การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัด โดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน

สุภิญญา สุยะเหล็ก

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัด โดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน

สุภิญญา สุยะเหล็ก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัด
โดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน

สุภิญญา สุยะเหล็ก

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

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

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

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

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัด โดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน
ชื่อผู้เขียน นางสาวสุภิญญา สุยะเหล็ก
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำปลีกล้วยน้ำว้า (Musa X paradisca flower) มาสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเอ็นแคปซูเลชั่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งหมด และสารสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารที่ใช้ในการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บมีสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิดได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD+GA) , มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD+GE) และ มอลโตเด็กตรินซ์(MD) ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ร้อยละ 5 โดยมีอัตราส่วน มอลโตเด็กตรินซ์ร้อยละ 5 มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกร้อยละ 4:1 และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินร้อยละ 4:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้เทคนิคไมโครเอ็นแคปซูเลชั่นผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่ามีประสิทธิภาพการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมดในผงสารสกัดร้อยละ 95.56, 99.05 และ 92.44 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระพบว่ามอลโตเด็กตรินผสมกรัมอารบิก มี ร้อยละของการยับยั้ง (% DPPH inhibition) มากกว่าตัวอย่างชนิดอื่นที่ร้อยละ 56.28 และ สารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) อยู่ในช่วง 4.70 - 3.42 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดโดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดของผงสารสกัดปลีกล้วยคือ 245.12 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลพบว่าขนาดของผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกและมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์เพียงอย่างเดียว และลักษณะทางกายภาพของผงปลีกล้วย ได้แก่ ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และ ค่าการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสารสกัดปลีกล้วยและปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 สัปดาห์ สารสกัดปลีกล้วยผงสามารถเก็บได้นานถึง เป็นเวลา 136.59, 75.40 และ 60.54 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งค่าความคงตัวของสารฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในระดับสูงกว่าร้อยละ 85 และปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18.75, 14.57 และ 9.53 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความคงตัวของ

สารฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในระดับ 60 % ซึ่งผลของการพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัด ลักษณะทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไปในอุตสาหกรรมอาหาร

คำสำคัญ : ปลีกล้วยน้ำว้า, เอนแคปซูเลชัน, สารประกอบฟินอลิก, ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, การอบแห้งแบบพ่นฝอย

Title The development of *Musa X paradisca* flower extracted processing by microencapsulation technique

Author Miss Supinya Suyalek

Degree Master of Engineering in Food Engineering

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Kanjana Narkprasom

ABSTRACT

This research uses banana blossom (Musa X paradisca flower) to be extracted using micro-encapsulation techniques to increase the encapsulation efficiency of phenolic compounds and antioxidant substances. Three different wall materials were used for spray drying encapsulation combination of maltodextrin with gum arabic (MD+GA), maltodextrin with gelatin (MD+GE) and maltodextrin (MD) at the amount of concentration of the encapsulated substance at 5 percent with the ratio maltodextrin with gum arabic of weight ratios 4:1, maltodextrin with gelatin of weight ratios 4:1 and maltodextrin 5 %w/v. It was found that phenolic compounds extracted powder was 95.56%, 99.05% and 92.44% respectively. Antioxidant efficiency showed that maltodextrin with gum arabic had a higher percentage of inhibition than other samples at 56.28 percent and FRAP assay in the range of 4.70 - 3.42 mgTE/gsample, which showed that there were no statistically significant difference ($p>0.05$). Total phenolic content of banana blossom extract powder is 245.12 mgGAE/gsample. The structure of the microcapsules found that size of banana blossom powder wrapped by maltodextrin with gum arabic and maltodextrin with gelatin. Produced a larger particle size than the banana powder that is wrapped in maltodextrin. Physical characteristics of banana blossom powder including colorimeter, Water Activity, Moisture content and solubility values were not significantly different ($p> 0.05$). The results of storage stability of banana blossom extracted and banana blossom with vitamin C which were stored at 25, 35 and 45 °C for 14 weeks was 136.59, 75.40 and 60.54 weeks, respectively. The stability of total

phenolic is higher than 85% and banana blossom with vitamin C can be stored at 18.75, 14.57 and 9.53 weeks, respectively. The stability of total phenolic is 60%. Development of the process resulting in the physical characteristics of banana extract powder can be further applied in the food industry.

Keywords : Musa X paradisca flower Encapsulation Phenolic compound Antioxidant activity Spray drying

กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงสารสกัดปลีกล้วยโดยใช้เทคนิคเอ็นแคปซูเลชั่น เป็นโครงงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทความตั้งใจ สติปัญญา กำลังกาย และกำลังใจ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา ตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงพร อมรเลิศพิศาล รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นักรบ นาคประสม ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการหางบประมาณมาใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จตุรภัทร วาฤทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงงานวิศวกรรม รวมถึงให้คำปรึกษาและคำแนะนำ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบุรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท พลีพรีม จำกัด และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) สำหรับวัตถุดิบหลักและการสนับสนุนทุนการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดโดยใช้เทคนิคเอ็นแคปซูเลชั่นจนผลิตภัณฑ์เสร็จสมบูรณ์สามารถนำไปใช้ต่อในระดับอุตสาหกรรมได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย ทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือให้การศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคนที่อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุน อุปการะเลี้ยงดูข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุภิญญา สุยะเหล็ก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของโครงงาน 3

ขอบเขตของการทำโครงงาน 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการตรวจเอกสาร 1

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลีกล้วย 1

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปลีกล้วย 1

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) 3

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) 7

1.องค์ประกอบของไมโครแคปซูล 7

2.การจำแนกประเภทของไมโครแคปซูล 8

3.วิธีการผลิตไมโครแคปซูลทางกายภาพ 8

มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin) 9

เจลาติน (Gelatin) 10

กัมอารบิก (Arabic gum) 11
วิตามินซี (Vitamin C) 12
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) 13
1. ทฤษฎีการอบแห้งแบบพ่นฝอย 14
2. หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย 14
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) 17
การอัดยาเม็ดสมุนไพร 19
เครื่องตอกเม็ดยา 21
คุณสมบัติทั่วไป (FEATURES) || เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น SPT-SERIES 22
การวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ 22
1.การวิเคราะห์ค่าสี 22
2.ปริมาณความชื้น 24
3. วอเตอร์แอกติวิตี้ (ปริมาณน้ำอิสระ, a_w) 24
การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) 25
การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัด 29
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) 29
กระบวนการแปรรูปปลีกล้วยในอุตสาหกรรม 30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย 33
วัตถุดิบ 33
สารเคมี 34
วิธีการดำเนินการทดลอง 35
การเตรียมปลีกล้วย 35
ศึกษาการผลิตผงปลีกล้วยสกัดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 35

วิเคราะห์ผงจากปลีกล้วย 36
การวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture content) 37
วิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ (Water activity) 37
การวิเคราะห์ค่าสี 37
การวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) 38
การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ 38
การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 38
การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) 39
การวิเคราะห์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power 39
การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัด 39
การศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระในปลีกล้วยอัดเม็ด 40
การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) 41
การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal 43
การทดสอบความแม่นยำของสมการ 43
การตอกอัดเม็ดยาสมุนไพร (ปลีกล้วยอัดเม็ด) 44
ขั้นตอนการอัดเม็ด 44
การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ด 44
แผนภาพการดำเนินงาน 45
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 46
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ 46
ผลของร้อยละผลผลิตของผงปลีกล้วยสกัด 46
ผลของค่าสีผงปลีกล้วยสกัด 47
ผลของปริมาณความชื้น ค่า a_w และการละลาย ของผงปลีกล้วยสกัด 48
ขนาดและลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วย 49

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงปลีกล้วยสกัด 51
ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ของปลีกล้วยผง 51
ผลของชนิดสารห่อหุ้มเพื่อการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วย 52
ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงปลีกล้วยสกัดต่อคุณสมบัติทั่วไปทางเคมีและกายภาพ 53
ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสีของผงปลีกล้วยสกัด 53
ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผงปลีกล้วยสกัด 55
ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 56
ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาปลีกล้วยผงในสภาวะเร่งโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ 57
ผลการออกแบบการทดลองแบบการหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture design) 60
ค่าความแข็งของปลีกล้วยอัดเม็ด (hardness) 61
ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของปลีกล้วยอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทั่วไปทางเคมีและกายภาพ 64
ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสีของปลีกล้วยอัดเม็ด 64
ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ผงปลีกล้วยอัดเม็ด 66
ผลของความคงตัวของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี 67
ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีในสภาวะเร่งโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ 67
การเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี 70
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 71
สรุปผลการทดลอง 71
บรรณานุกรม 75

ประวัติผู้วิจัย..... 79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นของสารห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 36

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับในการวางแผนการทดลอง 41

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal ของผงปลีกล้วยอัดเม็ด 42

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผงปลีกล้วยสกัด 47

ตารางที่ 5 ค่าสีของผงปลีกล้วยสกัด 47

ตารางที่ 6 ผลของปริมาณความชื้น ค่า a_w และการละลาย ของปลีกล้วยผง 49

ตารางที่ 7 ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ของปลีกล้วยผง 52

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของสารห่อหุ้มในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากปลีกล้วยผง . 53

ตารางที่ 9 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี L*ของผงปลีกล้วยสกัด 54

ตารางที่ 10 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี a* ของผงปลีกล้วยสกัด 54

ตารางที่ 11 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี b* ของผงปลีกล้วยสกัด 55

ตารางที่ 12 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผงปลีกล้วยสกัด 56

ตารางที่ 13 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 57

ตารางที่ 14 ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์ของผงปลีกล้วยสกัดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส 59

ตารางที่ 15 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal ของผงปลีกล้วยอัดเม็ด 61

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการถดถอยของค่าความแข็ง (Hardness) 62

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการถดถอยของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory)... 63

ตารางที่ 18 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี L* ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี..... 64

ตารางที่ 19 ผงของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี a* ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี 65

ตารางที่ 20 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี b*ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี..... 65

ตารางที่ 21 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี66

ตารางที่ 22 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี 67

ตารางที่ 23 อิทธิพลจลนพลศาสตร์ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส 69

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปลีกล้วย 2

ภาพที่ 2 โครงสร้างของแอนโธไซยานิดิน 3

ภาพที่ 3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging 4

ภาพที่ 4 ไมโครแคปซูลแบ่งประเภทตามลักษณะของสารแกนกลาง ก. ไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดียว ข.ไมโครแคปซูลแบบหลายแกนกลาง (หมายเลข 1คือแกนกลาง และหมายเลข 2 คือผนังห่อหุ้ม) 8

ภาพที่ 5 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น SDE 50 13

ภาพที่ 6 หัวฉีดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (แบบหมุน, แบบแรงดัน, แบบสองของไหล) 15

ภาพที่ 7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) 17

ภาพที่ 8 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM 19

ภาพที่ 9 เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น SPT-SERIES 21

ภาพที่ 10 ตัวอย่างเม็ดตัวอย่างที่ผ่านการทดลองอัดเม็ด 22

ภาพที่ 11 การบรรยายสีในระบบ CIE LAB มองในระนาบ 2 มิติ 23

ภาพที่ 12 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป 3 มิติ 23

ภาพที่ 13 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (พงษ์ศิริกุล, 2002) 27

ภาพที่ 14 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส ที่มี 3 ตัวแปรแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และ 3 ระดับ (ไม่รวม 0) (พงษ์ศิริกุล, 2002) 27

ภาพที่ 15 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid) (พงษ์ศิริกุล, 2002) 27

ภาพที่ 16 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial) 28

ภาพที่ 17 การเตรียมปลีกล้วย 35

ภาพที่ 18 ปลีกล้วยอัดเม็ด 44

ภาพที่ 20 ปลีกล้วยผง โดยศึกษาการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด 1)มอลโตเด็กตรินซ์ 2)มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก 3)มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน ตามลำดับ 48

ภาพที่ 21 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ด้วยกำลังขยาย 1000 50

ภาพที่ 22 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกด้วยกำลังขยาย 1000 50

ภาพที่ 23 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินด้วยกำลังขยาย 1000 50

ภาพที่ 24 แสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ข) และปฏิกิริยาอันดับสอง (ค) เมื่อเก็บปลีกล้วยผงที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส 58

ภาพที่ 25 แสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ข) และปฏิกิริยาอันดับสอง (ค) เมื่อเก็บปลีกล้วยอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส 68

ภาพที่ 26 ผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี 70

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำนมแม่ถือเป็นอาหารที่สำคัญของเด็กแรกเกิด มารดาสามารถเลี้ยงลูกด้วยนมแม่อย่างเดียวนานอย่างน้อย 6 เดือน โดยไม่ได้รับน้ำหรืออาหารเสริมใด ๆ ประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมให้มารดาเลี้ยงลูกด้วยนมแม่อย่างต่อเนื่อง แต่อัตราการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่อย่างเดียวนาน 6 เดือนเท่ากับร้อยละ 35 ซึ่งยังต่ำกว่าเป้าหมาย อาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้การส่งเสริมการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆที่มีอิทธิพลต่อการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ระยะหลังคลอด เพื่อส่งเสริมให้มารดาสามารถเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ได้อย่างมีคุณภาพ (พรณิศา และวรรณดา, 2559) ในสมัยนี้มีผลิตภัณฑ์มากมายในตลาดที่ช่วยให้คุณแม่มีน้ำนมเพิ่มมากขึ้นที่สามารถสกัดได้จากสารสกัดธรรมชาติจากสมุนไพรไทยหลายชนิดที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ปลีกล้วยเป็นอาหารบำรุงน้ำนมของมารดาหลังคลอดและมีสรรพคุณบำรุงเลือด ดังนั้นในปัจจุบันจึงเลือกให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากสมุนไพรพื้นบ้าน

ปลีกล้วยเป็นส่วนดอกของกล้วยที่ยังมีกาบหุ้มอยู่หัวปลีมีแคลอรี่น้อยกว่า 6 เท่าของผลกล้วยสุก แต่มีคุณค่าทางโภชนาการอื่นใกล้เคียงหรือสูงกว่ากล้วยสด ให้แคลเซียมสูงกว่ากล้วย 4 เท่า (พิมพ์เพ็ญ, เอกสารออนไลน์) มีสรรพคุณในการใช้เป็นยาหรือสมุนไพร จากภูมิปัญญาพื้นบ้านของไทยพบว่ามีการนำปลีหรือช่อดอกของต้นกล้วยมาเป็นอาหารบำรุงน้ำนมของมารดาหลังคลอดและในระหว่างการให้นมบุตร โดยนำปลีมาปรุงเป็นอาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แกงปลี ส้าปลี แกงเลียง เป็นต้น ด้านคุณค่าทางอาหารพบว่าปลีมีธาตุเหล็กที่มีคุณสมบัติในการบำรุงเลือด เนื่องจากมารดามีการสูญเสียเลือดระหว่างการคลอด (ดวงพร และคณะ, 2559) นอกจากนั้นปลีกล้วยยังมีสารสำคัญอีกมากมาย ที่สามารถช่วยให้คุณแม่มีน้ำนมเพิ่มมากขึ้นในการเลี้ยงลูก

สารสำคัญที่พบอยู่ในปลีกล้วย เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก คะเทชิน ฟาโวนอยด์แอซิด เป็นต้น นอกจากนี้ ปลียังมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิก เช่น แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Azizah Mahmood และคณะ, 2011)มีสารที่ช่วยในให้น้ำนมเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ปลีกล้วยยังมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกเช่นแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันอยู่ในช่วง 20-1000 มิลลิกรัม โดยสารต้านอนุมูลอิสระช่วยลดการการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถป้องกันโรค

โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด มะเร็ง และยังเป็นสมุนไพรบำรุงร่างกาย และเพื่อให้ปลีกล้วยทานได้งานขึ้นและคงสารสำคัญต่างๆ จึงนำปลีกล้วยมาสกัดและเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันโดยการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตปลีกล้วยผงทำให้ง่ายต่อการรับประทาน ทำให้น้ำหนักเบาขึ้น สามารถรักษาสารสำคัญ ยืดอายุการเก็บรักษาของปลีกล้วย

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) คือกระบวนการห่อหุ้มสารบางชนิด (วิตามิน ยารักษาโรค สารต้านอนุมูลอิสระ) ด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของ แคปซูลชั้นบาง ๆ ขนาดเล็ก เรียกว่า ไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ไมครอน เพื่อประโยชน์ในการคงตัวของสารตลอดการใช้งาน การห่อหุ้มสารที่มีความไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ไวต่อแสง อุณหภูมิ และความเป็นกรดด่าง เป็นต้น ไมโครเอนแคปซูเลชันจะทำให้สารดังกล่าวมีความคงตัวดีขึ้นและเก็บรักษาได้ยาวนาน กระบวนการดังกล่าวยังช่วยป้องกันสารที่ระเหยง่าย นอกจากนั้นการนำสารที่เป็นของเหลวมาอยู่ในไมโครแคปซูลอาจช่วยลดการทำปฏิกิริยาของสารผสม สะดวกต่อการนำไปใช้งาน รวมทั้งสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารไปสู่บริเวณที่ต้องการในเวลาที่เหมาะสมได้จึงมีประโยชน์ช่วยลดความสิ้นเปลืองในการใช้สาร (บัณฑิต และคณะ, 2557) ดังนั้นหลังจากการสกัดสารสำคัญในปลีกล้วยจะได้น้ำสกัดปลีกล้วยเข้มข้นหลังจากนั้นนำมาเติมสารที่มีหน้าที่ช่วยห่อหุ้มสารสำคัญในปลีกล้วยและเข้าสู่กระบวนการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำให้สารสำคัญในปลีกล้วยถูกห่อหุ้มและมีความคงตัว

การอัดเม็ดชนิดตอกอัดครั้งเดียว (Compressed Tablets) เป็นรูปแบบยาชนิดของแข็ง (Solid dosage form) ซึ่งประกอบด้วยตัวและส่วนประกอบอื่น ๆ หลายชนิดตามอัตราส่วนที่เหมาะสม นำมาตอกอัดเป็นเม็ด สามารถเตรียมได้จากส่วนผสมจากอนุภาคของผงที่พอดีนำมาตอกอัดรวมกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากปลีกล้วยเพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัดสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันและหาสูตรที่เหมาะสมของสารสกัดผงปลีกล้วยอัดเม็ดสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์และเพื่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์สารสกัดปลีกล้วยผง

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อพัฒนาการผลิตสารสกัดปลีกล้วยผงโดยใช้เทคนิคไมโครเอ็นแคปซูเลชั่น โดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยศึกษาชนิดสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสำคัญในปลีกล้วยผง คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วยผง

2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture Design) ของการอัดเม็ดปลีกล้วยผง ศึกษาจลนพลศาสตร์ความคงตัวของการอัดเม็ด คุณสมบัติทางเคมีคุณสมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ด

3. เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยมาแปรรูปในการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรจนเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภค

ขอบเขตของการทำโครงงาน

1. การเตรียมน้ำปลีสกัดเข้มข้นโดยใช้ปลีกล้วยพันธุ์กล้วยน้ำว้า *(Musa x paradisiacal)* ที่มีแหล่งปลูกจากอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีระยะการเก็บปลีกล้วยเมื่อกล้วยหวีสุดท้ายติดผลแล้วจึงตัดปลีกล้วยทันทีนำมาวางทิ้งไว้ 1 คืน และทำการสกัดตามวิธีการสกัดปลีกล้วยเข้มข้นที่ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด

2. การศึกษาการผลิตผงปลีกล้วยสกัดโดยเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยการการอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ศึกษาชนิดของสารห่อหุ้ม 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน มอลโตเดกซ์ตรินผสมเจลลาตริน และมอลโตเดกซ์ตรินผสมกัมอาราบริก (Akhavan Mahdavi และคณะ, 2016) และนำไปตรวจวิเคราะห์สารดังกล่าวโดยการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent (Qarah และคณะ, 2017) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยมได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•), การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) และประสิทธิ์ภาพการกักเก็บสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยผงด้วยวิธีของ (พุฒิยา และคณะ, 2560)โดยใช้เครื่องวัดดูดกลืนแสงสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ค่าน้ำอิสระ ค่าสี และอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยผง

3. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม (Mixture Design) ของการอัดเม็ดผงปลีกล้วยสกัดนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ความแข็ง ค่าน้ำอิสระ ค่าสี และอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ด การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ โดยทำการพิจารณาในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ โดยสุ่มผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ใช้ประเมินแบบให้คะแนนโดยวิธี 5 point hedonic scale ซึ่งมีการให้คะแนนต่ำสุด คือ 1 คะแนน และคะแนนสูงสุด คือ 5 คะแนน (1คะแนน=ไม่ชอบมาก, 2 คะแนน=ไม่ชอบ, 3 คะแนน= เฉยๆ, 4 คะแนน=ชอบ, 5 คะแนน= ชอบมาก) และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการเทคนิคการสกัดปลีกล้วยผง การกักเก็บสารสำคัญและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของการผลิตปลีกล้วยผงโดยเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยการการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture Design) ของการอัดเม็ดปลีกล้วยผง

3. ได้ผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยที่มีมูลค่าสูงในรูปแบบใหม่คือ ผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการตรวจเอกสาร

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลีกล้วย

ปลีกล้วยเป็นพืชสมุนไพรที่อยู่ในวงศ์ Musaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa x paradisiacal* flower จัดได้ว่าเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง พืชล้มลุก ลำต้นใต้ดินอวบน้ำ สูงประมาณ 2-5 เมตร ใบเป็นใบเดี่ยว การเกาะติดของใบบนลำต้นแบบเวียนถี่ชิดอัดแน่นที่ลำต้น ใบรูปขอบขนาน ขนาดใหญ่ประมาณ 40x200 เซนติเมตร ปลายและโคนใบมน ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบ ผิวใบด้านบนสีเขียวเข้มด้านใต้สีอ่อนกว่าและมีสิ่งเกาะติดคล้ายผงแป้งสีขาว ก้านใบ แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเกาะติดกับลำต้นมีลักษณะแบนโค้งอวบน้ำสีเขียวบนน้ำตาลแดง (ส่วนนี้เห็นคล้ายลำต้น) ส่วนที่สองทรงกลมส่วนกลางเป็นร่องโค้งลึกตามทรงก้านสีเขียวอ่อนยาวเรียวไปจน สุดปลายแผ่นใบ ดอกออกเป็นช่อ ที่ปลายยอดปลายช่อโค้งห้อยลง มีกาบประดับขนาดใหญ่ที่โคนกลุ่มดอกย่อยทุก ๆ กลุ่ม กาบมีเนื้อหนาสีแดงเข้ม เมื่อรังไข่เจริญเป็นผลกาบประดับจะหลุดร่วงไป ผลเป็นผลสด รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร เมล็ดเป็นทรงกลมสีดำผิวเป็นคลื่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.50 เซนติเมตร เมื่อปลูกกล้วยไปประมาณ 6-8 เดือน กล้วยจะมีลำต้นขนาดใหญ่พร้อมที่จะออกปลี(ดอก)และหลังจากนั้นกล้วยก็จะแทงปลีออกมาก กล้วยจะออกปลีและเครือกล้วยเมื่ออายุ 8-18 เดือน เมื่อกล้วยหวีสุดท้ายติดผลแล้วจึงควรตัดปลีทันที (เต็ม, 2544)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปลีกล้วย

ปลีกล้วย เป็นส่วนดอกของกล้วยที่ยังมีกาบหุ้มอยู่ จะเจริญเติบโตต่อไปเป็นผลกล้วย
ชื่อท้องถิ่น : หัวปลี หรือ ปลีกล้วย
ชื่อสามัญ : banana blossom
ชื่อวงศ์ : Musaceae
ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa x paradisiacal* flower
การขยายพันธุ์ : ใช้หัว เหง้า หน่อ
สรรพคุณ : สำหรับหญิงให้นมบุตร จะมีคุณสมบัติช่วยขับน้ำนม ฝาดรสมัน บำรุงน้ำนม ป้องกันโรคลำไส้ ลดน้ำตาลในเลือด

ภาพที่ 1 ปลีกล้วย
ที่มา : (อายุรวัฒน์เวชศาสตร์, 2559)

สารประกอบในปลีกล้วย

ปลีกล้วยหรือดอกกล้วยมีสรรพคุณในการเพิ่มน้ำนมแม่หลังคลอด สารเคมีที่พบ เช่น serotonin, noradrenalin, dopamine, dopa, cinnamic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, protocatechuic acid, caffeic acid, gallic acid, beta-sitosterol, stigmasterol, campesterol, cyclomusalenol เป็นต้น (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2552)

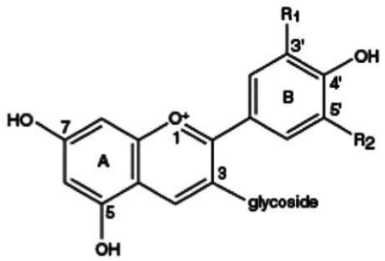
1. สารสำคัญที่พบในปลีกล้วย

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบในพืช ทั้งในดอกและในผล ให้สีแดง น้ำเงิน ม่วง ละลายน้ำได้ดี ปัจจุบันนี้แอนโทไซยานินจัดเป็นรงควัตถุที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอันมาก เนื่องจากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และจากการที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระทำให้แอนโทไซยานินมีบทบาทต่อการป้องการการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น Ghiselle และคณะ รายงานถึงประสิทธิภาพของแอนโทไซยานินในไวน์แดงมีประสิทธิภาพในการกำจัด Reactive oxygen species และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน (Lipoprotein) และการตกตะกอนของเกล็ดเลือด

ชนิดที่ 2 คือ น้ำตาล ซึ่งน้ำตาลจะเกิดพันธะกับคาร์บอน ตำแหน่งที่ 3 หรือตำแหน่งที่ 3 และ 5 โดยน้ำตาลที่เกิดพันธะได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส (Glucose) น้ำตาลกาแลคโตส (Galactose) น้ำตาลรูติโนส (Rutinose) น้ำตาลแรมโนส (Rhamnose) เป็นต้น

และชนิดที่ 3 คือ กรด ซึ่งส่วนนี้อาจมีหรือไม่มี ถ้าแอนโทไซยานินมีกรดเป็นองค์ประกอบ จะเรียกว่า นอนอะซิเลตเทต แอนโทไซยานิน (Non acylated anthocyanin) แต่ถ้าไม่มีกรดเป็นโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วย สารประกอบ 2 หรือ 3 ชนิด ได้แก่

ชนิดที่ 1 คือ แอนโทไซยานิดิน หรืออะไกลโคน(Aglycone) โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิดินนั้นประกอบด้วย คาร์บอน 6 อะตอม คาร์บอน 3 อะตอม คาร์บอน 6 อะตอม (C-6-C-3-C-6) เชื่อมต่อกันดังภาพที่ 2.2 แอนโทไซยานิดินที่พบมากในปัจจุบันจะมีอยู่ 6 ชนิด คือ เพลาโกนิดิน (Pelargonidin) ไซยานิดิน(Cyanidin) เดลฟินิดิน (Delphinidin) พีโอนิดิน(Peonidin) เพทุนิดิน (Petunidin) และมอลวิดิน(Malvidin) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงตำแหน่ง 3′ หรือ 5′ ว่ามี หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) หรือเมธอกซิล(Methoxyl)



Anthocyanidins	ตำแหน่ง R1	ตำแหน่ง R2
Pelargonidin	H	H
Cyanidin	H	OH
Delphinidin	OH	OH
Peonidin	OCH_3	H
Petunidin	OCH_3	OH
Malvidin	OCH_3	OCH_3

ภาพที่ 2 โครงสร้างของแอนโธไซยานิดิน
ที่มา :(อรุษา, 2554)

องค์ประกอบจะเรียกว่า อะซิเลตเทต แอนโทไซยานิน(Acylated anthocyanin) โดยกรดจะเกิดการเอสเทอริฟิเคชั่น(Esterification) กับน้ำตาลที่จับกับ Carbon ตำแหน่งที่ 3 และหรือตำแหน่งที่ 5 กรดที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาล เช่น กรดคูมาริก(Coumaric acid) กรดเฟอร์รูริก (Ferulic acid) กรดคาร์แฟอิก(Caffeic acid) เป็นต้น ซึ่งการเกิดเอซิเลชั่น (Acylation) ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะทำให้ตัวแอนโทไซยานินชนิดนั้นมีความคงตัวดีขึ้น (อรุษา เชาวนลิขิต, 2554)

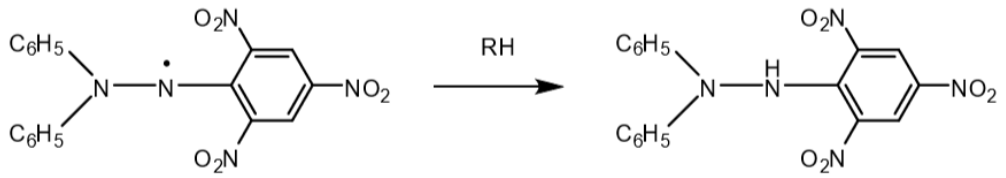
สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

สารอนุมูลอิสระ (Free radicals) หรือ Reactive Oxygen Species (ROS) เป็นโมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จัดเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ ภายในร่างกายเพื่อให้ตัวมันเสถียร แหล่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระในตัวคน มี 2 แหล่ง คือ จากภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหาร

การหายใจการออกกำลังกายและจากแหล่งภายนอกร่างกายที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ ความเครียด การติดเชื้อ มลพิษในอากาศ เป็นต้น อนุมูลอิสระมีหลายชนิด ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ไฮดรอกซิลแรดดิเคิล (Hydroxyl radical) เมื่อมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น จึงเกิดการทำลายโมเลกุลอื่น ๆ ต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ส่งผลให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อร่างกาย เกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นบนใบหน้า รอบดวงตา และผิวพรรณ รวมทั้งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจขาดเลือด ต้อกระจก ความดันโลหิตสูง อัลไซเมอร์ เบาหวาน และมะเร็ง เป็นต้น ปกติภายในร่างกาย มีกลไกป้องกันการโจมตีจากอนุมูลอิสระ โดยอาศัยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระที่สร้างขึ้นในร่างกาย เช่น เอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD), Catalase และ Glutathione peroxidase เป็นต้น แต่การสร้างสารต้านอนุมูลอิสระยังไม่เพียงพอและมีขีดจำกัด ประกอบกับเมื่ออายุมากขึ้น ร่างกายจะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระได้น้อยลง ดังนั้นร่างกายจึงควรรับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกด้วยเช่นกัน (นงลักษณ์, 2559)

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidants) ที่รู้จักกันดี ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี ซีลีเนียม เบต้าแคโรทีน วิตามินเอ และพฤกษเคมีต่างๆ (Phytochemical) เช่น โพลีฟีนอล (Polyphenol) และไอโซฟลาโวน (Isoflavone) เป็นต้น ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเภสัชภัณฑ์ และส่วนประกอบอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สารกันบูดในอาหาร และเครื่องสำอางอีกด้วย

สำหรับวิธีการทดสอบที่นิยมใช้เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนั้น จะเรียกว่า วิธี DPPH (DPPH radical scavenging assay) โดย DPPH คือ อนุภาคอิสระที่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่นจะทำให้สารดังกล่าวไม่เป็นอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging
ที่มา : (นงลักษณ์, 2559)

ดังนั้นความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรที่อยู่ในสารละลาย (นิยมใช้ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระมาก เพราะใช้งานง่าย) โดยในการทดสอบนี้จะให้ DPPH (มีสีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จะแปรผันกับความเข้มข้นของ DPPH ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (นงลักษณ์, 2559)

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มสารที่พบมากในพืช มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลต และป้องกันการสร้างสารก่อมะเร็งสารกลุ่มนี้ถูกจำแนกตามโครงสร้างทางเคมีออกเป็นกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม ซึ่งสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นหนึ่งในกลุ่มย่อยเหล่านี้ที่มีการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารยา และเครื่องสำอางกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สารประกอบฟีนอลิก คือ สารที่มีสูตรโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) บนวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไป สารในกลุ่มนี้จึงมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี พบได้ในพืช ผัก และผลไม้ทั่วไป (นงลักษณ์, 2559) อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. ฟีนอลทั่วไป กรดฟีนอลิก และอนุพันธ์ เช่น Gallic acid, Ellagic acid, Tannic acid, Vanillin, Catechol, Resorcinol และ Salicylic acid เป็นต้น สารกลุ่มนี้พบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น Raspberry และ Blackberry

2. ฟีนิลโพรพานอยด์ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกที่วงแหวนอะโรมาติก มีสายโซ่คาร์บอน 3 คาร์บอนเกาะอยู่ แยกย่อยออกได้หลายกลุ่ม ได้แก่ Hydroxycinnamic acid (Ferulic acid, Caffeic acid หรือ Coumaric acid), Coumarins (Umbelliferone, Scopoletin, Aesculetin หรือ Psoralen), Lignans (Pinoresinol, Eugenol หรือ Myristicin) พบได้ในแอปเปิ้ล แพร์ และกาแฟ

3. ฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มสำคัญของสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ สารที่มีสูตรโครงสร้างเป็น C6-C3-C6 แยกย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ Catechins, Proanthocyanins, Anthocyanidines, Flavones, Flavovols, Flavonones และ Isoflavones จากการที่พบ Flavonoid ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งพืช ผัก ผลไม้ รวมทั้งเครื่องดื่มที่เตรียมมาจากพืช เช่น ชาพบว่าในใบชาจะมี Catechins อยู่ถึงร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง และเชื่อว่าเป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและ Chemoprevention โดย Anthocyanins เป็นสารที่มีสีในพืช ส่วนกลุ่ม Flavones, Flavonols และ Isoflavones จะพบได้ทั่วไปและเชื่อว่าเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลิกในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันไป ในปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วมากกว่า 8000 ชนิด ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (Lignins) โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OHgroup) โดยน้ำตาลดังกล่าว อาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharides) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ กลูโคส (Glucose) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟินอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (Organic acids) อะมีน (Amines) และไขมัน ในปัจจุบันสารประกอบฟีนอลิกได้รับความสนใจในฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidation) และฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ (Antimutagenic activity) ที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (Free radicals) และการใช้สารประกอบฟีนอลิกในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO^{\bullet} + PHH \longrightarrow ROOH + PP^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet} + PHH \longrightarrow ROH + PP^{\bullet}$$

เมื่อ $ROO^{\bullet}$, $RO^{\bullet}$ คือ Free radicals, PPH คือ Polyphenolic Compounds

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยาอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้ด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเหล่านั้นลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง 2 เท่า ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROOPP$$

$$RO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROPP$$

สารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย ข้าว และงา) ผล (ได้แก่ องุ่น ส้ม และพริกไทยดา) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) ดอก (ได้แก่ กล้วยไม้) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) สารประกอบฟีนอลิกที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ Flavonoids และ Cinnamic acid derivatives โดย

สามารถพบได้ในเกือบทุกส่วนของพืช แต่จะมีความแตกต่างกันในด้านของชนิดและปริมาณ (นงลักษณ์, 2559)

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) คือกระบวนการห่อหุ้มสารบางชนิด เช่น วิตามิน ยารักษาโรค สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น ด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของแคปซูลชั้นบางๆ ขนาดเล็ก เรียกว่า ไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ไมครอน เพื่อประโยชน์ในการคงตัวของสารตลอดการใช้งาน การห่อหุ้มสารที่มีความไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ไวต่อแสง อุณหภูมิและความเป็นกรดด่าง เป็นต้น จะทำให้สารดังกล่าวมีความคงตัวดีขึ้นและเก็บรักษาได้ยาวนาน กระบวนการดังกล่าวยังช่วยป้องกันสารที่ระเหยง่าย นอกจากนั้นการนำสารที่เป็นของเหลวมาอยู่ในไมโครแคปซูลอาจช่วยลดการทำปฏิกิริยาของสารผสม สะดวกต่อการนำไปใช้งาน รวมทั้งสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารไปสู่บริเวณที่ต้องการในเวลาที่เหมาะสมได้จึงมีประโยชน์ช่วยลดความสิ้นเปลืองในการใช้สารเนื่องจากเทคนิคนี้มีข้อดีดังที่กล่าวข้างต้น การทำไมโครแคปซูลจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายชนิด เช่น รักษารสชาติของอาหารจำพวกหมากฝรั่ง ทำให้มีรสชาติได้ยาวนาน รักษาวิตามินหลายชนิดที่มีความไวต่อออกซิเจนและแสงสว่างมิให้สูญเสียไปในระหว่างปรุงอาหาร โดยใช้กัมอารบิก (gum Arabic) อัลจิเนต (alginates) และโปรตีนจากผักเป็นสารห่อหุ้มเนื่องจากราคาไม่แพง (บัณฑิต และคณะ, 2557)

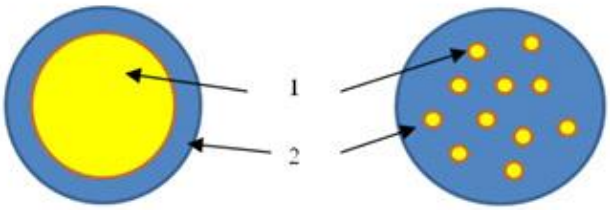
1.องค์ประกอบของไมโครแคปซูล

โครงสร้างของไมโครแคปซูล ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ สารที่ถูกห่อหุ้ม และสารที่ใช้ห่อหุ้ม สารที่ถูกห่อหุ้มมักเป็นของเหลวหรือของแข็ง5 เรียกว่า แกนกลาง (core หรือactive หรือ load หรือ internal phase) เช่น วิตามินต่างๆเกลือแร่ ยารักษาโรค ยาฆ่าแมลง ส่วนสารที่เป็นตัวห่อหุ้ม มักมีผนังบางๆ เรียกว่า สารห่อหุ้ม (shell หรือ wall หรือ carrier หรือ coating material) ซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดให้ไมโครแคปซูลมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ตัวอย่างของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้ เช่น กัมอา-รบิก โปรตีนไฮโดรไลเสท (protein hydrolysate) ถั่วเหลืองที่อยู่ในรูปละลายน้ำ (soluble soybean)คาราจีแนน (carrageenan) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids)พอลิไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone) เป็นต้น สารห่อหุ้มที่ดีควรมีคุณสมบัติที่สามารถแผ่เป็นฟิล์มบาง ๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsion) ยึดติดกับสารแกนกลางได้ดีโดยไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกนกลาง รวมทั้งต้องมีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นของแข็ง และไม่ชื้นง่ายการทำไมโครแคปซูลต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการที่มีบทบาทต่อคุณสมบัติของไมโครแคปซูลนั้น ปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้น ๆ คือ การเลือกชนิดของสารห่อหุ้ม และกลไกในการ

ปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้ม โดยกลไกดังกล่าวนี้มักขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความดัน และชนิดของ เอนไซม์ เป็นต้น

2.การจำแนกประเภทของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูลมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารแกนกลาง สารห่อหุ้มที่ใช้ และวิธีการผลิต โดยทั่วไปมักจำแนกประเภทของไมโครแคปซูลตามลักษณะของสารแกนกลาง เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ไมโครแคปซูลที่แกนกลางทั้งหมดถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม เรียกว่า ไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดียว (mononuclear core) และไมโครแคปซูลที่แกนกลางเล็กๆ จำนวนมากถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มเรียกว่า ไมโครแคปซูลแบบหลายแกนกลาง (multinuclear core) ซึ่งนิยมใช้ในกระบวนการผลิตยา เพราะสามารถค่อย ๆ ปลดปล่อยสารแกนกลางได้ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดียว



ภาพที่ 4 ไมโครแคปซูลแบ่งประเภทตามลักษณะของสารแกนกลาง ก. ไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดียว ข.ไมโครแคปซูลแบบหลายแกนกลาง (หมายเลข 1คือแกนกลาง และหมายเลข 2 คือผนังห่อหุ้ม)

ที่มา :(บัณฑิต และคณะ, 2557)

3.วิธีการผลิตไมโครแคปซูลทางกายภาพ

นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตครั้งละมาก ๆ ซึ่งต้องใช้เครื่องมือในการผลิตตัวอย่างที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น spray dryingเป็นวิธีการผลิตไมโครแคปซูลด้วยเครื่อง spray dryerโดยต้องทำการผสมอนุภาคแกนกลางซึ่งมักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำกับสารละลายผนังห่อหุ้ม และฉีดผ่านหัวพ่น (atomizer)โดยมีลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 100-160องศาเซียลเซส ร่วมด้วย ทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กขนาดประมาณ 10-150 ไมครอนซึ่งนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร การผลิตยารักษาโรค เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น ๆ ยังมีวิธีการผลิตไมโครแคปซูเลชันที่คล้ายวิธี spray drying แต่จะต้องฉีดอนุภาคแกนกลางผ่านหัวพ่นและผ่านลมเย็นวิธีนี้เรียกว่า spray chilling ซึ่งสารที่จะนำมาเคลือบนั้น จะต้องเป็นสารที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไข (wax) กรดไขมัน (fatty acids) และสารพอลิเมอร์ นิยมใช้วิธีนี้ในอุตสาหกรรมอาหาร

มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน คือคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (Starch) และผ่านการไฮโดรลิซิสบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ผลิตโดยการย่อยแป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง หรือแป้งชนิดอื่นบางชนิด มอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวไม่มีรส หรือมีรสหวานเล็กน้อยสามารถละลายในน้ำได้ดี ดูดความชื้นน้อยเพราะมีปริมาณโมโนแซคคาไรด์น้อย ผงมอลโตเด็กซ์ตรินจะไม่เกาะติดกัน มีความหนืดต่ำและละลายน้ำได้ง่าย

มอลโตเด็กซ์ตรินมีค่า Dextrose Equivalent (DE) น้อยกว่า 20 ประกอบด้วย (1⟶4 และ 1⟶6) - α-D-glucopyranose-linked residues (Nickerson et al., 2006) ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (DE) หรือดัชนีชี้วัดเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในมอลโตเด็กซ์ตริน ซึ่งค่า DE วัดจากปริมาณของเอนไซม์อะไมเลสที่มีการเติมลงไปสำหรับการย่อยแป้ง โดยหากสามารถทำการย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส 100% ก็จะมีค่า DE อยู่ที่ 100 ดังนั้นค่า DE ที่สูงจึงมีความหวานมากกว่าค่า DE ที่ต่ำ มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DEแตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถ ในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็งและความหนืด มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE เหมือนกันอาจจะมีสมบัติต่างกันก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิส แหล่งของสตาร์ช (ข้าวโพด มัน ฝรั่ง ข้าว) และอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน (Klinkesorn et al., 2004) การเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในสารละลายก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะช่วยลดการเหนียวติดพื้นผิวของเครื่องมือหรือเกาะกันเป็นก้อนกลม ดังนั้นมอลโตเด็กซ์ตริน จึงมักใช้เป็นตัวช่วยในการทำให้แห้ง นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังเป็น Wall material ที่กักเก็บและป้องกันสารที่มีความไวต่อความร้อน (Onwulata, 2005) การเติมมอลโตเด็กซ์ตรินลงไปในน้ำปลีก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้สามารถลดความเหนียวลงได้

มอลโตเด็กซ์ตริน มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{12}O_6)\cdot H_2O$ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucose หลายๆ หน่วยเชื่อมต่อกัน เตรียมได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดร ไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (Glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกกรองและทำให้แห้งหรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโตเด็กซ์ตรินสตาร์ชที่นำมาใช้ได้แก่สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะ มีค่า DE อยู่ในช่วง 5-19 มอลโตเด็กซ์ตรินอาจอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาวไม่มีกลิ่นไม่มีรสหวานหรือหวานเล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกายมีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 ความหนาแน่น (Bulk density) อยู่ในช่วง 0.31-0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถใช้มอลโตเด็กซ์ตรินได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และหน้าที่ของมอลโตเด็กซ์ตรินในอาหารชนิดนั้นๆ สามารถละลายได้

ในน้ำที่อุณหภูมิห้องสารละลายที่ได้อาจจะใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดของมอลโตเด็กซ์ตรินที่นำมาใช้งาน สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (Body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน การเติมมอลโตเด็กซ์ตรินจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีช้าลง มีความสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ต่ำ (Lowhygroscopicity) จึงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง โดยเฉพาะมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE ต่ำๆมีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดีทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลง การใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีสมบัติที่ดีหลายประการ สามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลวจึงมีการนำมาใช้ในอาหารประเภทต่างๆ เช่น ซุป นม น้ำผลไม้ เป็นต้น หรืออาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายน้ำก่อน นิยมใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส รักษาความชุ่มชื้น และยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ราคาถูก และหาซื้อได้ง่าย มีราคาต่ำกว่าสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลายๆ ตัว และยังสามารถใช้ร่วมกับสารอื่นๆได้ (หนูเดือน และคณะ, 2557)

การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในผลิตภัณฑ์อาหารมอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างกว้างขวาง สำหรับเป็นสารเติมแต่งในอาหาร (Food Additive) เพราะจัดว่าเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้แบบเดียวกันกับน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานประเภทต่าง ๆในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน อาหารไขมันต่ำ ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเพื่อเพิ่มเนื้อ (bulking agent) เช่น เพิ่มเนื้อในการทำแห้ง (dehydration) อาหารแห้ง ประเภท อาหารผง เครื่องดื่มผง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย spray drier หรือ drum drier ประเภทอาหารผง เช่น เครื่องดื่มผง เครื่องปรุงรสชนิดผง

เจลาติน (Gelatin)

เจลาตินเป็นของแข็งโปร่งแสง ไม่มีสี เปราะ และแทบไม่มีรสชาติ ได้มาจากการแปรรูปคอลลาเจน (collagen) ที่มีอยู่ในผิวหนัง กระดูก รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาทำการผลิต เจลาตินจัดอยู่ในกลุ่มอาหาร มี E number คือ E441 มีการนำเจลาตินมาใช้ในการเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องสำอาง ยา อาหาร และฟิล์มถ่ายรูป โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมอาหารซึ่งเป็นตลาดที่ใหญ่ที่สุดของเจลาตินโดยเจลาตินส่วนนี้เรียกว่า edible gelatin ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น ขนมหวาน ไอศกรีม โยเกิร์ต เป็นต้น ตลาดที่ใหญ่รองลงมาคืออุตสาหกรรมการผลิตยาโดยใช้เจลาตินในการเคลือบเม็ดยาและผลิตเป็นแคปซูลทั้งชนิดแคปซูลแข็งและแคปซูลนิ่ม (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2559)

เจลาติน (E441) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เมื่อนำผงเจลาตินผสมในน้ำและให้ความร้อน จะเป็นของเหลวหนืด เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นของเหลวจะกลายเป็นเจล (gel) ใช้ผสมในอาหารได้หลายวัตถุประสงค์ดังนี้ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2012)

1. ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) ที่คืนตัวเป็นของเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน (thermos reversible gel)

2. ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้น้ำกับไขมันรวมตัวกันได้ดี ไม่แยกชั้น

3. ใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ใช้ในอาหารที่มีไขมันต่ำ

4. ใช้สำหรับการจับและเก็บรักษากลิ่นรส (flavor encapsulation)

5. ใช้เคลือบผิว แฮม ขนมเค้ก เพื่อรักษาความชุ่มชื้นคุณค่าทางโภชนาการเจลาตินมีปริมาณแคลอรี่ต่ำเพียง 3.5 kcal/g เท่านั้น เจลาตินเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีกรดแอมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ชนิดทริพโตเฟน (tryptophan) และเมไทโอนิน (methionine) ในปริมาณจำกัด เพราะฉะนั้นเจลาตินจึงไม่ใช่แหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี ควรรับประทานควบคู่กับโปรตีนชนิดอื่นที่มีคุณภาพดี เช่น โปรตีนในไข่ขาวซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีที่สุด

กัมอารบิก (Arabic gum)

คุณสมบัติของกัมอารบิกทางชีววิทยาและพิษวิทยา กัมอารบิกเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อร่างกายและมลภาวะ ซึ่งได้ผ่านการรับรองระบบมาตรฐานของอาหารโลก และได้รับกำหนดในตำรับ GRAS (Generally Recognized as Safe) และมาตรฐานของ United State pharmacopia, Food Chemical Codex และ EU Number E414 รวมทั้งผ่านการรับรองจากสำนักคณะกรรมการอาหาร และยา ประเทศไทย ในแง่โภชนาการยอมรับว่ากัมอารบิกถูกย่อยได้ต่ำมากในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ หรือปราศจากน้ำตาลได้เป็นอย่างดี (มูทาดา, 2543)

การละลายกัมอารบิก สามารถละลายได้ดีในน้ำทั้งอุณหภูมิปกติ น้ำร้อนหรือน้ำเย็นได้ง่ายเพียงนำมาเทผสมในน้ำ และกวนหรือคนอยู่จนละลาย กัมอารบิกสามารถละลายได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นซึ่งค่อนข้างละลายได้ยาก และละลายได้ไม่เกินความเข้มข้นที่ร้อยละ 5 เท่านั้น พฤติกรรมการไหลและความหนืด สารละลายกัมอารบิกจะให้ความหนืดต่ำเมื่อวัดความหนืดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นสูงกว่าร้อยละ 40 จะให้ความหนืดสูงมากจนมีลักษณะข้นหนืดคล้ายเจล และความหนืดของกัมอารบิกนี้จะคงอยู่ได้

ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ช่วงกว้างคือ 4 – 10 พฤติกรรมการไหลที่เข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 40 ลงไป จะเป็นการไหลแบบ Newtonian ซึ่งไม่พบในสารไฮโดร- คอลลอยด์ชนิดอื่น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป จะเป็นการไหลแบบ Pseudo plastic ซึ่งพบว่ามีผลต่อความรู้สึกรับรสสัมผัสภายในปาก Mouthfeel Sensation คือ ทำให้ไม่เกิดการระคายเคืองหรือมีสิ่งตกค้างภายในปาก ไม่รู้สึกกระด้าง เหตุนี้จึงนิยมนำกัมอารบิกมาใช้เป็นสารแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเพื่อเสริมสุขภาพ

คุณสมบัติการเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifiers) กัมอารบิกมีประสิทธิภาพสูงในการ ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเฉพาะในอิมัลชั่นประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เนื่องจากโครงสร้างที่มีส่วนที่เป็นกรดอะมิโนสามารถดูดซับจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้อย่างดีและแข็งแรง ช่วยป้องกันการเกิด Coalescene in emulsion และในส่วนโครงสร้างที่เป็น arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืด ให้กับส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมมากในการผลิตอิมัลชั่นของน้ำมันกลิ่นเพื่อให้ในการแต่งกลิ่น ซึ่งใช้ได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นส้ม
ประโยชน์ของกัมอารบิกด้านอุตสาหกรรมอาหาร เช่นการใส่ในลูกอมลูกกวาด ช่วยป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้ส่วนผสมที่เป็นไขมันและส่วนที่เป็นของเหลวกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอและป้องกันการเคลื่อนของไขมันที่ออกมาที่ผิวหน้าไม่ให้เกิดความเหนียวเหนอะเมื่อจับลูกอม และช่วยไม่ให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย นอกจากนี้แล้วในผลิตภัณฑ์ลูกอมลูกกวาดที่ให้พลังงานต่ำหรือแม้แต่ไม่มีการใช้น้ำตาลซูโครส (Sugarless candies) เลย ยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมในลูกอมแบบเคี้ยวที่มีเจลลาติน โดยใช้เป็นส่วนประกอบหลักผสมกับกัมอารบิกจะ ช่วยปรับปรุงลักษณะการเกาะติดได้ดีขึ้นลดความยืดหยุ่นเหนียวคล้ายยางลงได้อีกทั้งช่วยไม่ให้น้ำตาลตกผลึกทำให้เนื้อสัมผัสลูกอมนุ่มเนียนไม่ระคายลิ้น

วิตามินซี (Vitamin C)

วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิก หรือ กรดแอล-แอสคอร์บิก (l-ascorbic acid) หรือ แอสคอร์เบต (ascorbate เป็นแอนไอออน [anion] ของกรดแอสคอร์บิก) เป็นวิตามินที่พบในอาหารและอาหารเสริมต่าง ๆ ใช้ป้องกันและรักษาโรคลักปิดลักเปิด เป็นสารอาหารจำเป็นที่ใช้ซ่อมแซมเนื้อเยื่อและผลิตสารสื่อประสาทบางอย่างโดยอาศัยเอนไซม์ จำเป็นในการทำงานของเอนไซม์หลายอย่างและสำคัญต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย เป็นสารอาหารจำเป็นสำหรับมนุษย์และสัตว์อื่นบางชนิด เป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ แอสคอร์เบตจำเป็นในเมแทบอลิซึมของสัตว์และพืชทุกชนิด สิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ หรือสามารถรับได้จากอาหาร (สารานุกรมเสรี, 2018)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งของสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) และของเหลวชนิดต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของผงแห้ง วิธีนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีวางขายในปัจจุบันได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยาและสีย้อม การอบแห้งด้วยวิธีนี้นอกจากจะใช้สำหรับทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้วยังเป็นวิธีการที่มีประโยชน์อย่างมากในการลดขนาดและปริมาตรของของเหลว จากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องกัน ทำให้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้อบแห้งกับผลิตภัณฑ์หลายประเภทในปัจจุบัน

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวให้เป็นผงแห้งสารละลายที่เป็นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วกลายเป็นอนุภาคผงแห้งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานสะดวกต่อการเก็บรักษา

เครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer รุ่น SDE 50) ดังภาพที่ 5 เริ่มจากการใส่ของเหลวลงในเครื่องรอจนของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นตัวทำละลาย สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอยก็ได้

ภาพที่ 5 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น SDE 50

การใช้งานเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากการเปิด air compressor และเปิดเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ทำการตั้งค่าต่าง ๆ ที่แผงควบคุมตั้งค่า Aspirator และ Inlet Temp ตามที่กำหนดจากนั้นรอจนกว่าจะได้อุณหภูมิตามที่กำหนดจากนั้นเปิด Pump เพื่อทำการ Feed น้ำสะอาดประมาณ 1-3 นาที เพื่อทำความสะอาดหัวฉีดและป้องกันการอุดตันจากนั้น Feed ตัวอย่าง เมื่อเสร็จสิ้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้ว Feed น้ำสะอาด เพื่อทำความสะอาดหัวฉีดแล้วไล่สายด้วยอากาศปิด Pump, Inlet Temp และ Aspirator เก็บตัวอย่างจาก collection vessel ปิดเครื่องสุดท้ายปิด air compressor

1. ทฤษฎีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการอบแห้งที่ประยุกต์ใช้สำหรับการแปรรูปอาหารทุกประเภท ซึ่งอาหารที่ต้องการอบแห้งอาจอยู่ในรูปของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นสารละลายผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (Slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (Emulsion) หลักการทำแห้งจะดำเนินการโดยทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ แล้วไหลผ่านไปในหออบแห้งซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน ในขณะเดียวกันเนื่องจากหยดของเหลวมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายโอนมวลและความร้อน การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของเหลวอนุภาคเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว

2. หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่ออาหารเหลวถูกฉีดเป็นละอองและสัมผัสกับอากาศร้อนภายในหออบแห้งจะทำให้น้ำในอาหารระเหยไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นผงของอาหารแห้งจะตกลงมาแล้วถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไปกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1 การทำให้ของเหลวมีอนุภาคขนาดเล็ก ๆหรือหยดของเหลว (Atomization) การทำให้ของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ขนาดของของเหลวมีความสำคัญสำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพราะจะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้น ถ่ายโอนความร้อนได้มากและการถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

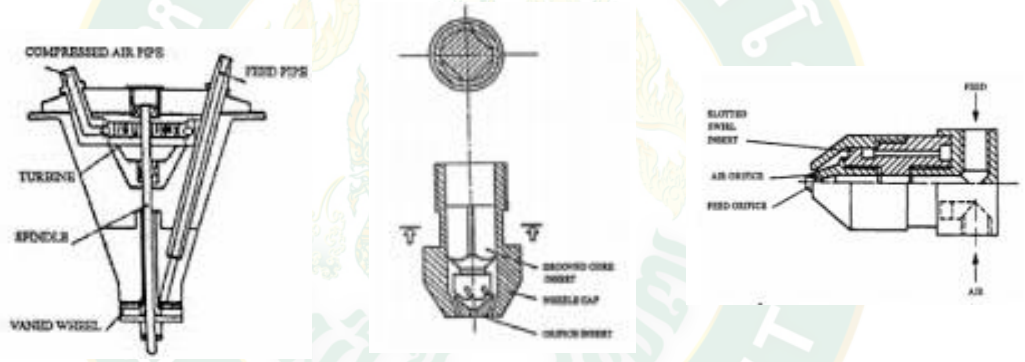
2 การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of Feed) กระบวนนี้เป็นการทำให้ของเหลว (Feed) พ่นฝอยกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้หัวฉีดแบบหมุน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สุดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) หัวฉีดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย มี 3 ชนิด คือ

2.1. หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความ เร็วรอบประมาณ 1,000-10,000 รอบต่อนาที

ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-1200 ไมครอน

2.2. หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzles Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวจะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ซึ่งจะทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

2.3. หัวฉีดแบบสองของไหล (Two-fluid Nozzle Atomizer, Pneumatic Nozzle Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งจะทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายเป็นละอองของของเหลววิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงติอย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงแต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ



ภาพที่ 6 หัวฉีดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (แบบหมุน, แบบแรงดัน, แบบสองของไหล)
ที่มา : (พิมพ์เพ็ญ, 2012)

การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน อนุภาคของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมาก ถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับจุดประสงค์ของการอบแห้ง ลักษณะและคุณภาพของอาหารที่ต้องการอบแห้ง

3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่ไวต่อความร้อนและยังกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้แน่นอนขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดจากการผลิต ได้แก่

3.1 อัตราการพ่นกระจาย (Atomize speed) อัตราการพ่นกระจายมีผลต่อโครงสร้างและขนาดของอนุภาคที่ได้ (Particle structure and size) โดยเมื่ออัตราการป้อนของเหลวคงที่ (Feed rate) การเพิ่มความเร็วในการพ่นกระจาย (atomizer speed) มีผลให้ขนาดของอนุภาคที่ได้เล็กลง ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นที่สูงกว่า เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าสามารถแทนที่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ใหญ่ได้

3.2 คุณสมบัติในการป้อน (Feed properties) ปริมาณของแข็ง (Solid content) ของสารละลายมีผลต่อลักษณะและขนาดของอนุภาคผงที่ได้ในด้านความหนาแน่นรวม นอกจากนี้การป้อนสารละลายด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นหรือการลดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีความหยาบ (Coarse) และทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นรวมถึงขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นทำให้การระเหยน้ำช้ากว่าในสารละลายที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่า

3.3 ชนิดของหัวฉีด (Type of atomized) ชนิดของหัวฉีดมี 2 แบบ คือ Rotary และ Nozzle ซึ่งมีผลต่อลักษณะของขนาดของอนุภาค แตกต่างกัน โดยหัวฉีดแบบ Nozzle จะให้ลักษณะของอนุภาคผงที่ได้มีลักษณะที่หยาบกว่า

3.4 การไหลของอากาศ (Air flow) อัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งมีผลต่อเวลาของที่อยู่ในห้องอบแห้ง(Residence time) ของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลงส่งผลให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้นมีผลให้ความชื้นลดลงและยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอันเนื่องจากความร้อนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มและเกิดกลิ่นไหม้ นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศยังมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

3.5 อุณหภูมิในการอบแห้ง (Drying temperature) อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งทั้งขาเข้า (Inlet temperature) และขาออก (Outlet temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราการไหลคงที่จะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง ยังมีผลให้ความหนาแน่นปรากฏรวมมีค่าลดลง ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุน (Porous) ในอนุภาคผงมากกว่าในขณะที่อุณหภูมิขาออกจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาออกให้สูงขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลือลดลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออกจะขึ้นกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสำคัญ ผลของความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ เช่น การละลาย (Solubility)ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ขนาด(Particle size) การดูดความชื้น (Hygroscopicity) และอายุการเก็บรักษา (Shelf life)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope)

เป็นชนิดของกล้องจุลทรรศน์แบบหนึ่งที่ใช้อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งความเร็วเป็นแหล่งที่มาของการส่องสว่าง เนื่องจากอิเล็กตรอนมีความยาวคลื่นสั้นกว่าโฟตอนของแสงที่มนุษย์มองเห็นได้ถึง 100,000 เท่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจึงมีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและสามารถเปิดเผยให้เห็นโครงสร้างของวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านสามารถให้รายละเอียดได้สูงถึง 50 pedometer และมีกำลังการขยายได้ถึงประมาณ 10,000,000 เท่า ขณะที่ส่วนใหญ่ของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงจะถูกจำกัดโดยการเลี้ยวเบนของแสงที่ให้ความละเอียดประมาณ 200 นาโนเมตรและกำลังขยายที่ใช้การได้ต่ำกว่า 2000 เท่า (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล)

ภาพที่ 7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านใช้เลนส์ไฟฟ้าสถิตและแม่เหล็กไฟฟ้า (อังกฤษ: electrostatic and electromagnetic lenses) ในการควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนและโฟกัสมันเพื่อสร้างเป็นภาพ เลนส์แสงอิเล็กตรอนเหล่านี้เปรียบเทียบได้กับเลนส์แก้วของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงออปติคอลกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดเล็กมาก ๆ ของตัวอย่างทางชีวภาพและอนินทรีที่หลากหลายรวมทั้งจุลินทรีย์ เซลล์ชีวะ โมเลกุลขนาดใหญ่ ตัวอย่างชิ้นเนื้อ โลหะ และคริสตัล ด้านอุตสาหกรรมกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมักจะใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์ความล้มเหลว กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ทันสมัยสามารถผลิตภาพถ่ายขนาดจิ๋วแบบอิเล็กตรอน (อังกฤษ: electron micrograph) โดยใช้กล้องดิจิตอลแบบพิเศษหรือ frame grabber (อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกที่ใช้จับภาพนิ่งจากสัญญาณวิดีโอแอนะลอกหรือดิจิตอล) ในการจับภาพ

โดยทั่วไปความละเอียดของภาพจาก SEM มีความคมชัดด้อยกว่าของ TEM อย่างไรก็ตามเนื่องจากภาพ SEM เป็นกระบวนการที่เกิดบนพื้นผิวมากกว่าการส่องผ่าน มันจึงสามารถที่จะสร้างภาพตัวอย่าง

ที่เป็นกลุ่มได้ในขนาดหลายเซนติเมตรขึ้นไปและ (ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการตั้งค่าของเครื่องมือ) มีความลึกของสนามที่สูง ดังนั้นมันจึงสามารถผลิตภาพที่มีการแสดงที่ดีของรูปทรงสามมิติของกลุ่มตัวอย่าง ประโยชน์ของ SEM อีกประการหนึ่งคือความหลากหลายของมันที่เรียกว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสิ่งแวดล้อม (อังกฤษ: environmental scanning electron microscope (Esem)) ที่สามารถผลิตภาพที่มีคุณภาพและความละเอียดเพียงพอสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เปียกหรือถูกเก็บอยู่ในสูญญากาศหรือก๊าซต่ำ อุปกรณ์นี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการถ่ายภาพตัวอย่างทางชีวภาพที่มีความไม่แน่นอนในสูญญากาศสูงของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเดิม

ข้อมูลทางเทคนิค :

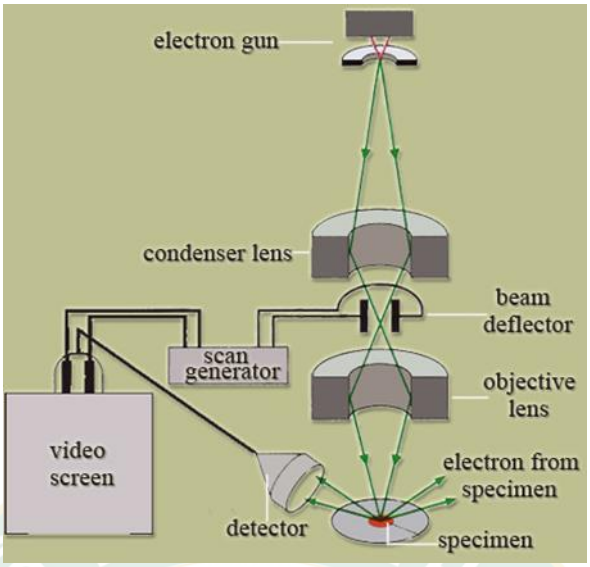
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยาย 6 -1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพตัวอย่างได้หลากหลายโดยไม่มีความจำเป็นต้องเคลือบผิวด้วยสารตัวนำไฟฟ้าก่อนการถ่ายภาพ โดยเลือกระบบสุญญากาศในห้องใส่ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างแต่ละประเภท ได้แก่

1).ระบบสุญญากาศระดับสูง(High Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แห้ง และนำไฟฟ้า เช่น โลหะ เป็นต้น

2).ระบบสุญญากาศระดับต่ำ(Low Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แห้ง และไม่นำไฟฟ้าเช่น พอลิเมอร์ ยาง เป็นต้น

3).ระบบสุญญากาศระดับสภาวะแวดล้อม(Environmental SEM) ที่สามารถทำงานที่ความดัน 10 ถึง 2600 Pa เหมาะกับตัวอย่างที่มีความชื้น มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สามารถปรับระดับความชื้นในห้องใส่ตัวอย่างได้ตามความต้องการและสามารถวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิต่ำได้ เช่น ไอครีม ตัวอย่างแช่แข็ง ตัวอย่างทางชีวภาพ ทางการแพทย์ เป็นต้น

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและส่องกราด จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอกนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM
ที่มา (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล)

การอัดยาเม็ดสมุนไพร

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย เช่น ยาเม็ด ยาแคปซูล ยาเม็ดเคลือบ ยาน้ำ และยาครีม เป็นต้น โดยยาเม็ดเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีความคงตัวดีทั้งทางกายภาพและเคมี และสะดวกในการรับประทาน สำหรับสูตรตำรับของยาสมุนไพรที่สามารถตอกอัดเป็นเม็ดได้นั้น จำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ความสามารถในการไหลที่ดี เพื่อให้แต่ยาเม็ดแต่ละเม็ดมีขนาดรับประทานที่สม่ำเสมอ และความสามารถตอกอัดเป็นยาเม็ดได้ดีโดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการทำแกรนูลเปียก กล่าวคือผสมผงสมุนไพรกับตัวยาช่วยต่าง ๆ ชนิดและปริมาณที่เหมาะสม เตรียมเป็นแกรนูลเปียกจากการใช้สารยึดเกาะและตัวทำละลายที่เหมาะสม ได้แก่ น้ำ และหรือเอทานอล เป็นต้น โดยใช้เครื่องผสมเปียกและเครื่องแร่ง นำไปอบแห้ง แร่งให้ขนาดเล็กสม่ำเสมอ ผสมสารหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ แล้วนำมาตอกด้วยเครื่องตอกยาเม็ด (สมบูรณ์ และเจตลีลา, 2556a)

ยาเม็ดสมุนไพร คือยาสมุนไพรที่ถูกตอกให้มีรูปร่างแบนกลม วงรี เหลี่ยม หรือลักษณะสวยงามอื่นๆ มีลักษณะแข็ง สำหรับรับประทาน สารช่วยต่างๆ ในตำรับยาเม็ดสมุนไพร ประกอบด้วย

1. สารยึดเกาะช่วยให้ผงยึดเกาะกัน นิยมใช้ในการเทคนิคการทำแกรนูลเปียก โดยเตรียมเป็นสารละลายยึดเกาะ ได้แก่ พีวีพี (PVP: polyvinylpyrrolidone) อะเคเชีย เจลาตินปริมาณที่ใช้ประมาณ 2- 4% โดยน้ำหนักแห้งของตำรับ โดยเตรียมในความเข้มข้นที่เหมาะสม นอกจากนี้แป้งเปียกความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก อาจเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดโดยปริมาณ

น้ำหนักแห้งที่ใช้ประมาณ 6% ของผงสมุนไพร เป็นต้น ผ่านแร่งเพื่อเตรียมแกรนูลเปียกเสร็จแล้วนำไปอบแห้ง และผ่านแร่งให้แกรนูลเล็กลงและขนาดสม่ำเสมอโดยเครื่องแร่งที่เหมาะสม เช่น เครื่องออสซิลเลตติงแกรนูเลเตอร์(oscillating granulator)เรียกสั้นๆ ว่า ออสซิลเลเตอร์

2. สารช่วยแตกตัว ช่วยให้ยาเม็ดแตกตัวได้ดีในทางเดินอาหาร มีให้เลือกใช้ 2 แบบ แบบแรกออกฤทธิ์โดยการชุ่มน้ำ ราคาค่อนข้างถูก ได้แก่ แป้งชนิดต่างๆ อาจใช้ในปริมาณ 8-10% โดยน้ำหนักของตำรับแบบที่สองออกฤทธิ์โดยการพองตัว ราคาค่อนข้างแพงได้แก่ ครอสคาร์เมลโลสโซเดียม (croscarmellose sodium) และ โซเดียมสตาร์ชกลัยโคเลต (sodium starch glycolate) เป็นต้น แต่ใช้ในปริมาณน้อยกว่า คืออาจใช้ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของตำรับ

3. สารช่วยตอกตรง (direct compression filler) ช่วยให้ยาเม็ดสมุนไพรบางตำรับมีความแข็งเพิ่มขึ้นและความกร่อนลดลง จากเดิมที่ตอกแล้วไม่ค่อยแข็ง ได้แก่ ไมโครคริสตอลลีนเซลลูโลส (microcrystalline cellulose) เป็นต้น ข้อดีนอกเหนือจากนี้คือยาเม็ดจะแตกตัวได้เร็ว เพราะการพองตัวของสารชนิดนี้

4.สารกลบรสกลบกลิ่น ในบางกรณี เช่น ยาเม็ดแก้ไอประสะมะแว้ง มีการใช้เจลาตินและอะเคเซีย กลบรสขมและกลบกลิ่นยาสมุนไพร รวมทั้งใช้เป็นสารยึดเกาะสองชนิดนี้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

5.สารแต่งรสหวานหรือสารแต่งกลิ่น ช่วยกลบรสกลบกลิ่นตัวยาสำคัญและสีช่วยให้ยาเม็ดมีสีที่จูงใจผู้บริโภคสารแต่งรสหวานที่ใช้ได้แก่ ซูคาร์โลส เป็นต้น สารแต่งกลิ่นอาจเป็นกลิ่นผลไม้ และสีที่ใช้ จะต้องได้รับการยอมรับจาก อย. ว่าปลอดภัยและไม่เป็นพิษปัจจุบันสารแต่งกลิ่นผลิตในรูปผงกลมที่ง่ายต่อการเตรียมตำรับ แต่ต้องใส่ในปริมาณเล็กน้อย เพื่อไม่ให้ขัดขวางการไหลหรือการตอกยาเม็ดเนื่องจากมีคุณสมบัติค่อนข้างเหนียว

6. สารหล่อลื่น/แท้ช่วยให้ตอกยาเม็ดได้ง่าย ผิวเรียบเป็นมันลดแรงเสียดทานขณะตอกยาเม็ด เช่น แมกนีเซียมสเตียเรตในปริมาณ 0.5 - 1.0% ของตำรับ เป็นชนิดหนึ่งของสารหล่อลื่น

7. สารช่วยไหล ช่วยให้ผงไหลดี ได้แก่ fumed silicon dioxide ในปริมาณ 0.25% ของตำรับ เป็นต้น เป็นชนิดหนึ่งของสารหล่อลื่นเช่นเดียวกัน

8. สารกันติด ช่วยให้ยาเม็ดไม่ติดสากและแม่พิมพ์ขณะตอก ได้แก่ แมกนีเซียมสเตียเรต fumed silicon dioxideในปริมาณที่กล่าวมา ทาลค์ (talc) หรือแป้งชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เป็นต้นเป็นชนิดหนึ่งของสารหล่อลื่นเช่นเดียวกัน (สมบูรณ์ และเจตลีลา, 2556b)
ยาเม็ดสมุนไพรอาจแบ่งเป็น 3 ประเภท ด้วยกันดังนี้

1 .ยาเม็ดสมุนไพรพัฒนาจากผงสมุนไพรของชิ้นส่วนของต้นพืชชื่อเดียวกัน เช่น ผงฟ้าทะลายโจร (จากใบและกิ่ง) ผงใบมะขามแขก (*Senna alexandrina* P. Miller.) เป็นต้น สารยึดเกาะที่น่าใช้

ได้แก่ แป้งเปียกจากแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด ปริมาณที่ใช้ประมาณ 6% โดยน้ำหนักแห้งของตำรับ เป็นต้น

2.ยาเม็ดสมุนไพรจากตำรับยาสมุนไพรไทย (Thai Herb Recipe) หรือยาแผนไทย ของชิ้นส่วนที่แตกต่างของต้นพืชต่างชนิดเช่น กรณีศึกษาแรกเป็นยาเม็ดแก้ไอประสะมะแว้ง ซึ่งเลือกใช้ส่วนผสมของเจลาตินและอะเคเชียในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นสารยึดเกาะและกลบรสกลบกลิ่นยาสมุนไพรไทยโดยไม่ใช้สารช่วยแตกตัว เพื่อทำให้อมยาเม็ดในปากได้นานขึ้น กรณีตัวอย่างต่อมาเป็นยาเม็ดแก้ไข้จันทลีลา อาจใช้สารยึดเกาะที่น่าใช้ ได้แก่ แป้งเปียกจากแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด ปริมาณที่ใช้ประมาณ 6% โดยน้ำหนักแห้งของตำรับ เป็นต้น และกรณีตัวอย่างสุดท้ายเป็นยาเม็ดสหัศธารา ซึ่งใช้บรรเทาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ จะคล้ายคลึงในการเลือกใช้ PVP K-90 เป็นสารยึดเกาะ และเลือกใช้ไมโครคริสตอลลีนเซลลูโลสช่วยเพิ่มความแข็ง และลดความกร่อนของยาเม็ด รวมทั้งทำให้ยาเม็ดแตกตัวได้เร็วขึ้น เป็นต้น

3.ยาเม็ดสมุนไพรผงสกัดหยาบ (crude extract) ที่ได้จากการแปรรูปน้ำคั้นสมุนไพร ได้แก่ กรณีศึกษาแรกเป็นผงสกัดหญ้าปักกิ่งที่ได้จากการพ่นแห้ง(spray drying) น้ำคั้นหญ้าปักกิ่ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายยึดเกาะ แต่ผสมเปียกด้วยเอทานอลความเข้มข้นค่อนข้างสูงโดยปริมาตรในน้ำ เพื่อไม่ให้มวลชิ้นที่ได้ไม่เหนียวเกินไป เมื่อตอกยาเม็ดจะมีสารสกัดหญ้าปักกิ่งราว 670 มก. ได้ความแข็งประมาณ 6 กิโลกรัม ใช้รับประทานเพื่อต้านเซลล์มะเร็ง อีกกรณีศึกษาเป็นผงสกัดที่ได้จากการอบแห้งเยือกแข็ง (freeze drying) น้ำคั้นดอกกระบองเพชร จะมี PVP K-90 เป็นสารยึดเกาะในปริมาณ 1% ของตำรับ และยาเม็ดมีสารสกัดดังกล่าว 670 มก. เช่นกัน กรณีหลังยาเม็ดที่ได้มีปัญหาการแตกตัวในน้ำช้ามากแม้จะใช้สารช่วยแตกตัวชนิดต่างๆ แล้วก็ตาม สาเหตุเป็นเพราะว่าสารเมือกในดอกกระบองเพชรจะต้านการแตกตัวของยาเม็ดผู้เขียนจึงพัฒนาเป็นยาผงและปรับรสหวานด้วยซูคาร์โลสในปริมาณเล็กน้อยสำหรับชงกับน้ำดื่มในลักษณะ 1 ซองต่อแก้ว

เครื่องตอกเม็ดยา

ภาพที่ 9 เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น SPT-SERIES

ที่มา : (สังข์รัศมี, 2562)

เครื่องตอกเม็ดยาแบบสากเดี่ยว (Single Punch Tablet Machine) เป็นเครื่องที่ออกแบบมาให้ใช้งาน และดูแลรักษาง่าย เหมาะกับการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือกำลังการผลิตไม่มาก เช่น งานวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ งานในห้องแลปหรือโรงพยาบาล งานผลิตยาสมุนไพร อื่นๆ สามารถผลิตยาได้หลายรูปแบบ (สังข์รัศมี, 2562)

คุณสมบัติทั่วไป (FEATURES) || เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น SPT-SERIES

1) ผลิตจากเหล็กหล่อคุณภาพสูง
2) ราคาถูกลงทุนต่ำ กำไรสูง
3) แรงตอกสม่ำเสมอเหมาะกับยาสมุนไพรทุกประเภท
4) สามารถใช้ผลิตยาเพื่อทดลองใช้หรือก่อนการผลิตจริง
5) ใช้ได้ทั้งแบบมอร์เตอร์ไฟฟ้าและแบบใช้มือหมุน จึงสามารถใช้ในที่ไม่มีไฟฟ้าได้
6) เหมาะกับยาหลากหลายประเภท เช่น ยาสมุนไพร ยาแผนปัจจุบัน

ภาพที่ 10 ตัวอย่างเม็ดตัวอย่างที่ผ่านการทดลองอัดเม็ด

การวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ

1.การวิเคราะห์ค่าสี

คุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นดัชนีบ่งชีด้านคุณภาพที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคเป็นคุณสมบัติเชิงแสงใช้บรรยายลักษณะง่ายที่สุดในการอธิบายสีของวัตถุด้วยคำพูด ทำให้มาตรฐานการบรรยายสีแตกต่างตามประสบการณ์ของผู้บรรยาย ดังนั้นจึงมีการวัดสีในเชิงวิชาการและมีการจัดมาตรฐานในการลดความไม่เป็นกลาง ระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ CIE Lab คือ ระบบสีที่ไม่อิงอุปกรณ์ (Device Independent Color) เป็นระบบสีที่สัมพันธ์กับการมองเห็นของมนุษย์ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใด ๆ กล่าวคือเมื่อวัดค่าสีได้

เท่ากันแล้ว อุปกรณ์ต่าง ๆ จะแสดงสีที่เห็นจะเหมือนกันในสภาวะแวดล้อมอย่างเดียวกัน เช่น กล้อง สแกนเนอร์ จอภาพ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น สถาบัน Commission International ede l ’Echairage (CIE) พัฒนาระบบสี CIE Lab ในปี ค.ศ. 1976 ด้วยการใช้ตัวเลขในการแทนค่าสีต่าง ๆ ดังนี้

L (Lightness) ใช้กำหนดค่าความสว่าง-มืด L = 0 (White), L = 100 (Black)

a (Red – Green) ใช้กำหนดค่าสีแดงและสีเขียว

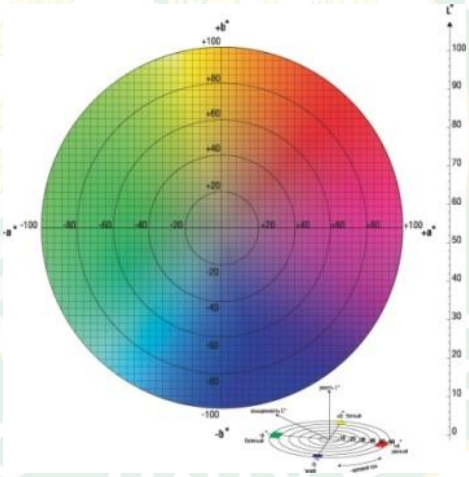
+a มีค่าเป็นบวก = สีแดง (Red)

-a มีค่าเป็นบวก = สีเขียว (Green)

b (Blue – Yellow) ใช้กำหนดค่าสีน้ำเงินและสีเหลือง

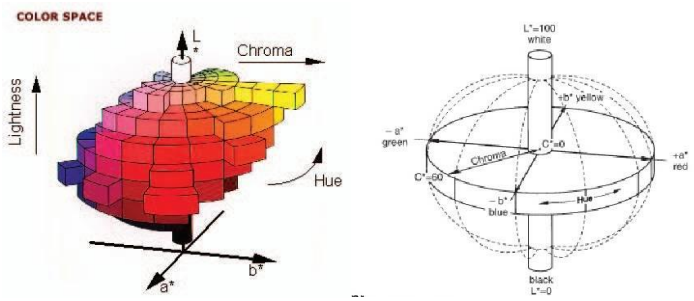
+b มีค่าเป็นบวก = สีเหลือง (Yellow)

-b มีค่าเป็นบวก = สีน้ำเงิน (Blue)



ภาพที่ 11 การบรรยายสีในระบบ CIE LAB มองในระนาบ 2 มิติ

ที่มา : (Sarah Sands, 2007)



ภาพที่ 12 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป 3 มิติ

ที่มา : (Sarah Sands, 2007)

อุปกรณ์ที่นิยมใช้เพื่อการวัดค่าสีในปัจจุบัน คือ เครื่อง Spectrophotometer ที่ใช้ในการวัดค่าสีการสะท้อนแสง(Reflection) หรือการแสงส่องผ่าน (Transmission) โดยเป็นการวัดความยาวคลื่นแสง ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร และนำค่าความยาวคลื่นไปเขียนกราฟ แสดงความยาวคลื่นเป็นแกนนอน และค่าการสะท้อนแสงหรือค่าแสงส่องผ่านเป็นแกนตั้ง หรือใช้โปรแกรมคำนวณค่าความยาวคลื่นเป็นค่าสีตามระบบการวัดสี (Color Model)

2.ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือ สารที่สูญเสียไปจากอาหารเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหารนั้น ความร้อนที่ให้ต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ หรือปล่อยให้อาหารตั้งทิ้งไว้ในสารดูดความชื้น (dehydrating agent) หรือให้ความร้อนในสภาพสุญญากาศน้ำหนักที่หายไปจากอาหาร ซึ่งเดิมเข้าใจว่าเป็นน้ำนั้น ความจริงคือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด หรือ total volatile matter ที่หายไป ณ อุณหภูมินั้น ส่วนกากหรือของแข็งแห้งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำระเหยออกไปหมดแล้วเรียกว่า “ของแข็งทั้งหมด” (Total solids) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหรือความชื้นมีหลายวิธี วิธีการที่นิยมใช้คือ Drying method ซึ่งมี 3 แบบคือ

- Hot air oven method
- Vacuum oven method
- การใช้สารดูดความชื้น

วิธีการที่ใช้ในบทปฏิบัติการนี้คือ Hot air oven method โดยมีหลักการคือหาน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นไอน้ำ ที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ แต่ในกรณีนี้อาจมีพวกน้ำมันระเหยที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างสูญเสียไปด้วย

วิธีคำนวณ เปอร์เซ็นต์ความชื้น $= \dfrac{100(w_1 - w_2)}{w_1 - w}$

เมื่อ w = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (กรัม)

w_1 = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

w_2 = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3. วอเตอร์แอกติวิตี้ (ปริมาณน้ำอิสระ, a_w)

ค่า ปริมาณน้ำอิสระ คือ ปริมาณน้ำอิสระที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บ การเสื่อมเสียและความปลอดภัยของอาหาร เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งการเสื่อมเสียของอาหารโดยส่วนใหญ่เกิดจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ และรา

ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เราสามารถใช้ค่าปริมาณน้ำอิสระ ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสียตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่าปริมาณน้ำอิสระ ที่จำกัดโดยเราจะต้องทำให้อาหารมีค่าปริมาณน้ำอิสระ ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 136/2558 ในผักผลไม้แห้งมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เป็นอัตราส่วนของความดันไอ (vapour pressure) ของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (Po) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

$$a_w = P/Po$$

หรือวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสภาวะสมดุล (Equilibrium Relative Humidity, ERH) หารด้วย 100

$$a_w = ERH/100$$

(ค่าปริมาณน้ำอิสระ มีค่า ตั้งแต่ 0-1)

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design)

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพนธ์ของปัจจยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภณฑ์สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัยการออกแบบ
การทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (factors) อยางมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัย (factors) หรือผลตอบ (response : X1, X2, X3, X4) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลกษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพนธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดความสัมพนธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (process knowledge) เพื่อสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไปการหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นสามารถนำไปใช้ในทุกๆด้านของวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และบริหารธุรกิจ เช่น ในทางด้านวิทยาศาสตร์และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ การทดลองทางสถิติส่วนใหญ่นั้นต้องการความเป็นไปได้สูงสุด มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด ใน

ส่วนของบริหารธุรกิจต้องการกำไรสูงสุด ต้นทุนและราคาที่เหมาะสม และเป็นที่ต้องการมากที่สุด ปัญหาของกระบวนต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปแบบของสมการหรือบางทีอาจอยู่ในรูปแบบของข้อมูลของการทดลอง ซึ่งสามารถนำหลักการของการหาสภาวะที่เหมาะสมไปแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ (นักรบ, 2558)

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมปริมาณของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100%) เสมอกล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่น ๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน การออกแบบการทดลอง แบบส่วนผสมมีแบบแผนการออกแบบย่อยแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1 การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (Scheffe’ Simplex-Lattice)

การออกแบบ แบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (Scheffe’ Simplex-Lattice) พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับได้ดังนี้

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \ldots, 1$$

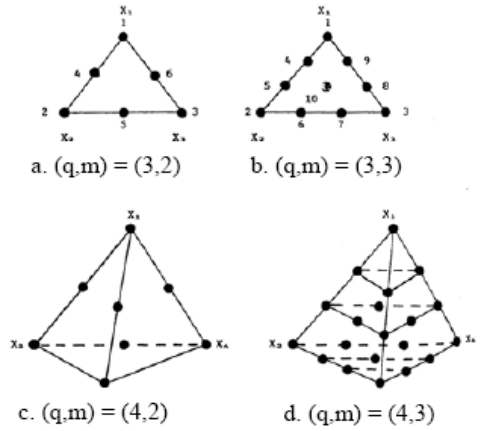
โดยที่ i= 1,2,3,….,q

m = เป็นสัดส่วนของแต่ละปัจจัยจาก 0 – 1 (0 – 100 เปอร์เซ็นต์)

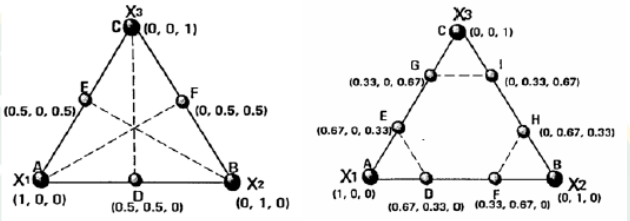
สำหรับในกรณีที่มีจำนวนส่วนผสม (q) เท่ากับ 3 หรือมี 3 ปัจจัย เป็นตัวอย่างที่นิยมใช้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดังกล่าว หาก m = 3 พิกัดที่ได้เป็นส่วนประกอบของ 1 x , 2 x และ 3 x จะเป็น 0, 1/3 และ 2/3 ตามลำดับจำนวนของจุดในการทดลองทั้งหมดคำนวณจาก

$$M = (m+q-1)!/m!\,(q-1)!$$
$$= q(q+1)\ldots\frac{q+m-1}{(1)(2)}\ldots(m)$$
$$M = \frac{3x4x5}{1x2x3} = 10$$

ซึ่งตัวอย่างของสิ่งทดลองที่มีจำนวน q และ m ต่าง ๆ ดังภาพที่ 13



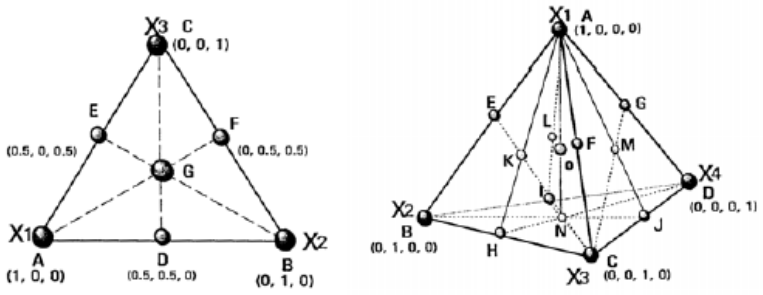
ภาพที่ 13 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (พงษ์ศิริกุล, 2002)



ภาพที่ 14 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส ที่มี 3 ตัวแปรแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และ 3 ระดับ (ไม่รวม 0) *(พงษ์ศิริกุล, 2002)*

2 การออกแบบแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid)

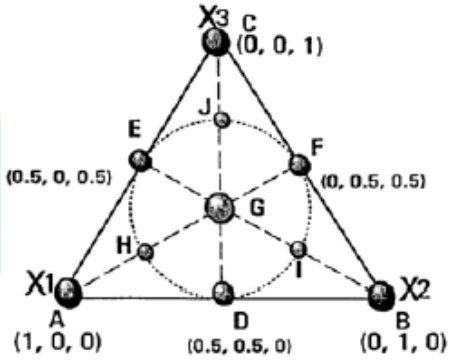
เป็นการออกแบบการทดลองที่มีสิ่งทดลองเท่ากับ 2q – 1 แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัยสิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยว (Pure Component) ต่าง ๆ หมายถึง สิ่งทดลองที่มีปัจจัยนั้น 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 1.0 และ 0.5, 0.5, 0, ..., 0 เป็นส่วนผสมคู่ (Binary mixtures)และ 1/3, 1/3, 1/3, 0, ...,0 สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด และ 1/q,1/q, 0, ...,0 สำหรับส่วนผสมแบบคิวนารี่ (q-nary mixtures; centroid) และจุดกึ่งกลาง (1/q, 1/q, ..., 1/q) ตัวอย่างของสิ่งทดลองต่าง ๆ สำหรับ 3 และ 4 ปัจจัย ดังแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid) (พงษ์ศิริกุล, 2002)

3 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial)

เป็นการออกแบบการทดลองโดยเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัย สังเกตจากจุดเอช (H) ไอ (I) และเจ (J) โดยจุดทั้ง 3 ดังกล่าว มาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อย จากภาพที่ 16 หากพิจารณาจุดเอ (A) ดี (D) และอี (E) จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อย โดยมีจุดเอช (H) เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุดไอ (I) และเจ (J)



ภาพที่ 16 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial)
ที่มา (พงษ์ศิริกุล, 2002)

4. การออกแบบ แบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices)

เป็นการออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัดสัดส่วน (Design with constraints on proportion) หรือแบบที่มีข้อจำกัด (Constrained Mixture Design) กล่าวคือ แผนการทดลองนี้ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0-100% โดยอาจเป็น 30-40% (0.30-0.40) หรือ 15-25% (0.15-0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดสอบบางอย่าง เช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gluten) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolated)และน้ำ พบว่า ต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง รวมกันอย่างน้อย 50% (ใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25%) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ ดังนั้น ส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50% จึงไม่เป็นที่สนใจขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30% จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ ดังนั้นจึงอาจกำหนดเฉพาะปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมแต่ละชนิดเป็น 25% 25% และ 30% ตามลำดับ โดยให้สังเกตว่า ปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมทั้งสามรวมกันต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 100% อย่างเด็ดขาด ไม่เช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้ หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลยนอกจากนี้แม้ว่าการวางแผนจำเป็ นต้องให้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแต่ละสิ่งทดลองรวมกันเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกัน ในส่วนผสมของแต่ละสิ่งทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมาก แต่สนใจศึกษาเพียง 3 ปัจจัย สามารถใช้แผนการทดลองแบบผสมได้ เช่น มีส่วนในผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ปัจจัย คือเอถึงเจ (A – J)

แต่สนใจ เฉพาะปัจจัยบี(B) ซี (C) และดี (D) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว มีสัดส่วนคิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมดสามารถนำปัจจัย B C และ D มากำหนดเป็นสิ่งทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่าง ๆ กัน และในส่วนผสมแต่ละสิ่งทดลองที่ได้ให้คิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 82 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่หรือเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed variables) ในทุกสิ่งทดลอง

นอกจากนี้แม้ว่าการวางแผนจำเป็นต้องให้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแต่ละสิ่งทดลอง รวมกันเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกันในส่วนผสมของ แต่ละสิ่งทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมากแต่สนใจศึกษาเพียง 3 ปัจจัย สามารถใช้แผนการทดลองแบบผสมได้ เช่น มีส่วนในผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ปัจจัยคือเอถึงเจ (A – J) แต่สนใจเฉพาะปัจจัยบี (B) ซี (C) และดี (D) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว มีสัดส่วนคิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด สามารถนำปัจจัย B C และ D มากาหนดเป็นสิ่งทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่าง ๆ กัน และในส่วนผสมแต่ละสิ่งทดลองที่ได้ให้คิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ส่วนอีก 82 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่หรือเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed variables) ในทุกสิ่งทดลอง

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัด

ประสิทธิภาพการกักเก็บ Encapsulation efficiency, EE (พุฒิยา,2559) คือร้อยละของสารสกัดที่ถูกกักเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยการนำปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูล และปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลที่สกัดได้จากการหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic content ,TPC) และ การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลตามวิธีของ (Surface Phenolic content , SPC) ผลต่างของปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ถูกกักเก็บ ดัดแปลงตามวิธีของ Saikia et al. (2015) คำนวณได้ดังนี้

$$EE\ (\text{ร้อยละ}) = \frac{(\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล} - \text{ปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล})}{\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล}}$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ แตกต่างกันมาก

ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สาหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คานวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน

กระบวนการแปรรูปปลีกล้วยในอุตสาหกรรม

1.น้ำปลีกล้วยเครื่องดื่มบำรุงน้ำนม

ปลีกล้วยมีข้อดีที่ช่วยบำรุงเลือด และยังดูดซึมวิตามินและแร่ธาตุได้ดี จึงช่วยให้คุณแม่ผลิตน้ำนมได้มากขึ้น เหมาะมากสำหรับคุณแม่ที่มีปัญหาเรื่องเลือด และผลิตน้ำนมได้ไม่มากพอ การทำน้ำปลีกล้วยเก็บไว้ดื่มติดตู้เย็นเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับคุณแม่ที่กำลังมองหาแหล่งอาหารบำรุงน้ำนม เครื่องดื่ม “น้ำปลีกล้วย” จะช่วยให้บริโภคปลีกล้วยได้ง่ายขึ้น ประโยชน์และคุณค่าทางสารอาหารยังอยู่ครบทุกประการ และไม่เพียงแต่จะดีต่อแม่ลูกอ่อนเท่านั้น แต่ผู้หญิงทุกเพศทุกวัยก็กินได้เพราะปลีกล้วยมีแร่ธาตุ มีสารอาหารที่ช่วยบำรุงธาตุ บำรุงเลือด บำรุงผิว ทำให้ผิวสวย มีเลือดฝาด มีน้ำมีนวล แก้ประจำเดือนมาไม่ปกติ และยังมีแคลเซียมที่ช่วยบำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรง

โดยวิธีทำนำปลีกล้วยมาแกะเอาเกสรออก (แยกเอาส่วนที่แก่ออก) เพื่อนำปลีกล้วยไปแช่น้ำเกลือ 3-5 นาที แล้วนำปลีกล้วยที่แช่น้ำเกลือแล้วไปต้มให้สุก เมื่อได้ปลีกล้วยสุกแล้ว ให้นำมาหั่นฝอย แล้วนำไปปั่นจนละเอียด ปั่นเสร็จนำไปกรองด้วยผ้าขาวบางจะได้น้ำปลีกล้วย ปรุงรสชาติให้ดื่มง่ายด้วยน้ำตาลทราย และเกลือได้ตามชอบ (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2552)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akhavan et al. (2016) รายงานการหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันห่อหุ้มผงสารสกัดแบร์เบอรี่ด้วยสารห่อหุ้มแตกต่างกันสามชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน ผลงานวิจัยระบุว่ามอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มที่แสดงประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสูงสุดและคุณภาพผงที่ดีที่สุด สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชัน สำหรับ Barberry anthocyanins นั้นพบว่ามีปริมาณสารห่อหุ้มและปริมาณแอนโธไซยานินที่ 24.54% และ 13.82% ตามลำดับ ประสิทธิภาพของการกักเก็บแอนโธไซยานินสูงถึงร้อยละ 92.83

SimonBrown et al. (2016) รายงานการใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากขิงด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารหุ้มคือ มอลโตเด็กตรินซ์ และ กัมอารบิก เพื่อคงสารสำคัญ 6-gingerol สารฟีนอลิคทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยใช้ปริมาณสารสกัดขิง 2 กรัมของแข็งต่อ 100 มิลลิลิตร และสารห่อหุ้ม 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ของการผสมมอลโตเด็กซ์ตริน:กับกัมอราบิกของอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ (4: 1,1: 4, 5: 0, และ 0: 5 g: g) ถูกเตรียมและอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศเข้า 160 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตผงสกัดขิง ได้สารสกัดจากขิง 20.6 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็ง 6-gingerol เท่ากับ 7.7 ± 0.6 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ 19.9 ± 0.8 mmol Trolox /กรัมของแข็ง การไมโครเอนแคปซูเลชันส่งผลให้ปริมาณของ 6-gingerol ที่มีอยู่ในสารสกัดจากการห่อหุ้มของมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอราบิก สารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาดีคือ การห่อหุ้มของมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอราบิกในอัตราส่วน (4: 1 g: g) และ (5: 0 g: g) ซึ่งสามารถนำผงสารสกัดขิงที่ได้นำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารใหม่ (novel food ingredient)

พุฒิยา และคณะ (2560) รายงานการกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ สารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณของสารสกัดหยาบ และชนิดของสารที่จะนำมาใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอได้แก่ Maltodextrin, Gum Arabic, แป้งดัดแปร (Hicap-100) และ Whey protein concentrate พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอที่ถูกกับเก็บด้วย Maltodextrin ผสมกับ Whey protein concentrate ที่อัตราส่วน 1:1 และมีปริมาณสารสกัดหยาบร้อยละ 10 (MW-10) และร้อยละ 15 (MW-15) มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสกัดดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 94.36 และ 92.52 ตามลำดับ การตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และ FRAP assay ของตัวอย่างไมโครแคปซูลพบว่า MW-15 มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าโครงสร้างของไมโครแคปซูลแสดงให้เห็นว่า MW-15 มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ไม่

ขรุขระ ไม่มีการยุบหรือหดตัว เหลี่ยมของมุมมีความแข็งแรง คมชัดมีลักษณะการห่อหุ้มที่จับตัวกันไม่เกิดการไหลมารวมกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไมโครแคปซูลมีความคงตัวต่อปัจจัยภายนอกได้ดีจึงเป็นอีกทางเลือกในการป้องกันการสูญเสียประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร

ดวงพร และคณะ (2559) รายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากชาปลีกล้วย โดยปลีกล้วยถูกพัฒนาเป็นเครื่องดื่มสำเร็จรูปให้มารดาหลังคลอดรับประทานเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำนมสาหรับให้บุตร ในการวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีทดสอบฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระ ABTS•+และปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่เป็นสารสำคัญในชาปลีกล้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชาปลีกล้วย ชาชงขิงผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย ผลการทดลองพบว่า ชาชงปลีกล้วยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกที่สูงกว่าชาชงขิงผสมปลีกล้วยและเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย เมื่อเทียบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ 1 กรัม โดยพบสารฟีนอลิกหลายชนิดในชาชงปลีกล้วยได้แก่ catechinในปริมาณสูงถึง 149.69 มก/กก รองลงมาคือ isoquercetin นอกจากนี้ ยังพบ gallic acid, quercetin, rutin และ tannic acid จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟฟี(HPLC) จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์จากชาปลีกล้วยมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์ ทั้งในชาชงขิงผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงสำเร็จ เนื่องจากสารสำคัญในชาชงปลีกล้วยเมื่อนำมาละลายในน้ำร้อนแล้วสามารถละลายในนำได้ดีและออกฤทธิ์ชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากปลีกล้วยอีกชนิด ที่มีส่วนผสมอื่น ๆ เพิ่มเติม ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีปริมาณลดลง

รัชฎาพร และจิตรา (2559) รายงานการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแคปซูลหุ้มสารสกัดรางจืดเพื่อรักษาไว้ซึ่งการคงตัวของสารออกฤทธิ์ที่ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ โดยนำสารสกัดรางจืดที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน ใช้กัมอาราบิก(Gum Arabic) เป็นสารทำให้เกิดเป็นผนังหุ้ม(wall) มีสารสกัดรางจืดอยู่แกนใน (Core) จากการศึกษาพบว่าสภาวะซึ่งให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุดคือ สภาวะที่ใช้ Gum Arabic5%, Core: Wall 1:5 และ อุณหภูมิขาเข้า 150 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับคือ 2.65mg GAE/g และมีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 11.96mg Catechin/g ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยสภาวะนี้มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH assay เท่ากับ 0.118 mg GAE/ml และมีค่า FRAP เท่ากับ 0.0082 mmol Fe 2+/g และเมื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคพบว่า แต่ละสภาวะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยผิวจะมีลักษณะเป็นทรงกลมปุ่มเข้าด้านใน โดยไม่ปรากฏรอยแตกหรือรูพรุนเมื่อพิจารณาถึงการคงไว้ซึ่งสารออกฤทธิ์ ในไมโครแคปซูลรางจืดสกัดแล้ว สภาวะที่เหมาะสมคือการใช้ Gum Arabic5%, Core: Wall 1:3, อุณหภูมิขาเข้า 145 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถคงไว้ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

1. ปลีกล้วย (*Musa x paradisiacal* flower) บริษัท พลีพรีม จำกัด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.	เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น OHAUS PIONEER PA214	1	เครื่อง
2.	บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร	1	ใบ
3.	กระบอกตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร	1	ใบ
4.	ขวดวัดปริมาตรก้นกลม ขนาด 1,000 มิลลิลิตร	3	ใบ
5.	ช้อนตักสาร	1	คัน
6.	หลอดหยดพลาสติก	3	หลอด
7.	หลอดทดลองฝาเกลียว	20	หลอด
8.	ขวดพลาสติก ชนิดแข็ง	6	ขวด
9.	เครื่องวัดค่าสาร (Refractometer)	1	เครื่อง
10.	เครื่องเขย่าหลอดทดลอง รุ่น MIXER UZUSIO VTX-3000L	1	เครื่อง
11.	กรวยกรองแก้ว	1	อัน
12.	ผ้าขาวบาง	4	ผืน
13.	กระชอน	2	อัน
14.	กระบวย	2	อัน
15.	ถุงซิบ	10	ใบ
16.	มีด	9	เล่ม
17.	หม้อต้ม	1	ใบ
18.	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ยี่ห้อ Best Spray Dryer รุ่น SDE 50	1	เครื่อง
19.	เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น MiniScan XE plas	1	เครื่อง
20.	เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectro SC Spectrophotometer)	1	เครื่อง
21.	เครื่องวัดค่า pH (pH meter portable)	1	เครื่อง

22. เครื่องวัดค่าความชื้น โดยใช้ Moisture Analyzer รุ่น AND MX-50 1 เครื่อง
23. เครื่องวัดค่า a_w โดยใช้ ปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUA LAB 1 เครื่อง
24. เครื่องวัดค่าความแข็ง โดยใช้ Texture Analyzer รุ่น TA.XTPlus 1 เครื่อง
25. เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น SPT-5 1 เครื่อง

สารเคมี

1. สารละลาย DPPH (2,2-dipheny-1-picrylhydrazy) ($C_{18}H_{12}N_5O_6$) บริษัท Aldaich ประเทศเยอรมัน
2. สารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ($3H_2O.P_2O_5.13WO_3.5M_oO_310H_2O$) บริษัท Lobachemie ประเทศอินเดีย
3. เมทานอล (CH3OH) บริษัท Lab-scan ประเทศไทย
4. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) บริษัท Quality reagent ประเทศนิวซีแลนด์
5. เจลาติน บริษัท Unions science ประเทศไทย
6. เอทานอล (C_2H_5OH) บริษัท Lab-scan ประเทศไทย
7. โซเดียมคลอไรด์ (NaOH) บริษัท Unions science ประเทศไทย
8. มอลโตเด็กซ์ตริน (DE 10-12) บริษัท Unions science ประเทศไทย
9. กรัมอาราบิก บริษัท Unions science ประเทศไทย
10. ไมโครคริสตัลไลน์ เซลลูโลส บริษัท Unions science ประเทศไทย
11. แมกนีเซียมสเตียเรต บริษัท Unions science ประเทศไทย
12. น้ำตาลเด็กซ์โตส บริษัท Unions science ประเทศไทย
13. ซอร์บิทอล บริษัท Unions science ประเทศไทย
14. กรดซิตริก บริษัท Unions science ประเทศไทย

วิธีการดำเนินการทดลอง

การเตรียมปลีกล้วย

ภาพที่ 17 การเตรียมปลีกล้วย

ปลีกล้วยที่นำมาทดลองเป็นปลีกล้วย ในพื้นที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ การต้มสกัดจากปลีกล้วย นำปลีกล้วยมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด ปลีกล้วยที่ได้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำอยู่ระหว่าง 2-3 องศาบริกซ์ใช้อัตราส่วนของปลีกล้วยต่อตัวทำละลาย 3:10 และระยะเวลาในการต้มสกัด 15 นาที ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เพื่อให้ได้ปลีกล้วยสกัดเข้มข้นเพื่อนำไปศึกษาการผลิตผงปลีกล้วยสกัดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

อัตราส่วนการผสม

ปลีกล้วย	15	กิโลกรัม
ตัวทำละลาย (น้ำ)	50	ลิตร

ศึกษาการผลิตผงปลีกล้วยสกัดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำสกัดจากปลีกล้วยที่มีความเข้มข้น 3 องศาบริกซ์ ชนิดของสารห่อหุ้ม 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน มอลโตเดกซ์ตรินผสมเจลลาตริน และมอลโตเดกซ์ตรินผสมกรัมอาราบริก โดยใช้

ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม 5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ปริมาณ 10 ลิตรต่อหนึ่งตัวอย่างโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกอยู่ในช่วง 90 – 95 องศาเซลเซียส จากการศึกษาความเข้มข้นที่ใช้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากปลีกล้วยที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือร้อยละ 2.5, 5 , 7.5 และ 10 โดยใช้สารห่อหุ้มได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์เพียงอย่างเดียว เป็นสารห่อหุ้มในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสารสกัดปลีกล้วยที่ใช้ในการห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปลีกล้วยผงได้สูงสุดคือ ร้อยละ 5 สามารถสกัดได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 420.27 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ร้อยละ 5 หลังจากนั้นใส่สารห่อหุ้มลงไปในอัตราส่วนความเข้มข้นร้อยละ 5 ในชุดการทดลองต่างๆ เพื่อหาชนิดของสารห่อหุ้มที่ต่างกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ , มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก และ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินโดยมีอัตราส่วน มอลโตเด็กตรินซ์ร้อยละ 5 (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกร้อยละ 4:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินร้อยละ 4:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (MD4GE1) (Kelly Simon-Brown และคณะ, 2016) จะได้ผงปลีกล้วยสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด นำมาเก็บรักษาในถุงกันความชื้น ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นเพื่อรอการตรวจวิเคราะห์และทำการทดลองในส่วนต่อไป

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นของสารห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

Wall material (ร้อยละ)	Total phenolic (mg/g extract)
2.5	334.6^{b}±0.018
5	420.27^{a}±0.036
7	154.27^{c}±0.043
10	109.27^{c}±0.016

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

วิเคราะห์ผงจากปลีกล้วย

1. ค่าสีและความชื้น
2. ค่าของปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

3. ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด
4. ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ
5. ร้อยละของผลผลิตของปลีกล้วยผงจากการอบแห้งแบบพ่นฝอย
6. ประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญของสารห่อหุ้ม
7. ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture content)

เปิดเครื่อง Moisture Analyzer รุ่น AND MX-50 จากนั้นเทผงปลีกล้วยสกัดที่ใช้ในการลงวิเคราะห์ในถาดอลูมิเนียม 5 กรัม เสร็จแล้วปิดฝาเครื่องและเครื่องจะเริ่มกระบวนหาความชื้นอัตโนมัติ จากนั้นรอค่าวัดความชื้นให้คงที่ จอแสดงผลจะบอกค่าอุณหภูมิและค่า a_w เสร็จสิ้นกระบวนการหาค่าความชื้น

วิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ (Water activity)

เปิดเครื่องและอุ่นเครื่อง ปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUA LAB เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จากนั้นเทผงปลีกล้วยสกัดลงในถ้วยภาชนะให้ถึงขอบที่กำหนด โดยจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม แล้วเปิดชั้นใส่ภาชนะนำภาชนะลงไปวางในเครื่องและหมุนปุ่มไปตามเข็มนาฬิกาใช้เวลาในการวิเคราะห์ 10-15 นาที เครื่องวัด ปริมาณน้ำอิสระ จะบอกค่าอุณหภูมิที่ใช้และค่า a_w เสร็จสิ้นการหาค่า a_w จากเครื่องวัดแบบพลวัต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าสี

นำผงปลีกล้วยสกัดใส่ในแก้วนำไปวัดค่าสีที่เครื่องวัดสี spectrophotometer (รุ่น Min iSan XE Plus ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์) โดยนำตัวอย่างปลีกล้วยผง ใส่ลงในจานแก้วใสและปิดฝาเลือก ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด เลือกค่าคุณสมบัติในการวัดค่าสีโดยเลือกระบบเป็น L* , a* , b* และทำการอ่านค่า L* a* และ b* ที่แสดงผลบนหน้าจอ พร้อมทั้งทำการจดบันทึก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness)

วิธีทดสอบตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

1. ตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากัน มาวางบนฐานเครื่อง Texture Analyzer
2. เลือก Load cell ที่เหมาะสมกับวัสดุที่จะใช้ทดสอบ
3. เลือกโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับเครื่อง Texture Analyzer
4. ทดสอบตัวอย่าง 3 ซ้ำ
5. ผลการทดสอบจะแสดงออกมาในรูปกราฟและข้อมูลค่าเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมสารละลาย DPPH (2,2 -diphenyl-1-picrylhydrazyl) เข้มข้น 1 mM ในเมทานอล ชั่ง DPPH 0.03943 กรัม ละลายด้วยเมทานอลจนสารละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรจะได้สารละลาย DPPH จากนั้น ปิเปตสารละลายนี้ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล 1 : 3 (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อต้องการใช้งาน)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Shimada et al. (1992) และ ประภาพรรณ (2551) โดยหยดตัวอย่างน้ำปลี(Sample) ในหลอดทดลองลงไป 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1- picrylhydrazyl) 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที พร้อมทั้งตัวอย่างควบคุม(Control) หรือสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง (Blank) สารสกัดโดยใช้น้ำ จำนวน 1 มิลลิลิตรแทนตัวอย่างวิเคราะห์ ตามวิธีการเดียวกัน เมื่อครบ 30 นาที นำตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วคำนวณค่า ความสามารถฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) ดังสมการนี้

$$\%Inhibition = \left[\frac{1-(Sample-Control)}{Blank}\right] \times 100\%$$

เมื่อ ตัวอย่างควบคุม คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 1 มิลลิลิตร

ตัวอย่างทดลอง คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดน้ำปลีกล้วย 1 มิลลิลิตร

Blank คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 1 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent (Swain T, 1959) โดยนำตัวอย่างส่วนใสมา 0.1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดปากหลอดด้วยกระดาษฟอยด์หรือถุงฟอยด์ จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagnt ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค (Gallic acid) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิค (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

การวิเคราะห์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อน คือเมื่อสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe_3+ -TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่รูปสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe_2+ -TPTZ) ที่มีสีม่วงน้ำเงิน

เตรียมสารละลาย FRAP reagent ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ (Benzie I. F. F. และJ., 1996)โดยผสมสารละลาย Acetate buffer pH 3.6 สารละลาย $FeCl_3$ 1000 มิลลิลิตร , สารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine ,TPTZ (บริษัท Aldrich ประเทศ รัสเซีย) 100 มิลลิลิตร และ $FeCl_3$ 100 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ จากนั้นเตรียมสารตัวอย่าง 0.04 ml ผสมกับน้ำ 0.12 ml และเติมสารละลาย FRAP reagent 1.2 ml ผสมให้เข้ากัน 30 วินาทีตั้งทิ้งไว้ 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร คำนวณค่าการดูดกลืนแสงโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate ($FeSO_4$) แสดงค่าในรูปของ mM Fe^{2+}/g ตัวอย่าง

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัด

ประสิทธิภาพการกักเก็บ Encapsulation efficiency, EE (พุฒิยา และคณะ, 2560) คือร้อยละของสารสกัดที่ถูกกักเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยการนำปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูล และปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลที่สกัดได้จากการหาปริมาณกลุ่ม

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic content ,TPC) และ การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลตามวิธีของ (Surface Phenolic content , SPC) ผลต่างของปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ถูกกักเก็บ ดัดแปลงตามวิธีของ (Saikia และคณะ, 2015) คำนวณได้ดังนี้

$$EE\ (\text{ร้อยละ}) = \frac{(\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล} - \text{ปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล})}{\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล}}$$

1 .การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic content,TPC) การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูลนำปลีกล้วยผงปริมาณ 0.1 g เติมตัวทำละลาย 1 mL (ตัวทำละลายประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำกลั่นในอัตราส่วน 50 : 8 : 42) ท าการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอนจากนั้นน้ำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกในไมโครแคปซูล โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ตามวิธีของ (Qarah และคณะ, 2017)

2.การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลตามวิธีของ (Surface Phenolic Content, SPC) การหาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลดัดแปลงตามวิธีของ (Saikia และคณะ, 2015) นำปลีกล้วยผง ปริมาณ 0.1 g เติมตัวทำละลาย 1 mL (ตัวทำละลายประกอบด้วยเอทานอลและเมทานอล ในอัตราส่วน 1 : 1) ทำการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลโดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ตามวิธีของ (Qarah และคณะ, 2017)

การศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระในปลีกล้วยอัดเม็ด

จากกระบวนการผลิตผงปลีกล้วยอัดเม็ดเพื่อนำมาทาการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของสารฟีนอลลิคทั้งหมดเพื่อดูอายุการเก็บรักษาซึ่งจะทำการศึกษาที่ โดยนำปลีกล้วยอัดเม็ดบรรจุในถุงกันชื้นและนำไปบ่มอุณหภูมิต่าง ๆ คือ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ตามลำดับ และเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 สัปดาห์และวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมี

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design)

จากงานวิจัยเป็นการหาปริมาณส่วนประกอบของปลีกล้วยอัดเม็ด และนำมาออกแบบการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) มีส่วนประกอบทั้งหมด 6 อย่าง ผลของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ผงน้ำนมถั่วเหลือง วิตามินซี Microcrystalline cellulose ตัวแปรควบคุม 3 ตัวแปรคือ ปลีกล้วยผง น้ำตาลแลคโตส แมกนีเซียม เพื่อหาสูตรในการอัดเม็ดที่เหมาะสมในการสกัดให้ได้ค่าความแข็งตามมาตรฐานของยาสมุนไพรอัดเม็ด ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับในการวางแผนการทดลอง

Factor	variable	Level (%)	
		Low Level	High Level
ผงน้ำนมถั่วเหลือง	x_1		
วิตามินซี	x_2		
microcrystalline cellulose	x_3		

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal ของผงปลีกล้วยอัดเม็ด

Run	X_1 Soy milk Powder	X_2 cellulose	X_3 vitamin c	Hardness (kN) Y_1 Average	sd	Sensory Y_2 Average	sd
1	49.00	0.00	1.00				
2	41.66	5.68	2.66				
3	39.92	4.24	5.84				
4	39.00	6.38	4.62				
5	46.08	0.99	2.94				
6	41.00	8.00	1.00				
7	42.05	3.42	4.53				
8	41.00	8.00	1.00				
9	45.02	3.98	1.00				
10	41.52	0.48	8.00				
11	45.02	3.98	1.00				
12	49.00	0.00	1.00				
13	39.12	2.88	8.00				
14	44.11	0.00	5.89				

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมปริมาณของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100%) เสมอกล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่น ๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน

การออกแบบการทดลองแบบ D-optimal (วรพจน์ มีถม และรุจทินกฤต, 2558) เป็นการสุ่มค่าของโปรแกรมออกแบบการทดลองที่เราใช้เป็นค่าที่ไม่สามารถสุ่มทุกจุดการทดลองทั้งหมดได้เพื่อมาทดลองประเมิน จะใช้อัลกอลิทึมในการแลกเปลี่ยนเพื่อวิ่งค่าการคำนวณไปในจุดหลักๆ ที่เรากำหนด เช่น จุดกึ่งกลางแกนของรูปแบบกำลังสาม (Center Edge) จุดมุม (Vertices) และจุดภายในของรูปแบบกำลัง (Interior) หรือจุดหลักอื่นๆ เป็นต้น เพื่อดูว่าค่าดีเทอร์มิแนนท์ มีค่ามากที่สุดหรือไหม หากครบแล้วโปรแกรมจะหยุกสุ่ม แล้วเอาจุดทดลอง (Candidate Point) มาสร้างเป็นรูปแบบการทดลอง

การทดสอบความแม่นยำของสมการ

เมื่อทำการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal แล้วจะได้สมการของแต่ละวิธีออกมา จากนั้นต้องทำการทดสอบความแม่นยำโดยค่า R^2 เป็นค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของรูปแบบสมการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1.0 แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำ

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} y_{experimental} \times y_{predicted}}{\sqrt{(\sum_{i=a}^{n} y_{experimental}^2)(\sum_{i=1}^{n} y_{predicted}^2)}} \right]^2$$

ขณะที่ค่า χ^2, ค่า RMSE, ค่า MBE เป็นค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้บ่งบอกความผิดพลาดในการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_{experimental} - Y_{predicted})^2}{N - n_p}$$

เมื่อ N = จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

n_p = คือ จำนวนตัวแปรในแบบจำลอง

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Y_{experimental} - Y_{predicted})^2}$$

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Y_{experimental} - Y_{predicted})^2$$

ดังนั้น สมการที่ดีควรมีค่า R^2 มาก แต่มีค่า χ^2, ค่า RMSE, ค่า MBE น้อย

การตอกอัดเม็ดยาสมุนไพร (ปลีกล้วยอัดเม็ด)

ภาพที่ 18 ปลีกล้วยอัดเม็ด

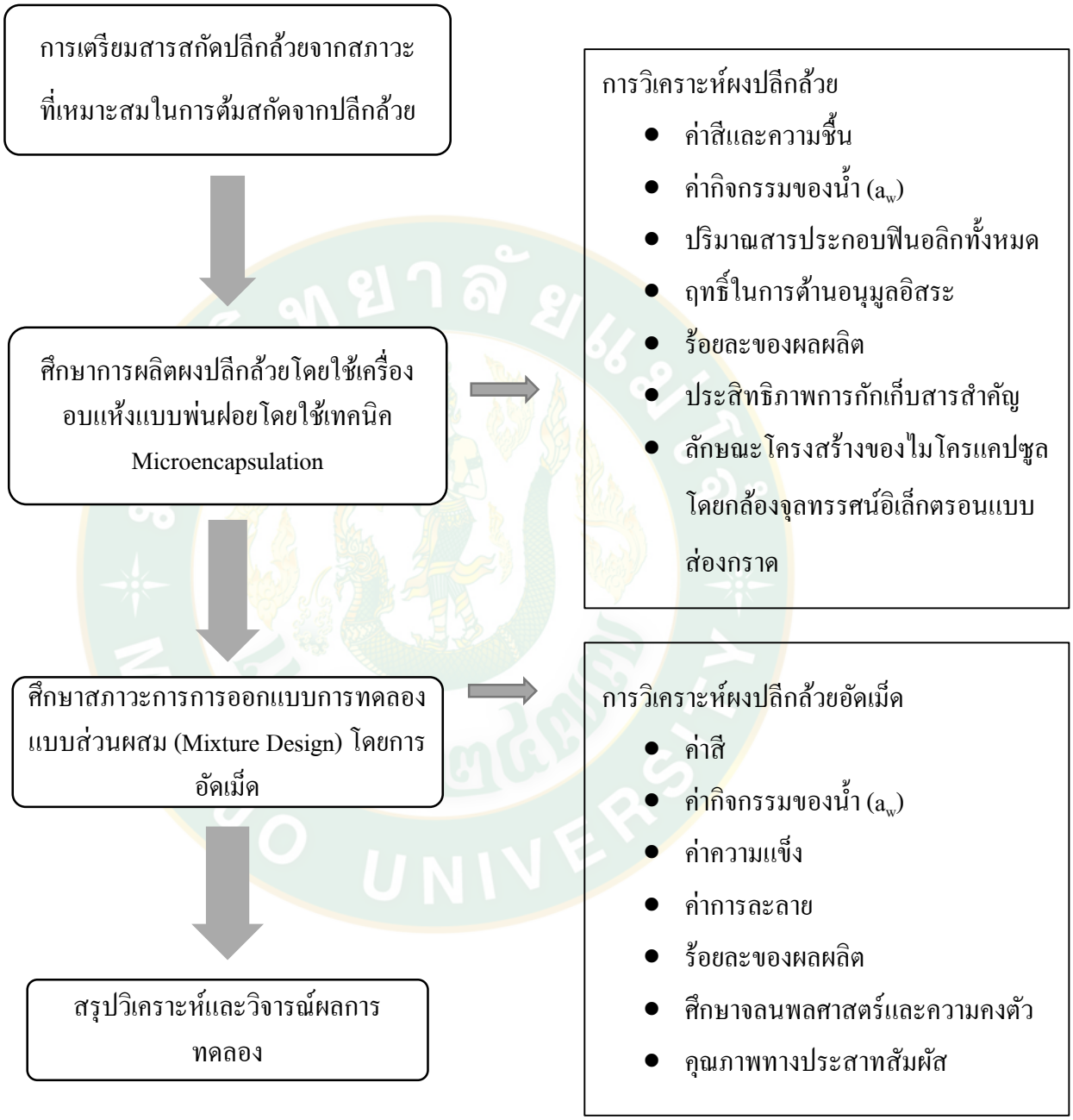
ขั้นตอนการอัดเม็ด

1. เตรียมผงปลีและส่วนผสมอื่นๆ ชั่งน้ำหนักตามสูตรที่ต้องการอัดเม็ดแล้วนำผงมาผสมกันโดยการปั่นละเอียด 2- 3 นาที จนปลีกล้วยผงผสมเข้ากันกับส่วนผสมอื่นๆ
2. เทตัวอย่างให้ช่องบรรจุด้านหน้าตัวเครื่อง
3. เมื่อตัวอย่างลงไปในแท่งบรรจุแล้ว เปิดสวิตช์ซ้ายสุด สีเขียว เพื่ออัดเม็ด

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ด

สุ่มผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ใช้ประเมินแบบให้คะแนนโดยวิธี 5 point hedonic scale ซึ่งมีการให้คะแนนต่ำสุด คือ 1 คะแนน และคะแนนสูงสุด คือ 5 คะแนน (1 คะแนน=ไม่ชอบมาก, 2 คะแนน=ไม่ชอบ, 3 คะแนน= เฉยๆ, 4 คะแนน=ชอบ, 5 คะแนน= ชอบมาก) และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ

แผนภาพการดำเนินงาน



บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกักเก็บสารสกัดจากปลีกล้วยน้ำว้าเพื่อนำไปพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัดสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน สารสกัดปลีกล้วยถูกกักเก็บด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียสในการผลิตปลีกล้วยผง โดยศึกษาการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน และทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ประสิทธิภาพการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างปลีกล้วยผง ดูอายุการเก็บรักษา และนำปลีกล้วยผงที่ได้มาแปรรูปต่อโดยทำเป็นผลิตภัณฑ์สารสกัดปลีกล้วยอัดเม็ดซึ่งจะมีการออกแบบการทดลองแบบการหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture design) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ผงน้ำนมถั่วเหลือง วิตามินซี Microcrystalline cellulose ตัวแปรควบคุม 3 ตัวแปรคือ ปลีกล้วยผง น้ำตาลแลคโตส แมกนีเซียม เพื่อหาสูตรในการอัดเม็ดที่เหมาะสมในการสกัดให้ได้ค่าความแข็งตามมาตรฐานของยาสมุนไพรอัดเม็ด

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลของร้อยละผลผลิตของผงปลีกล้วยสกัด

จากการศึกษาร้อยละของผลผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สารห่อหุ้มต่างชนิดกันมีค่าผลผลิตของมอลโตเด็กตรินซ์ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน ได้ผลผลิตร้อยละ 2.76, 3.79 และ 2.71 ตามลำดับตามตารางที่ 4 ซึ่งมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) มีค่าปริมาณผลผลิตของผงปลีกล้วยสกัดสูงที่สุด

เนื่องจากมอลโตเด็กตรินซ์วัสดุผนังห่อหุ้มเดี่ยวมียังคุณสมบัติที่ต้องการไม่ครบทั้งหมด ดังนั้นการผสมคาร์โบไฮเดรต (มอลโตเด็กตรินซ์) และพอลิแซ็กคาไรด์ (กัมอารบิก) ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจาก กัมอารบิกมีอิทธิพลต่อน้ำตาลที่สามารถเชื่อมโยงกับคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดการห่อหุ้มสารฟีนอลิกได้ดีกว่าและมีขนาดของแข็งที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ได้ผลผลิตสูง

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผงปลีกล้วยสกัด

ชนิดของสารห่อหุ้ม	ผลผลิต (ร้อยละ)
MD5	2.76^{b}±0.70
MD4GA1	3.79^{a}±0.45
MD4GE1	2.71^{b}±0.40

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลของค่าสีผงปลีกล้วยสกัด

นำผงปลีกล้วยสกัด วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพราะคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบอกถึงคุณภาพที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคที่สำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำตัวอย่างผงปลีกล้วยสกัด ใส่ลงในจานแก้วใสและปิดฝาเลือก ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด เลือกค่าคุณสมบัติในการวัด ค่าสีโดยเลือกระบบเป็ น L * , a * และ b * ทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง อ่านผลการวัดค่าสีจากเครื่อง และบันทึกผลการวัดของแต่ละค่า เมื่อ L * คือ ค่าสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) a * คือ สีแดง/สีเขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว)

จากการศึกษาค่าสีของผงปลีกล้วยสกัดเมื่อเปรียบเทียบค่า L* a* และ b* ของตัวอย่างพบว่าปลีกล้วยผงมีค่า L* อยู่ในช่วง 51.90 - 52.68 ซึ่งปลีกล้วยผงที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) มีค่าความสว่างที่มากกว่าผงปลีกล้วยสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารอื่นเพียงเล็กน้อย และค่า a* อยู่ในช่วง 10.71 - 11.38 โดยปลีกล้วยผงมีค่าเป็นบวกหมายถึง ค่าสีแดง และค่าของ b* อยู่ในช่วง 13.62 - 14.17 โดยปลีกล้วยผงที่ห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิดมีค่า เป็นบวกทั้งสามชนิดแสดงถึงปลีกล้วยผงมีค่าสีเหลือง

ตารางที่ 5 ค่าสีของผงปลีกล้วยสกัด

ชนิดของ	**ค่าสี**		
สารห่อหุ้ม	**L***	**a***	**b***
MD5	52.32^{ab}±0.39	11.38^{a}±0.13	14.17^{a}±0.25
MD4GA1	51.99^{b}±0.12	11.16^{a}±0.05	14.01^{ab}±0.19
MD4GE1	52.68^{a}±0.16	10.71^{b}±0.13	13.62^{b}±0.12

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ภาพที่ 19 ปลีกล้วยผง โดยศึกษาการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด 1)มอลโตเด็กตรินซ์ 2)มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก 3)มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน ตามลำดับ

ผลของปริมาณความชื้น ค่า a_w และการละลาย ของผงปลีกล้วยสกัด

จากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น (Moisture content) ในปลีกล้วยผง แสดงผลใน(ตารางที่ 7) จากการวิเคราห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผงปลีกล้วยสกัดอยู่ในช่วง 0.174 - 0.219 ส่วนปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.15 - 2.63 ซึ่งจากการวิเคราห์ค่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ผักและผลไม้แห้ง) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผงปลีกล้วยสกัด ได้แก่ ค่าปริมาณค่าน้ำอิสระซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษาของอาหารเนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในอากาศมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 และควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2016)

ความสามารถในการละลายของผงปลีกล้วยสกัดจากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่มีสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ที่ร้อยละ 81.19 - 82.00 เนื่องจากสารที่ใช้ในการห่อหุ้มทุกตัวมีคุณสมบัติที่ดีในการละลายทำให้การละลายน้ำของผงสารสกัดปลีกล้วยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งความสามารถในการละลายถือเป็นสมบัติสำคัญของผงสารสกัดเนื่องจากการนำมาเป็นส่วนผสมของอาหาร หรือการคืนสภาพในการใช้งาน ซึ่งค่าการละลายของผงสารสกัดปลีกล้วย เมื่อเปรียบเทียบในปริมาณของผงสารสกัดและระยะเวลาที่เท่ากันสารสกัดปลีกล้วยสามารถละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิห้องโดยสารห่อหุ้มที่ต่างชนิดกันไม่ส่งผลให้เกิดค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 6 ผลของปริมาณความชื้น ค่า a_w และการละลาย ของปลีกล้วยผง

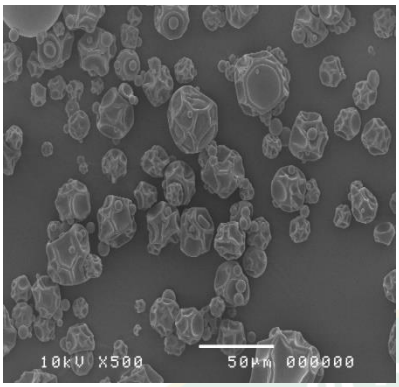
ชนิดของสารห่อหุ้ม	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าการละลาย (ร้อยละ)
MD5	0.219±0.02[a]	2.26±0.05 [a]	81.19[a]±0.99
MD4GA1	0.174±0.12[b]	2.15±0.20[a]	82.00[a]±0.29
MD4GE1	0.210±0.22[ab]	2.63±0.51[a]	81.61[a]±0.22

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

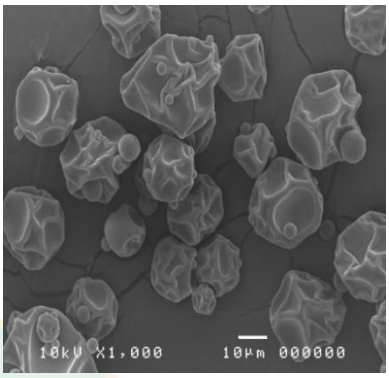
ขนาดและลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วย

ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วยที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า เพื่อในการสังเกตลักษณะโครงสร้างของสารห่อหุ้มทั้งสามชนิดที่ปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้มร้อยละ 5 เท่ากันแต่ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกันจากผลการทดลองพบว่าสารห่อหุ้มที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์เพียงอย่างเดียว มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน สามารถเห็นได้ชัดว่าลักษณะของอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลมที่เหมือนบุบลงไปเล็กน้อย หรือเป็นทรงกลมที่มีหลุมเพราะเนื่องจากอนุภาคของสารห่อหุ้มเมื่อถูกอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยความร้อนที่สูงทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วเพราะเกิดการสูญเสียความชื้น (Silva P. L., 2013) และสามารถสังเกตเห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างกันที่ขนาดของอนุภาคสารที่ห่อหุ้มด้วย โดยไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ (ภาพที่ 21) มีขนาดประมาณ 10-30 ไมโครเมตร มีขนาดเล็กกว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วย มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (ภาพที่ 22) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (ภาพที่ 23) มีขนาดของไมโครแคปซูลประมาณ 20-50 ไมโครเมตร ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเนื่องจากสารมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งจากรูปภาพการห่อหุ้มของสารสองชนิดทำให้ผงมีขนาดที่ใหญ่กว่าสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวเนื่อง และที่สารต่างชนิดกันลักษณะที่กลมและยุบตัวแต่ไม่แตกหักซึ่งสามารถห่อหุ้มสารสำคัญได้ทำให้สารสำคัญที่มีอยู่ในสารสกัดปลีกล้วยมีการลดลงของสารฟีนอลิกทั้งหมดที่ช้าลงและยังปกป้องสารสำคัญจากความชื้นหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก ป้องกันสารสกัดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแสง อากาศ ความชื้นภายนอก ยืดอายุการเก็บรักษาของสารสกัดหยาบจึงทำให้ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อเรานำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ (พุฒิยา และคณะ, 2560)

ก)

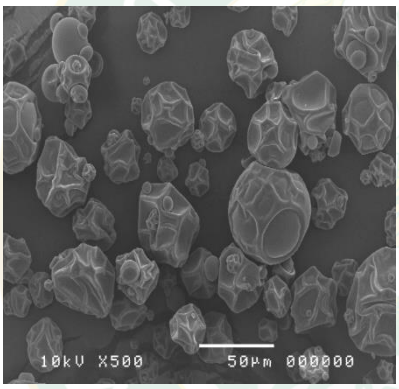


ข)

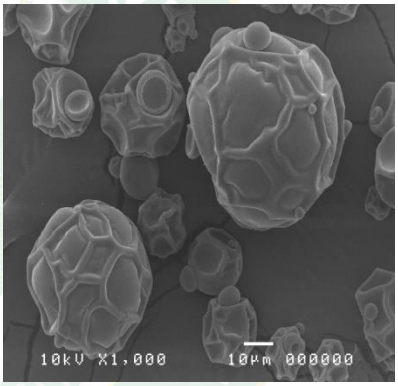


ภาพที่ 20 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ด้วยกำลังขยาย 1000

ก)

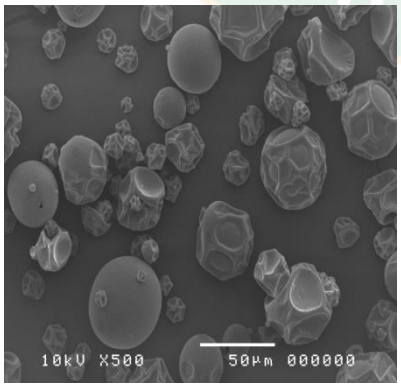


ข)

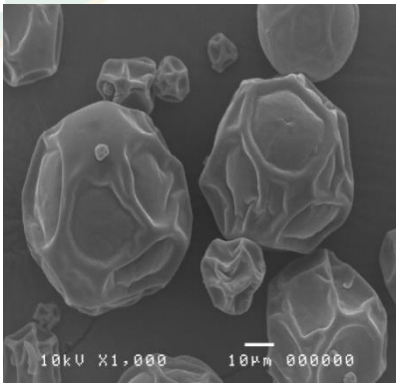


ภาพที่ 21 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิกด้วยกำลังขยาย 1000

ก)



ข)



ภาพที่ 22 ก) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินด้วยกำลังขยาย 500 ข) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาตินด้วยกำลังขยาย 1000

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงปลีกล้วยสกัด

ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ของปลีกล้วยผง

จากการศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยแห้งซึ่งออกแบบการทดลองจากสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90 – 95 องศาเซลเซียส และพบว่าชนิดของสารที่ใช้ในการห่อหุ้มมีอิทธิพลต่อปริมาณสารสำคัญ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสำคัญในปลีกล้วยผง พบว่าที่ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5), มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) , มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) (ตารางที่ 8) เท่ากับ 153.14, 245.12 และ 237.41 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าสารห่อหุ้มที่ใช้เฉพาะมอลโตเด็กตรินมีค่าน้อยกว่าสารห่อหุ้มที่ใช้มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) และ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ซึ่งมาจากการเลือกสารห่อหุ้มที่ตรงต่อคุณสมบัติที่ดีในการช่วยห่อหุ้มสารสำคัญมาผสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสารสำคัญเพิ่มสูงขึ้น (Zhongxiang F, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในวิธี DPPH ซึ่งค่าในการยับยั้งสูงสุดถูกห่อหุ้มโดยมอลโตเด็กตรินซ์และกัมอารบิกโดยมีความสามารถในการยับยั้ง 56.28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) (ตารางที่ 8) มีค่าอยู่ในช่วง 2.72 ถึง 4.91 Fe^{2+}ต่อกรัมตัวอย่างของไมโครแคปซูลของปลีกล้วยผงที่มีสารห่อหุ้มแตกต่างกัน พบว่ามอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) มีปริมาณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งผลมีความสอดคล้องกับ (Akhavan Mahdavi และคณะ, 2016) ผลการวิจัยของระบุว่าตัวอย่างผลิตด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก MDGA เป็นวัสดุผนังแสดงประสิทธิภาพกระบวนการสูงสุดและคุณภาพผงที่ดีที่สุด สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชันสำหรับ Barberry anthocyanins ประสิทธิภาพของการกักเก็บสารสกัดของแอนโธไซยานินอาจสูงถึง 92.83%

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ(ตารางที่ 8) พบว่าสารห่อหุ้มที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไปมีผลต่อการยับยั้งอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยพบว่ามอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) มีปริมาณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีค่าร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) เท่ากับร้อยละ 59.28 ส่วนของมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) เท่ากับร้อยละ 22.7 และร้อยละ 45.05 ตามลำดับข

ตารางที่ 7 ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ของปลีกล้วยผง

ชนิดของสารห่อหุ้ม	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample})	DPPH inhibition (ร้อยละ)	FRAP Values (Fe^{2+}/g_{sample})
MD5	153.14^{c}±8.24	22.7^{c}±2.14	4.91^{a}±0.15
MD4GA1	245.12^{a}±0.82	56.28^{a}±5.89	4.46^{a}±0.26
MD4GE1	232.74^{b}±1.88	45.05^{b}±1.07	2.72^{b}±0.26

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลของชนิดสารห่อหุ้มเพื่อการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วย

จากการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วย โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลจากปลีกล้วยผงโดยการทดลองที่ความแตกต่างของสารห่อหุ้มทั้งหมด 3 ชนิด ปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญของมีประสิทธิภาพการกักเก็บที่ 95.56, 99.05 และ92.44 ตามลำดับโดยสารห่อหุ้มที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GA1) ห่อหุ้มได้ดีที่สุด ผลลัพธ์นี้สอดคล้อง ว่าวัสดุผนังห่อหุ้มเดี่ยวมียังคุณสมบัติที่ต้องการไม่ครบทั้งหมด ดังนั้นการผสมคาร์โบไฮเดรต (มอลโตเด็กตรินซ์) และพอลิแซ็กคาไรด์ (กัมอารบิก) (Gharsallaoui Adem และคณะ, 2007) ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจาก กัมอารบิกมีอิทธิพลต่อน้ำตาลที่สามารถเชื่อมโยงกับคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดการห่อหุ้มสารฟีนอลิกได้ดีกว่าเพราะฟีนอลิกเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิแซ็กคาไรด์ นอกจากนี้การผสมมอลโตเด็กตรินซ์ผสมเจลาติน (MD4GE1) มีประสิทธิภาพการห่อหุ้มที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ มอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอารบิก (MD4GA1) แต่ก็ยังมีการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งถือว่าสามารถกักเก็บได้ดี

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของสารห่อหุ้มในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากปลีกล้วยผง

ชนิดของสารห่อหุ้ม	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample})	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวของไมโครแคปซูล (mg_{GAE}/g_{sample})	ประสิทธิภาพการกักเก็บ (ร้อยละ)
MD5	167.80^{a}±1.32	7.47^{b}±1.15	95.56^{b}±0.71
MD4GA1	100.97^{c}±7.65	0.97^{c}±0.76	99.05^{a}±0.72
MD4GE1	145.63^{b}±15.88	10.97^{a}±1.15	92.44^{c}±0.79

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงปลีกล้วยสกัดต่อคุณสมบัติทั่วไปทางเคมีและกายภาพ

นำผงปลีสกัดที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผงโดยการนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 14 สัปดาห์ และเก็บค่าคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ ค่าสี (ค่า L* (ความสว่าง) a* (สีแดง) และ b* (สีเหลือง) ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าความชื้น AOAC, (2000),และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ดัดแปลงวิธีของ (Swain T, 1959)

ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสีของผงปลีกล้วยสกัด

การวัดสีของผงปลีกล้วยสกัดสกัดจะทำการวัดค่า L* a* และ b* โดยค่าสี L* เป็นค่าแสดงความสว่างจากสีขาว (L* เท่ากับ 100) ไปจนถึงสีดำ (L* เท่ากับ 0) ค่าสี a* ถ้าค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง แต่ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีเขียว ส่วนค่า b* ถ้าค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีเหลือง แต่ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีน้ำเงิน จากการเก็บรักษาผงปลีสกัดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ45 องศาเซลเซียส การวัดค่าสีพบว่าสีผงปลีสกัดมีสีน้ำตาลอมม่วง ซึ่งพบว่าค่า L*มีค่าเพิ่มขึ้น และ ลดลง ในช่วง 49.17 -54.65 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเพียงขึ้นเล็กน้อย ค่า a* จะมีค่าที่ลดลงในช่วง 10.45 - 11.74 เมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น โดยผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 35 45 องศาเซลเซียสมีการลดลงของค่าสี a* เล็กน้อย ผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ35 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีที่เข้มขึ้นส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า L* ลดลงเล็กน้อย ค่า a* ลดลงเล็กน้อย และค่า b* ที่ช่วง 12.54 - 14.84 ซึ่งจากการมองด้วยตาเปล่า ค่าสีไม่มีการเปลี่ยงแปลงอย่าง

เห็นได้ชัด สอดคล้องกับผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลาที่นาน

ตารางที่ 9 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี L*ของผงปลีกล้วยสกัด

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	55.45^{a}±0.02	55.45^{a}±0.02	54.65^{a}±0.03
2	52.62^{e}±0.01	51.65^{h}±0.02	51.14^{e}±0.02
4	52.47^{c}±0.01	52.14^{f}±0.02	51.16^{e}±0.01
6	51.74^{g}±0.03	53.17^{g}±0.01	49.17^{f}±0.01
8	52.26^{d}±0.03	52.77^{e}±0.02	54.66^{d}±0.01
10	51.46^{h}±0.01	54.25^{c}±0.02	52.63^{c}±0.01
12	53.66^{b}±0.01	53.47^{b}±0.03	53.14^{b}±0.01^{e}
14	51.87^{f}±0.01	51.88^{e}±0.01	51.85^{d}±0.02

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 10 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี a* ของผงปลีกล้วยสกัด

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	11.05^{d}±0.41	11.57^{d}±0.02	11.05^{d}±0.41
2	11.26^{cd}±0.01	11.86^{a}±0.01	12.25^{b}±0.01
4	11.36^{cd}±0.01	11.67^{c}±0.01	11.53^{c}±0.01
6	11.45^{bc}±0.03	11.74^{b}±0.02	10.45^{e}±0.01
8	11.34^{bc}±0.01	11.34^{e}±0.01	13.13^{a}±0.02
10	12.13^{a}±0.02	11.13^{f}±0.01	12.34^{b}±0.02
12	11.44^{bc}±0.03	10.63^{h}±0.01	11.44^{b}±0.02
14	11.54^{b}±0.01	10.96^{g}±0.01	11.03^{c}±0.02

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 11 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี b* ของผงปลีกล้วยสกัด

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	13.98^{bb}±0.35	14.37^{g}±0.02	13.98^{c}±0.35
2	14.24^{c}±0.01	13.61^{d}±0.01	13.16^{ab}±0.01
4	13.86^{ab}±0.02	13.73^{e}±0.01	14.65^{d}±0.02
6	14.22^{c}±0.01	14.84^{h}±0.02	14.14^{cd}±0.01
8	14.54^{d}±0.02	12.44^{a}±0.01	12.66^{a}±0.02
10	13.74^{a}±0.02	13.55^{c}±0.03	13.85^{b}±0.01
12	13.95^{ab}±0.03	14.22^{f}±0.01	13.58^{bc}±1.15
14	14.03^{bc}±0.02	13.11^{b}±0.01	12.54^{a}±0.01

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผงปลีกล้วยสกัด

ค่า a_w เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จากการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาปลีกล้วยผงที่อุณหภูมิ 25, 35 และ45 องศาเซลเซียส ผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางค่าปริมาณน้ำอิสระ จากการทดลองพบว่าในทุกอุณหภูมิจะพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นและค่อยลดลงจนคงที่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) ซึ่งผงปลีกล้วยสกัดสกัดจะมีปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ยอยู่ที่ 0.295 –0.321, 0.304-0.324 และ 0.294-0.317 ตามลำดับ อุณหภูมิ 25, 35 และ45 องศาเซลเซียส จะพบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระในผงปลีกล้วยสกัดสกัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่เหลืออยู่เกิดการระเหยไป

ตารางที่ 12 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผงปลีกล้วยสกัด

ระยะเวลา(สัปดาห์)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ a_w		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	0.317±0.003^{d}	0.317±0.003^{c}	0.317±0.003^{e}
2	0.321±0.001^{e}	0.324±0.003^{d}	0.297±0.002^{a}
4	0.311±0.001^{c}	0.316±0.001^{c}	0.294±0.002^{a}
6	0.295±0.001^{a}	0.304±0.002^{a}	0.303±0.002^{b}
8	0.305±0.002^{b}	0.318±0.001^{c}	0.304±0.001^{b}
10	0.313±0.002^{c}	0.315±0.001^{c}	0.308±0.001^{c}
12	0.316±0.002^{d}	0.312±0.001^{b}	0.314±0.002^{d}
14	0.321±0.001^{e}	0.316±0.001^{c}	0.312±0.004^{d}

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาปลีกล้วยผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตั้งแต่สองสัปดาห์ขึ้นไปมีค่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการคงตัวปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด แต่ปลีกล้วยผงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจมีผลทำให้เกิดการสลายตัวปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

ตารางที่ 13 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

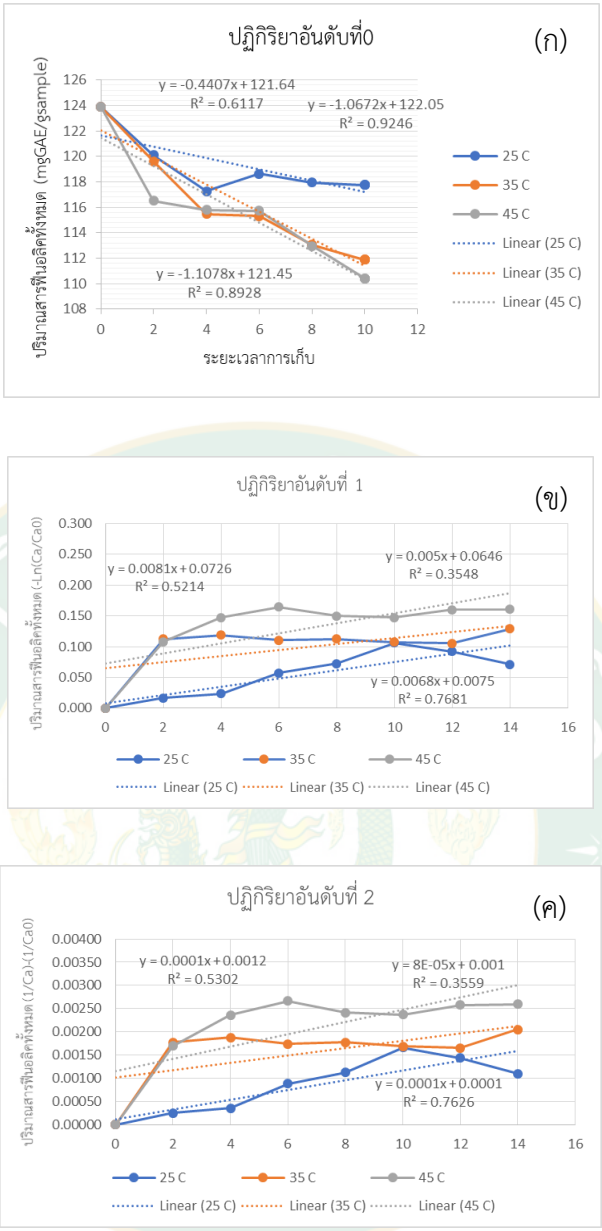
ระยะเวลาการจัดเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/gsample)		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	67.07^{a}±1.050	67.07^{a}±1.050	67.07^{a}±1.050
2	65.97^{b}±0.289	59.94±^{bc}0.624	60.21^{b}±0.305
4	65.51^{b}±0.321	59.57^{bc}±0.305	57.91^{c}±0.702
6	63.34^{c}±0.436	60.07^{b}±0.115	56.91^{c}±1.159
8	62.37^{d}±0.321	59.94^{bc}±0.608	57.74^{c}±0.360
10	60.34^{e}±0.529	60.24^{b}±0.264	57.87^{c}±0.665
12	61.17^{e}±0.321	60.37^{b}±0.231	57.17^{c}±0.057
14	62.47^{cd}±0.404	58.97^{c}±0.472	57.14^{c}±0.513

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาปลีกล้วยผงในสภาวะเร่งโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์

นำผงสีธรรมชาติจากปลีกล้วยผงที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาประเมินอายุการเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และในสภาวะเร่ง โดยเก็บไว้ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส แล้วเก็บข้อมูลปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงถึงความคงตัวของสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 14 สัปดาห์

เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/gsample) กับเวลาเพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/gsample) กับระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดกับเวลาการเก็บรักษา (t) มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งค่า R^2 ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากปฏิกิริยาอันดับสองมากนักดังแสดงในภาพที่ 17 ดังนั้นจึงเลือกใช้ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเนื่องจากนิยมใช้ในการในการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ และการสลายตัวของสารสำคัญภายในผลิตภัณฑ์ (คงวุฒิ นิรันตสุข, 2006)



ภาพที่ 23 แสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ข) และปฏิกิริยาอันดับสอง (ค) เมื่อเก็บปลีกล้วยผงที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 14 ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์ของผงปลีกล้วยสกัดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

Storage condition	Order	R^2	Rate constant k x 10^{-3}	Half-life $t_{1/2}$	Pigment retention (%)
25 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.768	5.07 (สัปดาห์$^{-1}$)	136.59 (สัปดาห์)	93.14
35 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.521	9.19 (สัปดาห์$^{-1}$)	75.40 (สัปดาห์)	87.92
45 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.356	11.44 (สัปดาห์$^{-1}$)	60.54 (สัปดาห์)	85.19

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

จากตารางที่ 16 สามารถอธิบายได้ว่า ผงปลีกล้วยสกัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) อยู่ที่ 136.59, 75.40 และ 60.54 สัปดาห์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด แปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ โดยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดต่ำลง เนื่องจากสลายตัวของปปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นผงปลีกล้วยสกัดในงานวิจัยนี้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆได้ประมาณ 1-2 ปี โดยไม่ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสลายไปแต่ต้องเก็บรักษาไว้ในถุงฟรอยกันความชื้นที่ถูกปิดสนิท และจากตารางสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่าค่าความคงตัวของผงสีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆมีค่าความคงตัวมากกว่า 93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (อรุษา เชาวนลิขิต, 2010) ได้ศึกษาความคงตัวของสารเบต้าไซยานินของผงเปลือกแก้วมังกรที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าผงแก้วมังกรมีค่าครึ่งชีวิตอยู่ที่ 76.15 สัปดาห์ และมีค่าความคงตัวอยู่ที่ 86.96 เปอร์เซ็นต์ และจากงานวิจัยของ (กีรตินาฎ พูลเกษตร และคณะ, 2010) ทำการประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง พบว่าเมื่อเก็บรักษาสารที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อายุการเก็บลดต่ำลง

ผลการออกแบบการทดลองแบบการหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture design)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ทำการวิเคราะห์ค่า hardness หรือ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่างครั้งแรก ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ผงน้ำนมถั่วเหลือง วิตามินซี Microcrystalline cellulose ตัวแปรควบคุม 3 ตัวแปรคือ ปลีกล้วยผง น้ำตาลแลคโตส แมกนีเซียม เพื่อหาสูตรในการอัดเม็ดที่เหมาะสมในการสกัดให้ได้ค่าความแข็งตามมาตรฐานของยาสมุนไพรอัดเม็ด ดังตารางที่ 15. พบว่า ค่า hardness ของปลีกล้วยอัดเม็ดทั้ง 14 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 4.70-9.76 กิโลนิวตัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งตามมาตรฐานของยาสมุนไพรอัดเม็ดค่าความแข็งของเม็ดยาต้องอยู่ในช่วง 4 – 6 กิโลนิวตัน ซึ่งสูตรที่ดีที่สุดคือ สูตรที่ 9 มีค่าความแข็งของปลีกล้วยอัดเม็ดอยู่ที่ 4.70 กิโลนิวตัน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ทำการประเมินความชอบที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของการปลีกล้วยอัดเม็ดทั้ง 14 สูตร โดยประเมินลักษณะต่างๆ ดังนี้คือ สี การเคี้ยว รสชาติ ความชอบรวม ลักษณะที่ปรากฏ (ความเป็นเม็ด) ทำการทดสอบด้วยวิธี 5-point hedonic scale ซึ่งนำข้อมูลมาค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบในด้านต่างๆ พบว่าการปลีกล้วยอัดเม็ดทั้ง 14 สูตร ได้รับคะแนนความชอบที่มีผลต่อการยอมรับ โดยรวม สี การเคี้ยว รสชาติ ความชอบรวม ลักษณะที่ปรากฏ (ความเป็นเม็ด) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ได้คะแนนสูงที่สุดคือสูตรที่ 9 สูตรที่ให้ผลใกล้เคียงกัน คือ สูตรที่ 11 เหมือนกันได้แก่ นมถั่วเหลืองผงที่ร้อยละ 45.02 , Microcrystalline cellulose ร้อยละ 3.98 และ วิตามินซี ร้อยละ 1.00

ค่าความแข็งของปลีกล้วยอัดเม็ด (hardness)

ตารางที่ 15 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) แบบ D-optimal ของผงปลีกล้วยอัดเม็ด

Run	X_1	X_2	X_3	Hardness (kN) Y_1		Sensory Y_2	
	Soy milk Powder	Microcrystalline cellulose	vitamin c	Average	sd	Average	sd
1	49.00	0.00	1.00	9.27^{ab}	0.27	2.31^{de}	0.09
2	41.66	5.68	2.66	7.24^{cde}	0.48	2.51^{de}	0.18
3	39.92	4.24	5.84	8.31^{bc}	0.82	2.88^{c}	0.10
4	39.00	6.38	4.62	7.53^{cd}	0.77	2.87^{c}	0.31
5	46.08	0.99	2.94	7.57^{cd}	0.39	2.46^{de}	0.26
6	41.00	8.00	1.00	7.91^{cd}	0.83	2.57^{e}	0.16
7	42.05	3.42	4.53	7.91^{cd}	0.83	2.37^{de}	0.10
8	41.00	8.00	1.00	8.31^{bc}	0.82	2.45^{de}	0.11
9	45.02	3.98	1.00	4.70^{f}	0.48	4.05^{a}	0.11
10	41.52	0.48	8.00	6.14^{e}	0.58	2.53^{de}	0.06
11	45.02	3.98	1.00	6.76^{ed}	1.60	3.21^{b}	0.47
12	49.00	0.00	1.00	9.76^{a}	0.36	2.24^{f}	0.13
13	39.12	2.88	8.00	7.00^{cde}	0.58	2.85^{c}	0.30
14	44.11	0.00	5.89	6.66^{de}	0.66	2.41^{de}	0.23

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการถดถอยของค่าความแข็ง (Hardness)

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	Standrad Error	P-value
ผงน้ำนมถั่วเหลือง (X_1)	0.212	0.016	0.0006
วิตามินซี (X_2)	9.950	2.181	0.0237
microcrystalline cellulose (X_3)	2.858	2.153	0.1097
$X_1 X_2$	-0.245	0.054	0.3946
$X_1 X_3$	-0.076	0.052	0.6571
$X_2 X_3$	-2.409	0.976	0.0964
X_1	0.060	0.024	0.0006
X_2	0.212	0.016	0.0591
X_3	9.950	2.181	0.1296

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากตารางที่ 15 และตารางที่ 16 ของปัจจัยที่ต้องการศึกษากับค่าการตอบสนองของปัจจัยสามารถวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 (p≤0.05) พบว่าแบบจำลองพื้นที่ผิวตอบสนองมีความเหมาะสม และค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.995 แสดงว่าจากสมการข้างต้นสามารถอธิบายตัวแปรค่าตอบสนองได้ 98.9 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) สามารถเขียนในรูปแบบของสมการได้ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$Y_1 = 0.21X_1 + 9.95X_2 + 2.86X_3 - 0.25X_1X_2 - 0.08X_1X_3 - 2.41X_2X_3 - 0.06X_1X_2X_3$$

เมื่อ Y คือ ค่าความแข็ง

X_1 คือ ผงน้ำนมถั่วเหลือง

X_2 คือ วิตามินซี

X_3 คือ microcrystalline cellulose

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการถดถอยของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory)

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	Standrad Error	P-value
ผงน้ำนมถั่วเหลือง (X_1)	0.043	0.006	0.0001
วิตามินซี (X_2)	-4.160	0.769	0.0010
microcrystalline cellulose (X_3)	-0.286	0.759	0.7179
$X_1 X_2$	0.103	0.019	0.0009
$X_1 X_3$	0.009	0.019	0.6558
$X_2 X_3$	1.153	0.344	0.0122
X_1	-0.028	0.008	0.0128
X_2	0.043	0.006	0.0001
X_3	-4.160	0.769	0.0010

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากตารางที่ 15 และตารางที่ 17 ของปัจจัยที่ต้องการศึกษากับค่าการตอบสนองของปัจจัยสามารถวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 (p≤0.05) พบว่าแบบจำลองพื้นที่ผิวตอบสนองมีความเหมาะสม และค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.995 แสดงว่าจากสมการข้างต้นสามารถอธิบายตัวแปรค่าตอบสนองได้ 98.9 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) สามารถเขียนในรูปแบบของสมการได้ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$Y_2 = 0.044X_1 - 4.16X_2 - 0.28X_3 + 0.10X_1X_2 + 0.09X_1X_3 + 1.15X_2X_3 - 0.03X_1X_2X_3$$

เมื่อ Y คือ คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory)

X_1 คือ ผงน้ำนมถั่วเหลือง

X_2 คือ วิตามินซี

X_3 คือ microcrystalline cellulose

ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของปลีกล้วยอัดเม็ดต่อคุณสมบัติทั่วไปทางเคมีและกายภาพ

ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสีของปลีกล้วยอัดเม็ด

การวัดสีของผงปลีกล้วยสกัดสกัดจะทำการวัดค่า L* a* และ b* โดยค่าสี L* เป็นค่าแสดงความสว่างจากสีขาว (L* เท่ากับ 100) ไปจนถึงสีดำ (L* เท่ากับ 0) ค่าสี a* ถ้าค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง แต่ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีเขียว ส่วนค่า b* ถ้าค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีเหลือง แต่ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีน้ำเงิน จากการเก็บรักษาผงปลีสกัดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส การวัดค่าสีพบว่าสีผงปลีสกัดมีสีม่วงอมน้ำตาล ซึ่งพบว่าค่า L* มีค่าลดลงเล็กน้อย ค่า a* จะมีค่าที่ลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น โดยปลีปล้วยอัดเม็ดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีการเพิ่มขึ้นของค่าสี a* รวดเร็วและชัดเจนกว่าผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ35 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีที่เข้มขึ้นส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า L* ลดลงและเล็กน้อย ค่า a* ลดลงเล็กน้อย ส่วนค่า b* มีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในปลีกล้วยอัดเม็ดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 18 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี L* ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	75.62^{a}±0.565	75.62^{a}±0.565	75.62^{a}±0.565
2	75.57^{a}±0.010	74.58^{b}±0.036	68.28^{b}±0.030
4	75.43^{a}±0.015	72.71^{d}±0.035	54.73^{c}±0.090
6	79.03^{a}±6.347	71.52^{e}±0.063	52.35^{d}±0.011
8	74.91^{a}±0.316	69.71^{f}±0.393	49.94^{e}±0.425
10	76.37^{a}±0.178	71.69^{e}±0.153	48.55^{f}±0.086
12	76.12^{a}±0.100	72.50^{e}±0.020	46.52^{g}±0.072
14	76.16^{a}±0.015	73.73^{c}±0.055	45.74^{h}±0.058

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 19 ผงของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี a* ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	6.98^{a}±0.179	7.18^{d}±0.469	7.18^{g}±0.469
2	6.92^{a}±0.035	6.94^{d}±0.015	8.28^{f}±0.585
4	6.75^{a}±0.030	7.27^{d}±0.041	9.85^{e}±0.023
6	6.71^{b}±0.037	8.70^{a}±0.122	10.66^{d}±0.032
8	6.63^{b}±0.150	8.91^{a}±0.180	12.43^{c}±0.115
10	6.30^{c}±0.100	7.61^{c}±0.075	13.15^{bc}±0.030
12	6.37^{c}±0.036	7.91^{bc}±0.066	14.25^{a}±0.045
14	6.24^{c}±0.023	8.13^{b}±0.036	13.68^{ab}±1.126

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 20 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าสี b*ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ระยะเวลา(สัปดาห์)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	11.08^{a}±0.718	11.08^{a}±0.718	11.08^{a}±0.718
2	11.13^{a}±0.015	11.12^{a}±0.020	13.58^{b}±0.052
4	12.36^{b}±0.045	13.69^{b}±0.255	17.79^{c}±0.066
6	12.95^{b}±0.540	17.47^{c}±0.305	20.29^{d}±0.095
8	14.34^{c}±0.204	19.82^{e}±0.475	23.90^{e}±0.213
10	15.05^{cd}±0.111	19.92^{e}±0.255	25.04^{f}±0.032
12	15.77^{de}±0.402	17.44^{c}±0.050	25.57^{g}±0.035
14	16.19^{e}±0.632	18.16^{d}±0.058	25.63^{g}±0.061

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลของอิทธิพลจลนพลศาสตร์และความคงตัวที่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ผงปลีกล้วยอัดเม็ด

ค่า a_w เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาผงสีธรรมชาติที่อุณหภูมิ 25, 45 และ55 องศาเซลเซียสนั้น ผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางค่าปริมาณน้ำอิสระ จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะส่งให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากมีการระเหยไปของน้ำและความชื้นที่อยู่ในผงปลีกล้วยอัดเม็ด ซึ่งปลีกล้วยอัดเม็ดจะมีปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ยอยู่ที่ 0.414 - 0.303, 0.414-0.295 และ 0.414-0.286 ตามลำดับ และจากตารางที่ 21 จะพบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระในปลีกล้วยอัดเม็ดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงที่สุดคือ 45 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่เหลืออยู่เกิดการระเหยไป

ตารางที่ 21 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ระยะเวลา(สัปดาห์)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ a_w		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	0.414^{a}±0.003	0.414^{d}±0.003	0.414^{a}±0.003
2	0.384^{b}±0.002	0.345^{cd}±0.021	0.344^{a}±0.010
4	0.363^{c}±0.008	0.354^{de}±0.009	0.319^{a}±0.003
6	0.352^{d}±0.003	0.345^{fe}±0.017	0.315^{b}±0.006
8	0.324^{f}±0.003	0.328^{gf}±0.007	0.314^{b}±0.003
10	0.317^{g}±0.003	0.323^{gf}±0.007	0.296^{c}±0.016
12	0.303^{h}±0.002	0.305^{g}±0.003	0.292^{c}±0.006
14	0.304^{h}±0.001	0.295^{h}±0.009	0.286^{c}±0.011

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลของความคงตัวของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ตารางที่ 22 ผลของความคงตัวที่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

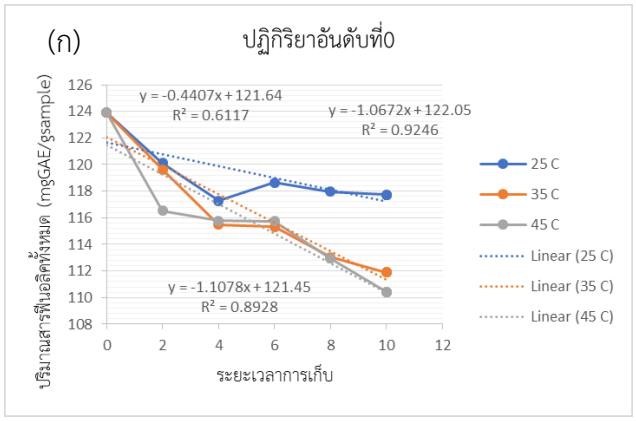
ระยะเวลาการจัดเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample})		
	25 องศาเซลเซียส	**35 องศาเซลเซียส**	**45 องศาเซลเซียส**
0	69.55^{a}±0.988	69.55^{a}±0.987	69.55^{a}±0.987
2	48.10^{b}±0.104	42.14^{b}±0.160	37.30^{b}±0.160
4	43.60^{c}±0.1014	39.17^{c}±0.173	32.30^{c}±0.161
6	41.79^{d}±0.076	38.65^{cd}±0.230	35.67^{c}±0.050
8	41.44^{d}±0.076	37.95^{ef}±0.202	35.10^{d}±0.104
10	41.57^{d}±0.150	37.52^{f}±0.327	32.65^{d}±0.144
12	41.35^{d}±0.189	35.99^{gh}±0.550	28.65^{e}±0.058
14	41.45^{d}±0.252	35.74^{h}±0.275	25.14^{f}±0.126

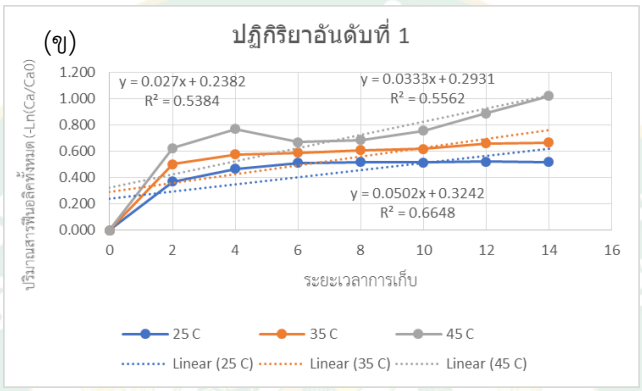
หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

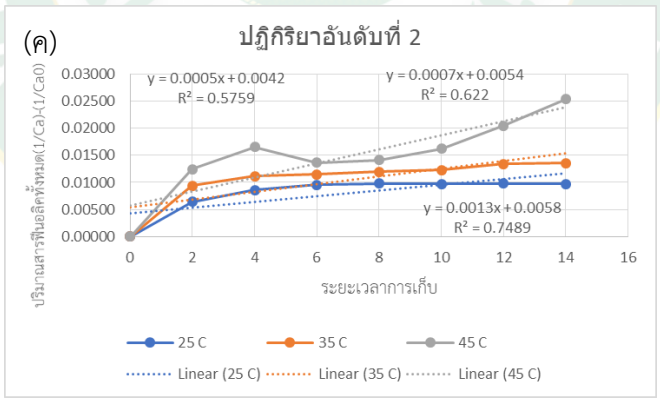
ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีในสภาวะเร่งโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์

นำผงสีธรรมชาติจากปลีกล้วยผงที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาประเมินอายุการเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และในสภาวะเร่ง โดยเก็บไว้ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส แล้วเก็บข้อมูลปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงถึงความคงตัวของสารบราซิลีน โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 14 สัปดาห์

เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด(mg_{GAE}/g_{sample}) กับเวลาเพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample}) กับระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดกับเวลาการเก็บรักษา (t) มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งค่า R^2 ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากปฏิกิริยาอันดับสองมากนักดังแสดงในภาพที่ 17 ดังนั้นจึงเลือกใช้ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเนื่องจากนิยมใช้ในการในการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ และการสลายตัวของสารสำคัญภายในผลิตภัณฑ์ (คงวุฒิ นิรันตสุข, 2006)







ภาพที่ 24 แสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (ข) และปฏิกิริยาอันดับสอง (ค) เมื่อเก็บปลีกล้วยอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 23 อิทธิพลจลนพลศาสตร์ของปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

Storage condition	Order	R^2	Rate constant k x 10^{-3}	Half-life $t_{1/2}$	Pigment retention (%)
25 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.664	36.96 (สัปดาห์$^{-1}$)	18.75 (สัปดาห์)	59.60
35 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.538	47.56 (สัปดาห์$^{-1}$)	14.57 (สัปดาห์)	51.38
45 องศาเซลเซียส (หลังจาก 14 สัปดาห์)	1	0.556	72.69 (สัปดาห์$^{-1}$)	9.53 (สัปดาห์)	36.14

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

จากตารางที่ 16 สามารถอธิบายได้ว่า ผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) อยู่ที่ 18.75, 14.57 และ 9.53 สัปดาห์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดต่ำลง เนื่องจากสลายตัวของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษา และในผงปลีกล้วยอัดเม็ดที่ผสมวิตามินซีสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนหรือการเก็บรักษาไม่เหมาะสม (รัตนาปนนท์, 2562b) เมื่อการเก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะเร่งการทำงานของเอนไซม์ให้เร็วขึ้น ทำให้วิตามินซีถูกทำลายเพิ่มมากขึ้น (รัตนาปนนท์, 2562a) ดั้งนั้นทำให้ผงปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าผงปลีกล้วยสกัด

ในงานวิจัยนี้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆได้ประมาณ 2- 6 เดือน โดยไม่ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสลายไปแต่ต้องเก็บรักษาไว้ในถุงฟรอยกันความชื้นที่ถูกปิดสนิท และจากตารางสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่าค่าความคงตัวของผงสีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆมีค่าความคงตัว 59.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (อรุษา เชาวนลิขิต, 2010) ได้ศึกษาความคงตัวของสารเบต้าไซยานินของผงเปลือกแก้วมังกรที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าผงแก้วมังกรมีค่าครึ่งชีวิตอยู่ที่ 76.15 สัปดาห์ และมีค่าความคงตัวของผงสีอยู่ที่ 86.96 เปอร์เซ็นต์ และจากงานวิจัยของ (กีรตินาฎ พูลเกษตร และคณะ, 2010) ทำการประเมินอายุการเก็บ

รักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง พบว่าเมื่อเก็บรักษาสารที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อายุการเก็บลดต่ำลง

การเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

ภาพที่ 25 ผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี

เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อการพัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัดสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน ร่วมกับ บริษัท พลีพรีม จำกัด และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงปลีกล้วยสกัด และปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซี (Plee Ncap Banana Blossom with Vitamin C) โดยใช้เทคนิคเอ็นแคปซูเลชั่นยืดอายุการเก็บรักษาความคงตัวต่อปัจจัยแวดล้อมต่างๆ และนำมาอัดเม็ดเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ พกพาง่าย รับประทานสะดวกและมีรสชาติที่ดี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1.การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงสารสกัดปลีกล้วยโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันซึ่งมีสารห่อหุ้มที่แตกต่างกันสามชนิด (มอลโตเด็กตรินซ์, กัมอาราบิก, เจลาติน) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำผงสารสกัดปลีกล้วยด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าโดยสารห่อหุ้มที่ดีที่สุดคือผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ผสมกัมอาราบิก (MD4GA1ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีประสิทธ์ภาพการกักเก็บสารฟีนอลิคทั้งหมด ร้อยละ 99.05 การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPD ร้อยละ 56 โดยวิธี FRAP 4.70 Fe^{2+}/g_{sample} และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด 245.12 (mg_{GAE}/g_{sample}) พบว่าคุณสมบัติทางเคมีคุณสมบัติทางกายภาพฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วยผง และประสิทธิ์ภาพกรห่อหุ้มยังคงคุณสมบัติที่ดีทางเคมีและทางกายภาพที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผักและผลไม้แห้ง มผช.136/2016 ซึ่งเป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหาร

2.จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การเก็บรักษาพบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่าสีค่าน้ำอิสระ และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และปลีกล้วยผงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 136.59, 75.40 และ 60.54 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งผงสารสกัดมีค่าความคงตัวของสารฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในระดับสูงกว่าร้อยละ 85

3.สภาวะที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสม (Mixture Design) ของการอัดเม็ดปลีกล้วยผง จลนพลศาสตร์ความคงตัวของการอัดเม็ด ทางเคมีคุณสมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยอัดเม็ดได้สูตรที่ดีที่สุดคือ นมถั่วเหลืองผงที่ร้อยละ 45.02 , วิตามินซี ร้อยละ 3.98 และ Microcrystalline cellulose ร้อยละ 1.00

4.จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การเก็บรักษาพบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่าสีค่าน้ำอิสระ และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18.75, 14.57 และ 9.53 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีมีค่าความคงตัวของสารฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในระดับ 60 %

5.เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ปลีกล้วยมาแปรรูปเป็นปลีกล้วยอัดเม็ดผสมวิตามินซีในการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรจนเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภค

ปัญหาที่พบ

จากการผลิตผงสารสกัดปลีกล้วยโดยการต้มสกัดพบว่าวัตถุดิบในการใช้การวิจัย (ปลีกล้วยน้ำว้า) ในแต่ละครั้งมีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้ เนื่องจากแหล่งของการปลูกวัตถุดิบต่างกันทำให้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณสารสำคัญที่ได้

ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบควรมีการควบคุมแหล่งที่รับวัตถุดิบเป็นแหล่งเดียวและมีการเตรียมน้ำปลีกล้วยสกัดเพื่อทำการทดลองครั้งเดียวในปริมาณที่เพียงพอต่อการทำงานวิจัยทั้งหมด

ภาคผนวก ก

ผลงานของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิชาการ

ปลีกล้วย..อัดเม็ด
เพื่อคุณแม่หลังคลอด

คุณแม่ลูกอ่อนมักจะมีปัญหาไม่มีน้ำนมเลี้ยงลูกคนโบราณจึงให้กินแกงหัวปลีเพื่อบำรุงให้แม่ลูกอ่อนมีนมเลี้ยงลูกได้เพียงพอ

แต่วิถีปัจจุบัน ชีวิตครอบครัวคนยุคนี้พ่อบ้านแม่บ้านต้องทำงานกันทั้งคู่ แทบไม่มีเวลาทุ่มเทอาหาร ที่พึ่งแต่กับข้าวถุง เรื่องคิดสิ่นจะได้กินแกงหัวปลียากจะเป็นจริงครั้นหันไปพึ่งยากระตุ้นน้ำนมราคาแพง

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) จึงสนับสนุนทุนให้ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ ดร.กาญจนา นาคประสม คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมศึกษาวิจัยนำปลีกล้วยมาแปรรูปเป็น "ปลีกล้วยอัดเม็ด" (Plee Ncap)

เพราะผลการศึกษา... ในปลีกล้วยอุดมไปด้วยวิตามินซี วิตามินอี วิตามินบี โปแตสเซียม แมกนีเซียม กรดฟลาโวนอยด์ สารต่อต้านอนุมูลอิสระ และสารเอทานอล สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อโรค ช่วยรักษาบาดแผล ลดระดับน้ำตาลในเลือด เพิ่มปริมาณน้ำนมแม่ ช่วยรักษาการเลือดออกมากเกินไป ปรับสภาพมดลูก ลดปัญหาท้องผูกเนื่องจากการตั้งครรภ์ และเพิ่มคุณค่าสารอาหารในน้ำนมแม่ได้เป็นอย่างดี

"เราทำปลีกล้วยแต่ละสายพันธุ์มาศึกษาถึงองค์ประกอบสารระสำคัญ พบว่าปลีกล้วยน้ำว้าให้สารสำคัญมากกว่าพันธุ์อื่นๆ และสารสำคัญที่สุดอยู่ที่ช่อดอกบริเวณกลีบอ่อนที่อยู่ระหว่างกลีบปลี ส่วนเส้นใยจากกลีบปลีกล้วยให้สารแอนโธไซยานิน ช่วยคุณแม่หลังคลอดฟื้นฟูสุขภาพให้แข็งแรงขึ้น

แรกเริ่มเราคิดจะแปรรูปเป็นน้ำปลีกล้วยพร้อมดื่ม แต่พบว่าต้องใช้น้ำตาลและต้องแช่เย็นเครื่องดื่มเย็นๆ มีผลกับปริมาณน้ำนม จึงหันมาทำปลีแห้งพร้อมชงแต่หากบริโภคไม่ทันผงปลีจะเกิดจับตัวเป็นก้อน ขนาดใหญ่ แถมปลีแห้งยังต้องใช้น้ำตาลช่วยในกระบวนการสกัดเย็น จะทำให้แม่เสี่ยงเป็นโรคเบาหวานได้ เลยต้องหันไปใช้วิธีการเหล่านั้นไปจนในที่สุดพบว่าแปรรูปเป็นปลีกล้วยอัดเม็ดน่าจะดีที่สุดสำหรับสังคมยุคนี้ ที่เน้นกินง่าย พกพาได้สะดวก"

ดร.กาญจนา อธิบายถึงกระบวนการแปรรูป... หลังจากสกัดปลีกล้วยแล้วพักไว้ 1-2 คืน ให้น้ำยางกล้วยแห้ง จากนั้นนำปลีกล้วยมาหั่น และนำไปผ่านกระบวนการสกัดน้ำ จะได้สารจากปลีกล้วยเข้มข้น แล้วนำไปผ่านกระบวนการสกัดแห้งแล้วอัดเม็ด...แบบเดียวกับการทำยาอัดเม็ด ปลีกล้วย 1 กก.นำไปอัดเม็ดได้ 80-100 เม็ด

แม่ให้นมบุตร บริโภคเพียงวันละ 1-2 เม็ด จะได้รับคุณค่าสารอาหารเท่ากับหัวปลีแกงกล้วย ปลีกล้วยอัดเม็ด จะมีทั้งสูตรดั้งเดิม สูตรผสมขิง สูตรผสมกะเพรา และสูตรเสริมวิตามินซี ตามใจสอบถามได้ที่ 09-1853-3066.

เพ็ญพิชญา เตียง

ภาพผนวกที่ 1 การเผยแพร่ผลิตภัณฑ์ทางหนังสือพิมพ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

เกียรติบัตรประกาศเกียรติคุณนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ผลงานวิจัยเรื่อง Plee Ncap TM : Microencapsulate Tablet of Banana Blossom Extract for Maternal Breastfeeding

โดย อาจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล นางสาวสุภิญญา สุยเหล็ก และนางขนิษฐา จันทร์ขจรชัย

ได้สร้างชื่อเสียงให้แก่มหาวิทยาลัยในด้านการวิจัยระดับนานาชาติ ประจำปี พ.ศ. 2561
สมควรได้รับการยกย่องให้เป็นเกียรติสืบไป

ให้ไว้ ณ วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

Scanned with CamScanner

ภาพผนวกที่ 2 เกียรติบัตรของผลงานวิจัยเรื่อง Microencapsulate Tablet of Banana blossom Extract for Maternal Breastfeeding

บรรณานุกรม

กีรตินาฎ พูลเกษตร. และคณะ. 2553. **การประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง**. น. 452-459. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48**:** สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.**

คงวุฒิ นิรันตสุข. 2559. **การศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศ**.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ดวงพร อมรเลิศพิศาล รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์ และอุเทน จำใจ. 2559. **ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากชาปลีกล้วย**. น.1360-1365. ใน การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 3**.** 15-16 กันยายน 2559. ณ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 56 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

เต็ม สมิตินันทน์. 2544. **พรรณไม้แห่งประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

นงลักษณ์ ห้วยหงษ์ทอง. 2559. การทดสอบสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของสมุนไพรไทยบางชนิดที่ใช้รักษาโรคเบาหวาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยบูรพา.

บัณฑิต พรหมรักษา และคณะ. 2557. **เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันและบทบาททางการแพทย์. ศรีนครินทร์เวชสาร**,29(1), 90-97.

พงษ์ศิริกุล อิศรพงษ์. 2002. **การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร เชียงใหม่**: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรณิศา แสนบุญส่ง และ วรรณดา มลิวรรณ์. 2559. **การเลี้ยงลูกด้วยน้ำนมแม่อย่างมีคุณภาพ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ และบทบาทของพยาบาลผดุงครรภ์**, 8(2), 225-237.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2555. **Gelatin / เจลาติน**. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1008/gelatin

พุฒิยา รัตนศิริวัฒน์, กนิษฐา ไพรงาม, รัชนก สงวนวงษ์, วาสนา ชาวนาตรี และประภาพรรณ เพียรชอบ. 2560. การกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ.**วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**. 11(2), 21-30.

มูทาดา คัททับ. 2543. กัมอารบิกสารธรรมชาติมหัศจรรย์. **วารสารสถาบันอาหาร (NFI Journal)**, 3(14), 34-36.

รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์ และจิตรา สิงห์ทอง. 2559. การผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดรางจืดเพื่อการ

ประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา.

รัตนาปนนท์ นิธิยา. 2562. **การสูญเสียวิตามินซีระหว่างการหุงต้ม**. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/ (8 สิงหาคม 2562)

รัตนาปนนท์ นิธิยา. 2562. **สมบัติทางทางเคมีของวิตามินซี**. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7186 (8 สิงหาคม 2562)

วรพจน์ มีถม และรุจทินกฤต เชิญขวัญ. 2558. การหาส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองกรณีศึกษา อุตสาหกรรมต่อเหล็ก. **วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**, 9(2), 74-84.

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2559. **เจลาติน**. แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. 2562. เทคโนโลยีโครงสร้างระดับนาโน. แหล่งที่มา https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html (20 ตุลาคม 2562)

สมบูรณ์ เจตลีลา. 2556. **ผลิตภัณฑ์สมุนไพรตอนที่ 1: สนุกกับการผลิตยาเม็ดสมุนไพร**. แหล่งที่มา https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/135/ (15 เมษายน 2561)

สมบูรณ์ เจตลีลา. 2556. **ผลิตภัณฑ์สมุนไพรตอนที่ 2: มาตรฐานทางกายภาพของยาเม็ดสมุนไพร**. แหล่งที่มา https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/154 (15 เมษายน 2561)

สังข์รัศมี ณัฐพล. 2562. เครื่องตอกเม็ดยา แบบสากเดี่ยว รุ่น **SPT SERIES**. แหล่งที่มา https://www.tupack.co.th/เครื่องผลิตยา-เครื่องแพ็คยา/เครื่องอัดเม็ดยา-เครื่องตอกเม็ดยา/750-เครื่องตอกเม็ดยา-แบบสากเดี่ยว.html (19 กันยายน 2562)

วิตามินซี. 2562. แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/ (19 กันยายน 2562)

สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. 2552. หัวปลีหรือดอกกล้วยมีสรรพคุณในการเพิ่มน้ำนมแม่หลังคลอด. แหล่งที่มา http://www.medplant.mahidol.ac.th/user/reply.asp?id=5493 (19 เมษายน 2561)

หนูเดือน สาระบุตร, กรรณิการ์ ห้วยแสน, พนอจิต นิติสุข และอนันต์ พันธ์พิบูลย์. 2557. สมบัติทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมปุยฝ้ายเติมผงสีมะนาวโห่ที่มีมอลโทเด็กซ์ทรินต่างกัน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**,5,399-405.

อรุษา เชาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์**

นทรวิโรฒ,3(6), 26-36.

อรุษา เชาวนลิขิต, ประเสริฐ เตชชีวพงศ์, และปริญญา ตั้งเจริญกิจ. 2010. **ความคงตัวของเบต้าไซยานินจากเปลือกแก้วมังกร**,41(3/1), 409-412.

อายุรวัฒน์เวชศาสตร์. 2559. ปลีกล้วย. แหล่งที่มา https://sukkaphap-d.com/ (19 เมษายน 2561)

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาว สุภิญญา สุยะเหล็ก

เกิดเมื่อ 22 เมษายน 2537

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนส่วนบุญโญปถัมภ์ จังหวัดลำพูน
พ.ศ.2559 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY