวะที่เหมาะสม

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถอถอยพหุคูณ (multiple linear regression) ในแบบจำลองแสดงอิทธิพลของตัวแปรต้น (ปัจจัยในการสกัด) ต่อตัวแปรตาม (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด) โดยค่าบวกของสัมประสิทธิ์แสดงถึงค่าตัวแปรตามเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น และค่าลบของสัมประสิทธิ์แสดงถึงตัวแปรตามเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวแปรต้นนั้นลดลง ดังนั้นเมื่อต้องการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเพื่อให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยเพิ่มขึ้น ควรเพิ่มอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการสกัด แต่ลดกำลังไมโครเวฟ เมื่อวิเคราะห์ความสำคัญทางสถิติ โดยพิจารณาค่า P-value พบว่า X_1 และ X_{21} มีค่า P-value ต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าระดับของปัจจัยที่กำหนดมีอิทธิพลสูงต่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำในรูปแบบเชิงเส้นและมีอิทธิพลต่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำในรูปแบบกำลังสอง โดยมีความสำคัญต่อการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย แต่ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร X_2, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_{22} และ X_{23} มีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่า แต่ละปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกัน ซึ่งสามารถนำเฉพาะพจน์ที่มีความสำคัญเขียนอยู่ในรูปสมการ 3 และได้ค่าการทำนายสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างจากสมการ 2

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก = $65.08 + 6.50X_1 - 7.00X_{21}$ (3)

ตารางที่ 4 การออกแบบพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

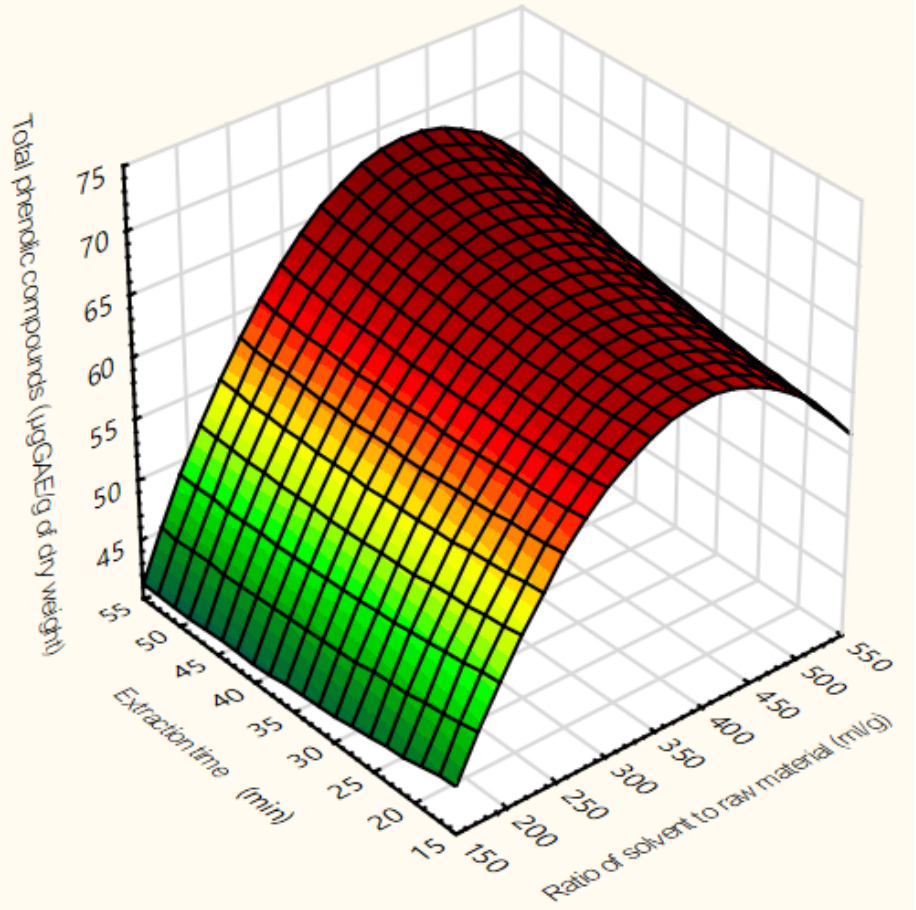
Run order	อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (มิลลิลิตรต่อกรัม)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)	
				การทดลอง	การทำนาย
1	200(-1)	20(-1)	300(-1)	49.92	49.30
2	500(1)	20(-1)	300(-1)	59.23	60.88
3	200(-1)	50(1)	300(-1)	49.83	50.48

4	500(1)	50(1)	300(-1)	69.32	67.18
5	200(-1)	20(-1)	600(1)	49.91	52.31
6	500(1)	20(-1)	600(1)	61.98	61.59
7	200(-1)	50(1)	600(1)	50.28	48.88
8	500(1)	50(1)	600(1)	62.40	63.28
9	200(-1)	35(0)	450(0)	52.61	51.58
10	500(1)	35(0)	450(0)	64.57	64.58
11	350(0)	20(-1)	450(0)	68.75	65.72
12	350(0)	50(1)	450(0)	65.15	67.16
13	350(0)	35(0)	300(-1)	62.12	62.59
14	350(0)	35(0)	600(1)	63.64	62.15
15	350(0)	35(0)	450(0)	65.15	65.08
16	350(0)	35(0)	450(0)	64.20	65.08
17	350(0)	35(0)	450(0)	63.86	65.08

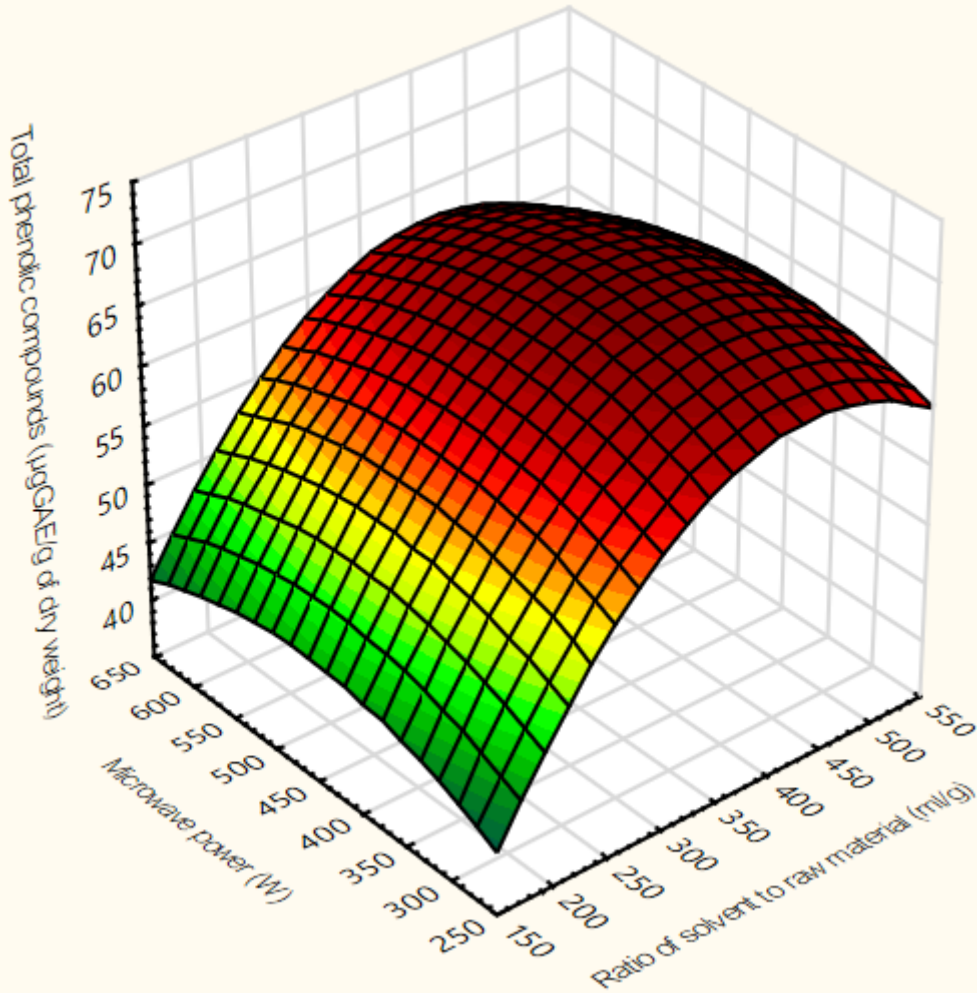
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากผงเฉาก๊วย

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	P-value
Intercept	65.080	0.000
อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1)	6.495	0.000
เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2)	0.718	0.347
กำลังไมโครเวฟ (X_3)	-0.221	0.766
X_1X_2	1.279	0.152
X_1X_3	-0.575	0.494
X_2X_3	-1.150	0.192
X_1^2	-7.000	0.001
X_2^2	1.363	0.355
X_3^2	-2.707	0.090
Multiple R	0.976	

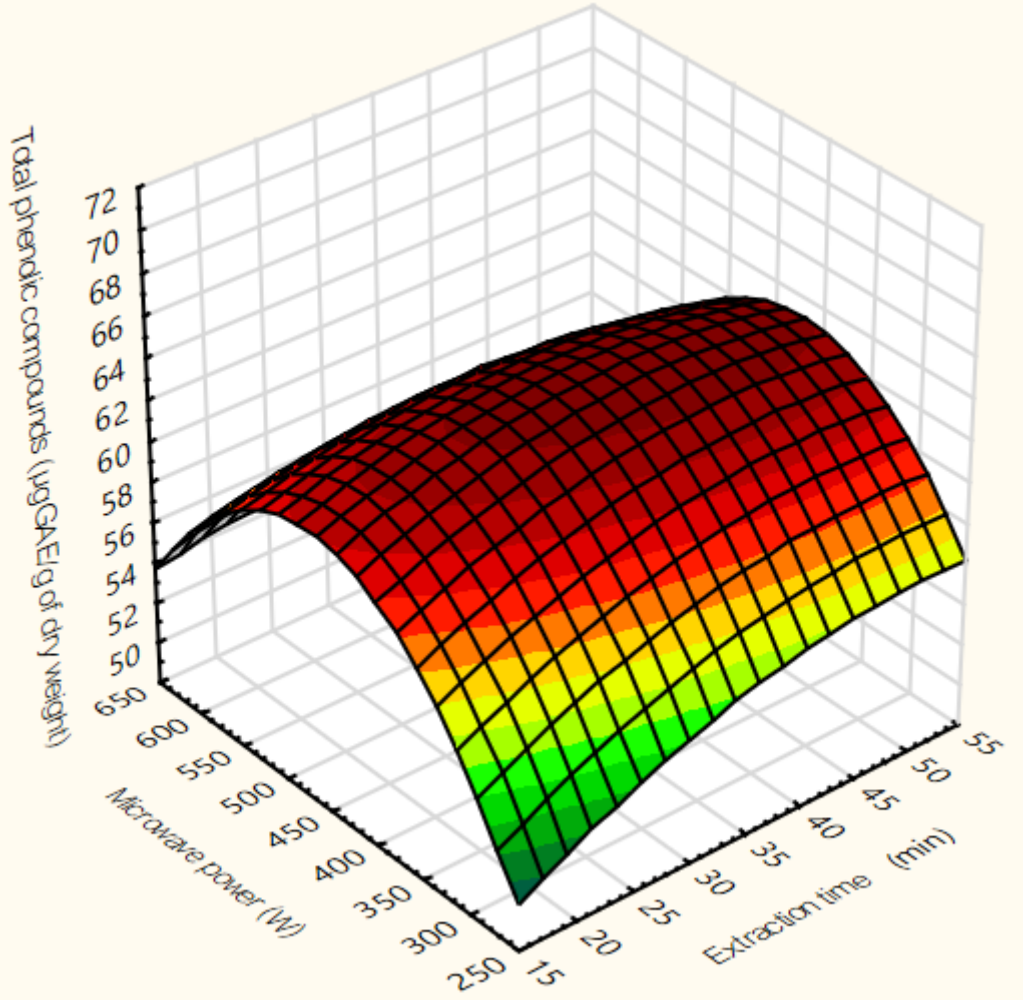
R-Square (R^2)	0.953
Adjust R^2	0.892



ภาพที่ 14 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์



ภาพที่ 15 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่เวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที



ภาพที่ 16 อิทธิพลของเวลาและกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบในการสกัด 350 มิลลิลิตรต่อกรัม

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและสมการการทำนายการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง

	อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (มิลลิลิตรต่อกรัม)	**เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)**	**กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)**	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)**
สมการทำนายสภาวะที่เหมาะสม	435.23	50	402.96	69.59
สภาวะการทดลองจริง(ปรับจากสมการ)	435	50	450	69.32
ผลการทดลองจากสภาวะทดลองจริง	435	50	450	69.70 ± 0.142

จากตารางที่ 6 พบว่าสามารถวิเคราะห์ทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบไมโครเวฟ โดยที่สภาวะที่ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด โดยกำหนดให้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบอยู่ระหว่าง 200 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัดอยู่ระเหว่าง 20 - 50 นาที และกำลังไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 300 - 600 วัตต์ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีไมโครเวฟร่วม คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 425.23 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 402.96 วัตต์ ภายใต้สภาวะนี้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ 69.53 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง แต่เนื่องจากให้การทดลองไม่สามารถใช้ค่าได้ตามกำหนดจึงปรับค่าที่ใช้ในการทดลองตามสภาวะการทดลองที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 435 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 450 วัตต์ โดยทำนายค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ 69.32 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองจากสภาวะทดลองจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องทำการทดลองที่สภาวะดังกล่าวได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 69.70±0.142 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทำนาย จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัด การผลิตน้ำเฉาก๊วยพร้อมดื่มและเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้ได้คุณภาพดีต่อไป และเมื่อเทียบการงานวิจัยของ (Ezzohra et al., 2009) ทำการศึกษาเทคนิคการสกัดไมโครเวฟร่วมในการสกัดสารโพลีฟีนอลจากชาเขียว ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 20 นาที อัตราส่วนของน้ำต่อชาเขียว 20 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 111.28 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของชาเขียว ซึ่งใช้ปัจจัยในการสกัดใกล้เคียงกับผลการทดลองนี้

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเมื่อใช้อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงขึ้น ตัวทำละลายน้ำถูกใช้ในการสกัดสารประกอบแบบมีขั้ว เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก โพลีแซกคาไรด์และน้ำตาล โดยปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับขั้วของสารสำคัญ ซึ่งความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ ทำให้ขั้วของตัวทำละลายความสามารถในการละลายสารสกัด และความสามารถในการถ่ายเทมวลสารแตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อตัวทำละลายมากจะส่งผลทำให้การสกัดสารฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น(Narkprasom et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ (Banjong & Katsuwan, 2018) ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟ ซึ่งพบว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดมะละกอ

ต่อตัวทำละลายที่ต่ำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สูงกว่าการใช้อัตราส่วนที่สูง และช่วยให้การสกัดมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อย

เวลาที่ใช้ในการสกัดมีส่วนทำให้การแพร่หรือการถ่ายเทมวลสารเป็นเวลานานขึ้น ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกถูกสกัดและแพร่ออกมาในสารละลายได้เพิ่มมากขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Potisate & Pintha, 2021) ทำการศึกษาหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมและการทำแห้งสารสกัดเมล็ดลิ้นจี่ โดยใช้ไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที ในอัตราส่วนของน้ำกลั่นต่อเมล็ดลิ้นจี่บด 10 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ปริมาณสารฟีนอลิกที่ 39.66±0.25 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดลิ้นจี่บด ซึ่งการสกัดด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาน้อย ประหยัดพลังงาน

การใช้กำลังไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเข้าไปในสารละลายน้ำ โมเลกุลของในสารละลายมีโมเลกุลประจุบวกและประจุลบจะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อจัดเรียงตัวในสนามไฟฟ้าของคลื่นและทำให้คลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงสลับไปมาส่งผลต่อโมเลกุลน้ำเกิดการหมุนไปมาเกิดความร้อนขึ้นอย่างฉับพลัน (Terigar et al., 2010) แต่ในขณะที่การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงจะทำให้สารละลายเกิดความร้อนจากภายในโมเลกุล ด้วยเหตุนี้ในกำลังไมโครเวฟจึงส่งผลให้สารสกัดมีปริมาณสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อนทำให้การเสื่อมสภาพของผลผลิตและการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งเมื่อสอดคล้องกับการทดลองของ Narkprasom et al. (2019) ทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเมล็ดลำไยโดยวิธีไมโครเวฟ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมากจนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด หลังจากนั้นถึงแม้จะเพิ่มเวลาในการสกัดก็จะไม่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น

การศึกษาปัจจัยของอัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K_2) (กรัม/มิลลิลิตร) อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K_2) (กรัม/มิลลิลิตร) และ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K_3) (กรัม/มิลลิลิตร ที่มีผลต่อ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ (L*,a*,b*) ค่าคุณสมบัติทางกายภาพ (Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess ,Chewiness และ Resilience) โดยการศึกษาระดับปัจจัยสูง (+1) และต่ำ (-1) ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ค่าสีของผลิตภัณฑ์(L,a*,b*) ของการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล*

Run order	อัตราส่วน Calcium chloride ($CaCl_2$)ต่อตัวทำละลาย(K_1) (กรัม/มิลลิลิตร)	อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K_2)(กรัม/มิลลิลิตร)	อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K3)(กรัม/มิลลิลิตร)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
1	1:10 (-1)	1:100 (-1)	0.5:10 (-1)	20.923^{ns}	0.896^{ab}	1.617^{bcd}
2	1:20 (1)	1:100 (-1)	0.5:10 (-1)	19.700^{ns}	0.830^{ab}	1.253^{d}
3	1:10 (-1)	1:300 (1)	0.5:10 (-1)	19.523^{ns}	0.990^{ab}	1.470^{dc}
4	1:20 (1)	1:300 (1)	0.5:10 (-1)	19.877^{ns}	0.713^{ab}	2.010^{abc}
5	1:10 (-1)	1:100 (-1)	1:10 (1)	20.500^{ns}	0.670^{b}	1.253^{d}
6	1:20 (1)	1:100 (-1)	1:10 (1)	20.383^{ns}	1.033^{ab}	1.703^{abcd}
7	1:10 (-1)	1:300 (1)	1:10 (1)	19.517^{ns}	0.833^{ab}	2.227^{ab}
8	1:20 (1)	1:300 (1)	1:10 (1)	20.117^{ns}	1.207^{a}	1.567^{cd}
Ct.	-	-	-	21.25^{ns}	0.866^{ab}	2.286^{a}

ตารางที่ 8 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพ (Hardness, Fractur ability, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess ,Chewiness และ Resilience) ของการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล

Run order	ค่าคุณสมบัติทางกายภาพ						
	Hardness(g)	Adhesiveness(g.sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Resilience
1	4582.937a	-58.08456b	0.304c	0.181b	820.235b	243.978b	0.115ns
2	2243.965ab	-11.91953a	0.39abc	0.209ab	470.782b	191.704a	0.068ns
3	3066.155ab	-10.32320a	0.492abc	0.204ab	626.815b	316.28ab	0.088 ns
4	1798.68b	-49.428b	0.519ab	0.282ab	414.355b	191.078a	0.094 ns
5	1833.167b	-9.904a	0.482abc	0.183b	326.894b	153.337a	0.065 ns
6	2296.919ab	-10.543a	0.34bc	0.429ab	482.030b	161.069a	0.209 ns
7	2246.413ab	-19.38a	0.469abc	0.220ab	491.649b	226.129a	0.072 ns
8	2482.627ab	-16.269a	0.567a	0.557a	933.236b	612.84bc	0.318 ns
Ct.	4585.632a	-6.147a	0.446abc	0.358ab	1502.424a	666.628c	0.081 ns

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์และร้อยละความเชื่อมั่นของสมการถดถอย

Effects		Intercept	Calcium chloride (CaCl2)	Sodium Alginate	แป้งมันสำปะหลัง
			K_1	K_2	K_3
L*	ค่าสัมประสิทธิ์	*20.068*	*0.062*	*-0.309*	*0.062*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*100.000*	*25.780*	*84.815**	*25.780*
a*	ค่าสัมประสิทธิ์	*0.897*	*0.039*	*0.039*	*0.039*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*99.974*	*37.748*	*37.748*	*37.748*
b*	ค่าสัมประสิทธิ์	*1.638*	*0.050*	*0.181*	*0.050*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*99.977*	*28.080*	*76.472*	*28.080*
Hardness	ค่าสัมประสิทธิ์	*3193.858*	*-979.076*	*-795.389*	*-979.076*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*97.428*	*65.187*	*56.305*	*65.187*
Fractur ability	ค่าสัมประสิทธิ์	*2552.570*	*359.741*	*176.447*	*359.741*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*99.666*	*57.197*	*31.210*	*57.197*
Adhesiveness	ค่าสัมประสิทธิ์	*-22.949*	*9.436*	*-0.336*	*9.436*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*95.959*	*71.342*	*3.282*	*71.342*
Springiness	ค่าสัมประสิทธิ์	*0.446*	*0.019*	*0.067*	*0.019*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*99.994*	*51.262*	*94.503**	*51.262*
Cohesiveness	ค่าสัมประสิทธิ์	*0.292*	*0.056*	*0.025*	*0.056*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*99.859*	*79.399**	*45.737*	*79.399**
Gumminess	ค่าสัมประสิทธิ์	*790.299*	*-231.854*	*-173.793*	*-231.854*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*94.323*	*52.023*	*40.914*	*52.023*
Chewiness	ค่าสัมประสิทธิ์	*333.113*	*-44.769*	*3.469*	*-44.769*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*96.070*	*29.406*	*2.356*	*29.406*
Resilience	ค่าสัมประสิทธิ์	*0.129*	*0.037*	*0.014*	*0.037*
	ร้อยละความเชื่อมั่น	*98.765*	*72.326*	*34.627*	*72.326*

การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรปัจจัยในการหยอดเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยประกอบด้วยความเข้มข้นของแป้ง Alginate และ $CaCl_2$ ต่อผลกระทบของค่าสี L* a* b* และค่าคุณสมบัติทางกายภาพ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness, Resilience โดยจะคัดเลือกเฉพาะร้อยละความเชื่อมั่นมากกว่า 75 ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าปัจจัยความเข้มข้นของ Alginate มีผลต่อค่าความสว่าง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Alginate ส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง ส่วนค่า a* และ b* นั้นปัจจัยในการหยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยไม่มีผลกระทบเนื่องจากเฉาก๊วยมีสีดำ

ผลกระทบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าปัจจัยในการหยอดเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยมีผลกระทบต่อ ค่า Springiness, Cohesiveness และ Resilience ซึ่งค่า Springiness ที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรกนั้น ปัจจัยความเข้มข้นของ Alginate มีผลต่อความสามารถในการคืนตัว โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Alginate ส่งผลให้ค่าความสามารถในการคืนตัวเพิ่มขึ้น ค่า Cohesiveness พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหารนั้นความข้มข้นของแป้งและ $CaCl_2$ ทั้งสองปัจจัยมีผลต่อพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร โดยเมื่อเพิ่มความข้มข้นของแป้ง และ $CaCl_2$ ทำให้ค่าพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหารเพิ่มขึ้น และค่า Resilience หรือความยืดหยุ่นนั้น ปัจจัยความข้มข้นของแป้งมีผลกระทบต่อค่าความยืดหยุ่นโดยเมื่อเพิ่มความข้มข้นของแป้ง ทำให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ปัจจัยในการหยอดเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยมีไม่มีผลกระทบต่อ ค่า Hardness ความแข็งหรือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรก, Adhesiveness ค่าการยึดติด, Gumminess ลักษณะที่อาหารกึ่งแข็งที่แตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้ และ Chewiness ความเคี้ยวได้ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ขออาหารที่บ่งบอกถึงความต้านทานการเคี้ยวทำให้เคี้ยวได้ยาก เนื่องจากปัจจัยหรือช่วงระดับที่ศึกษาไม่ส่งผลโดยตรงต่อค่าเหล่านี้ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่าง

เมื่อเทียบค่า Hardness ซึ่งเป็นค่าความรู้สึกเมื่อกัดคำแรก (Initial or first bite) ความรู้สึกช่วงนี้เป็นช่วงที่รวมลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นกับลักษณะโครงสร้าง (ศิริเลิศ, 2015) ของตัวอย่างเฉาก๊วยที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Ct) มีค่าเท่ากับ 4584.632 (g) มีค่าใกล้เคียงกับค่า ตัวอย่างที่1 (run order 1) ที่มีค่า Hardness เท่ากับ 4582.937 (g) และความรู้สึกขณะเคี้ยว (Mastication or Chewing) ซึ้งเป็นความรู้สึกรวมที่เกิดขึ้นจากลักษณะทางกล ของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งลักษณะทางกลขณะกำลังเคี้ยว คือ ค่าความเหนียว (Gumminess) และการทดต่อการเคี้ยว (Chewiness) พบว่าตัวอย่างเฉาก๊วยที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์(Ct) มีค่าความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 1502.424 และตัวอย่างที่ 1 มีค่าความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 820.235

จึงได้เลือกค่าของตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมี อัตราส่วน Calcium chloride ($CaCl_2$) ต่อตัวทำละลาย (K1) (กรัม/มิลลิลิตร) 1:10 อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K2) (กรัม/มิลลิลิตร) 1:100 และ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K3) (กรัม/มิลลิลิตร 0.5:10 เพื่อไปทดสอบอุปกรณ์การหยอดต่อไป

การพัฒนากระบวนการผลิตและการออกแบบอุปกรณ์

ในส่วนของการพัฒนากระบวนการผลิตได้ทำโดยการปรับปรุงกระบวนการการขึ้นรูปโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น โดยมีการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปเฉาก๊วยซึ่งได้มีการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ โดยได้ศึกษาอุปกรณ์ 2 ชนิดได้แก่ แบบแรกเครื่องหยอดแบบใช้มือ (ภาพที่ 17ก) เดิมแล้วเป็นอุปกรณ์ที่ให้ในการหยอด ขนมทองหยอด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการขึ้นรูปด้วยเทคนิคเอนแคบซูเลชั้น และ แบบสองได้ศึกษาการหยอดด้วยเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump (ภาพที่17 ข) ซึ่งได้ทำการดัดแปลงอุปกรณ์ ให้สามารถหยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยได้ที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 8 มิลลิเมตร

(ก) (ข)

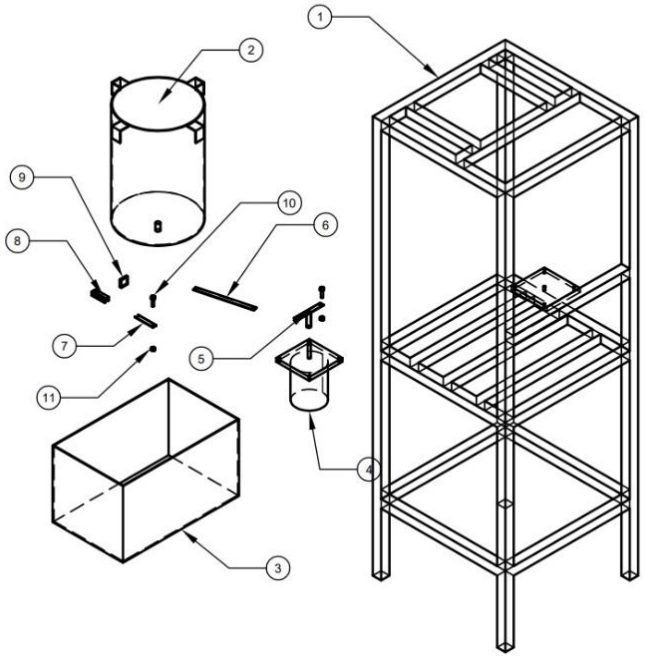
ภาพที่ 17 (ก) การหยอดด้วยเครื่องแบบมือ (ข) การหยอดด้วยเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถทำการหยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยได้ โดยเส้นผ่านศูนย์ กลางของเครื่องหยอดแบบมืออยู่ที่10 มิลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องหยอดแบบ peristaltic pump อยู่ที่ 5 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถพัฒนาอุปกรณ์ทั้งสองให้หยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยที่ขนาด 8 มิลลิเมตรได้ เมื่อพิจารณา ราคาของอุปกรณ์พบว่าราคาของ peristaltic pump นั้นสูงกว่า เครื่องยอดแบบมือมาก จึงได้เลือกอุปกรณ์แบบมือเพื่อทำการพัฒนาอุปกรณ์

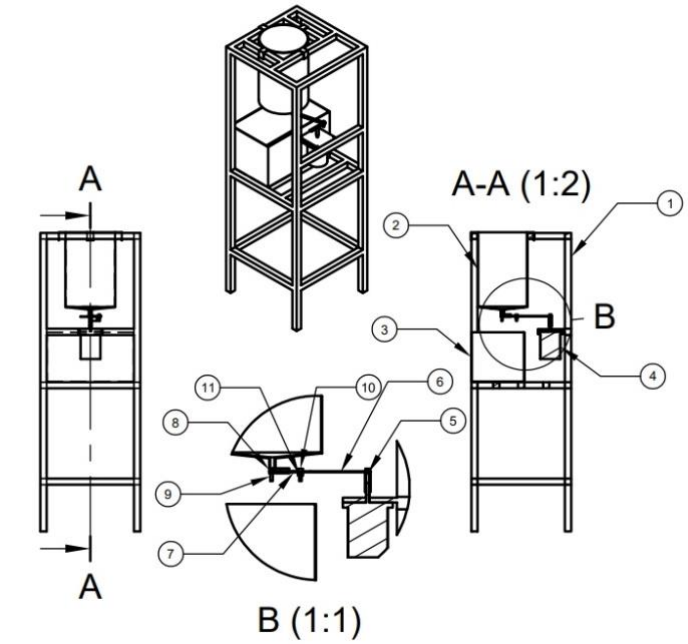
การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากเครื่องหยอดแบบมือนั้นได้ทำการปรับปรุงส่วนประกอบต่างๆดังนี้ 1.โครงเครื่องซึ่งความสูงของโครงคือ 1000 เซนติเมตร และความสูงของฐานรองรับผลิตภัณฑ์ คือ 50 เซนติเมต 2.ภาชนะบรรจุวัตถุดิบหรือถังใส่น้ำเฉาก๊วย ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคือ 18 เซนติเมตร และมีความสุง ที่ 25 เซนติเมตร 3.ภาชนะสสำหรับผลิตภัณฑ์ 4.มอเตอร์ 5.แขนส่งกำลังมอเตอร์ 6.แขนชัก 7.แผ่นตัดมีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร 8.ช่องรางตัดที่มีหัวหยอดขนาด 8 มิลิเมตร 9.เซนเซอร์ 10.น๊อตตัวผู้ และ11.น๊อตตัวเมีย ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 18 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ ภาพที่ 19 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อประกอบส่วนประกอบต่างๆ และภาพที่ 20 แสดงโครงสร้างจริงของอุปกรณ์หยอด

ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนของอุปกรณ์หยอด

No.	Name of Part	Quantity
1	โครงเครื่อง	1
2	ภาชนะบรรจุวัตถุดิบ	
3	ภาชนะสสำหรับผลิตภัณฑ์	1
4	มอเตอร์	1
5	แขนส่งกำลังมอเตอร์	1
6	แขนชัก	1
7	แผ่นตัด	1
8	ช่องรางตัด	1
9	เซนเซอร์	1
10	น๊อตตัวผู้	2
11	น็อตตัวเมีย	2



ภาพที่ 18 โครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ



ภาพที่ 19 โครงสร้างของอุปกรณ์หยอดเมื่อประกอบส่วนประกอบต่างๆ

ภาพที่ 20 อุปกรณ์หยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

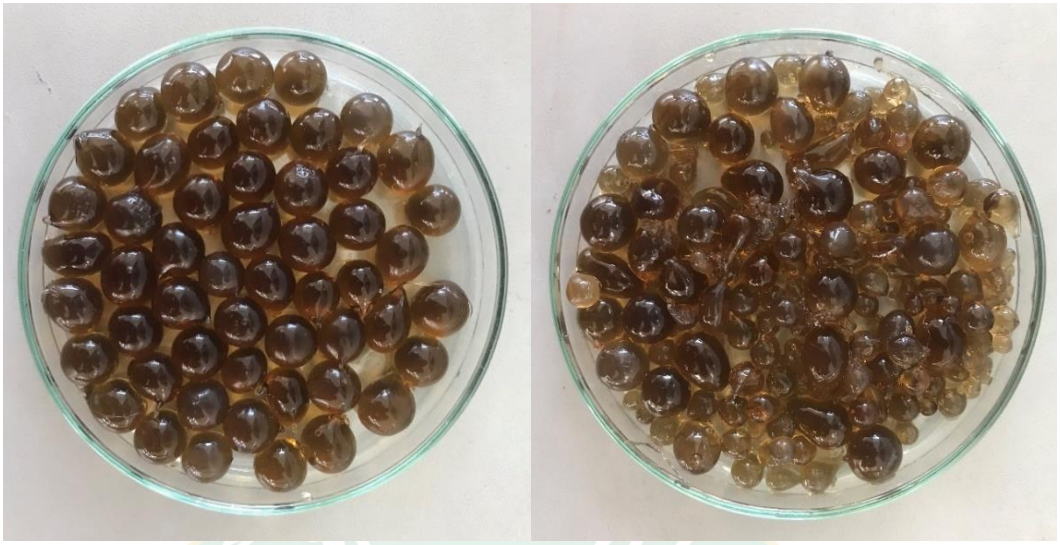
การทดสอบอุปกรณ์

การทดสอบการหยอดด้วยอุปกรณ์หยอด พบว่าเม็ดเจลลี่จากเฉาก๊วยที่ได้จากอุปกรณ์หยอดนั้นจะมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอกัน และยังมีหางคล้ายลูกอ๊อด (ภาพที่ 22) ซึ่งเกิดจากการที่ถังใส่วัตถุดิบมีปริมาณวัตถุดิบน้อย และระยะห่างระหว่างหัวหยอดกับภาชนะรับผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการคัดแยกขนาดที่มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.9 ± 0.24 mm มาทำการวัดค่าจะได้ค่า Hardness 2199.326±75 (g) Gumminess 653.5953±11 Chewiness 373.651±59 ซึ่ง แตกต่างจากเฉาก๊วยที่ได้จากตลาดขึ้นรูปแม่พิมพ์ ซึ่งมีขนาดที่สม่ำเสมอกัน และลักษณะที่กลม แต่ก็มีรอยของแม่พิมพ์รอบทรงกลม (ภาพที่19) เมื่อทำการคัดแยกขนาดที่มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.3±0.26 mm มาทำการวัดค่าจะได้ค่า Hardness 4585.290±48 (g) Gumminess 1502.424±65 Chewiness 666.628±35

ตารางที่ 11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) ค่า Hardness (g) Gumminess Chewiness ของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากอุปกรณ์หยอดและเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

ตัวอย่าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	Hardness (g)	Gumminess	Chewiness
อุปกรณ์	7.9 ± 0.24	2199.326±75	653.5953±11	373.651±59
แม่พิมพ์	15.3±0.26	4585.290±48	1502.424±65	666.628±35

ภาพที่ 21 ลักษณะเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากตลาด



(ก) (ข)

ภาพที่ 22 ลักษณะของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยจากอุปกรณ์หยอดเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย (ก) ที่ได้คุณภาพ (ข) ที่ไม่มีคุณภาพ

ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย เพื่อประเมินคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากอุปกรณ์หยอดที่ได้พัฒนาขึ้น ทั้งหมด 50 คน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด = ไม่ชอบมาก = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด ซึ่งได้ผลการทดสอบ ผลจากการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย พบว่าในคุณลักษณะต่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.00 - 6.98 (ตารางที่12) ซึ่งเป็นความชอบในระดับเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง โดยที่การทดสอบการยอมรับและความชอบของผู้บริโภคระดับคะแนนตั้งแต่ 6 ขึ้นไปถือว่าผู้บริโภคให้การยอมรับ (วศินี, 2015)

ตารางที่ 12 จำนวนและสัดส่วนร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้การยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

คุณลักษณะ	จำนวนและสัดส่วนร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้การยอมรับแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย									คะแนนเฉลี่ย
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
ลักษณะปรากฏ	3 (6.0)	20 (40.0)	12 (24.0)	7 (14.0)	5 (10.0)	2 (4.0)	1 (2.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6.98±1.36
สี	0 (0.0)	5 (10.0)	10 (20.0)	25 (50.0)	4 (8.0)	4 (8.0)	1 (2.0)	0 (0.0)	1 (2.0)	6.00±1.30
กลิ่น	0 (0.0)	1 (2.0)	20 (40.0)	21 (42.0)	5 (10.0)	2 (4.0)	1 (2.0)	0 (0)	0 (0)	6.20±0.94
รสชาติ	0 (0.0)	0 (0.0)	14 (28.0)	30 (60.0)	4 (8.0)	1 (2.0)	1 (2.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6.10±0.78
เนื้อสัมผัส	0 (0.0)	15 (30.0)	17 (34.0)	5 (10.0)	9 (18.0)	4 (8.0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	6.60±1.30
ความชอบโดยรวม	0 (0)	20 (40.0)	7 (14.0)	6 (12.0)	15 (30.0)	2 (4.0)	0 (0)	0 (0)	0 (0.0)	6.59±1.37

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์หยอดและแม่พิมพ์ โดยต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ซึ่งแม่พิมพ์1ชิ้นจะมีราคา 150 บาทต่อชิ้นและใช้ทั้งหมด 20 ชิ้น รวมราคา 3000 บาทและต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ของเครื่องหยอดอยู่ที่ 20,000 บาท แยกเป็นค่าเหล็กและอุปกรณ์ต่างๆ 15000 บาท และค่าแรงที่ใช้ในการประกอบเครื่องหยอดแบบเหมา 5000 บาท ซึ่งสูงกว่าต้นทุนคงที่ของแม่พิมพ์ และต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ของแม่พิมพ์ 18.63 บาทต่อ 1 กิโลกรัม และต้นแปรผัน (Variable Cost) ของเครื่องหยอดอยู่ที่ 10.94 บาทต่อกิโลกรัม จะมีการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า คำนวณจาก ค่าไฟ 5 บาทต่อหน่วย และค่าวัตถุดิบซึ่งประกอบไปด้วยหญ้าเฉาก๊วย 85 บาท/กก. chloride ($CaCl_2$) 30 บาท/กก. sodium Alginate 94 บาท/กก. แป้งมันสำปะหลัง 25 บาท/กก.น้ำสะอาด 0.25 บาท/กก.และเวลาผลิตที่ 8 ชั่งโมง (ตารางที่11) ซึ่งในการผลิตที่ปริมาณน้อยพบว่าการใช้แม่พิมพ์มีความคุ้มค่ากว่า แต่ในการผลิตปริมาณมากพบว่าการใช้

เครื่องหยอดมีความคุ้มค่ามากกว่าเนื่องจากต้นทุนแปรผันที่ถูกกว่าซึ่งจุดคุ้มทุนของการผลิตอยู่ที่ 2,212 กิโลกรัม โดยต้นทุนรวมของแม่พิมพ์และเครื่องหยอดอยู่ที่ 41,198 บาท

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องหยอดและแม่พิมพ์

	เครื่องหยอด	แม่พิมพ์	หน่วย
กำลังการผลิต	10	5	กก./ชม.
แรงงาน	1	2	คน
ต้นทุนคงที่			
ค่าวัสดุ	15000	3000	บาท
ค่าประกอบ	5000		บาท
รวมต้นทุนคงที่	20000	3000	บาท
ต้นทุนแปรผัน			
ค่าพลังงานไฟฟ้า	10		บาท
ค่าวัตถุดิบ	545	210	บาท
ค่าแรงงาน	320	1280	บาท
รวมต้นทุนแปรผัน	875	1490	บาท/80กก.
ต้นทุนแปรผันต่อ1กิโลกรัม	10.94	18.63	บาท/กก.

บทที่5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

เฉาก๊วยอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดนำมาสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนอง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเฉาก๊วย คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 435 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 450 วัตต์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้สูงสุด 69.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถประยุกต์ทำน้ำเฉาก๊วยที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีได้

จากการศึกษาการผลิตเม็ดเจลลี่จากสารสกัดเฉาก๊วยโดยใช้วิธีการเอนแคปซูเลชั่นพบว่า อัตราส่วน Calcium chloride ($CaCl_2$) ต่อตัวทำละลาย (K1) (กรัม/มิลลิลิตร) 1:10 อัตราส่วน Sodium Alginate ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K2) (กรัม/มิลลิลิตร) 1:100 และ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ต่อสารสกัดเฉาก๊วย (K3) (กรัม/มิลลิลิตร 0.5:10 ค่า Hardness เท่ากับ 4582.937 g ค่าความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 820.235 ค่าการทดต่อการเคี้ยว (Chewiness) เท่ากับ 243.978[b]

จากการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยพบว่าการใช้อุปกรณ์หยอดได้เฉาก๊วยที่มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอกัน และยังมีหางคล้ายลูกอ๊อด โดยมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.9 ± 0.24 mm และค่า Hardness 2199.326±75 g Gumminess 653.5953±11 Chewiness 373.651±59 และการทดสอบประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย พบว่าในคุณลักษณะต่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.00 - 6.98 ซึ่งเป็นความชอบในระดับเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง โดยต้นทุนในการประกอบเครื่องหยอดเม็ดเจลลี่ อยู่ที่ 20000 บาท และต้นทุนการผลิตต่อรอบอยู่ที่ 10.94 บาทต่อกิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อขึ้นรูปเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและมีความต่อเนื่อง ควรมีการติดตั้งปั๊มดูดของเหลวเพื่อดูดวัตถุดิบเข้ามาในถังวัตถุดิบ และควรมีการศึกษาระยะห่างระหว่างหัวยอดกับภาชนะรับผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพการดำเนินงาน

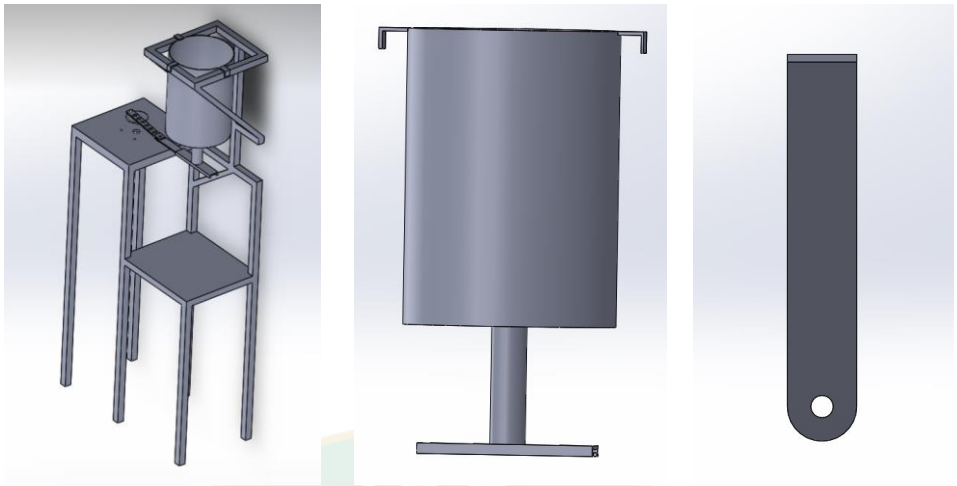
ภาพภาคผนวกที่ 1 การสกัดด้วยไมโครเวฟ

ภาพภาคผนวกที่ 2 การเก็บรักษาสารสกัดเฉาก๊วยในขวดแก้ว

ภาพภาคผนวกที่ 3 การชั่งและผสมสารสกัดเฉาก๊วยกับ Sodium Alginate

ภาพภาคผนวกที่ 4 การทดลองหยอดเฉาก๊วยด้วยเครื่อง หยอด peristaltic pump

ภาพภาคผนวกที่ 5การทดลองหยอดเจลลี่เฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอดมือ



(ก) (ข) (ค)

ภาพภาคผนวกที่ 6 การออกแบบอุปกรณ์หยอด

ภาพภาคผนวกที่ 7 การทดลองหยอดเฉาก๊วยด้วยอุปกรณ์หยอด

ภาพภาคผนวกที่ 8 เม็ดเจลลี่เฉาก๊วยในสารละลาย Calcium chloride ($CaCl_2$)

ภาพภาคผนวกที่ 9 การเก็บรักษาสารเม็ดเจลลี่เฉาก๊วยในขวดแก้ว

ภาพภาคผนวกที่ 10 การวัดค่าสีของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

ภาพภาคผนวกที่ 11 การวัดขนาดของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

ภาพภาคผนวกที่ 12 การวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลลี่เฉาก๊วย

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของเม็ดเจลลี่เฉาก๊วย

ข้อมูลทั่วไป รหัสนักศึกษา.....

อายุ.....ปี

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

ท่านเคยรับประทานเฉาก๊วยมุกหรือไม่ ☐ เคย ☐ ไม่เคย

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เม็ดเจลลี่เฉาก๊วย แล้วให้คะแนนความชอบตามความรู้สึกของทาน

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

ลักษณะ	**ตัวอย่างที่**		
	1	**2**	**3**
สี			
ลักษณะปรากฏ			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

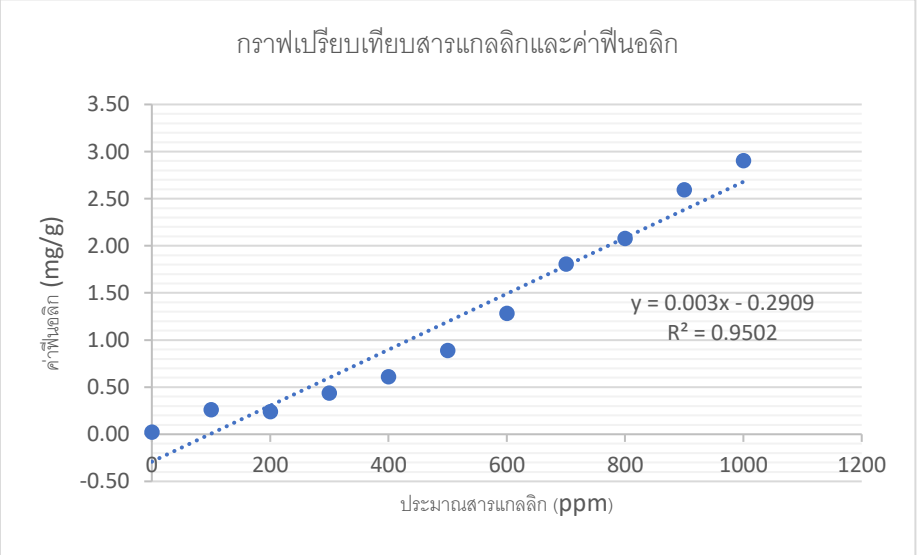
ภาคผนวก ค

การวัดฟีนอลิก

หาค่ามาตราฐานโดยอ้างอิงจากสารแกลลิกโดยใช้อัตราส่วนเท่ากัน

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการทดลองหาค่ามาตรฐานจากสารแกลลิก

ppm	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.03	0.027	0.010	0.02
100	0.277	0.257	0.255	0.26
200	0.235	0.25	0.236	0.24
300	0.465	0.436	0.411	0.44
400	0.567	0.687	0.584	0.61
500	0.998	0.844	0.826	0.89
600	1.48	1.19	1.184	1.28
700	1.581	2.078	1.762	1.81
800	1.98	2.155	2.103	2.08
900	2.507	2.693	2.587	2.60
1000	3	3	2.716	2.91



ภาพภาคผนวกที่ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสารแกลลิกและค่าฟีนอลิกซึ่งได้ค่า Coefficients เท่ากับ -0.291 และค่า R-squared เท่ากับ 0.9502

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

- ค่าวัสดุอุปกรณ์
  1. แม่พิมพ์ราคา 150 บาท/ชิ้น ใช้ทั้งหมด 20 รวมราคา 3000 บาท
  2. ค่าเหล็กและอุปกรณ์ต่างๆ 15000 บาท

- ค่าการประกอบอุปกรณ์

  1.ค่าแรงที่ใช้ในการประกอบเครื่องหยอดแบบเหมา 5000 บาท

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

- ค่าพลังงานไฟฟ้า คำนวณจาก

  Cost = Unit X Electricity Charge

  โดย Unit = กำลังฟ้า(วัตต์)/1000 *จำนวนชั่วโมงที่ใช้

  Electricity Charge = 5 บาท

  ดังนั้น เมื่อผลิต 8 ชั่วโมงจะได้

  Cost = (250/1000*8)*5

  =10 บาท

- ค่าวัตถุดิบ

  1.หญ้าเฉาก๊วย 85 บาท/กก. ใช้อัตราส่วนการสกัด 1/10

  ในการผลิตน้ำเฉาก๊วยด้วย 80 กก จะต้องใช้ หญ้าเฉาก๊วย เท่ากับ 10 กก. รวมเป็นเงิน 85*10 เท่ากับ 850 บาท

  2. Calcium chloride ($CaCl_2$) 30 บาท/กก.

  ในการผลิตเฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอด 80 กก จะต้องใช้ Calcium chloride ($CaCl_2$) เท่ากับ 8 กก. รวมเป็นเงิน 30*8 เท่ากับ 240 บาท

  3. Sodium Alginate 94 บาท/กก.

     ในการผลิตเฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอด 80 กก จะต้องใช้ Sodium Alginate เท่ากับ 0.8 กก. รวมเป็นเงิน 94*0.8 เท่ากับ 75 บาท

  4. แป้งมันสำปะหลัง 25 บาท/กก.

ในการผลิตเฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอด 80 กก จะต้องใช้ แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 0.8 กก. รวมเป็นเงิน 25*4 เท่ากับ 100 บาท

5. น้ำสะอาด 0.25 บาท/กก.

ในการผลิตน้ำเฉาก๊วย 80 กก จะต้องใช้น้ำสะอาดเท่ากับ 100 กก. รวมเป็นเงิน 100*0.25เท่ากับ 25 บาท

ในการผลิตสารละลาย Calcium chloride ($CaCl_2$) 80 กก จะต้องใช้ น้ำสะอาด เท่ากับ 80 กก. รวมเป็นเงิน 0.25*80 เท่ากับ 20 บาท

- ค่าแรงงาน กำหนดให้ค่าแรงอยู่ที่ 40 บาท/ชั่วโมง/คน

ในการผลิตเฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอด 80 กก จะต้องใช้แรงงานคน 1คน เป็นเวลา 8 ชั่วโมงคิดเป็น 40*8*1 เท่ากับ 320 บาท

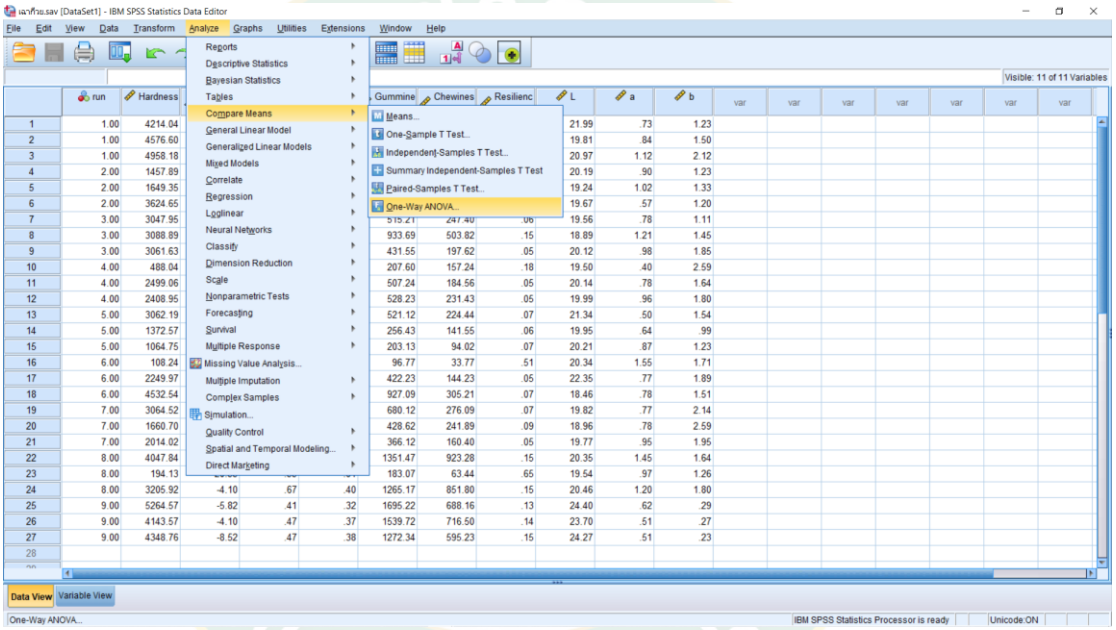
ในการผลิตเฉาก๊วยด้วยเครื่องหยอดแม่พิมพ์ 80 กก จะต้องใช้แรงงานคน 2 คน เป็นเวลา 16 ชั่วโมงคิดเป็น 40*16*2 เท่ากับ 1280 บาท

ภาคผนวก จ

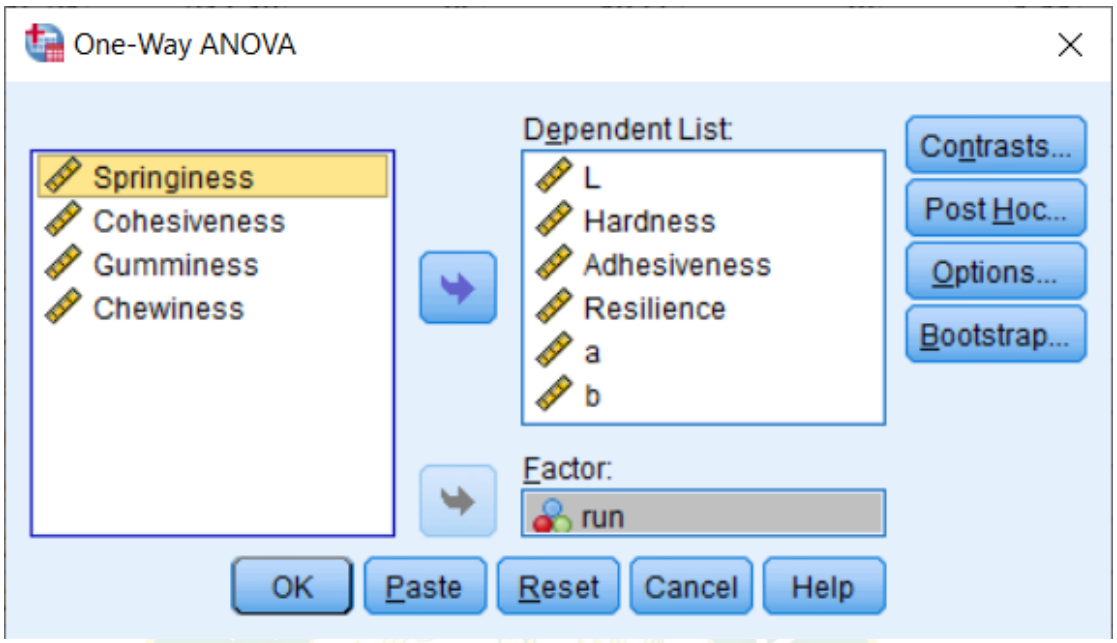
การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ

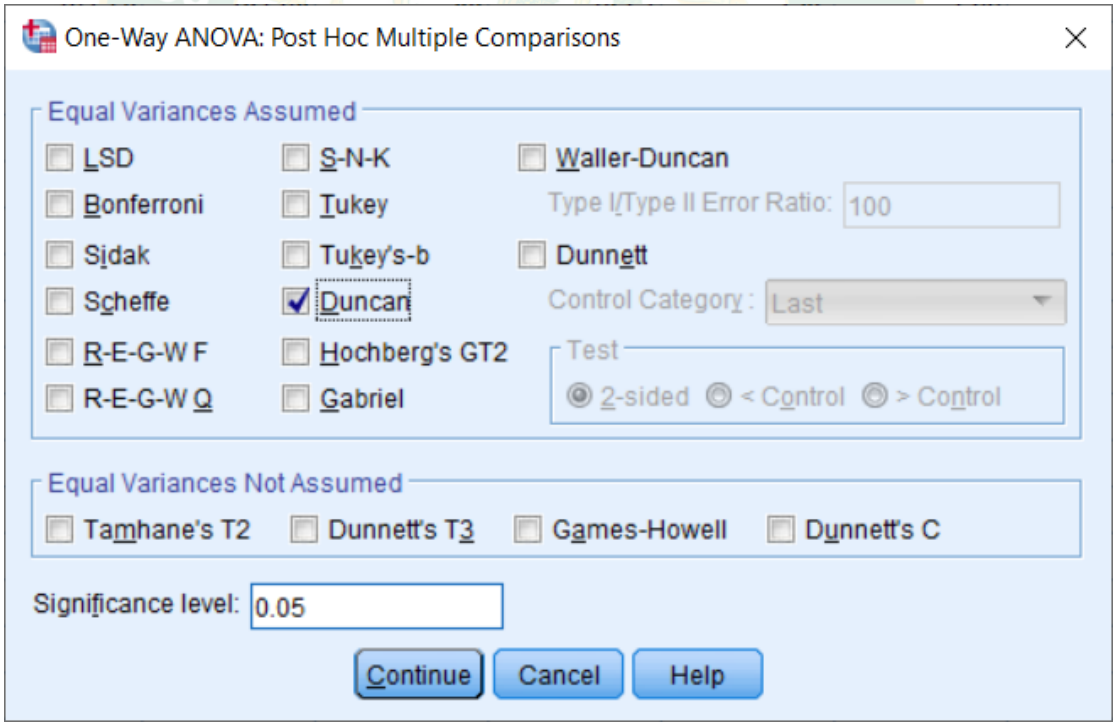
การวิเคราะห์ความแปรปวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปวน (ANOVA) ทำการวิเคราะห์ผล ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดย วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งพิจารณาค่าที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยเริ่มจากการใส่ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นเลือกวิธีในการวิเคราะห์ Analyze เลือกไปที่ Compare Means และเลือกรูปแบบ One-Way ANOVA

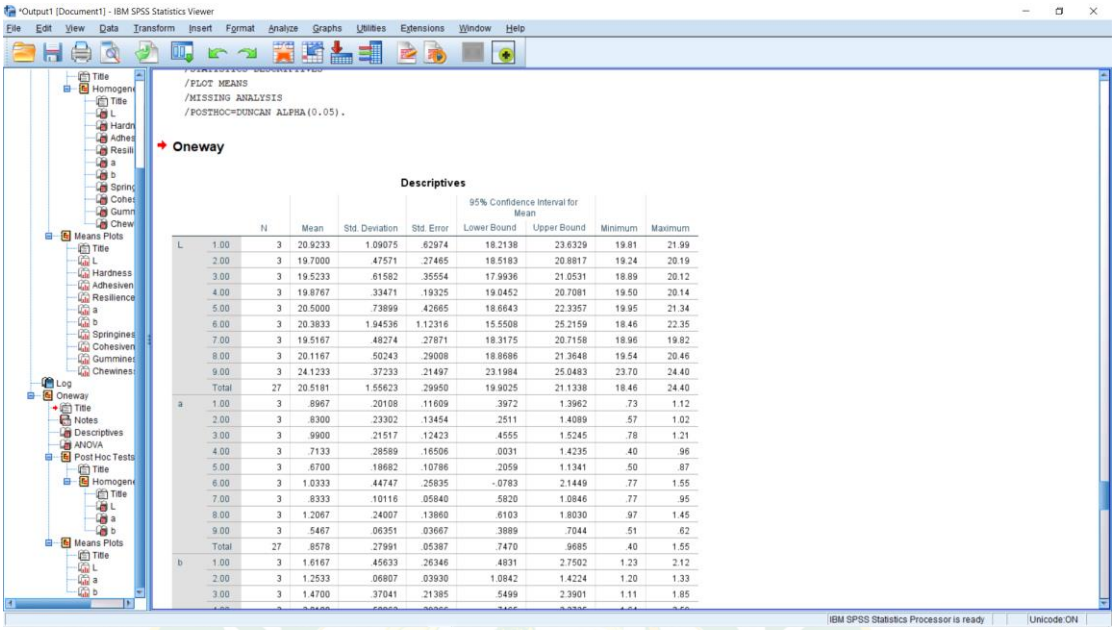


ภาพภาคผนวกที่ 14 การเลือกวิธีการวิเคราะห์ความแปรปวน จากนั้นเลือกตัวแปรที่จะใช้ทำการวิเคราะห์





ภาพภาคผนวกที่ 15 วิธีการเลือกเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New



ภาพภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์ลีฟีนอลออกซิเดสในมะม่วงตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการต่างๆ

ภาคผนวก ฉ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา
BURAPHA SCIENCE JOURNAL
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Faculty of Science, Burapha University
169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.เชลบุรี 20131
โทรศัพท์. 038 - 103034 โทรสาร. 038 - 393496
วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา E-mail: buscij@buu.ac.th
www.sci.buu.ac.th
วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน-ธันวาคม พ.ศ. 2565 Burapha Science Journal Volume 27 (No.3) September - December 2022
วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา
BURAPHA SCIENCE JOURNAL
ISSN 2351-0781
วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3)
กันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3)
September - December 2022
COVID-19 VACCINE
COVID-19 VACCINE

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Total Phenolic Compounds from *Mesona Chinensis* Bentham

อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร, กาญจนา นาคประสม, หยาดฝน ทนงการกิจ และ นักรบ นาคประสม*
Artit Dujeto, Chanawat Nitatwichit , Kanjana Narkprasom , Yardfon Tanongkankit and Nukrob Narkprasom*
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

Received : 7 February 2022
Revised : 10 March 2022
Accepted : 7 April 2022

บทคัดย่อ

เฉาก๊วยนั้นเป็นอาหารที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศจีนและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในฐานะที่เป็นทั้งอาหารหวานและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิคการสกัดแบบไมโครเวฟร่วม อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอัตราส่วนของตัวทำละลาย(น้ำกลั่น)ต่อวัตถุดิบ เวลาในการสกัด และกำลังไมโครเวฟ การออกแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ การออกแบบทางไต่ระดับสูงสุด และการออกแบบพื้นผิวการตอบสนองนำไปใช้และวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสม การศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (69.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 435 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาในการสกัด 50 นาทีและกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ งานวิจัยนี้สามารถนำไปผลิตสารสกัดจากเฉาก๊วยที่มีคุณภาพซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาจากสารสกัดจากผลผลิตทางการเกษตร

คำสำคัญ : การสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม ; เฉาก๊วย ; วิธีพื้นผิวตอบสนอง ; การหาสภาวะที่เหมาะสม

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

Abstract

Mesona chinensis Bentham is a popular food in China and Southeast Asia, known as a sweet treat and a healthy drink. The objective of this research was to determine the optimum conditions for extraction of phenolic compounds by microwave assisted extraction technique. The influence of the factors studied included ratio of solvent (distilled water) to raw material, extraction time and microwave power. The factorial 2 levels design, steepest ascent design and response surface design were applied and statistically analyzed to determine optimal conditions. The study found that optimum extraction conditions for total phenolic compounds were highest (69.70 µgGAE/g of dry weight) at ratio of solvent to raw material 435 ml/g, 50 min of extraction time and 450 watts of microwave power. This research can be applied to make quality grass jelly extract that has beneficial properties for health which can be applied in the food and pharmaceutical industries from agricultural product extracts.

Keywords : microwave assisted extraction ; *Mesona chinensis Bentham* ; response surface method ; optimization

***Corresponding author. E-mail** : nukrob@mju.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

บทนำ

เจาก๊วย (*Mesona chinensis*) เป็นพืชชนิดหนึ่งในตระกูลเดียวกับมิ้นต์ (พืชจำพวกสะระแหน่) พบได้มากในประเทศจีน ซึ่งในสารสกัดเจาก๊วยจะมีประกอบไปด้วย Polyphenols และ flavonoids เช่น สารแคมพ์เฟอรอล (kaempferol) และกรดคาเฟอิก (caffeic acid) เจาก๊วยมีสรรพคุณทางยาซึ่งรับรองโดยกองวิจัยสมุนไพรแห่งชาติของกรุงปักกิ่งว่าสามารถใช้แก้ร้อนใน กระหายน้ำ ไข้หวัด ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อข้อพับอักเสบ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์จีนทั่วไป (Tungpradit, 2003) ใช้ในการรักษาโรคเบาหวาน โดยพบว่าในต้นเจาก๊วยมี กรดยูโซลิก (ursolic acid) ซึ่งเป็นสารที่สามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (hypoglycemic principle) (Sheu *et al*, 1984) สารสกัดน้ำจากเจาก๊วยสามารถป้องกันไม่ให้ถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต-ซี ได้มากกว่าไฮโดนเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งความสามารถนี้เกิดเนื่องมาจากในสารสกัดน้ำเจาก๊วยมีสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่น ๆ นอกจากนี้ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง และป้องกันโรคร้ายแรงในอนาคต (G.C. Yen, 2000) ในประเทศจีนจะใช้เป็นสมุนไพรในการรักษาโรคตับ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และอาการปวดข้อ และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการป้องกันโรคหลอดเลือด (Gow-Chin Yen & Chien-Ya Hung, 2000) สารประกอบฟีนอลิกจากต้นเจาก๊วย สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันและกรดฟีนอลิกที่สำคัญที่สุดในต้นเจาก๊วยคือ caffeic acid เพราะมีความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้สูงที่สุด ทั้งนี้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกสามารถทำได้หลายแบบได้แก่ การสกัดแบบให้ความร้อน การสกัดแบบ Soxhlet การสกัดแบบ Ultrasound และการสกัดแบบไมโครเวฟร่วม ซึ่งยังไม่มีรายงานวิจัยการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเจาก๊วยโดยวิธีไมโครเวฟร่วม

การใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัด (Microwave-Assisted Extraction : MAE) โดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลน้ำในเซลล์พืชสั่นสะเทือน ทำให้เซลล์แตกออกจากการได้รับความร้อนยิ่งยวด และปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา (Suedee, 2017) โดยเทคนิคการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการสกัดสารสำคัญ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในกระบวนการสั้น ตัวทำละลายน้อย ผลผลิตสูงและมีคุณภาพกว่า และต้นทุนต่ำกว่าแบบใช้ความร้อนในการสกัด (Hosseini *et al*, 2016)

เทคนิคการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมจำเป็นต้องศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ทำให้ต้องมีการศึกษาเทคนิคทางสถิติ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการออกแบบการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญและลดจำนวนในการทดลอง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการหาสภาวะของกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้เลือกแบบการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับนำมาการวิเคราะห์คัดเลือกปัจจัยและวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) นำมาการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแก้ปัญหาได้สูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสภาวะที่มีปัจจัยหรือตัวแปรที่มีจำนวนมากได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จำนวน 17 การทดลอง จากการศึกษาการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน มีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Central Composite Design(CCD) (Tangjitsitcharoen & Jamchue, 2011) จึงทำให้มีต้นทุนในการทดลองที่ลดลง ผลจากการทดลองพบว่า

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

สมการพหุนามกำลังสองที่ใช้ในการทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีไมโครเวฟร่วม สามารถนำมาทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้อย่างแม่นยำ

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเฉาก๊วยโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ซึ่งเป็นกระบวนการที่คุ้มค่าต่อการลงทุนสามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัด การผลิตน้ำเฉาก๊วยพร้อมดื่มและเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้ได้คุณภาพดีต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

นำหญ้าเฉาก๊วยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยนำหญ้าเฉาก๊วยมาล้างทำความสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเฉาก๊วยแห้งมาปั่นและกรองผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 30 mesh นำผงเฉาก๊วยเก็บบรรจุในภาชนะปิดสนิท

เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม

เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วมประกอบด้วย ตู้อบไมโครเวฟในครัวเรือน (Sumsung, MS23F300EEK) และชุดสกัดซอกซ์เล็ท (soxhlet) นำมาปรับปรุงและต่อเข้าด้วยกัน โดยชุดควบแน่นของซอกซ์เล็ทต่อเข้ากับระบบน้ำหล่อเย็นของคอนเดนเซอร์ใช้เครื่อง cooling bath model WBCI-15 โดยปรับน้ำหล่อเย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ในการหล่อเย็น เพื่อควบแน่นตัวทำละลายและลดการระเหยออก ตรวจการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ ด้วยเครื่องมือวัดการรั่วไหลแบบดิจิตอล ชนิดพกพา (R.M.C.E. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) (Narkprasom, 2019) เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 100-800 วัตต์ โดยใช้ขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร เป็นภาชนะในการสกัด

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ผงเฉาก๊วย 1 กรัม ใส่ในขวดสกัดก้นกลม ขนาด 500 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบต่างๆ (200 – 500 มิลลิลิตรต่อกรัม) นำไปสกัดแบบไมโครเวฟร่วมให้ความร้อนที่กำลังไมโครเวฟ (300 - 600 วัตต์) เป็นเวลาที่ใช้ในการสกัด (20 - 50 นาที) หลังจากให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ นำตัวอย่างพักไว้ให้เย็นแล้วมาแยกของเหลวกับของแข็งด้วยกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรอง (Whatman no 1) ของเหลวใสถูกรวบรวมเก็บ เพื่อนำไปวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตร (Narkprasom, 2019)

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟ โดยอิทธิพลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ(150 – 500 มิลลิลิตรต่อกรัม) ณ เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟคงที่ (35 นาที และ 450 วัตต์) อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัด (20 - 50 นาที) ณ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 450 วัตต์) และศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ (100 - 800 วัตต์) ณ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 35 นาที) วางแผนการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 23-1 (Fractional Factorial Experiments) โดยศึกษาระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำและระดับสูง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงใน ตารางที่ 1 และทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม

การหาสภาวะที่เหมาะสมคำนวณโดยวิธีกำหนดการเชิงเส้น (linear programing) โดยคำสั่ง Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel นำสมการ 1 มาหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อทำนายผลตอบสนองสูงสุด หรือสภาวะที่สกัดได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยสูงสุด (Y) ซึ่งคำนวณจากค่ารหัสของตัวแปรปัจจัยต่างๆในการสกัด (x_1,x_2,x_3) ที่มีข้อกำหนด คือ $-1 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1$ โดยค่ารหัสมาจากค่าจริงของปัจจัยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 200 – 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 20 - 50 นาที และปัจจัยกำลังไมโครเวฟ (X_3) 300 - 600 วัตต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งการทำนายค่าสูงสุด ในการทดลองนี้จะเลือกพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้ในกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ ทำการทดลองหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สภาวะต่างๆ ที่ปัจจัย 3 ระดับ จำนวน 17 การทดลอง ตารางที่ 1

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X1) (มิลลิลิตรต่อกรัม)	200	350	500
เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) (นาที)	20	35	50
กำลังไมโครเวฟ (X_3) (วัตต์)	300	450	600

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา (x_1, x_2, x_3) กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยการสร้างสมการพหุนามลำดับที่สองดังรูปแบบสมการที่ 1

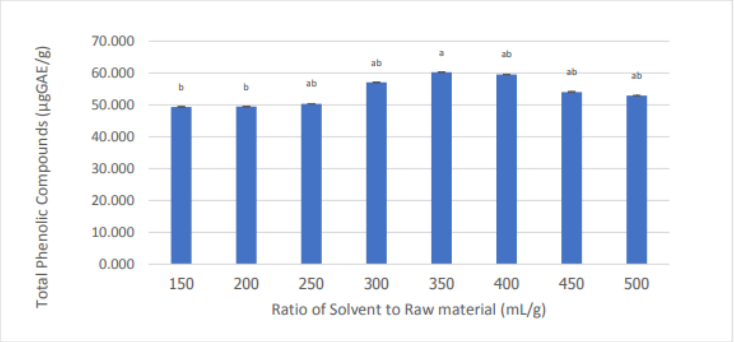
$$Y = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{23}X_2X_3+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{11}X_1^2+\beta_{22}X_2^2+\beta_{33}X_3^2 \quad (1)$$

โดยที่ Y คือค่าทำนายการตอบสนอง, β_0 เป็นค่าคงที่, X_1, X_2, X_3 เป็นตัวแปรอิสระ, β_1,β_2,β_3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น, $\beta_{12},\beta_{13},\beta_{23}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร, $\beta_{11},\beta_{22},\beta_{33}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง ซึ่งประสิทธิภาพของการทำนายผลผลิตสูงสุด

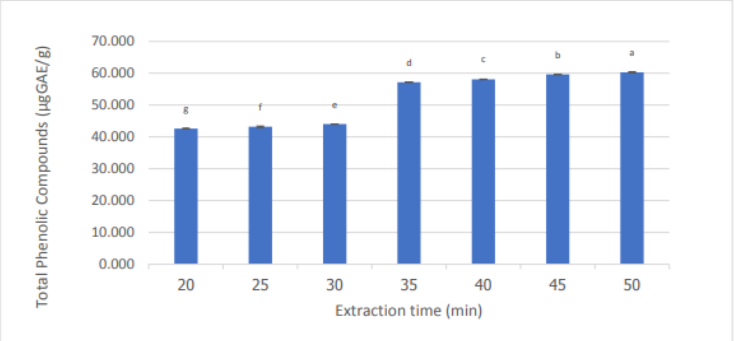
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ซึ่งเป็นกระบวนการที่คุ้มค่าต่อการลงทุนสามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัด การผลิตน้ำเฉาก๊วยพร้อมดื่มและเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้ได้คุณภาพดีต่อไป การทดลองเบื้องต้นอิทธิพลของปัจจัยในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยที่ภาพที่ 2 แสดงการศึกษาปัจจัยระดับอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 150 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ที่เวลาที่ใช้ในการสกัดและกำลังไมโครเวฟคงที่ (35 นาที และ 450 วัตต์) พบว่า ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม สกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยเมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 150 – 350 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 400 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยระดับอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

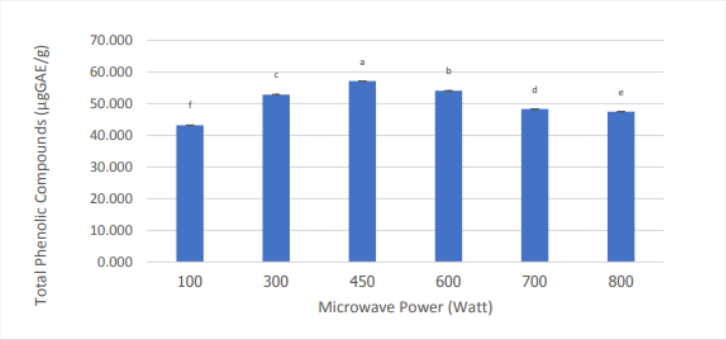


ภาพที่ 2 อิทธิพลของอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์



ภาพที่ 3 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนดอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย



ภาพที่ 4 อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยกำหนดอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 350 มิลลิลิตรต่อกรัม และเวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที

ภาพที่ 3 แสดงการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด 20 - 50 นาที ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 450 นาที) พบว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 35 นาที ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนเวลาที่ 50 นาที สกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาสกัดเพิ่มขึ้นจาก 20 – 35 นาที สามารถสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 34.066 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เวลาสกัดเพิ่มขึ้นจาก 35 - 50 นาที สามารถสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเพียงแค่ 5.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเวลาสกัดที่ใช้ระยะเวลานานทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในช่วง 20 - 50 นาที ในการหาสภาวะที่เหมาะสม และภาพที่ 4 แสดงการศึกษา กำลังไมโครเวฟ 300 - 600 วัตต์ ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ สกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 60.279±0.005 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดคงที่ (350 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 35 นาที) พบว่า เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น (100-450 วัตต์) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มมากขึ้น (600-800 วัตต์) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะลดลง ดังนั้นจึงเลือกกำลังไมโครเวฟสำหรับการสกัดในช่วง 300-600 วัตต์ ในการหาสภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเฉาก๊วย

จากผลการทดลองเบื้องต้นศึกษาปัจจัยของ 3 ปัจจัย ของการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเฉาก๊วย ทำให้ทราบช่วงสภาวะที่สำคัญ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (x_1) ที่ 200 -500 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (x_2) ที่ 20 – 50

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

นาที และกำลังไมโครเวฟ (x_3) ที่ 300 - 600 วัตต์ วิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box Behnken Design) นำมาประยุกต์ใช้ศึกษาผลกระทบจากปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อกัน ซึ่งสามารถออกแบบ 17 การทดลอง ประกอบด้วย ตำแหน่งกึ่งกลางขอบ 12 ตำแหน่ง และทำซ้ำจุดศูนย์กลาง 5 ซ้ำ (x_1 = 350 มิลลิลิตรต่อกรัม, x_2 = 35 นาที และ x_3 = 450 วัตต์) ของกล่อง 3 มิติ (3 ปัจจัย) โดยปัจจัยในการสกัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่ารหัสแสดงในตารางที่ 2 และผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของแต่ละสภาวะการทดลองพร้อมทั้งค่าทำนายจากสมการ 2 แสดงในตารางที่ 2

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก} = 65.08 + 6.50X_1 + 0.72X_2 - 0.22X_3 + 1.28X_1X_2 - 0.58X_1X_3 - 1.15X_2X_3 - 7.00X^2_1 + 1.36X^2_2 - 2.71X^2_3 \quad (2)$$

จากการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองโดยนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายถูกนำมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน แสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่า Significance F ต่ำกว่า 0.001 แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความคลาดเคลื่นน้อย โดยมีค่า R^2 = 0.953, Multiple R = 0.976 และ Adjusted R^2 = 0.892 ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ 1 ดังนั้นสมการที่ใช้ทำนายมีความแม่นยำสามารถใช้ทำนายหาสภาวะที่เหมาะสม

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) ในแบบจำลองแสดงอิทธิพลของตัวแปรต้น (ปัจจัยในการสกัด) ต่อตัวแปรตาม (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด) โดยค่าบวกของสัมประสิทธิ์แสดงถึงค่าตัวแปรตามเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น และค่าลบของสัมประสิทธิ์แสดงถึงตัวแปรตามเพิ่มขึ้นเมื่อค่าตัวแปรต้นนั้นลดลง ดังนั้นเมื่อต้องการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเพื่อให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วยเพิ่มขึ้น ควรเพิ่มอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการสกัด แต่ลดกำลังไมโครเวฟ เมื่อวิเคราะห์ความสำคัญทางสถิติ โดยพิจารณาค่า P-value พบว่า X_1 และ X^2_1 มีค่า P-value ต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าระดับของปัจจัยที่กำหนดมีอิทธิพลสูงต่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำในรูปแบบเชิงเส้นและมีอิทธิพลต่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำในรูปแบบกำลังสอง โดยมีความสำคัญต่อการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย แต่ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร X_2, X_3, X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X^2_2 และ X^2_3 มีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่า แต่ละปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกัน ซึ่งสามารถนำเฉพาะพจน์ที่มีความสำคัญเขียนอยู่ในรูปสมการ 3 และได้ค่าการทำนายสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างจากสมการ 2

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก} = 65.08 + 6.50X_1 - 7.00X^2_1 \quad (3)$$

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

ตารางที่ 2 การออกแบบพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

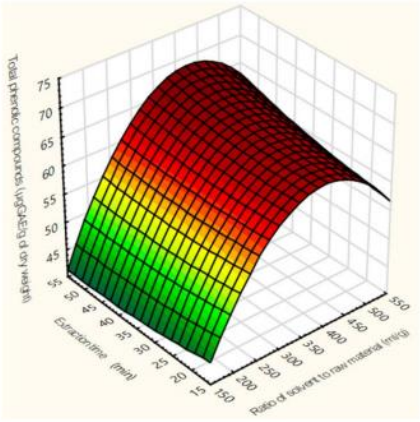
Run order	อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (มิลลิลิตรต่อกรัม)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)	
				การทดลอง	การทำนาย
1	200(-1)	20(-1)	300(-1)	49.92	49.30
2	500(1)	20(-1)	300(-1)	59.23	60.88
3	200(-1)	50(1)	300(-1)	49.83	50.48
4	500(1)	50(1)	300(-1)	69.32	67.18
5	200(-1)	20(-1)	600(1)	49.91	52.31
6	500(1)	20(-1)	600(1)	61.98	61.59
7	200(-1)	50(1)	600(1)	50.28	48.88
8	500(1)	50(1)	600(1)	62.40	63.28
9	200(-1)	35(0)	450(0)	52.61	51.58
10	500(1)	35(0)	450(0)	64.57	64.58
11	350(0)	20(-1)	450(0)	68.75	65.72
12	350(0)	50(1)	450(0)	65.15	67.16
13	350(0)	35(0)	300(-1)	62.12	62.59
14	350(0)	35(0)	600(1)	63.64	62.15
15	350(0)	35(0)	450(0)	65.15	65.08
16	350(0)	35(0)	450(0)	64.20	65.08
17	350(0)	35(0)	450(0)	63.86	65.08

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022

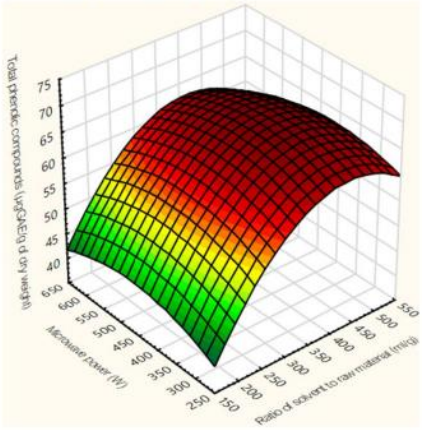
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากผงเจาก๊วย

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	P-value
Intercept	65.080	0.000
อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1)	6.495	0.000
เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2)	0.718	0.347
กำลังไมโครเวฟ (X_3)	-0.221	0.766
X_1X_2	1.279	0.152
X_1X_3	-0.575	0.494
X_2X_3	-1.150	0.192
X_1^2	-7.000	0.001
X_2^2	1.363	0.355
X_3^2	-2.707	0.090
Multiple R	0.976	
R-Square (R^2)	0.953	
Adjust R^2	0.892	

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

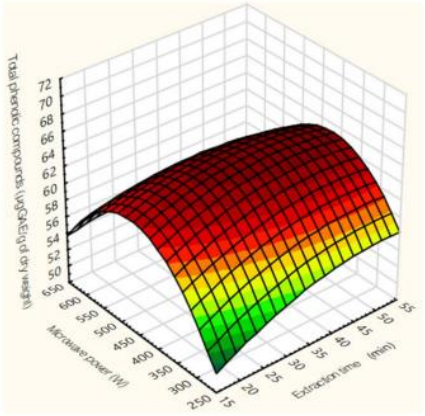


ภาพที่ 5 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์



ภาพที่ 6 อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบและกำลังไมโครเวฟในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่เวลาที่ใช้ในการสกัด 35 นาที

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย



ภาพที่ 7 อิทธิพลของเวลาและกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบในการสกัด 350 มิลลิลิตรต่อกรัม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและสมการการทำนายการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง

	อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (มิลลิลิตรกรัมต่อกรัม)	**เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)**	**กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)**	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)**
สมการทำนายสภาวะที่เหมาะสม	1:435.23	50	402.96	69.59
สภาวะการทดลองจริง(ปรับจากสมการ)	1:435	50	450	69.32
ผลการทดลองจากสภาวะทดลองจริง	1:435	50	450	69.70 ± 0.142

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

จากตารางที่ 4 พบว่าสามารถวิเคราะห์ทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบไมโครเวฟ โดยที่สภาวะที่ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด โดยกำหนดให้อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบอยู่ระหว่าง 200 - 500 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัดอยู่ระหว่าง 20 - 50 นาที และกำลังไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 300 - 600 วัตต์ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีไมโครเวฟร่วม คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 425.23 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 402.96 วัตต์ ภายใต้สภาวะนี้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ 69.53 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง แต่เนื่องจากให้การทดลองไม่สามารถใช้ค่าได้ตามกำหนดจึงปรับค่าที่ใช้ในการทดลองตามสภาวะการทดลองที่อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 435 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 450 วัตต์ โดยทำนายค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ 69.32 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองจากสภาวะทดลองจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องทำการทดลองที่สภาวะดังกล่าวได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 69.70±0.142 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทำนาย จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัด การผลิตน้ำเฉาก๊วยพร้อมดื่มและเฉาก๊วยสำเร็จรูปชนิดก้อนให้ได้คุณภาพดีต่อไป และเมื่อเทียบการงานวิจัยของ Nkhili et *al*. 2009 ทำการศึกษาเทคนิคการสกัดไมโครเวฟร่วมในการสกัดสารโพลีฟีนอลจากชาเขียว ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 20 นาที อัตราส่วนของน้ำต่อชาเขียว 20 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 111.28 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของชาเขียว ซึ่งใช้ปัจจัยในการสกัดใกล้เคียงกับผลการทดลองนี้

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเฉาก๊วย โดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเมื่อใช้อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงขึ้น ตัวทำละลายน้ำถูกใช้ในการสกัดสารประกอบแบบมีขั้ว เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก โพลีแซกคาไรด์และน้ำตาลโดยปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับขั้วของสารสำคัญ ซึ่งความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ ทำให้ขั้วของตัวทำละลายความสามารถในการละลายสารสกัด และความสามารถในการถ่ายเทมวลสารแตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อตัวทำละลายมากจะส่งผลทำให้การสกัดสารฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น (Narkprasom, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Katsuwan, 2018 ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟ ซึ่งพบว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลายที่ต่ำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สูงกว่าการใช้อัตราส่วนที่สูง และช่วยให้การสกัดมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อย

เวลาที่ใช้ในการสกัดมีส่วนทำให้การแพร่หรือการถ่ายเทมวลสารเป็นเวลานานขึ้น ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกถูกสกัดและแพร่ออกมาในสารละลายได้เพิ่มมากขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้น (Hong et *al*, 2017) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Potisate & Pintha, 2021 ทำการศึกษาหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมและการทำแห้งสารสกัดเมล็ดลิ้นจี่

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

โดยใช้ไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที ในอัตราส่วนของน้ำกลั่นต่อเมล็ดลิ้นจี่บด 10 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ปริมาณสารฟีนอลิกที่ 39.66±0.25 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดลิ้นจี่บดแห้ง ซึ่งการสกัดด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาน้อย ประหยัดพลังงาน

การใช้กำลังไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเข้าไปในสารละลายน้ำ โมเลกุลของในสารละลายมีโมเลกุลประจุบวกและประจุลบจะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อจัดเรียงตัวในสนามไฟฟ้าของคลื่นและทำให้คลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงสลับไปมาส่งผลต่อโมเลกุลน้ำเกิดการหมุนไปมาเกิดความร้อนขึ้นอย่างฉับพลัน (Terigar et *al*, 2010) แต่ในขณะที่การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงจะทำให้สารละลายเกิดความร้อนจากภายในโมเลกุล ด้วยเหตุนี้ในกำลังไมโครเวฟจึงส่งผลให้สารสกัดมีปริมาณสารออกฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อนทำให้การเสื่อมสภาพของผลผลิตและการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งเมื่อสอดคล้องกับการทดลองของ Narkprasom, 2019 ทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเมล็ดลำไยโดยวิธีไมโครเวฟ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมากจนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด หลังจากนั้นถึงแม้จะเพิ่มเวลาในการสกัดก็จะไม่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สรุปผลการวิจัย

เจาก๊วยอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดนำมาสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนอง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงเจาก๊วย คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ (X_1) 435 มิลลิลิตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50 นาที และกำลังไมโครเวฟ (X_3) 450 วัตต์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้สูงสุด 69.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถประยุกต์ทำน้ำเจาก๊วยที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิดและสารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ ป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Banjong, K. & Katsuwan, P. (2018). Optimization of Microwave-assisted Extraction of Papaya Seed Oil by Response Surface Methodology. Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology), 76-88. (in Thai)

Chen, Y., Liao, M.-L., Boger, D.V., & Dunstan, D.E. (2001). Rheological characterisation of **K**-carrageenan/locust bean gum mixtures. Carbohydrate Polymers, 117-124.

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

Hong R, Ting L, & Huijie W. (2017) Optimization of extraction condition for phytic acid from peanut meal by response surface methodology. Res Effic Technol, *3*, 226-231.

Hosseini, S.S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M.S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. Carbohydrate Polymers, 59-65.

Hung, Y. L., Hsieh, C.L., Yen, G.C. (2000). Protective Effect of Extracts of Mesona procumbens Hemsl. On DNA Damage in Human Lymphcytes Exposed to Hydrogen peroxide and UV irradiation, 747-754.

Narkprasom, K., Tanongkankit, Y., Saenscharoenrat, P., & Narkprasom, N. (2019). Optimization of Total Phenolic from Euphoria longana Lam. Seed by Microwave Assisted Extraction. Burapha Science Journal, *24*, 48-63. (in Thai)

Nkhili, E., Tomao, V., Hajji, H.E., Boustani, E.E., Chemat, F., Dangles, O. (2009). Microwave-assisted Water Extraction of Green Tea Polyphenols. Phytochemical Analysis, 408-415.

Potisate, Y. & Pintha, K. (2021). Optimum extraction condition and dehydration of lychee seeds extracts. Naresuan Phayao Journal, 105-115. (in Thai)

Sheu, S. Y., Liu, C. & Chiang, H. C. (1984). The hypoglycemic principle of Mesona procumbens and Ortheslphon staminens. T'ai-wan K'O Hsueh, 26-31.

Suedee, A. (2017). Microwave-Assisted Extraction of Active Compounds from Medicinal Plants. EAU Heritage Journal, 1-14. (in Thai)

Tangjitsitcharoen, S. & Jamchue, P. (2011). Reduction of Bubble Defects in Plastic Packaging Production Process. IE Network Conference, 171-175. (in Thai)

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิจัย

Terigar BG, Balasubramanian S, Boldor D. An analysis of the microwave dielectric properties of solvent-oil feedstock mixtures at 300–3000 MHz. Biores Technol. , 2010, *101*, 6510-6516.

Tungpradit, R. (2003). Study of Major Components in Water Extract of Mesona chinensis Benth. for Developing as Instant Product. (in Thai)

Yen, G.C. & Hung, C.Y. (2000). Effect of Alkaline and Heat Treatmrnt on Antioxidative Activity and Total Phenolics of Extraction from Hsian-tsao (Mesona procumbens Hemsl. Food Research International, 487-492.

บรรณานุกรม

Arpassorn , S., Sanguansri , C., & Diane M Barrett. (2012). Texture improvement of fresh and frozen mangoes with pectin methylesterase and calcium infusion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *92*(13), 2581-2586.

Atmane, M., Muriel, J., Joël, S., & Stéphane, D. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *41*, 1-21.

Banjong, K., & Katsuwan, P. (2018). Optimization of Microwave-assisted Extraction of Papaya Seed Oil by Response Surface Methodology. . *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology),*, 76-88. .

Ezzohra, N., Valerie , T., Hakima, E. H., Es-Seddik, E. B., Farid, C., & Olivier, D. (2009). Microwave-assisted water extraction of green tea polyphenols. *Phytochemical Analysis*, *20*(5), 408-415.

Gow-Chin Yen, & Chien-Ya Hung. (2000). Effect of Alkaline and Heat Treatmrnt on Antioxidative Activity and Total Phenolics of Extraction from Hsian-tsao (Mesona procumbens Hemsl). *Food Research International*, 487-492. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00073-9

H Hendratama, K Harismah, & A M Fuadi. (2019). Extraction optimization for antioxidant phenolic compounds in black grass jelly (Mesona palustris BL) using response surface methodology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *722*. https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012019

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, *140*, 59-65.

Hung, Y. L., Hsieh, C. L., & Yen, G. C. (2000). Protective Effect of Extracts of Mesona procumbens Hemsl. On DNA Damage in Human Lymphcytes Exposed to Hydrogen peroxide and UV irradiation, . *Food and Chemical Toxicology*, *39*(9), 747-754.

Hunter Lab. (2015). *The basics of color perception and measueemnt*.

Narkprasom, K., Tanongkankit, Y., Saenscharoenrat, P., Narkprasom, N., & (2019). Optimization of Total Phenolic from Euphoria longana Lam. Seed by Microwave Assisted Extraction.

(in Thai). *Burapha Science Journal*, 48-63. .

Nukrob, N., Kanjana , N., & Umaporn, U. (2015). Optimization of Total Phenolic from Cleistocalyx nervosum by Microwave-Assisted Extraction *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

Polikovsky, M., Fernand, F., Sack, M., Frey, W., Müller, G. & Golberg, A. (2016). Towards marine biorefineries: Selective proteins extractions from marine macroalgae Ulva with pulsed electric fields. *Innovative Food Science Emerging Technologies*(37), 194-200.

Potisate, Y., & Pintha, K. (2021). Optimum extraction condition and dehydration of lychee seeds extracted. *Naresuan Phayao Journal*, *14 No.2*.

Sheu, S. Y., Liu, C., & Chiang, H. C. (1984). The hypoglycemic principle of Mesona procumbens and Ortheslphon staminens. *T'ai-wan K'O Hsueh*, 26-31.

Suchen Liu, Yuehuan Xiao, Mingyue Shen, Xiaowei Zhang , W. W., & Jianhua Xie. (2019). Effect of sodium carbonate on the gelation, rheology, texture and structural properties of maize starch-Mesona chinensis polysaccharide gel. *Food Hydrocolloids*, *87*, 943-951. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.025

Terigar, B. G., S. Balasubramanian, D. Boldor, Z. Xu, M. L., & Sabliov, C. M. (2010). Continuous microwave-assisted isoflavone extraction system: Design and performance evaluation. *Bioresource Technology*, *101*(7), 2466-2471.

ชนม์นิภา ว่องวีรวัฒนกุล. (2017). ความคงตัวและฤทธิ์ทางชีวภาพของไมโครบีดของสารสกัดจากเฉาก๊วยภายใต้สภาวะจำลองการย่อยในระบบทางเดินอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ตั้งประดิษฐ์ ฤดีวรรณ. (2003). การศึกษาสารประกอบหลักในน้ำสกัดจากต้นเฉาก๊วยเพื่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี, & อภิรดา พรปัณณวิชญ์. (2018). การเอนแคปซูเลชั่นแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยยการทำแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีเทร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทโนโลยี, ปีที่*12* ฉบับที่*2*(พฤษาภาคม-สิงหาคม 2561), 11.

นุชเนตร ตาเย๊ะ, กุณฑล, น., มารีนี, โ., & นูรซาลีฮา โมงหนิมะ. (2018). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารฮาลาลเพื่อสุขภาพ : เฉาก๊วยในน้ำนมแพะพร้อมบริโภค. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปีที่*10* ฉบับที่ *2*(May-2561).

ปราณี อ่านเปรื่อง. (2004). หลักการวิเคราห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2022). https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0524/texture-analysis-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%AA

ภู่รักษ, ท. (2022). เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น. In. https://dsdi.msu.ac.th/articles/iot/books/microcontroller/TNP_Unit_1.pdf

วนิดา เผอิญโชค. (2004). การผลิตสตาร์ชมันสำปะหลังออกซิไดซ์-พรีเจลาติไนซ์ เพื่อเป็นสารเพิ่มการเกาะติดในแป้งชุบทอด จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. กรุงเทพฯ.

วศินี, ศ. (2015). การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม มหาวิทยาลับเชียงใหม่].

ศศิภา เต็กอวยพร. (2011). การพัฒนาระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ มหาวิทยาศิลปากร].

ศิริเลิศ, ธ. (2015). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. *Journal of Food Technology, Siam University,*, *3 No. 3*, 6-13.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (1986). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางโภชนาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สว่างกล้า, ส., & ศุภบวรเสถียร, ไ. (2017). เครื่องผลิตฝอยทองควบคุมโดยไมโตรคอนโทรลเลอร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิสวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล โรงแรม เคพี แกรนด์ จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี.

สุวรรณี สินไสววงศ์. (1991). การผลิตเฉาก๊วยผง (*Mesona chinensis Benth)*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.

อัญชลี เรืองเดช. (1991). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเฉาก๊วยเห็ดหูหนูพร้อมดื่ม. . มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

อารีรัตน์ ซื่อดี. (2017). การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย(Vol. 11 No. 1 (2017): January-April), 14.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล อาทิตย์ ดุเจโต๊ะ

เกิดเมื่อ 15 ธันวาคม 2534

ประวัติการศึกษา 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(ระดับปริญญาตรี)
สาขาวิศวกรรมอาหาร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่