วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.1) January – April 2022 บทความวิจัย

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรอัดเม็ดและการประเมินอายุการเก็บรักษา

Development of Herbal Extract Tablet Formulation and Shelf-life Evaluation

สิปปกร สวัสดิ์สุขโข[1], นักรบ นาคประสม[1], สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ[1], ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร[1]
ดวงพร อมรเลิศพิศาล[2] และ กาญจนา นาคประสม[1*]

Sippakorn Sawadsukho[1], Nukrob Narkprasom[1], Somkiat Jaturonglumlert[1], Chanawat Nitatwichit[1],
Doungporn Amornlerdpison[2] and Kanjana Narkprasom[1*]

[1]*คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[2]*คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[1]*Faculty of Engineering and Agro-Industry Maejo University*
[2]*Agricultural Interdisciplinary Maejo University*

Received : 1 April 2021
Revised : 3 May 2021
Accepted : 24 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรอัดเม็ดและการประเมินอายุการเก็บรักษา โดยทำการผลิตผงสารสกัดจากขิง น้ำนมราชสีห์ และปลีกล้วยด้วยวิธีการไมโครเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย จากนั้นนำตัวอย่างผงสกัดสมุนไพรไปพัฒนาสูตรที่เหมาะสมเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค โดยมีปัจจัยหลักในการศึกษาทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ผงสกัดขิงร้อยละ 5-10 ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ร้อยละ 20-30 ผงสกัดปลีกล้วยร้อยละ 26-31 และเด็กซ์โทรสร้อยละ 30.5-40.5 ออกแบบการทดลองด้วยวิธี D-Optimal Designs ผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของการยอมรับของผู้บริโภค คือ ผงสกัดขิงร้อยละ 10 ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ร้อยละ 30 ผงสกัดปลีกล้วยร้อยละ 26 เด็กซ์โทรสร้อยละ 30.5 ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 314.12 mg_{GAE}/g_{sample} ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 75.9 ปริมาณความชื้นร้อยละ 2.56 ปริมาณน้ำอิสระ 0.201 และการวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัสพบว่ามีความแข็งอยู่ที่ 42.5 นิวตัน สำหรับการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 35-55 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 เดือน พบว่าการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็นไปตามความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าครึ่งชีวิตของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดสมุนไพรลดลง ซึ่งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : เอนแคปซูเลชัน ; สารสกัดสมุนไพรอัดเม็ด ; ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ; ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ; อายุการเก็บรักษา

Abstract

The objective of this research is to develop the herbal extract tablet formulation and shelf-life. The herbal extract powder from ginger, garden spurge and banana blossom were encapsulated by spray drying. The herbal extract powder was developed suitable formulation to study the sensory evaluation using D-optimal mixture design. The study of four main factors including 5 – 10 % of ginger powder, 20 – 30 % of garden spurge powder, 26 – 31 % of banana blossom and 30.5 – 40.5 % of dextrose were used elaborate the herbal extract tablet. The result showed that the optimum of herbal extract tablet was 10 % of ginger powder, 30 % of garden spurge powder, 26 % of banana blossom and 30.5 % of dextrose. Under this herbal extract tablet, the total phenolic content, antioxidant activity, moisture content, water activity and hardness were 314.12 mg_{GAE}/g_{sample}, 75.9 %, 2.56 %, 0.201 and 42.5 N, respectively. The shelf-life evaluation of herbal extract tablet was performed by storage at 35-55 °C for 5 months. It was found that degradation rate of total phenolic content of herbal extract tablet during storage followed the first-order reaction kinetic. The storage temperatures and times were significant effect on total phenolic content of herbal extract tablet.

Keywords : encapsulation ; herbal extract tablet ; Total phenolic content ; antioxidant activity ; shelf-life evaluation

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

บทนำ

พืชสมุนไพร เป็นผลผลิตจากธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณซึ่งนิยมนำมาทำเป็นยารักษาโรค ปัจจุบันสมุนไพรหลากหลายชนิดได้ถูกนำมาดัดแปลง ประยุกต์ สังเคราะห์ และพัฒนาให้เกิดประโยชน์ตรงตามความต้องการได้มากขึ้น การใช้สมุนไพรบางชนิดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น น้ำนมราชสีห์ (*Euphorbia hirta* L.) สรรพคุณทั้งต้นของสมุนไพรนี้สามารถใช้เป็นยาบำรุงกำลัง แก้พิษ ขับน้ำนม แก้ผดผื่นคัน ลำไส้อักเสบอย่างเฉียบพลัน บิดจากแบคทีเรีย หนองใน นอกจากนี้น้ำนมราชสีห์ยังมีกลุ่มของสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) เป็นพืชสมุนไพรที่มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทยและสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ขิงแห้ง ขิงผง ขิงดอง และน้ำมันขิง เป็นต้น โดยน้ำขิงมีรสเผ็ด และช่วยเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร บรรเทาอาการผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร เมื่อรับประทานสารสกัดขิงร่วมกับวิตามินบี 6 สามารถช่วยลดอาการคลื่นไส้อาเจียนในหญิงมีครรภ์และผู้ที่ได้รับเคมีบำบัดหลังการผ่าตัด (Smith *et al.*, 2004) สารสกัดขิงสามารถฆ่าเชื้อ *Helicobacter pylori* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแผลในกระเพาะอาหาร อีกทั้งยังช่วยลดการอักเสบ ลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด และปลีกล้วย (*Musa x paradisiaca* flower*)* เป็นอาหารบำรุงน้ำนมของผู้หญิงที่กำลังมีบุตร เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารซึ่งอุดมไปด้วย แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินซีและธาตุเหล็ก นอกจากนี้ปลีกล้วยยังมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดี (Mahmood, 2011) งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความสามารถการกักเก็บสารสำคัญในสมุนไพรด้วยการใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อที่จะสามารถรับประทานสมุนไพรต่าง ๆ ได้ง่ายโดยนำมาแปรรูปด้วยการอัดเม็ดให้สะดวกต่อการพกพาและรับประทาน

การใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) คือ กระบวนการห่อหุ้มสารบางชนิด เช่น วิตามิน ยารักษาโรค และสารสกัดสมุนไพร เป็นต้น โดยสารห่อหุ้มพื้นฐานด้วยกลุ่มพอลีแซคคาไรด์ ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin) เป็นการห่อหุ้มสารสำคัญที่มีความไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ไวต่อแสง และอุณหภูมิ เป็นต้น จะทำให้สารดังกล่าวมีความคงตัวดีขึ้นและเก็บรักษาได้ยาวนาน (Promraksa *et al.*, 2014) กระบวนการดังกล่าวยังช่วยป้องกันสารที่ระเหยง่าย สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้นเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันนี้จึงถูกประยุกต์ใช้ทั้งด้านเกษตรกรรมและอาหารด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นเทคนิคทำแห้งสำหรับอาหารเหลว เช่น นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ สารสกัด โดยการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนตัวของเหลว (feed) ที่นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ผงต่างๆ ควรมีลักษณะเหลวและไม่ข้นมาก เนื่องจากของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอย คือ atomizer ภายในห้องอบ เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber

การออกแบบการทดลองแบบผสม (mixture design) เป็นการทดลองวิเคราะห์ค่าผลตอบสนองที่เป็นฟังก์ชันเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบหรือสัดส่วนของการผสมส่วนประกอบเพื่อทำให้ได้ผลมีค่าที่ดีที่สุดหรือเป็นไปตามที่ผู้ทด ลอง

ต้องการ ซึ่งการทดลองแบบผสมเป็นการออกแบบพื้นผิวผลตอบสนองประเภทหนึ่ง โดยเทคนิคนี้สามารถลดจำนวนการทดลองและหาสูตรที่เหมาะสมจากหลายๆ ปัจจัย (Kaewploy, 2014) เพื่อนำไปพัฒนาต่อในผลิตภัณฑ์ผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดหรือเม็ดอบแบบตอกเม็ดเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคและมีแนวโน้มของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถพกพาง่าย สะดวก ทั้งยังมีอายุการเก็บรักษาได้นาน รับประทานได้ง่าย โดยผลิตภัณฑ์อัดเม็ดใช้เครื่องที่เรียกว่า Tablet tress สำหรับทำการอัดน้ำตาลป่นด้วยแรงอัดสูงจนอนุภาคของน้ำตาลเกาะติดเชื่อมกันทำให้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีเนื้อแข็ง ผิวเรียบลื่น ขอบมนชัด (Phuenpipob, 2015)

การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลจากกระบวนการที่ผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูปแล้ว การที่คุณภาพของอาหารลดลงหรือเกิดการเสื่อมเสียของอาหารขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ทางด้านเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ การทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 วิธีคือ การทดสอบในสภาวะปกติ โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมปกติ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะ ๆ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับ และการทดสอบในสภาวะเร่ง โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่สภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น อุณหภูมิสูงกว่าปกติ ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าปกติ เป็นต้น (Pongsawatmanit, 2017) สภาวะการเก็บเหล่านี้จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียเร็วขึ้นระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบจึงสั้นลง จากนั้นนำค่าไปแปรผลเป็นอายุการเก็บที่สภาวะปกติ เช่น อาหารชนิดหนึ่งมีอายุการเก็บ 60 วันที่สภาวะปกติและ 15 วันที่สภาวะเร่ง ดังนั้นอายุการเก็บ 1 วันที่ สภาวะเร่งจะเท่ากับ 4 วันที่สภาวะปกติ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของกระบวนการอัดเม็ดจากผงสารสกัดอนุภาคไมโครเมตรด้วยวิธีการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยและทำการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรอัดเม็ด

วิธีดำเนินงานวิจัย

<u>วัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่าง</u>

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมุนไพรไทยจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำนมราชสีห์ ขิง และปลีกล้วย ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการเตรียมตัวอย่าง และขั้นตอนการสกัดที่แตกต่างกันดังนี้ น้ำนมราชสีห์ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำน้ำนมราชสีห์สดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้ได้ความชื้นมาตรฐานไม่เกินร้อยละ 8 ตามมาตรฐานของสมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป มผช. 1441/2556 จากนั้นนำมาต้มสกัดที่อุณหภูมิน้ำเดือด โดยใช้อัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร โดยทำการต้มสกัดเป็นเวลา 30 นาที ขิงทำการเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการล้างขิงด้วยน้ำสะอาดและหั่นเป็นชิ้นขนาด 2*2 เซนติเมตร จากนั้นทำการสกัดเย็นโดยเป็นวิธีประยุกต์ใช้จากงานวิจัยของ Brown *et al*. (2016) โดยการบีบอัดแยกกาก เนื่องจากสาร Gingerol ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญในขิง สามารถสลายตัวได้ง่ายในอุณหภูมิสูง สุดท้ายนำส่วนของน้ำขิงที่สกัดได้นั้นกรองด้วย

ผ้าขาวบางเพื่อแยกกากออกทำให้ได้สารสกัดขิงเข้มข้น ปลีกล้วยทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำการปลีกล้วยมาวางพักไว้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ยางของปลีกล้วยลดน้อยลงและง่ายต่อการนำมาแปรรูป จากนั้นนำปลีกล้วยมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และหั่นเป็นชิ้นขนาดความกว้างประมาณไม่เกิน 1 เซนติเมตร และนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำการต้มสกัดที่อุณหภูมิน้ำเดือด โดยใช้ปลีกล้วยในอัตราส่วน 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ต้มสกัดเป็นเวลา 45 นาที (Suyalek *et al.,* 2020)

ขั้นตอนการทำแห้งผงสกัดสมุนไพรไทย

นำสมุนไพรแต่ละชนิดมาผสมกับมอลโตเด็กตรินซ์ (DE 15) ให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตรแล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (รุ่น SDE - 50 EURO 2) กำหนดที่อุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกอยู่ในช่วง 90-95 องศาเซลเซียส ดัดแปลงมาจากของ Suyalek *et al.,* (2020) จะได้ผงสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มหลังจากนั้นนำผงสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดนำมาเก็บรักษาในถุงกันความชื้นเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไปโดยเก็บตัวอย่างไว้ไม่เกิน 30 วัน

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

นำผงสารสกัดแต่ละชนิดมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ที่ดัดแปลงมาจากของ Blainski *et al*., (2013) โดยเตรียมผงสารสกัดมา 0.1 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายผงสารสกัดแต่ละชนิดที่เจือจางแล้วปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองและเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทึบแสงนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณหาค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค (Gallic acid) ความเข้มข้น 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

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

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Pomhirunkon (2008) โดยนำตัวอย่างผงสารสกัดน้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิงมาอย่างละ 0.1 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายผงสารสกัดแต่ละชนิดที่เจือจางในระดับที่เหมาะสมปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง และปิเปตสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (25-35 องศาเซลเซียส) พร้อมทั้งตัวอย่างควบคุม (Control) หรือสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง (Blank) สารสกัดโดยใช้น้ำจำนวน 0.1 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างวิเคราะห์ ตามวิธีการเดียวกัน เมื่อครบเวลา 30 นาที นำตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วคำนวณค่าความสามารถฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละของการยับยั้ง ดังสมการ

ร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) = [(1-(Sample-Control))/Control]×100% (1)

เมื่อ Control คือ DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 0.1 มิลลิลิตร

Sample คือ DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำสารสกัด 0.1 มิลลิลิตร

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บสารฟีนอลิกของผงสมุนไพร (Encapsulation efficiency, EE)

ประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญ (Encapsulation efficiency, EE) ดัดแปลงตามวิธีของ (Ratanasiriwat *et al.,* 2017) คือ ร้อยละของสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกกักเก็บไว้ในผงสารสกัดขิง ปลีกล้วย และน้ำนมราชสีห์ โดยการนำปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูลและปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลที่สกัดได้คำนวณตามสมการ

ประสิทธิภาพการกักเก็บ(ร้อยละ) = (ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล – ปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล)/
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (2)

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic Content ,TPC) โดยนำผงสารสกัด ปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายในอัตราส่วน 50 : 8 : 42 ประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำกลั่น) ทำการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 2 นาที นำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล

การหาปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล (Surface Phenolic Content, SPC) ได้ทำการดัดแปลงตามวิธีของ (Swain *et al.,* 1959) โดยนำผงสารสกัด ปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายประกอบด้วยเมทานอล และเอทานอล ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1) เพื่อทำลายโครงสร้างไมโครแคปซูล ทำการผสมสารตัวอย่างด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที และแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยเมมเบรนรูพรุนขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล

การวิเคราะห์ค่าสีของผงสกัดสมุนไพร

นำผงสารสกัดแต่ละชนิดวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น Min iSan XE Plus ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์ โดยทำการ calibration เลือกคุณสมบัติในการวัดค่าของตัวอย่างเลือกระบบเป็น L* , a* , b* จากนั้นนำผงสารสกัดแต่ละชนิดใส่ลงในจานแก้วใสและปิดฝาทำการวัดค่าสีของแต่ละตัวอย่างอ่านผลการวัดค่าสีจากเครื่อง และบันทึกผลการวัดของแต่ละค่าทำการทดลองทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง (โดย L * คือ ค่าความสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) a * คือ สีแดง,สีเขียว (+ = สีแดง , - = สีเขียว) และ b * คือ (+ = สีน้ำเงิน , - = สีเหลือง)) (Suyalek *et al.,* 2020)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity)

ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Water Activity ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น Series 3TE ประเทศอเมริกา ขั้นตอนแรกทำการเปิดเครื่อง Water Activity ทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จากนั้นชั่งผงสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดลงในถ้วยภาชนะให้ถึงขีดที่กำหนด โดยจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม แล้วนำภาชนะลงไปวางในเครื่องและหมุนปุ่มเพื่อทำการอ่านค่าใช้เวลาในการวิเคราะห์ 10-15 นาที เครื่องวัด Water Activity จะบอกค่าอุณหภูมิที่ใช้และค่าปริมาณน้ำอิสระ ทำการวัดค่าทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณน้ำอิสระ (Suyalek *et al.*, 2020)

การวิเคราะห์หาความชื้น (Moisture content)

ทำการทดลองโดยการเปิดเครื่อง Moisture Analyzer รุ่น MX-50 ประเทศญี่ปุ่น ขั้นตอนแรกกดปุ่ม Tare เพื่อทำการหักค่าน้ำหนักของภาชนะ จากนั้นนำผงสารสกัดแต่ละชนิดที่ใช้ในการวิเคราะห์มาใส่ลงในถาดอลูมิเนียม 5 กรัม แล้วทำการปิดฝาเครื่องและกดปุ่มเริ่มทำงานเครื่องจะเริ่มกระบวนหาความชื้นอัตโนมัติ จากนั้นรอเครื่องวัดค่าความชื้นจนเสร็จจะแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องเป็นร้อยละของความชื้นฐานแห้ง ทำการวัดค่าทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง เสร็จสิ้นขั้นตอนการหาค่าความชื้น (Suyalek *et al.*, 2020)

การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design)

การทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของสมุนไพรอัดเม็ดโดยวิธีออกแบบการทดลองแบบผสม (mixture design) แบบ D-optimal ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปกำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษาแบบมีกำหนดช่วงศึกษา 4 ปัจจัย คือ ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ร้อยละ 20-30 ผงสกัดปลีกล้วยร้อยละ 26-31 ผงสกัดขิงร้อยละ 5-10 และเด็กซ์โทรสร้อยละ 30.5-40.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ทุกสูตรมีซูคาโรสร้อยละ 0.5 เซลลูโลสร้อยละ 2 และแมกนีเซียมร้อยละ 1) ได้สูตรการทดลองทั้งหมด 15 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 2 แล้วทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส Hedonic-7-Scale โดยการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ 1 คะแนน=ไม่ชอบมาก 2 คะแนน=ไม่ชอบปานกลาง 3 คะแนน=ไม่ชอบเล็กน้อย 4 คะแนน=เฉยๆ 5 คะแนน=ชอบเล็กน้อย 6 คะแนน=ชอบปานกลาง 7 คะแนน=ชอบมาก (Granato *et al.*, 2012) โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม 1 สูตร และนอกจากนี้ต้องทำการวิเคราะห์สูตรที่มีการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทำสูตรสมุนไพรอัดเม็ด

ตัวแปร	Low level	High level
ผงสกัดน้ำนมราชสีห์	20	30
ผงสกัดปลีกล้วย	26	31
ผงสกัดขิง	5	10
เด็กซ์โทรส	30.5	40.5

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ด

สูตรส่วนผสม	ผงสกัดขิง (ร้อยละ)	ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ (ร้อยละ)	ผงสกัดปลีกล้วย (ร้อยละ)	เด็กซ์โทรส (ร้อยละ)
1	7.9	23.3	28.5	36.8
2	5.0	22.4	28.6	40.5
3	10.0	21.5	30.9	34.1
4	5.7	24.6	31.0	35.3
5	10.0	30.0	26.0	30.5
6	5.0	28.1	26.0	37.4
7	10.0	25.2	26.2	35.1
8	7.6	27.6	28.6	32.7
9	5.0	30.0	31.0	30.5
10	5.3	20.1	31.0	40.1
11	6.6	25.0	26.0	38.8
12	10.0	20.0	26.0	40.5
13	5.0	27.4	28.8	35.3
14	9.1	20.0	29.3	38.1
15	10.0	24.6	31.0	30.9

การวิเคราะห์ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

วิธีทดสอบแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XTPlus นำตัวอย่างที่ทำการทดลองทั้งหมด 15 สูตรแต่ละสูตรที่มีขนาดเท่ากัน มาวางบนฐานเครื่อง Texture Analyzer เลือก Load cell ขนาดน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ใช้หัววัดรหัส HDP/BS ที่เหมาะสมกับวัสดุที่จะใช้ทดสอบเลือกโปรแกรม Texture ที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XTPlus (Friedman *et al*., 1963) ผลการทดสอบแต่ละสูตรจะแสดงข้อมูลค่าเนื้อสัมผัสออกมา

การหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

การทดลองการหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นำผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดที่ได้จากการหาสูตรที่เหมาะสมมาบรรจุปิดผนึกใส่ถุงฟอยด์ทึบแสง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35,45 และ55 องศาเซลเซียส เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 5 เดือนนับตั้งแต่วันที่เริ่มผลิต คุณลักษณะด้านต่าง ๆ ที่ทำการตรวจสอบการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent จากสมการที่ 3 (Kanpairo *et al.*, 2012) สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลงเหลือปริมาณครึ่งนึงของปริมาณเริ่มต้น

$$\ln CA = kt + \ln CA_0 \quad (3)$$

เมื่อ CA หมายถึง ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เกิดขึ้น

CA_0 หมายถึง ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่จุดเริ่มต้น (ที่ $t = 0$)

k หมายถึง อัตราปฏิกิริยา (reaction rate constant)

t หมายถึง ระยะเวลาในการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่การทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของการทดลอง และ ความแปรปรวนภายในกลุ่มของการทดลองค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง

จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง ในรูปแบบน้ำสกัดเข้มข้นและผงสกัด พบว่าน้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง ในรูปแบบของน้ำสกัดเข้มข้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คือ 55.91, 48.68 และ 30.63 mg_{GAE}/ml_{sample} ตามลำดับ และรูปแบบของผงสกัด คือ 143.31, 71.60 และ 71.36 mg_{GAE}/g_{sample} ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง มีการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระทั้งในรูปแบบของน้ำสกัดเข้มข้นที่ปริมาณร้อยละ 63.98, 41.25 และ 30.58 ตามลำดับ และในรูปแบบผงสกัดร้อยละ 70.52, 55.95 และ 27.17 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง

วัตถุดิบ	รูปแบบน้ำสกัดเข้มข้น		รูปแบบผงสกัด	
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/ml_{sample})	ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample})	ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)
น้ำนมราชสีห์	55.91^{a}±2.85	63.98^{a}±1.95	143.31^{a}±5.68	70.52^{a}±4.21
ปลีกล้วย	48.68^{b}±2.77	41.25^{b}±3.84	71.60^{b}±3.45	55.95^{b}±3.66
ขิง	30.63^{c}±3.55	30.58^{c}±6.78	71.36^{b}±2.09	27.17^{c}±7.61

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของผงสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการไมโครเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงสกัดเข้มข้นของสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด (น้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง) พบว่าจากการศึกษาของผงสกัดสมุนไพร มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.26-3.35 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป มผช.1441/2556 มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง

0.189-0.219 ค่า L* คือความสว่างของผงสกัดสมุนไพรอยู่ในช่วง 49.13-59.31 ค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดงอยู่ในช่วง 5.39-12.52 ค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองอยู่ในช่วง 16.27-30.16 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และประสิทธิภาพการกักเก็บสารฟีนอลิกอยู่ในช่วงร้อยละ 88-92 ดังแสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของผงสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด (น้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง)

วัตถุดิบ	ค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ	ค่าปริมาณน้ำอิสระ	ค่าสี			ประสิทธิภาพการกักเก็บสารฟีนอลิก ร้อยละ
			L*	a*	b*	
ผงสกัดน้ำนมราชสีห์	3.01^{b}±0.21	0.189^{a}±0.14	54.31^{b}±0.22	6.32^{b}±0.25	30.16^{a}±0.40	92^{a}±1.35
ผงสกัดปลีกล้วย	3.35^{c}±0.36	0.219^{c}±0.16	49.13^{c}±0.19	12.52^{a}±0.11	16.27^{c}±0.25	88^{b}±1.98
ผงสกัดขิง	2.26^{a}±0.22	0.198^{b}±0.24	59.31^{a}±0.29	5.38^{c}±0.36	24.80^{b}±0.33	89^{b}±1.36

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

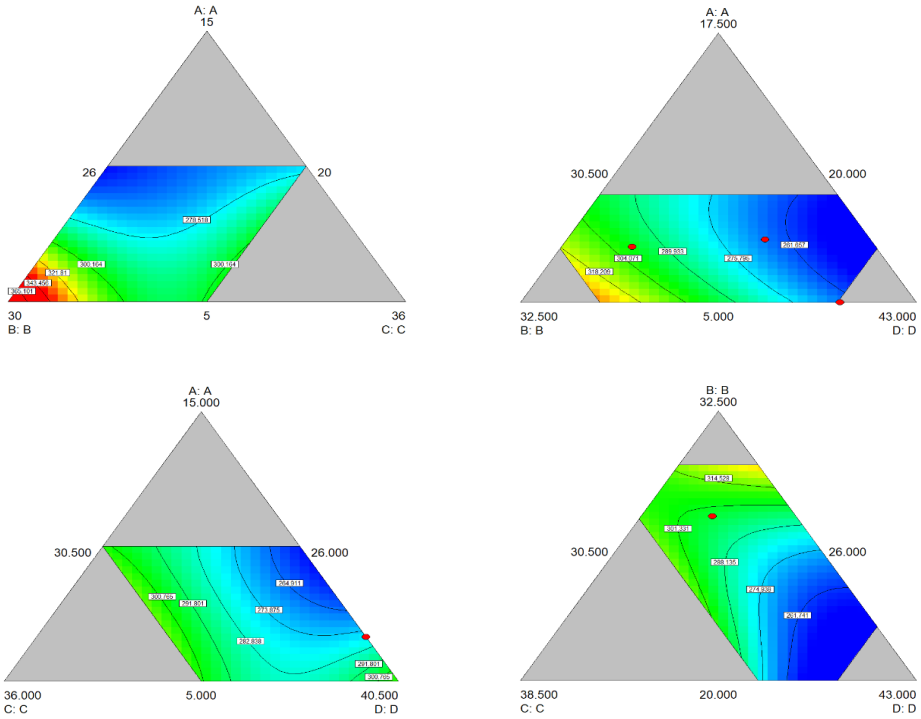
ผลการวิเคราะห์คุณภาพสูตรส่วนผสมของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด

นำข้อมูลทั้งหมดวิเคราะห์ความแปรปรวน และทำการคำนวณค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT สำหรับการทดลองของส่วนผสมจะนำผลมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) หาช่วงสูตรที่เหมาะสมด้วย D-Optimal Designs จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ แล้วจึงนำมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางทางด้านกายภาพและเคมีของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าสูตรที่ 6 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด 348-57 mg_{GAE}/g_{sample} มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 77.4 ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 2.48 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.223 ค่าสี L* 87.25 a* 5.23 b* 20.33 และค่าความแข็ง 42.5 นิวตัน

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางทางด้านกายภาพและเคมีของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด

สูตร	ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ	ค่าปริมาณน้ำอิสระ	ค่าสี			ค่าความแข็ง (นิวตัน)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/g_{sample})	ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ
			L*	a*	b*			
1	2.55	0.222	83.56	5.21	19.98	42.5	265.35^{fgh}	70.1^{d}
2	2.54	0.202	84.35	4.35	19.87	42.2	265.73^{fgh}	70.2^{d}
3	2.48	0.198	82.32	4.21	19.85	43.1	286.84^{de}	75.6^{ab}
4	2.49	0.221	81.59	4.65	18.59	43.2	303.75^{bc}	74.6^{b}
5	2.56	0.201	86.65	4.88	20.78	42.5	314.12^{b}	75.9^{ab}
6	2.48	0.223	87.25	5.23	20.33	42.5	348.57^{a}	77.4^{a}
7	2.66	0.214	80.86	5.11	21.65	43.5	260.42^{gh}	70.3^{d}
8	2.56	0.232	82.10	4.99	19.65	43.8	298.32^{cd}	73.9^{bc}
9	2.11	0.219	85.62	4.56	20.47	41.2	293.63^{cd}	72.8^{c}
10	2.55	0.211	82.25	5.21	19.55	44.7	274.25^{efg}	74.3^{b}
11	2.32	0.236	88.25	5.11	21.63	42.3	277.46^{ef}	74.2^{b}
12	2.25	0.220	82.86	4.87	20.55	42.6	260.30^{gh}	71.5^{cd}
13	2.47	0.215	85.18	4.65	19.8	42.3	302.89^{bc}	73.8^{bc}
14	2.46	0.199	85.88	4.22	19.07	42.8	256.59^{h}	73.5^{bc}
15	2.66	0.198	82.54	4.98	21.22	43.5	302.02^{bc}	72.5^{c}

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)



ภาพที่ 1 แผนภาพคอนทัวร์ A) ผงสกัดขิง B) ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ C) ผงสกัดปลีกล้วย D) เด็กซ์โทรส

<u>การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด</u>

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดของผู้บริโภคจำนวน 30 รายในรูปแบบการเคี้ยว โดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบ (7 point hedonic scale) กับผลิตภัณฑ์ ในตารางที่ 6 พบว่า สูตรที่ 5 มีค่าคะแนนของความชอบโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 6.3±0.57 คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์ผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนลักษณะปรากฏ ได้คะแนนอยู่ที่ 6.7±0.76 คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก สีได้คะแนนอยู่ที่ 5.6±1.32 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง รสชาติ ได้คะแนนอยู่ที่ 6.3±1.23 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก กลิ่น ได้คะแนนอยู่ที่ 6.4±0.35 คะแนน อยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก

ตารางที่ 6 การประเมินทางประสาทสัมผัสของผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด

สูตร	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
1	4.3^{ef}±1.11	5.2^{de}±1.25	4.1^{e}±1.16	6.8^{a}±0.44	5.1^{e}±1.23
2	5.1^{c}±1.02	6.2^{b}±1.45	5.2^{c}±1.41	6.7^{a}±0.63	5.8^{b}±0.88
3	5.3^{b}±1.20	6.5^{a}±1.20	5.2^{c}±1.10	6.7^{a}±0.52	5.9^{b}±0.78
4	5.1^{c}±1.14	6.5^{a}±1.12	3.8^{ef}±1.48	6.1^{d}±1.17	5.6^{c}±1.44
5	5.6^{a}±1.32	6.4^{a}±0.35	6.3^{a}±1.23	6.7^{a}±0.76	6.3^{a}±0.57
6	5.5^{ab}±1.14	5.3^{d}±1.22	3.2^{g}±1.15	6.8^{a}±0.47	5.2^{de}±1.49
7	4.8^{d}±1.43	5.1^{e}±1.11	3.5^{f}±1.32	6.0^{d}±1.35	5.1^{e}±1.44
8	4.7^{d}±1.32	5.5^{c}±1.33	4.1^{e}±1.18	6.2^{cd}±1.14	5.3^{de}±1.26
9	4.6^{e}±1.12	6.2^{b}±0.37	4.1^{e}±1.35	6.8^{a}±0.42	5.4^{d}±1.28
10	5.2^{bc}±1.21	5.1^{e}±1.22	4.5^{d}±1.43	6.2^{cd}±1.44	5.5^{cd}±1.08
11	5.7^{a}±1.42	6.2^{b}±1.31	3.3^{fg}±1.13	6.4^{bc}±1.11	5.6^{c}±1.59
12	4.3^{ef}±1.22	5.1^{e}±1.30	5.6^{b}±1.11	6.4^{bc}±0.90	5.5^{cd}±1.13
13	5.3^{b}±1.31	6.1^{bc}±1.13	4.1^{e}±1.22	6.5^{b}±0.71	5.6^{c}±1.23
14	5.4^{b}±1.15	6.1^{bc}±1.44	5.1^{c}±1.20	6.7^{a}±0.12	5.8^{b}±0.72
15	4.2^{f}±1.47	5.4^{cd}±1.18	5.2^{c}±1.12	6.3^{c}±0.70	5.4^{d}±1.03

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดบรรจุภัณฑ์ซองอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกเก็บที่อุณหภูมิ 35, 45 และ55 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 เดือนจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับเวลา เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีค่า R^2 สูงที่สุดดังตารางที่ 7 โดยมีความชันของกราฟเป็นค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate constant) ของแต่ละตัวอย่าง ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ค่า R-square ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแต่ละอันดับปฏิกิริยา

อันดับปฏิกิริยา	R-square		
	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
ปฏิกิริยาอันดับ 0	0.9047	0.9238	0.9702
ปฏิกิริยาอันดับ 1	0.9143	0.9741	0.9930
ปฏิกิริยาอันดับ 2	0.8974	0.9381	0.9776

ตารางที่ 8 ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate constant) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1
35	6.41×10^{-3}
45	8.83×10^{-3}
55	10.50×10^{-3}

ผลของการอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ดโดยวิธีสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส จากสมการที่ 3 สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 27 เดือน อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 เดือน และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 16 เดือน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (เดือน)
35	27.05
45	20.62
55	16.49

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำนมราชสีห์ ปลีกล้วย และขิง พบว่าน้ำนมราชสีห์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดทั้งในรูปแบบของน้ำสกัดเข้มข้นและรูปแบบของผงสกัด ในการศึกษากระบวนการทำแห้งผงสารสกัดอนุภาคไมโครเมตรด้วยวิธีการเอนแคปซูเลชันโดยใช้สารห่อหุ้มมอลโตเด็กซ์ตริน กำหนดสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลมร้อนขาออกในช่วงอุณหภูมิที่ 90-95 องศาเซลเซียส พบว่าคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสกัดสมุนไพร (น้ำนมราชสีห์ ขิง ปลีกล้วย) โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.189-0.219 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.6 ทำให้เชื้อจุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโต (Rattanapanone, 2014) ค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.26-3.35 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้จะพบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินช่วยดูดความชื้นและลดการจับตัวเป็นก้อนเพราะมีปริมาณโมโนแซคคาไรด์น้อย (Kanpairo *et al.,* 2012) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นต่ำ ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป มผช.1441/2556 ที่ระบุว่าควรมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก จากการศึกษาค่าสีของผงสกัดเข้มข้นของสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด พบว่าจะมีค่า L* อยู่ในช่วง 49.13-59.13 เป็นค่าบวกแสดงถึงความสว่าง ค่า a* อยู่ในช่วง 5.38-12.52 เป็นค่าบวกแสดงถึงค่าสีแดง และค่า b* อยู่ในช่วง16.27-30.16 เป็นค่าบวกแสดงถึงค่าสีเหลือง โดยสีของผงสมุนไพรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และประสิทธิภาพการกักเก็บสารฟีนอลิกสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดอยู่ในช่วงร้อยละ 88-92 ซึ่งช่วยปกป้องสารสำคัญจากความชื้นและสิ่งแวดล้อมภายนอกทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นระยะเวลาที่นานมากขึ้นจากเดิม (Ratanasiriwat *et al.,* 2017) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์และการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของกระบวนการอัดเม็ดจากผงอนุภาคไมโครสารสกัดสมุนไพรซึ่งการออกแบบที่นำผลมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นที่ผิวการตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) หาช่วงสูตรที่เหมาะสมด้วย D-Optimal Designs นี้มีทั้งหมด 15 สูตร จากการศึกษาใน

งานวิจัยนี้ที่ทำการเลือกสูตรที่ 5 เนื่องจากมีการยอมรับความชอบโดยรวมสูงสุดจากผู้บริโภค ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดเชิงพานิชย์ได้ และจากการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการเลือกสูตรที่ 5 ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 314.12 mg_{GAE}/g_{sample} ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 75.9 สำหรับการพัฒนาผงสกัดสมุนไพรอัดเม็ด ด้วยการออกแบบ D-optimal ทำเพื่อลดความแปรปรวนโดยรวมของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ทำนายโดยการเพิ่มค่าของดีเทอร์มีแนนต์ของเมทริกซ์ของข้อมูลให้มากที่สุด (Nur Izzati *et al.,* 2015) มีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าจึงมีการใช้ต้นทุนในการทดลองต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ตัวแปรของส่วนผสมและกระบวนการผสมในการออกแบบการทดลองเดียวกันได้ (Eriksson, 2008)

การหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดที่บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกโดยเก็บที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 เดือนจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าเมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับเวลา เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 เนื่องจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ได้กราฟเส้นตรงที่มีค่า R^2 สูงที่สุดดังตารางที่ 8 โดยสมการรีเกรสชั่นยิ่งมีค่า R^2 สูง หมายความว่าสามารถทำนายผลการตอบสนองได้ดี (Sriwattana, 2005) อีกทั้งการที่ R^2 มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้นซึ่งเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำสอดคล้องกับการศึกษาของ Galani *et al.* (2017) โดยอธิบายว่าเมื่อทำการเก็บรักษาผักและผลไม้จำนวน 19 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดบางชนิดมีการสลายตัว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอ็นไซม์ฟีนอลเลส อายุการเก็บรักษาจะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บโดยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงอายุการเก็บจะลดต่ำลง

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดได้ทำการหาสูตรส่วนผสมด้วยวิธี D-Optimal Designs ซึ่งมีส่วนผสมประกอบหลักไปด้วย ผงสกัดขิง ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ ผงสกัดปลีกล้วย และเด็กซ์โทรส โดยสูตรที่เหมาะสมด้วยวิธีทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีส่วนผสมของผงสกัดขิงร้อยละ 10 ผงสกัดน้ำนมราชสีห์ร้อยละ 30ผงสกัดปลีกล้วยร้อยละ 26 เด็กซ์โทรสร้อยละ 30.5 ซูคาโรสร้อยละ 0.5 เซลลูโลสร้อยละ 2 และแมกนีเซียมร้อยละ 1 ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 314.12 mg_{GAE}/g_{sample} ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 75.9 ปริมาณความชื้นร้อยละ 2.56 ปริมาณน้ำอิสระ 0.201 ค่าสี L* 86.65 a* 4.88 b* 20.78 การวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็ง 42.5 นิวตัน และมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก ในขณะที่อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สมุนไพรอัดเม็ดโดยวิธีสภาวะเร่งจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 27, 20 และ 16 เดือน ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยxx บริษัท พลีพรีม จำกัด และโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สำหรับการสนับสนุนทุนการวิจัย วัตถุดิบหลัก สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Brown, K. S., Solval, K. M., Aranee, C., Luis, A., Vondel, R., Liu, C.,Dzandu, B., Kyereh, E.,Barnaby, A..G., Thompson, I., Xu, Z., & Sathivel, S. (2016). Microencapsulation of ginger (Zingiber officinale) extract by spray drying technology. *LWT - Food Science and Technology, 70*, 119-125.

Eriksson, L. (2008). *Design of experiments: Principles and applications*. Malmö, Sweden: MKS Umetrics AB.

Friedman, H.H., Whitney, J.E. and Szczesniak, A.S. (1963). The texturometer new instrument for objective texture measurement. *Journal of the Science. 28*, 390-396.

Galani, J.H.Y., J.S. Patel, N.J., Patel, J.G. Talati. (2017). Storage of fruits and vegetables in refrigerator increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanins and vitamin C with subsequent loss of their antioxidant capacity. *MDPI, 6*, 1-19.

Granato, D., Masson, M., Ribeiro, J. (2012). Sensory acceptability and physical stability evaluation of a prebiotic soy-based dessert developed with passion fruit juice. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 32*(1), 119-125.

Kaewploy, S. (2014). The optimization of developed formula for chicken ball mixed with domestic vegetables by design of experiment method. In *proceedings rethink : Social development for sustainability in ASEAN community*. (pp. 357-363). Khon Kaen university: Research and technology transfer division. (in Thai)

Kanpairo, K., Usawakesmanee, W., Sirivongpaisal, P., Siripongvutikorn, S. (2012). The compositions and properties of spray dried tuna flavor powder produced from tuna precooking juice. *International Food Research Journal, 19* (3), 893-899.

Mahmood, A. (2011). Phytochemicals constituent and antioxidant activities in *Musa x Paradisiaca* flower. *European Journal of Scientific Research, 66*(2), 311-318.

Nur Izzati, M., Siti Salwa, A., Rosnah, S., Hamid Reza, F. (2015). The use of D-optimal mixture design in optimizing development of Okara tablet formulation as a dietary supplement. *The Scientific World Journal,* 1-7.

Ratanasiriwat, P., Paingam, K., Sangonwong, R,. Chaonatri, W,. & Pienchob, P. (2017). Encapsulation of crude extracts from pomelo peel.*Rmutto Journal, 11*(2), 21-30. (in Thai)

Phuenpipob, C. (2015). Development of vegetables and fruits tablet. In *Proceedings of The 5 th Rajamangala University of Technology National Conference.* Bangkok: RMUTP Research Journal Special Issue. (in Thai)

Pomhirunkon, P. (2008). Evaluation of antioxidant activity in herbal drinks and Thai wine. *Vejsarn Hospital Maharaj Nakhon Ratchasima*, *32*(2), 101-108. (in Thai)

Pongsawatmanit, R. (2017). *Food product shelf-life evaluation and extension*. (1). Bangkok: O.S. PRINTING HOUSE.

Poolkesorn, K., Jangchud, A., Jangchud, K. (2010). Shelf-life evaluation of anti-sticking agent by using ASLT method. In *Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*. (pp. 646). Bangkok: The Thailand Research Fund, Bangkok. (in Thai)

Promraksa, B., Daduang, J., Khampitak, T., Hongsprabhas, P., Boonsiri, P. (2014). Microencapsulation techniques and its role in medicine. *Srinagarind Med J, 29*(1), 90-97. (in Thai)

Rattanapanone, N. (2014). Food Chemistry. (pp. 504). Bangkok: Odian Store.

Smith, C., Crowther, C., Willson, K., Hotman, N. and McMilian, V. (2004). *A randomized controlled trial of ginger to treat nausea and vomiting in pregnancy*. (pp. 639-645). Obset Gynecol Hagerstown: United states.

Sriwattana, S. (2005). Modelling and optimization for food formulation. *Food Journal (Thailand). 35*(3), 168-176. (in Thai)

Suyalek, S., Jaturonglumlert, S., Amornlerdpison, D., Narkprasom, N., Narkprasom, K. (2020). Encapsulation of crude extracts from Banana (*Musa X paradisca*) flowers by Spray Drying. *Burapha Science Journal, 25*(2), 449-463. (in Thai)

Swain, T., Hillis, W.E. (1959). The phenolic constituents of prunus domestica. I.The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *10*, 63-68.