วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.2) May – August 2020
บทความวิจัย

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากปลีกล้วยด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Encapsulation of crude extracts from Banana (*Musa X paradisca*) flowers by Spray Drying

สุภิญญา สุยะเหล็ก[1], สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ[1], ดวงพร อมรเลิศพิศาล[2], นักรบ นาคประสม[1] และ กาญจนา นาคประสม[1*]

Supinya Suyalek[1], Somkiat Jaturonglumlert[1], Doungporn Amornlerdpison[2], Nukrob Narkprasom[1] 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 : 8 August 2019
Revised : 2 October 2019
Accepted : 21 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดปลีกล้วยโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน สารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดปลีกล้วยถูกกักเก็บด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) , มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิกในอัตราส่วนร้อยละ 4:1 (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาตินในอัตราส่วนร้อยละ 4:1 (MD4GE1), ปริมาณร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียสในการผลิตผงสารสกัดปลีกล้วย หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ประสิทธิภาพการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างผงสารสกัดปลีกล้วย จากผลการศึกษาพบว่าชนิดของสารห่อหุ้มมีผลต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วย ประสิทธิภาพการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากปลีกล้วยของไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก MD4GA1 มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วยได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.05 ซึ่งมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 245.12 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และการตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระพบว่า MD4GA1 มีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP values สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาไมโครแคปซูลของตัวอย่างผงปลีกล้วยที่ได้จากการใช้สารห่อหุ้ม MD4GA1, MD4GE1 และ MD5 จากการส่องกล้องอิเลกตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการกระจายตัวมาก ลักษณะกลม ผิวเรียบแต่มีรูปร่างแบบเหี่ยวย่น (10-50 ไมโครเมตร) การวัดค่าสีของไมโครแคปซูล พบว่าค่า L* a* b* ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และ ค่าการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำสำคัญ : ปลีกล้วยน้ำว้า, เอนแคปซูเลชัน, สารประกอบฟินอลิก, ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, การอบแห้งแบบพ่นฝอย

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

Abstract

The aim of this research was to encapsulate phenolic compounds from banana (*Musa X paradisca*) flowers extract using encapsulation technique. The phenolic compounds of crude extracts from banana flowers were encapsulated by spray drying using different wall materials of weight ratios, including maltodextrin (5%w/v, MD5), maltodextrin : gum arabica (4:1 %w/v, MD4GA1) and maltodextrin : gelatin (4:1 %w/v, MD4GE1). The samples mixed with MD5, MD4DA1 and MDGE1 were separately spray dried at 180°C to produce the banana flower powders. After spray drying, the physical and chemical properties, encapsulation efficiency and antioxidant activity of encapsulated banana flower powders were examined. The results showed that type of wall materials used to coat the phenolic compounds affected the physical and chemical properties of encapsulated samples of banana flowers powder. The banana flower powders produced using MD4GA1 gave the highest encapsulation efficiency of 99.05%, and had a total phenolic compounds yield of 245.12 mg_{GAE}/g_{sample}. Furthermore, samples mixed with MD4GA1 had an antioxidant activities of % DPPH inhibition and FRAP values higher than other wall materials included in the study. Using a scanning electron microscope (SEM) to study the morphological characteristics of samples treated with MD4GA1, MD4GE1 and MD5, it was found that the microcapsulated phenolic compounds had spherical shape with shriveled surface and smoot granules (10-50 μm). The evaluation of microcapsule color the values of L* a* b*, water activity, moisture content and solubility were not significantly different ($p > 0.05$) among treatments.

Keywords: *Musa X paradisca* flower, encapsulation, phenolic compound, entioxidant activity, spray drying

บทนำ

ปลีกล้วยน้ำว้า (*Musa X paradisca* flower) มีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่ากล้วยสด มีสรรพคุณที่สามารถนำมาใช้ทางการแพทย์แผนโบราณและยังเป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านของไทย โดยสามารถนำมาเป็นอาหารบำรุงน้ำนมของมารดาหลังคลอดเพราะมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ธาตุเหล็กสูง และสารสำคัญต่างๆ ที่สามารถทำให้มารดาหลังคลอดมีน้ำนมให้กับบุตรมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยบำรุงเลือด ช่วยให้มารดาหลังคลอดฟื้นตัวได้เร็วขึ้น สารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ อัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แทนนินและสารประกอบฟีนอลิก (Mahmood, 2011) เนื่องจากน้ำนมเป็นอาหารสำคัญของเด็กแรกเกิด ซึ่งมารดาควรเลี้ยงลูกด้วยน้ำนมอย่างน้อย 6 เดือน โดยที่เด็กไม่ต้องรับอาหารและน้ำ ซึ่งในประเทศไทยยังมีการส่งเสริมให้มารดาหลังคลอดเลี้ยงลูกด้วยน้ำนมอย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยังมีการเลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมารดาต่ำกว่าเป้าหมาย (Plaichum *et al.,* 2012) เพื่อให้ปลีกล้วยทานได้ง่ายขึ้นและยังคงสารสำคัญต่างๆ จึงนำปลีกล้วยสกัดมาพัฒนากระบวนการผลิตและแปรรูปโดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน เป็นกระบวนการที่สารสำคัญหรือของเหลวถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ มีขนาดเล็ก ตั้งแต่ 1 จนถึง 1000 ไมครอน (Promraksa *et al.,* 2014) ทำให้มีสารมาห่อหุ้มสารสำคัญเพื่อป้องกันการกระตุ้น

จากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด อากาศ หรือช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาตามเวลาที่เราต้องการสารสำคัญที่อยู่ในไมโครแคปซูลหรือ คอร์ (core) และสารห่อหุ้มจะถูกเรียกว่า วอลล์ (wall) (Rithmanee *et al.,* 2018) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทำให้มีการคงตัวของสารสำคัญในอาหารและทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้งานลดความสิ้นเปลืองในการใช้สารสำคัญ สามารถบริโภคในปริมาณที่ลดน้อยลง เนื่องจากสารสำคัญถูกทำให้มีขนาดเล็กและเข้มข้นมากขึ้น ดังนั้นจึงนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการห่อหุ้มสารสำคัญที่มีในปลีกล้วยโดยการเลือกใช้สารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับสารสกัดปลีกล้วย และให้ได้คุณสมบัติตามที่ท้องตลาดต้องการ

สารห่อหุ้มที่แตกต่างชนิดกันถูกนำมาใช้กับเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน เช่น กลุ่มโพลีแซคคาไรด์ (มอลโตเด็กตรินซ์และกัมอารบิก) และโปรตีน (เจลาติน) เป็นต้น ซึ่งการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกันออกไปทำให้ผงอบแห้งที่ได้มีคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันออกไป สำหรับสารห่อหุ้มพื้นฐานที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ กลุ่มไบโอพอลิเมอร์ เช่น มอลโตเด็กตรินซ์และกัมอารบิก เป็นคาร์โบไฮเดรตโพลิเมอร์ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของแป้งบางส่วนให้เป็นสายสั้นๆ ซึ่งจะมีกลูโคสอยู่ประมาณ 5 - 20 หน่วยต่อโมเลกุลโดยมีคุณสมบัติทั่วไป คือ มีค่าการละลายน้ำสูง ความหนืดต่ำ น้ำตาลน้อยอีกทั้งยังเป็นสารที่ไม่มีสีและกลิ่นสามารถปกป้องสารสำคัญจากการออกซิเดชั่น และมีราคาถูกจึงเหมาะสมกับกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย กัมอารบิกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์จากอะคาเซียถูกใช้เป็นสารห่อหุ้มสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูเลชันเนื่องจากความสามารถในการละลาย ความหนืดต่ำกว่ากัมชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรมาก (McNamee *et al.*, 2001) และเจลาตินยังเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับวัสดุผนังโดยเฉพาะในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี คือไม่มีสีและรสชาติ, มีการก่อตัวของฟิล์ม, การละลายในน้ำ และการทำให้ผงตัวอย่างมีเสถียรภาพสูง จึงมีการนำเจลาตินมาเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ของอาหารในอุตสาหกรรมค่อนข้างมากอีกทั้งยังนิยมนำมาเคลือบเม็ดยาและแคปซูลอีกด้วย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการแปรรูปผงปลีกล้วยสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันเพื่อศึกษาประสิทธิภาพ 1) การกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกที่มีสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และ 2) ศึกษาผลของประสิทธิภาพการกักเก็บสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการละลาย ปริมาณผลผลิต และคุณสมบัติทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วย

วิธีดำเนินงานวิจัย

<u>วัตถุดิบ และการเตรียมตัวอย่าง</u>

ปลีกล้วยที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ปลีกล้วยน้ำว้า (*Musa X paradisca* flower) บริษัท พลีพรีม จำกัด จังหวัดลำพูน ในขั้นตอนแรกเตรียมตัวอย่างปลีกล้วยมาวางพักไว้อุณหภูมิห้อง ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ยางของปลีกล้วยลดน้อยลงและง่ายต่อการนำมาแปรรูป จากนั้นนำปลีกล้วยมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและนำปลีกล้วยหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ความกว้างประมาณไม่เกิน 1 เซนติเมตร และนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนต่อไปนำวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมพร้อมแล้วมาต้มสกัดที่อุณหภูมิน้ำเดือด โดยใช้ปลีกล้วยในอัตราส่วน 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ต้มสกัดเป็นเวลา 45 นาที หลังจากนั้นกรองน้ำสกัดปลีกล้วยด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกกากออกจะได้น้ำปลีกล้วยสกัดเข้มข้น ขั้นตอนสุดท้ายนำน้ำ

ปลีกล้วยสกัดมาวางพักไว้ให้อุณหภูมิลดลงจนมีอุณหภูมิน้ำปลีกล้วยสกัดเท่ากับอุณหภูมิห้อง และทำการเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาทำการทดลองในขั้นต่อไป

ศึกษาความเข้มข้นของสารห่อหุ้มและวิธีการทดลองหาชนิดของสารห่อหุ้มเพื่อการกักเก็บสารสกัดจากปลีกล้วยน้ำว้า

การเตรียมตัวอย่างก่อนนำมาศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นที่ใช้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากปลีกล้วยโดยนำน้ำปลีสกัดเข้มข้นที่เก็บใน อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาวางทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำมาผสมกับสารห่อหุ้มและสารสกัดปลีกล้วยละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ที่ความเข้มข้นของมอลโตเด็กตรินซ์แตกต่างกัน คือร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร กำหนดที่อุณหภูมิขาเข้าของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกอยู่ในช่วง 90 – 95 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มข้นของมอลโตเด็กตรินซ์ในการห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยที่ใช้ในการห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผงสารสกัดปลีกล้วยได้สูงสุดคือ ร้อยละ 5 สามารถสกัดได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 420.27 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ร้อยละ 5 หลังจากนั้นใส่สารห่อหุ้มลงไปในอัตราส่วนความเข้มข้นร้อยละ 5 ในชุดการทดลองเพื่อหาชนิดของสารห่อหุ้มที่ต่างกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ , มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก และ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน โดยใช้มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิกในอัตราส่วนร้อยละ 4:1 (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาตินในอัตราส่วนร้อยละ 4:1 (MD4GE1), ปริมาณร้อยละ 5, โดยมวลต่อปริมาตร (Brown *et al.*, 2016) จากนั้นคนให้เข้ากันกับน้ำปลีสกัดประมาณ 15 นาที หลังจากนำน้ำปลีสกัดที่ผสมสารห่อหุ้มไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (รุ่น SDE - 50 EURO 2 จากประเทศฝรั่งเศส) ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส จะได้ผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มจึงนำมาเก็บรักษาในถุงกันความชื้น ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นเพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ *1* อัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการทดลอง

ชุดการทดลอง	รหัส	ชนิดของสารห่อหุ้ม	อัตราส่วนของสารห่อหุ้ม (ร้อยละ 5, w/v)
1	MD5	Maltodextrin	5:0
2	MD4GA1	Maltodextrin/Gum arabic	4:1
3	MD4GE1	Maltodextrin/Gelatin	4:1

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic content, TPC)

นำปลีกล้วยผงมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ตามวิธีของ Swain & Hillis. (1959) และทำการดัดแปลงโดยนำสารละลายผงปลีกล้วยที่เจือจางแล้วมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดปากหลอดด้วยกระดาษฟอยด์ จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent (บริษัท LOBA Chemie ประเทศอินเดีย) ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750

นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค (Gallic acid) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิค (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Encapsulation efficiency, EE)

ประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญ (Encapsulation efficiency, EE) ดัดแปลงตามวิธีของ Ratanasiriwat *et al.* (2017) คือ ร้อยละของสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกกักเก็บไว้ในผงสารสกัดปลีกล้วย โดยการนำปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล และปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล ที่สกัดได้คำนวณตามสมการที่ 1

ประสิทธิภาพการกักเก็บ(ร้อยละ) = (ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล – ปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล)/ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (1)

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic Content ,TPC) โดยนำผงสารสกัดปลีกล้วย ปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายในอัตราส่วน 50 : 8 : 42 ประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำกลั่น) ทำการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที นำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล

การหาปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล (Surface Phenolic Content, SPC) ได้ทำการดัดแปลงตามวิธีของ Swain *et al.*(1959) โดยนำปลีกล้วยผง ปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายประกอบด้วยเมทานอล และเอทานอล ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1) เพื่อทำลายโครสร้างไมโครแคปซูล ทำการผสมสารตัวอย่างด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที และแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล

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

ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Shimada *et al.*(1992) และ Pomhirunkon (2008) โดยนำตัวอย่างน้ำปลีกล้วย (ผงสารสกัดปลีกล้วยผสมกับน้ำ) ในหลอดทดลองลงไป 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1- picrylhydrazyl) (บริษัท sigma Aldrich ประเทศ เยอรมัน) 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที พร้อมทั้งตัวอย่างควบคุม (Control) หรือสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง (Blank) สารสกัดโดยใช้น้ำ จำนวน 1 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างวิเคราะห์ ตามวิธีการเดียวกัน เมื่อครบเวลา 30 นาที นำตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วคำนวณค่าความสามารถฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) ดังสมการที่ 2

ร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) = [(1-(Sample-Control))/Blank]×100% (2)

เมื่อ Control คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 1 มิลลิลิตร
Sample คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดน้ำปลีกล้วย 1 มิลลิลิตร
Blank คือ DPPH 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power

เตรียมสารละลาย FRAP reagent ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Benzie *et al.* (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 20:2:2 ตามลำดับ จากนั้นเตรียมสารตัวอย่าง 0.04 มิลลิลิตรผสมกับน้ำ 0.12 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย FRAP reagent 1.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน 30 วินาทีตั้งทิ้งไว้ 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร คำนวณค่าการดูดกลืนแสงโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของFerrous sulfate ($FeSO_4$) แสดงค่าในรูปของ mM Fe^{2+}/g ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ค่าสีของผงปลีกล้วยสกัดด้วยวิธี Colorimeter

นำผงสารสกัดปลีกล้วย วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (รุ่น Min iSan XE Plus ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์) เพราะคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบอกถึงคุณภาพที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคที่สำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำตัวอย่างผงสารสกัดปลีกล้วย ใส่ลงในจานแก้วใสและปิดฝาเลือกทำการ calibration เลือกค่าคุณสมบัติในการวัด ค่าสีโดยเลือกระบบเป็น L* , a* , b* ทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง อ่านผลการวัดค่าสีจากเครื่อง และบันทึกผลการวัดของแต่ละค่า เมื่อ L * คือ ค่าสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) a * คือ สีแดง,สีเขียว (+ = สีแดง , - = สีเขียว) และ b * คือ (+ = สีน้ำเงิน , - = สีเหลือง) ทำการวัดค่าทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง

วิเคราะห์วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity) หรือปริมาณน้ำอิสระ

เปิดเครื่องและอุ่นเครื่อง Water Activity (ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น Series 3TE ประเทศอเมริกา) เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จากนั้นชั่งผงสารสกัดปลีกล้วยลงในถ้วยภาชนะให้ถึงขีดที่กำหนด โดยจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 2 กรัม แล้วเปิดชั้นใส่ภาชนะเพื่อนำภาชนะลงไปวางในเครื่องและหมุนปุ่มไปตามเข็มนาฬิกาใช้เวลาในการวิเคราะห์ 10 -15 นาที เครื่องวัด Water Activity จะบอกค่าอุณหภูมิที่ใช้และค่าปริมาณน้ำอิสระ ทำการวัดค่าทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย เสร็จสิ้นขั้นตอนการหาค่าปริมาณน้ำอิสระ

การวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture content)

เปิดเครื่อง Moisture Analyzer (รุ่น MX-50 ประเทศ ญี่ปุ่น) กดปุ่ม Tare (หักค่าน้ำหนักของภาชนะ) นำผงสารสกัดปลีกล้วยที่ใช้ในการวิเคราะห์มาเทใส่ลงในถาดอลูมิเนียม 5 กรัม เสร็จแล้วปิดฝาเครื่อง และกดปุ่มเริ่มทำงานเครื่องจะเริ่มกระบวนหาความชื้นอัตโนมัติ จากนั้นรอเครื่องวัดค่าความชื้นจนคงที่ จะแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องเป็นร้อยละของความชื้นฐานแห้ง ทำการวัดค่าทั้งหมดซ้ำ 3 ครั้ง เสร็จสิ้นขั้นตอนการหาค่าความชื้น

การศึกษาความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายของผงสารสกัดปลีกล้วยวิเคราะห์โดยดัดแปลงตามวิธีการ Areekul *et al.* (2014) ชั่งน้ำหนักผงสารสกัดปลีกล้วย 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นแล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาทีนาน 10 นาที แล้วแยกสารละลายส่วนใสด้านบนใส่ถ้วยอลูมิเนียมปริมาตร 10

มิลลิลิตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ บันทึกค่าน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = ((\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100) / \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} \quad (3)$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

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

ผลการวิจัย

ผลของชนิดสารห่อหุ้มเพื่อการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดปลีกล้วย

จากการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ของผงสารสกัดจากปลีกล้วย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลจากผงสารสกัดปลีกล้วยโดยการทดลองที่ความแตกต่างของสารห่อหุ้มทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญของมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GA1), มีประสิทธิภาพการกักเก็บดีที่สุด คือ ร้อยละ 99.05 ตามผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของสารห่อหุ้มในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงสารสกัดปลีกล้วย

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 ($p<0.05$)

ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงสารสกัดปลีกล้วย

จากการศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยแห้งซึ่งออกแบบการทดลองจากสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) โดยที่สารทั้งสามชนิดความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90 องศาเซลเซียส และ พบว่าชนิดของสารที่ใช้ในการห่อหุ้มมีอิทธิพลต่อปริมาณสาระสำคัญ การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าสารห่อหุ้มที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไปมีผลต่อการยับยั้งอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p<0.05$) โดยพบว่ามอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) มีปริมาณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีค่าร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) เท่ากับร้อยละ 59.28 ส่วนของมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1)เท่ากับร้อยละ 22.7 และร้อยละ 45.05 ตามลำดับ ส่วนค่า FRAP พบว่าผงปลีกล้วยที่ใช้สารห่อหุ้ม ของมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) ,มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) เท่ากับ 4.91, 4.45 และ 2.72 Fe^{2+}ต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสำคัญในผงสารสกัดปลีกล้วยพบว่าที่ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) เท่ากับ 153.14, 245.12 และ 237.41 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) ของผงสารสกัดปลีกล้วย

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 ($p<0.05$)

ผลของร้อยละผลผลิตของผงสารสกัดปลีกล้วย

จากการศึกษาร้อยละของผลผลิตโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สารห่อหุ้มต่างชนิดกันมีค่าผลผลิตของมอลโตเด็ก-ตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1),มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) ได้ผลผลิตร้อยละ 2.76, 3.79 และ 2.71 ตามลำดับตามตารางที่ 4 ซึ่งมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) มีค่าปริมาณผลผลิตของผงสารสกัดปลีกล้วยสูงสุด

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผงสารสกัดปลีกล้วย

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

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยทางเคมีและทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วย

จากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น (Moisture content) ในผงสารสกัดปลีกล้วย แสดงผลใน (ตารางที่ 5) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผงปลีกล้วย ได้แก่ ค่าปริมาณค่าน้ำอิสระซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษาของอาหาร เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในอากาศมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 และควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (Thai Community Product Standard, 2016) และจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผงปลีกล้วยอยู่ในช่วง 0.174 - 0.219 ส่วนปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.15 - 2.63 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง (มผช.136/2016) จากการศึกษาค่าสีของผงปลีกล้วยเมื่อเปรียบเทียบค่า L* a* และ b* (ตารางที่ 5) ของตัวอย่างพบว่าผงสารสกัดปลีกล้วยมีค่า L* อยู่ในช่วง 51.90 - 52.68 ซึ่งผงสารสกัดปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) มีค่าความสว่างที่มากกว่าผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารอื่นเพียงเล็กน้อย และค่า a* อยู่ในช่วง 10.71 - 11.38 โดยผงสารสกัดปลีกล้วยมีค่าเป็นบวกหมายถึง ค่าสีแดง และค่าของ b* อยู่ในช่วง 13.62 - 14.17 โดยผงสารสกัดปลีกล้วยที่ห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม 3 ชนิดมีค่า เป็นบวกทั้งสามชนิดแสดงถึงผงสารสกัดปลีกล้วย มีค่าสีเหลือง ความสามารถในการละลายของผงปลีกล้วยจากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่มีสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ที่ร้อยละ 81.19 - 82.00 โดยสารห่อหุ้มที่ต่างชนิดกันไม่ส่งผลให้เกิดค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายในปริมาณและระยะเวลาเท่ากัน

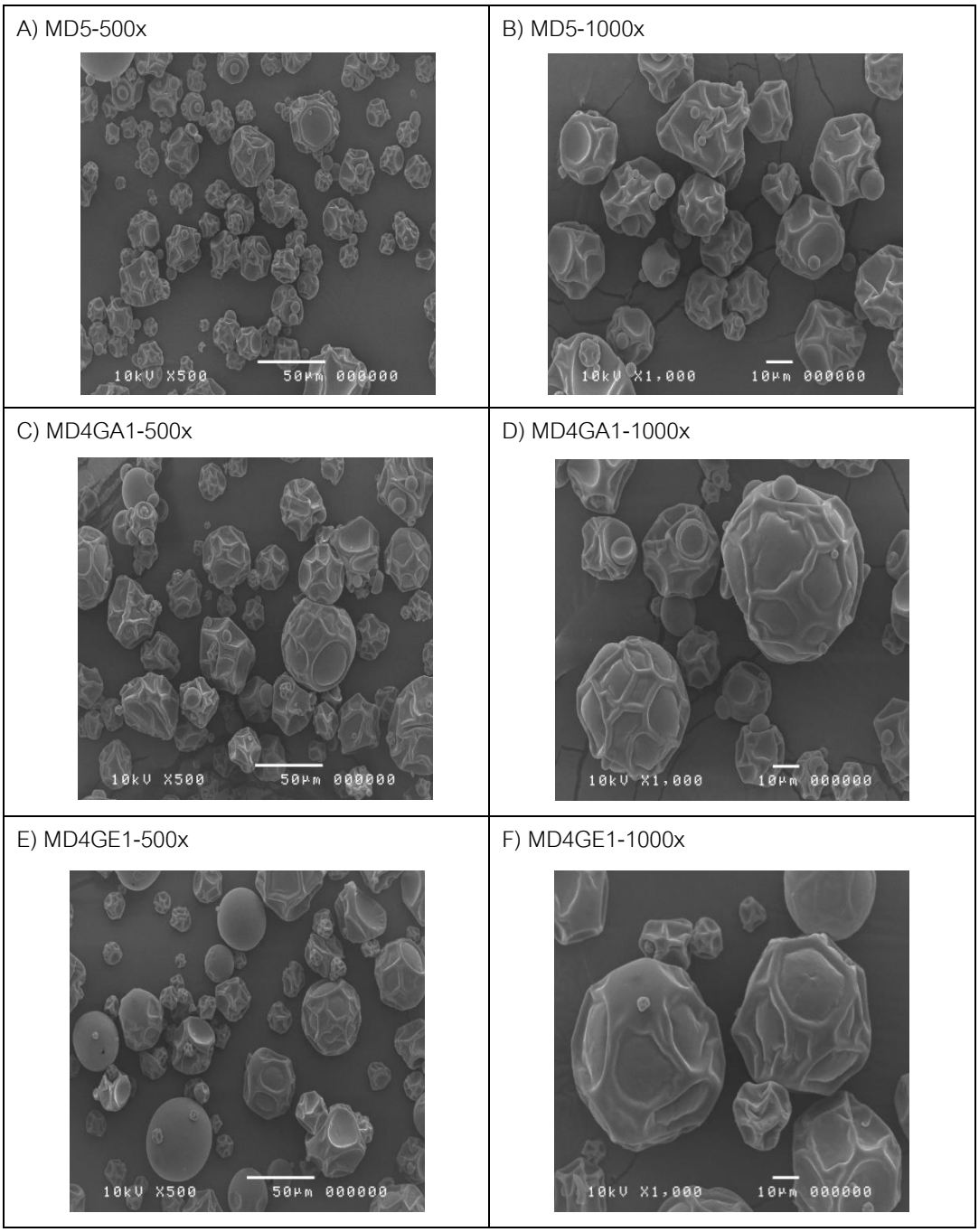
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วย

ชนิดของสารห่อหุ้ม	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าสี			ค่าการละลาย (ร้อยละ)
			L*	a*	b*	
MD5	0.219 ± 0.02^{a}	2.26 ± 0.05^{a}	52.32^{ab}±0.39	11.38^{a}±0.13	14.17^{a}±0.25	81.19^{a}±0.99
MD4GA1	0.174 ± 0.12^{b}	2.15 ± 0.20^{a}	51.99^{b}±0.12	11.16^{a}±0.05	14.01^{ab}±0.19	82.00^{a}±0.29
MD4GE1	0.210 ± 0.22^{ab}	2.63 ± 0.51^{a}	52.68^{a}±0.16	10.71^{b}±0.13	13.62^{b}±0.12	81.61^{a}±0.22

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยที่ยกกำลังตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ขนาดและลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วย

ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วยที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope/ SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า เพื่อใช้ในการสังเกตลักษณะโครงสร้างของสารห่อหุ้มทั้งสามชนิด



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลของผงสารสกัดปลีกล้วยโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า A) MD5-500x และ B) MD5-1000x คือ มอลโตเด็กตรินซ์, C) MD4GA1-500x และ D) MD4GA1-1000x คือ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก, E) MD4GE1-500x และ F) MD4GE1-1000x มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสำคัญในผงสารสกัดปลีกล้วยด้วยการอบแห้งพ่นฝอยซึ่งออกแบบการทดลอง โดยใช้สารห่อหุ้มต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) ,มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) โดยใช้มอลโตเด็กตรินซ์(MD5) ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นที่ค่าความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร นำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยที่กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลมร้อนขาออกในช่วงที่ 90 - 95 องศาเซลเซียส จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเด็กตรินซ์ในการห่อหุ้มสารสกัดปลีกล้วยที่ใช้ในการห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผงสารสกัดปลีกล้วยได้สูงสุด คือ ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร สามารถห่อหุ้มได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 420.27 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง โดยเมื่อปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเด็กตรินซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงโดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonnumma et al., 2015 ศึกษาผลของการเอนแคปซูเลชันในลูกหว้ารายงานว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กตรินซ์ซึ่งเป็นสารห่อหุ้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 30 และ 40 โดยมวลต่อปริมาตร พบว่ามีปริมาณสารสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง คือ 277.38, 197.62 และ 137.87 mg_{GAE}/100 g ตามลำดับ

ประสิทธิภาพของสารห่อหุ้มเพื่อการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากผงสารสกัดปลีกล้วยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในการห่อหุ้มสารสำคัญด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) แต่ละตัวอย่างมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผงสารสกัดปลีกล้วยพบว่าสารที่ใช้ห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้สูงสุด คือ มอลโตเด็กตรินต่อกัมอาราบิก (MD4GA1) และมีประสิทธิภาพการกักเก็บดีที่สุดที่ร้อยละ 99.05 (ตารางที่2) เนื่องจากกัมอารบิกเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลค่อนข้างสูงและยังมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีการเชื่อมต่อโมเลกุลกับคาร์โบไฮเดรตด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้มีการก่อตัวของฟิล์มได้ดี ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการห่อหุ้มโมเลกุลของประกอบฟีนอลิก และทำให้ผลสารสกัดปลีก้วยมีเสถียรภาพสูง ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahdavi *et al.,* 2016 โดยผลการวิจัยระบุว่าผงสารสกัดแบร์เบอรี่ด้วยสารห่อหุ้มมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิกในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 25 ประสิทธิภาพของการกักเก็บสารแอนโธไซยานินสูงถึงร้อยละ 92.83

ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenols) และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ FRAP) (ตารางที่ 3) ของผงสารสกัดปลีกล้วยที่มีชนิดสารห่อหุ้มแตกต่างชนิดกัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 153.14, 245.12 และ 237.41 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารห่อหุ้มที่ใช้เฉพาะมอลโตเด็กตรินมีค่าน้อยกว่าสารห่อหุ้มที่ใช้มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการเลือกสารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติที่ดีในการช่วยห่อหุ้มสารสำคัญมาผสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสารสำคัญเพิ่มสูงขึ้น (Zhongxiang et al., 2011) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระในวิธี DPPH ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงมากที่สุดถูกห่อหุ้มโดยมอลโตเด็กตรินซ์และกัมอารบิกโดยมีความสามารถในการยับยั้งร้อยละ 56.28 ส่วนวิธี FRAP ซึ่งสารสกัดปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) มีค่า 4.91, 4.46 และ 2.72 Fe^{2+}ต่อกรัมตัวอย่างของผงสารสกัดปลีกล้วย พบว่าสารห่อหุ้มที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไปมีผลต่อการยับยั้งอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยพบว่ามอลโต

เด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) และมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) มีปริมาณร้อยละในการอนุมูลอิสระสูงกว่ามอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) ซึ่งผลมีความสอดคล้องโดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahdavi et al., 2016 โดยผลการวิจัยระบุว่าตัวอย่างผงสารสกัดแบร์เบอรี่ที่ผลิตด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก MDGA มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.82

ลักษณะทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วยมีปริมาณของผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 2.71-3.79 (ตารางที่ 5) โดยพบว่าสารสกัดปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) คือ ร้อยละ 3.79 มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด เนื่องจากกัมอารบิกมีการห่อหุ้มและเกิดฟิล์มกับสารสกัดปลีกล้วยได้ดีมากกว่ามอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5)เพียงอย่างเดียว (Sahar *et al.,* 2016) ในส่วนของผลการศึกษาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น (MC) (ตารางที่ 5) พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นของผงสารสกัดปลีกล้วยมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.33 - 0.15 และปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.63 - 2.26 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผักและผลไม้แห้ง มผช.136/2016 เนื่องจากตามมาตรฐานอาหารแห้งนั้นได้รายงานว่าต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 และมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (AOAC.,2000) และจากการทดลองชนิดของสารห่อหุ้มต่างชนิดกันพบว่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการเติมสารห่อหุ้มที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งทำให้มีความคงตัวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้โครงสร้างของสารละลายสามารถจับกับอนุภาคของสารลดความเหนียวและเกิดเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างได้มากกว่าทำให้น้ำระเหยได้ง่าย จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำลงและยังแปรผันตามค่าปริมาณความชื้นด้วย เพราะหากมีค่าความชื้นสูง ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ก็จะสูงตาม ซึ่งหากมีการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำลงเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารที่ช่วยในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และช่วยลดคุณสมบัติการดูดความชื้นเข้าหาตัวผลิตภัณฑ์ (Cai & Corke., 2000) ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในช่วง 0.2 - 0.3 ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้น้อยมาก และเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จึงสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้นจากเดิม (Fellows., 2000) และผลการศึกษาสีของผงสารสกัดปลีกล้วยมีค่า L* อยู่ในช่วง 51.90 - 52.68 ซึ่งผงสารสกัดปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอารบิก (MD4GA1) มีค่าความสว่างที่น้อยกว่าผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารอื่น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กตรินซ์ค่าความสว่างจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Rithmanee et al., 2018). และค่า a* อยู่ในช่วง 10.71 - 11.38 โดยผงสารสกัดปลีกล้วยมีค่าเป็นบวกหมายถึง ค่าสีแดง และค่าของ b* อยู่ในช่วง 13.62 - 14.17 โดยผงสารสกัดปลีกล้วยที่มีค่าเป็นบวกแสดงถึงผงสารสกัดปลีกล้วยมีค่าสีเหลืองซึ่งผงของสารสกัดปลีกล้วยมีสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการเติมปริมาณความเข้มข้นสารห่อหุ้มเท่ากันที่ร้อยละ 5 ส่วนค่าดัชนีการละลายน้ำของผงสารสกัดปลีกล้วยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และความสามารถในการละลายถือเป็นสมบัติสำคัญของผงสารสกัดเนื่องจากการคืนสภาพในการใช้งานหรือเป็นส่วนผสมของอาหาร ซึ่งค่าการละลายของผงสารสกัดปลีกล้วยอยู่ในช่วงร้อยละ 81.19 - 82.00 เมื่อเปรียบเทียบในปริมาณของผงสารสกัดและระยะเวลาที่เท่ากันสารสกัดปลีกล้วยสามารถละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วยที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope - SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ1,000 เท่ามาใช้ในการสังเกตลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูล ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมของลักษณะภายนอกของไมโครแคปซูล

ควรมีพื้นผิวที่เรียบไม่ยุบ มีทรงกลม สามารถห่อหุ้มสารสำคัญได้ดี ไม่ควรมีรอยแตก รอยร้าว เพราะจะทำให้เกิดการกักเก็บสารสกัดได้ไม่ดี จากผลการทดลองพบว่าสารห่อหุ้มที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัด ได้แก่ มอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอาราบิก(MD4GA1), มอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5)เพียงอย่างเดียว ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้มร้อยละ 5 เท่ากันแต่ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าลักษณะของอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีเหลี่ยมเหมือนบุบลงไปเล็กน้อยเพราะเนื่องจากอนุภาคของสารห่อหุ้มเมื่อถูกอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยความร้อนที่สูงทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว เพราะเกิดการสูญเสียความชื้น (Silva et al., 2013) และมีความแตกต่างกันที่ขนาดของอนุภาคสารที่ห่อหุ้ม โดยไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์มีขนาดเล็กกว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มอีกสองชนิดอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5)เพียงอย่างเดียว มีขนาดประมาณ 10-30 ไมโครเมตร ส่วนไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์รวมกับกัมอาราบิก (MD4GA1) และ มอลโตเด็กตรินซ์รวมกับเจลาติน (MD4GE1) มีขนาดของไมโครแคปซูลประมาณ 20-50 ไมโครเมตร ซึ่งไมโครแคปซูลที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มที่รวมกันสองตัวส่งผลให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเนื่องจากมอลโตเด็กตรินซ์ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตรวมตัวกับไบโอพอลิเมอร์ชนิดอื่นทำให้เกิดฟิล์มและมีขนาดที่ใหญ่กว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ (MD5)เพียงอย่างเดียว (Brown et al, 2016, Mahdavi *et al,* 2016) พบว่าจากรูปภาพโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดปลีกล้วยผงที่สารห่อหุ้มต่างๆ มีลักษณะที่กลมและยุบตัวแต่ไม่แตกหักซึ่งสามารถห่อหุ้มสารสำคัญได้ ทำให้สารสำคัญที่มีอยู่ในสารสกัดปลีกล้วยมีการลดลงของสารฟีนอลิคทั้งหมดที่ช้าลงและยังปกป้องสารสำคัญจากความชื้นหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก ป้องกันสารสกัดปลีกล้วยจากแสงหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาของสารสกัดหยาบจึงทำให้ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อเรานำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจึงสามารถเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ (Ratanasiriwat *et al.,* 2017)

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการแปรรูปผงสารสกัดปลีกล้วยโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันซึ่งมีสารห่อหุ้มที่แตกต่างกันสามชนิด (มอลโตเด็กตรินซ์, กัมอาราบิก, เจลาติน) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำผงสารสกัดปลีกล้วยด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผงสารสกัดปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อกัมอาราบิก (MD4GA1) มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้สูงที่สุด นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระยังสูงกว่าตัวอย่างที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) เพียงอย่างเดียว ผงสารสกัดปลีกล้วยมีลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของผงสารสกัดปลีกล้วยที่มีความคงตัวต่อปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ภายนอกได้สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามผงปลีกล้วยที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กตรินซ์ต่อเจลาติน (MD4GE1) และ มอลโตเด็กตรินซ์ (MD5) ก็ยังคงคุณสมบัติที่ดีทางเคมีและทางกายภาพที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผักและผลไม้แห้ง (มผช.136/2016) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ บริษัท พลีพรีม จำกัด และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) สำหรับการสนับสนุนทุนการวิจัย วัตถุดิบหลัก สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC, (2000), Official Methods of Analysis of AOAC International. Seventeen edition. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.

Areekul, V., Phongpipatpong, M., Narinsuksanti, s., & Tarchew, s. (2014). Development of Instant Jiaogulan Tea Powder Using Spray Dryer and Its Storage Stability, *52*, 186-193. (in Thai)

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of ‘‘Antioxidant Power’’: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* , *239,* 70–76.

Boonnumma, N., Laohakunji, N., Hudthagosol, C. & Somboonpanyakul, P. (2015). Encapsulation of Java Plum Juice by Spray Drying and its Effect on Physico-chemical Properties Bioactive Compounds and Antioxidant Activities. *Agricultural Science Journal*, *46*(3), 601-604. (in Thai)

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.

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal Of Food Science*, *65*(6), 1248-1252.

Fellows, P.J. (2000). Food Processing Technology – Principles and Practice. CRC Press Boca Raton Boston New York Washington, DC

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Res. Int*, *40* (9), 1107–1121.

Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules, 85,*379–385

Mahmood, A. (2011). Phytochemicals Constituent and Antioxidant Activities in *Musa x Paradisiaca* Flower. *European Journal of Scientific Research, 66*(2), 311-318.

McNamee, B. F., O’Riordan, E. D,. & O’Sullivan, M. (2001). Effect of Partial Replacement of Gum Arabic with Carbohydrates on Its Microencapsulation Properties. *J Agric Food Chem, 49*, 3385-3388.

Plaichum, S,. Tongswas, T,.& Somboon, L. (2012). Factors Related to Breastfeeding Duration among Adolescent Mothers. *Nursing Journal, 39*(2), 79-87. (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)

Promraksa, B., Daduang, J., Khampitak, T., Hongsprabhas, P.,& Boonsiri, P. (2014). Microencapsulation Techniques and its Role in Medicine, Srinagarind Med Journal , *29* (1), 90-97. (in Thai)

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)

Rithmanee, T., Phonpannawit, A. (2018). Anthocyanin Encapsulation from Purple Corncob by Spray Drying*, Eauheritage Journal, 12*(2), 169-180. (in Thai)

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthone on the auto oxidation of soybean in cylcodextrin emulsion. *Journal. Agriculture Food Chem,40*, 945–948.

Silva, P. L., Stringheta, P. C., Teófilo, R. F,. & Oliveira, L. R. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (Myrciaria jaboticaba) peel extracts using simultaneous analysis of responses. *Journal of Food Engineering* , *117*(4), 538-544.

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.

Thai Community Product Standard. (2016). Dried Fruits and Vegetables. *Thai industrial standards institute*, *136*, 1-6. (in Thai)

Zhongxiang, F.,& Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, *129,* 1139-1147.