วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563 | Vol.1 No.2 May – August 2020

คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวของสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากผลลำดวนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ

Physico-chemical properties and stability of lamduan anthocyanin encapsulation by vacuum drying technique

กรุณรัตน์ สกุลนามรัตน์[1,2,*] และเด่นชัย วงศรีแก้ว[2]

Karunrat Sakulnarmrat [1,2,*] and Denchai Wongsrikaew [2]

[1]คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

[2]ศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

[*]Corresponding Author E-mail Address : karunrat.sa@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การเอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการช่วยกักเก็บสารออกฤทธิ์สำคัญให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้นด้วยสารห่อหุ้ม การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลลำดวนร่วมกับสารห่อหุ้มมอลโตเด็กซ์ตริน เด็กโตรส อิควิวาเลนซ์ (ดีอี) 10 (MD10) และ ดีอี 20 (MD20) ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติสารเอนแคปซูลให้ดีขึ้น พบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสร่วมกับ MD20 (50°C MD20) มีความเหมาะสมในการเตรียมสารเอนแคปซูล โดยมีความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าการดูดน้ำกลับต่ำ ปริมาณกรด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแอนโทไซยานินสูง มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันและความสามารถในการละลายสูง (>90%) ความคงตัวต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 120 นาที ยังคงมีปริมาณแอนโทไซยานิน 70% สารเอนแคปซูลมีสีแดงอมม่วง โดยมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 15.06 ความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 1.86 ความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 0.57 ความบริสุทธิ์ (C*) เท่ากับ 1.94 และ ค่าเฉดสี (H°) เท่ากับ 0.3 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันสามารถกักเก็บและช่วยลดอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถใช้สารเอนแคปซูลเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ในอนาคตได้

คำสำคัญ: ลำดวน แอนโทไซยานิน เอนแคปซูเลชัน สารห่อหุ้ม การทำแห้งแบบสุญญากาศ

Abstract

Encapsulation is a process to trap bioactive compounds within carrier agents in order to improve its physical, chemical and environmental stability. Lamduan (*Melodorum fruticosum* Lour.) anthocyanin extract encapsulation with maltodextrin dextrose equivalent (DE) 10 (MD10) and DE20 (MD20) by vacuum drying technique at 50 and 60 °C for improving encapsules properties revealed that 50 °C MD20 provided good encapsulated powder with low moisture content and water activity (a_w), the highest acid, anthocyanin coupled with low pH value, high encapsulation efficiency and solubility (>90%). Thermal stability at 70 °C showed good anthocyanin retention with about 70% at 120 min. Encapsulated powder exhibited purple-red color with L* of 15.06, a* of 1.86, b* of 0.57, C* of 1.94 and H° of 0.3. The results indicated that encapsulation could entrap and reduce anthocyanin degradation, which could provide feasibility of encapsulated powder as active ingredient for food processing functional-products in the future.

Keywords: *Melodorum fruticosum* Lour., Anthocyanin, Encapsulation, Aarrier agent, Vacuum drying

บทนำ

ลำดวน (*Melodorum fruticosum* Lour., Lamduan (LD)) เป็นผลไม้พื้นเมืองที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ และศรีสะเกษ มีสีดำอมม่วง รสชาติเปรี้ยวหวาน ให้ผลสุกในช่วงต้นฤดูฝนช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม นิยมบริโภคผลในรูปของผลสุก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลสุกมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้นส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย และในแต่ละปีผลลำดวนที่เหลือทิ้งโดยไม่ได้นำไปบริโภคและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่น เช่น แยม น้ำผลไม้พร้อมดื่ม และไวน์ มีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุดจากผลไม้พื้นเมืองในท้องถิ่น การนำผลลำดวนมาผลิตสารสีธรรมชาติทดแทนสารสีสังเคราะห์น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากผลไม้ในท้องถิ่น ผลลำดวนเป็นผลไม้สีม่วงดำซึ่งเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการเกิดการอักเสบ และต้านการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งกระเพาะและลำไส้ (Jensen et al., 2011; Sakulnarmrat and Konczak, 2013) สารแอนโทไซยานินมีข้อด้อยคือไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และสภาพแวดล้อมได้ดี (Jensen et al., 2011; da Fonseca Machado et al., 2018) เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยกักเก็บสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ ที่จะช่วยให้สารแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น (Labuschagne, 2018; da Fonseca Machado et al., 2018; Mar et al., 2020) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้

การเลือกเทคนิคการทำแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของสารออกฤทธิ์สำคัญ การประยุกต์ใช้สารเอนแคปซูล ขนาดของอนุภาค คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารออกฤทธิ์สำคัญและสารห่อหุ้ม กลไกการปลดปล่อย ปริมาณการผลิต ต้นทุน และวัตถุประสงค์ของการศึกษา การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ภายใต้สภาวะสุญญากาศ กระบวนการไม่ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Nurhadi et al., 2012; Hamzah et al., 2013) สารห่อหุ้มถือเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Pang et al.,

2014) มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่นิยมใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชันเนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีความหนืดต่ำ (Tonon et al., 2008) ทำหน้าที่ห่อหุ้มสารออกฤทธิ์สำคัญในลักษณะเป็นฟิล์มบาง (film forming) เกาะจับ (binding flavours/actives) หรือ matrix forming (Labuschagne, 2018) ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเอนแคปซูเลชันมีการเลือกใช้เทคนิคและสารห่อหุ้มที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Nurhadi et al., 2012; da Silva Carvalho et al., 2016; Dag et al., 2017; da Fonseca Machado et al., 2018; Jimenez-Gonzalez et al., 2018)

การทำแห้งน้ำผึ้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบสุญญากาศได้ร้อยละผลได้มากกว่าและผลิตภัณฑ์มีค่าสีที่สดและเข้มกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Nurhadi et al., 2012) สารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน (butterfly pea flower) ทำแห้งแบบสุญญากาศมีความชื้นต่ำ อายุการเก็บรักษานานกว่าและการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าสารเอนแคปซูลเตรียมด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Hamzah et al., 2013) การใช้มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กโตรส อิควิวาเลนซ์ (ดีอี) ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของสารเอนแคปซูลที่ได้เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี เพิ่มขึ้น จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและประกอบด้วยกลุ่มไฮโดรฟิลลิกมาก ความหนืดลดลง ความสามารถในการละลายและค่า structure integrity มากขึ้น (Labuschagne, 2018) สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD_{4-7} หรือ MD_{17-20} มีค่าต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Tolun et al., 2016) โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD_{4-7} มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน พบว่า มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี สูง จะมีความว่องไวต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าเนื่องจากมีพันธะสั้นและน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินสกัดจากผล Juçara ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองป่าดิบชื้นแถบแอตแลนติก เตรียมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 30 (Maltodextrin dextrose equivalent (DE) 30) มีค่าการดูดกลับน้ำสูงกว่าและค่า Tg (glass transition temperature) ต่ำกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ 20 และเอนแคปซูลที่ได้มีผิวเรียบกว่าการใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม (da Silva Carvalho et al., 2016) การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลแบล็คเบอร์รีด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ ดีอี 20 พบว่า เอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 10 มีความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าการดูดน้ำกลับ น้อยกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดย ดีอี 10 ให้สารสีที่มีลักษณะสีแดงเข้มกว่า ($p<0.05$) ในขณะที่ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Yamashita et al., 2017) การเตรียมเอนแคปซูลกากแบล็คเบอร์รี่ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย แบบแช่เยือกแข็ง และแบบ supercritical antisolvent พบว่า กระบวนการเอนแคปซูเลชันช่วยปกป้องสารแอนโทไซยานินได้มากกว่าร้อยละ 76 และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงมากกว่า 100 ไมโครโมลทรอล็อกซ์เทียบเท่าต่อกรัม (da Fonseca Machado et al., 2018)

ดังนั้น การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลลำดวน เพื่อใช้เป็นสีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารจึงคาดว่าจะเป็นแนวทางการวิจัยที่จะช่วยให้เกิดประโยชน์ทั้งในแง่ของการอนุรักษ์ การเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้พื้นเมืองและการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค การใช้สารสีจากธรรมชาติในกระบวนการแปรรูปอาหารเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลักดันนโยบายความปลอดภัยทางอาหาร (Food security) และความยั่งยืนทางอาหาร (Food sustainability) ผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานินจากผลลำดวน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสารสีธรรมชาติ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารสีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวต่อความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการขยายขอบข่ายงานไปสู่การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่มูลค่าสูงต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สารเคมี

มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กโตรส อิควิวาเลนซ์ (ดีอี) 10 (MD10) และ มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กโตรส อิควิวาเลนซ์ 20 (MD20) ซื้อจากบริษัท Cargill Inc. (Brazil) และสารเคมีทุกชนิดที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ ซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)

การเตรียมตัวอย่าง

เก็บรวบรวมผลลำดวนจากตลาดช่องจอม อ.กาบเชิง จ.สุรินทร์ ในช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2562 นำผลลำดวนมาทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก แยกส่วนเนื้อและเมล็ดออกจากกัน วัดความหวาน นำส่วนเนื้อที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบซิป หุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะเริ่มการทดลอง

การสกัดสารแอนโทไซยานินจากผลลำดวน

นำเนื้อลำดวนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มาละลายน้ำแข็งและทำการสกัดแอนโทไซยานิน (Sakulnarmrat and Konczak, 2013) ด้วยตัวทำละลายอะซิดิไฟด์เอทานอล (acidified ethanol: 80% ethanol; 1% acetic acid; 19% distilled water v/v/v) อัตราส่วนผลไม้ต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:2 โฮโมจีไนซ์ที่ความเร็วรอบ 25,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที (T18 digital IKA, SP Sci., Bangkok, Thailand) และอัลตราซาวด์ที่ระดับความถี่ 45 กิโลเฮิซ์ต 120 วัตต์ (Sonica 5300 EP, Soltex, Milano, Italy) เพื่อช่วยในกระบวนการสกัด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำสารสกัดไปปั่นเหวี่ยง (Sorvall RC-5B; DuPont, Wilmington, DE, USA) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แยกของเหลวใสที่สกัดได้ออกจากกากเก็บไว้ในขวดสีชา (Amber Duran® youtility GL45, Duran, Hattenbergstaße, Germany) นำกากมาทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ส่วนของเหลวใสที่สกัดได้นำมาผสมรวมกันได้เป็นสารสกัดหยาบ นำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Series no. 10612316, Type N-N, Eyela, Tokyo Rikankikai Co., Ltd., Tokyo, Japan) ให้เหลือปริมาตรสุดท้ายประมาณร้อยละ 25 จากปริมาตรเริ่มต้นจะได้สารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้น สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้น

1. **ปริมาณกรด**

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวิเคราะห์ปริมาณกรด (AOAC, 2000) โดยนำตัวอย่างที่เจือจางแล้วมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดฟีนอฟทาลีน 2-3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ คำนวณปริมาณกรดและรายงานในรูปร้อยละ (% acid)

2. **ความเป็นกรด-ด่าง**

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Mettler Toledo, Ohio, USA)

3. ปริมาณแอนโทไซยานิน

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method (AOAC, 2005) โดยการใช้บับเฟอร์โปแทสเซียมคลอไรด์ (pH 1.0) และโซเดียมอะซิเตท (pH 4.5) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 520 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader (Thermo Scientific Multiskan Go, Thermo Fisher Scientific Oy Ratastie, Finland) และรายงานปริมาณสารแอนโทไซยานินในหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่าต่อลิตร (mg C3G E/L)

4. ปริมาณของแข็ง

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวัดปริมาณของแข็งด้วยเครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอล (Model PAL1; Cat No.3810; ATAGO, Minato-Ku, Tokyo, Japan)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานินลำดวนด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ

นำสารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้น 20 กรัมผสมกับน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณ 80 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นนำสารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้นที่ได้มาผสมสารห่อหุ้ม MD10 และ MD20 (200 กรัม ละลายน้ำ 800 มิลลิลิตร) อัตราส่วน 1:4 คนให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer อีกครั้งเพื่อให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer, Memmert, Fisher Scientific Ltd., Leicestershire, UK) ที่อุณหภูมิ 50 นาน 36 ชั่วโมง และ 60 องศาเซลเซียส นาน 34 ชั่วโมง (ข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นโดยอุณหภูมิ 40 และ 70 องศาเซลเซียส ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานมากกว่า 3 วัน และตัวอย่างมีกลิ่นไหม้ ตามลำดับ) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้บดให้เป็นผง เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมแบบซิปสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความคงตัวต่อความร้อนของสารเอนแคปซูล

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture analyzer, MB25, Ohaus Corporation, USA) ปริมาณของแข็ง (Digital refractometer) ความเป็นกรดด่าง (pH meter) ปริมาณกรด (AOAC, 2000) ความคงตัวต่ออุณหภูมิ (อรุษา และธีรารัตน์, 2554) ปริมาณแอนไทไซยานิน (AOAC, 2005) อัตราการละลาย (อรุษา และธีรารัตน์, 2554) ค่าการดูดซับน้ำกลับ (Tonon et al., 2008) ค่าสี (L*, a*, b*) (Hunter colorimeter) และ ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation Efficiency, %EE; Idham et al., 2010) สำหรับแอนโทไซยานินรายงานในหน่วย มิลลิกรัม ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่าต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (mg C3G E/100 g DW)

การวิเคราะห์ความคงตัวต่ออุณหภูมิ (อรุษา และธีรารัตน์, 2554) นำตัวอย่างผง 1 กรัม มาละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่ได้ใส่หลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสำหรับการนำสารเอนแคปซูลไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกอมกัมมี่เยลลี่ สุ่มหยิบหลอดทดลองทุก 10 นาที แล้วจุ่มในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิห้องทันที นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (AOAC, 2005)

การศึกษาอัตราการละลาย (อรุษา และธีรารัตน์, 2554) ทำได้โดยละลายสารเอนแคปซูลปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้ละลายจนหมด จากนั้นนำไปเทบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน นำกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก คำนวณอัตราการละลายและรายงานค่าเป็นร้อยละการละลาย

การวิเคราะห์ค่าการดูดน้ำกลับ (Tonon et al., 2008) ชั่งสารเอนแคปซูล 1 กรัม แล้วนำมาห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (ขนาด 4x3 เซนติเมตร) วางบนตะแกรงในเดซิเคเตอร์ (Desiccator DN300, Duran, Germany) ที่มีสารละลาย NaCl

อิ่มตัว (75%) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจาก 1 สัปดาห์ นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละการดูดน้ำกลับ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินก่อนและหลังการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งต่าง ๆ ผลของมอลโตเด็กซ์ตรินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความคงตัวต่อความร้อน ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดแอนโทไซยานิน

ลักษณะผลของลำดวน (Lamduan, LD) สารสกัดเข้มข้น และสารเอนแคปซูลลำดวน (Lamduan anthocyanin encapsulated powder, LDA) แสดงดังรูปที่ 1 และสารสกัดหยาบและสารสกัดเข้มข้นลำดวน (ตารางที่ 1) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.00-4.95 ปริมาณกรดร้อยละ 0.64±0.00 และ 1.28±0.00 ปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 47.01±0.12 และ 349.58±4.12 มิลลิกรัม ไซยานิดินส์-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่าต่อลิตร (mg C3G E/L) ปริมาณของแข็ง 16.60±0.14 และ 45.70±0.07 °Brix ตามลำดับ จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า เมื่อนำสารสกัดหยาบไปผ่านการระเหยสารทำละลายออกจะส่งผลให้สารสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดลดลง อาจเนื่องมาจากในกระบวนการระเหยต้องอาศัยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 40–50 องศาเซลเซียส และส่งผลต่อปริมาณกรดและค่าความเป็นกรด-ด่าง สำหรับปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณของแข็ง พบว่า ในสารสกัดเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้น (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดชังข้าวโพดเอนแคปซูล พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน (5.5±0.04) ในขณะที่ปริมาณกรดค่อนข้างแตกต่างกัน (ร้อยละ 0.04) (ธัญนันท์ และอภิรดา, 2561)



รูปที่ 1 ผลลำดวน สารสกัดแอนโทไซยานินลำดวนเข้มเข้น และสารเอนแคปซูลลำดวน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินชนิดหยาบและเข้มข้น

พารามิเตอร์	สารสกัดหยาบ	สารสกัดเข้มข้น
ความเป็นกรด-ด่าง	4.95±0.02	4.00±0.03
ปริมาณกรด (%)	1.28±0.00	0.64±0.00
ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg C3G E/L)	47.01±0.12	349.58±4.12
ปริมาณของแข็ง (°Brix)	16.60±0.14	45.70±0.07

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และรายงานค่าในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

เมื่อนำสารสกัดแอนโทไซยานินลำดวนเข้มข้นไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับ MD10 และ MD20 (50 ºC MD10, 50 ºC MD20, 60 ºC MD10, 60 ºC MD20) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น LDA มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า LDA ที่เตรียมจากทั้งสองสภาวะ คือ 50 ºC MD10 และ 50 ºC MD20 มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 และปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 (ตารางที่ 2) ซึ่งถือว่าสารเอนแคปซูลที่ได้มีลักษณะแห้งดี ความชื้นต่ำ โดยปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 เป็นปริมาณที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การดูดน้ำกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างที่แห้งมากจะสามารถดูดซับน้ำในบรรยากาศกลับได้ดี จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า LDA ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ MD10 และ MD20 มีค่าการดูดน้ำกลับน้อยกว่าร้อยละ 10 คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.27±2.42 และ 7.50±0.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

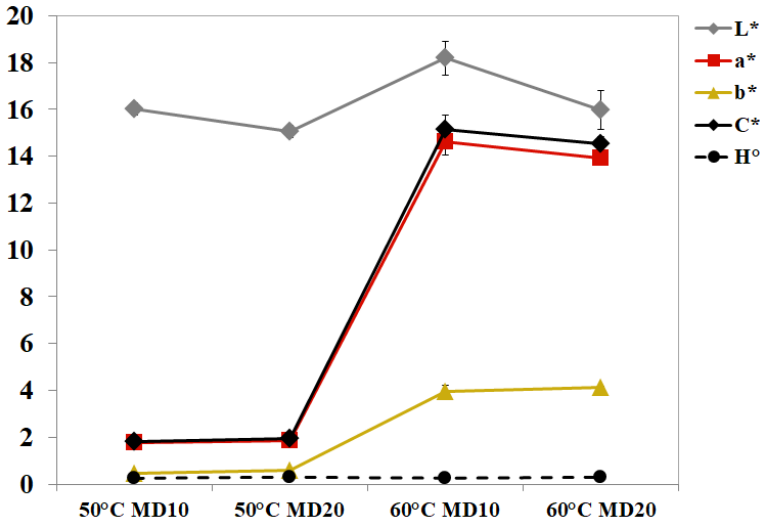
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด และปริมาณแอนโทไซยานิน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน พบว่า เมื่อปริมาณกรด (กรดอินทรีย์) มากขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีแนวโน้มลดลง และปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความคงตัวในสภาพความเป็นกรดเล็กน้อยที่ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.5–6.0 ซึ่งสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD20 มีความเป็นกรด-ด่าง (5.90±0.03) ปริมาณกรด (ร้อยละ 3.23±0.05) และสารแอนโทไซยานิน (44.32±1.00 mg C3G E/100 g DW) มากที่สุด และแตกต่างจากสารเอนแคปซูลที่สภาวะอื่น (p<0.05) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินลำดวน

องค์ประกอบ	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	
	MD10	MD20	MD10	MD20
ความชื้น	4.90±0.07a	3.37±0.12b	1.91±1.00c	1.68±0.42d
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.467±0.05a	0.421±0.02a	0.374±0.04b	0.367±0.03b
ปริมาณของแข็ง (TSS)	3.53±0.02c	3.16±0.04d	3.67±0.02b	3.72±0.02a
ความเป็นกรด-ด่าง	5.86±0.01b	5.90±0.03a	5.75±0.02c	5.78±0.02c
ปริมาณกรด (%)	2.75±0.02b	3.23±0.05a	2.52±0.02c	2.70±0.02b
แอนโทไซยานิน (mg C3G E/100 g DW)	36.50±0.68b	44.32±1.00a	34.01±0.13c	36.17±0.12b
การดูดน้ำกลับ (%)	6.27±2.42d	7.50±0.94c	14.23±0.14a	13.92±0.40b

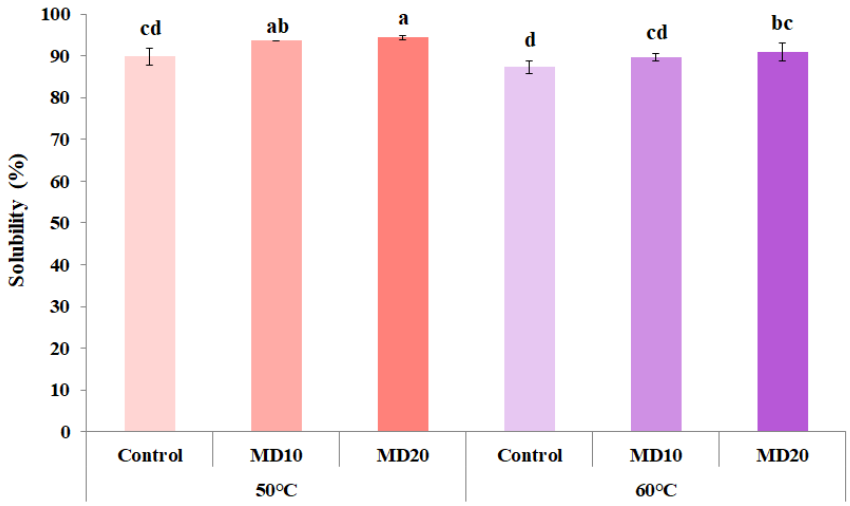
หมายเหตุ: อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05), ns-not significant difference หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p>0.05), D10: มอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10, MD20: มอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 20, mg C3G E/100 g DW: มิลลิกรัม ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่า ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ค่าความสว่าง (L*) ของสารเอนแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้มชนิดเดียวกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 2; เส้นสีเทา) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*, เส้นสีแดง) และสีเหลือง (b*, เส้นสีเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า Chroma (C*, เส้นสีดำ) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า a* ซึ่งเป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี และค่าเฉดสี (h°) มีค่าระหว่าง 0.25 - 0.30 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งสารเอนแคปซูลสูงขึ้นจะทำให้สารเอนแคปซูลมีสีเข้มขึ้น



รูปที่ 2 ค่าความสว่าง (lightness, L*) ความเป็นสีแดง (redness, a*) ความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) chroma และค่า hue angle (h°)

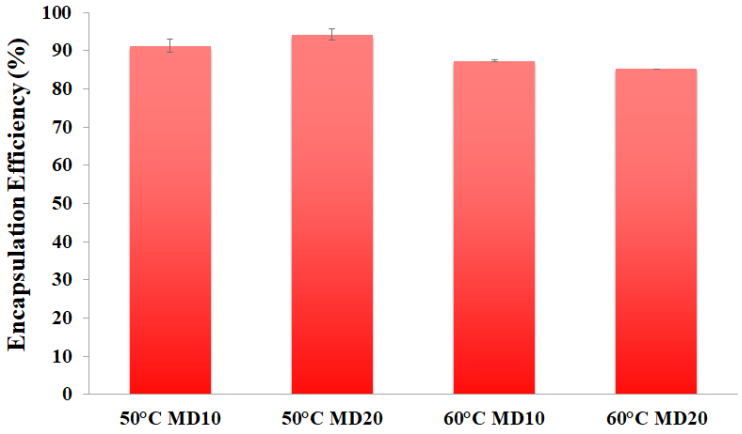
สารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD20 มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.40±0.53 ซึ่งไม่แตกต่างกับสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีความสามารถในการละลายเท่ากับร้อยละ 93.57±0.09 (p>0.05) (รูปที่ 1) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารเอนแคปซูลที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 พบว่า สารเอนแคปซูล 50 °C MD10 มีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกับ 60 °C MD20 และ 60 °C MD10 กับ 60 °C MD20 เมื่อพิจารณาสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งหมดด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ ร่วมกับ MD10 และ MD20 พบว่า มีความสามารถในการละลายได้ในระดับดีมากโดยมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นตัวอย่างควบคุม (สารสีที่ไม่มีสารห่อหุ้ม) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความสามารถในการละลายเพียงร้อยละ 87.25±1.02 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูล

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของสารสกัดแอนโทไซยานินลำดวน

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันสารเอนแคปซูลด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า สารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันร้อยละ 91.25±1.70 และ MD20 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันร้อยละ 94.23±1.40 ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารเอนแคปซูลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 (ร้อยละ 87.31±0.22) และ MD20 (ร้อยละ 85.16±0.11) อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กรณีใช้สารห่อหุ้ม MD20 สารเอนแคปซูลมีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันมากกว่ากรณีใช้ MD10 เล็กน้อย และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบแนวโน้มที่ตรงข้ามกับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คือ กรณีใช้ MD10 เป็นสารห่อหุ้มกลับแสดงประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันมากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า ประสิทธิการการเอนแคปซูเลชันมีค่าค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากร่วมกับสภาวะสุญญากาศ (ความดันต่ำ) จึง สามารถช่วยกักเก็บและรักษาคุณภาพของ LDA ได้เป็นอย่างดี (Hamzah et al., 2013) ที่สภาวะดังกล่าวทำให้แอนโทไซยานินยังคงมีความคงตัวสูง และร่วมกับโครงสร้างของสารห่อหุ้มยึดเกาะกับโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินกลายเป็นฟิล์มเพื่อปกป้องสารออกฤทธิ์จึงทำให้การเอนแคปมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ มอลโตเด็กซ์ตรินที่เลือกใช้เป็นสารห่อหุ้มมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ซึ่งช่วยให้เกิดการป้องกันสารออกฤทธิ์ได้เป็นอย่างดี โดยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี ต่ำ มีความหนืดและค่า structure integrity เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการห่อหุ้มและกักเก็บสารออกฤทธิ์ได้มากกว่ามอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี สูง (Hamzah et al., 2013; Labuschagne, 2018)



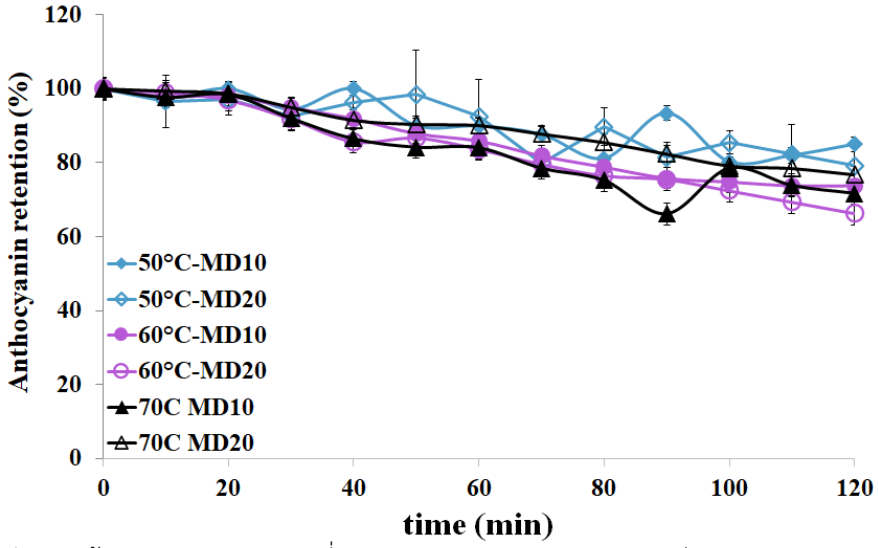
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน

ความคงตัวของสารสีต่อความร้อน (Thermal stability)

การศึกษาความคงตัวของสารเอนแคปซูลที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (รูปที่ 5) พบว่า ตลอดระยะเวลา 120 นาที อัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิ โดยที่สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 และ MD20 มีอัตราการลดลงของแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ผลการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ อรุษา และธีรารัตน์ (2554) ที่ศึกษาการเตรียมสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากเปลือกมังคุด ด้วย MD10 และ MD18 และศึกษาความคงตัวที่อุณหภูมิระดับพาสเจอร์ไรซ์ (70 80 และ 90 องศาเซลเซียส) ผู้วิจัยรายงานว่าสารสีที่เติมสารห่อหุ้มมีค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินสูงกว่า 102 นาที ที่ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ จากรูปที่ 5 พบว่า ที่เวลา 120 นาที ปริมาณสารแอนโทไซยานินยังคงเหลืออยู่ที่ระดับร้อยละ 70 โดยประมาณ

สารเอนแคปซูลมีความคงตัวที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งแนวโน้มที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากช่วงของอุณหภูมิที่เลือกศึกษาเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก จึงทำให้เห็นความแตกต่างของความคงตัว

ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควรเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นซึ่งเลือกศึกษาอุณหภูมิในช่วงระดับพาสเจอร์ไรซ์ (อรุษา และธีรารัตน์, 2554)



รูปที่ 5 ความคงตัวต่อความร้อนของสารเอนแคปซูลที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

การใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันร่วมกับสารห่อหุ้ม MD10 และ MD20 และเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้อุณหภูมิต่ำและต้นทุนการเตรียมไม่แพงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อรักษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Biofunctional property) ของสารแอนโทไซยานินจากผลลำดวน สามารถช่วยรักษาคุณภาพด้านเคมีฟิสิกส์ (Physico-chemical properties) ให้กับสารเอนแคปซูลได้ โดยศึกษาสภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารเอนแคปซูล โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 และปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงของค่าที่พบได้โดยทั่วไปในสารเอนแคปซูล เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า มีค่าน้อยกว่าโกลเดนเบอร์รีเอนแคปซูเลทด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 4-7 (MD_{4-7}) ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ค่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยเป็นตัวบอกประสิทธิภาพการทำแห้ง (Dag et al., 2017) การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลแบล็คเบอร์รีด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ ดีอี 20 พบว่า เอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 10 มีความชื้น (4.97±0.16%, 5.52±0.04%) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (0.51±0.003, 0.53±0.002) ค่าการดูดน้ำกลับ (11.27±0.12%, 13.00±0.17%) น้อยกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยดีอี 10 ให้สารสีที่มีลักษณะสีแดงเข้มกว่า (p>0.05) ในขณะที่ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (Yamashita et al., 2017)

เมื่อศึกษากลไกการทำแห้งแบบสุญญากาศ พบว่า ตัวอย่างจะถูกเทลงบนถาดสแตนเลสที่เป็นภาชนะรองรับตัวอย่าง ปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศคือความหนาของตัวอย่างในถาดอบ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความหนาของตัวอย่างไม่ให้หนาจนเกินไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ข้อดีของการทำแห้งแบบสุญญากาศ คือ อัตราการทำแห้งสูงที่อุณหภูมิต่ำ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าอนุภาคเชื้อเริ่มต้นกรดแลคติกที่เตรียมได้จะมีความแข็งและอัตราการละลายต่ำ (Santivarangkna et al., 2017) ในทางตรงกันข้าม ผลการศึกษานี้พบว่าอัตราการละลายของสารเอนแคปซูลมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นเหตุผลยืนยันได้เป็นอย่างดีว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศมีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

ถึงแม้ว่าเทคนิคการทำแห้งในกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยทั่วไปนิยมใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยและแช่เยือกแข็ง (Labuschagne, 2018) สำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นเทคนิคที่ใช้อุณหภูมิระดับปานกลางและมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าเทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง สารห่อหุ้มที่นิยมใช้คือมอลโตเด็กซ์ตริน คิดเป็นร้อยละ 29 ของสารห่อหุ้มประเภทอื่นที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน เนื่องจากมีราคาไม่แพง หาซื้อได้ทั่วไป ความหนืดไม่สูง มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ไม่มีสี กลิ่นและรสชาติ และมีปริมาณน้ำตาลน้อย (Tonon et al., 2008) การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าเด็กโตรส อิควิวาเลนซ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของสารเอนแคปซูล ซึ่งการเลือกใช้สารห่อหุ้มที่มีค่า ดีอี แตกต่างกัน เช่น MD_{4-7} หรือ MD_{17-20} มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารเอนแคปซูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Tolun et al., 2016; Dag et al., 2017) นอกจากนี้ มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี แตกต่างกัน ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันด้วย โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันต่ำกว่า MD20 เล็กน้อย ทั้งอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน MD20 พบว่า มีจำนวนพันธะสายสั้นมากกว่าซึ่งง่ายต่อการเกาะจับกับโมเลกุลของแอนโทไซยานิน จึงส่งผลให้สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD20 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันมากกว่า

สำหรับความสามารถในการละลายเมื่อค่า ดีอี ของมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นจาก MD10 เป็น MD20 จะทำให้ได้สารเอนแคปซูลที่มีคุณสมบัติด้านความสามารถในการละลายและค่าดูดน้ำกลับสูงขึ้น (Labuschagne, 2018) เมื่อเปรียบเทียบผลกับสารสีเปลือกมังคุดที่เตรียมด้วย MD10 และ MD18 ทำแห้งแบบสุญญากาศและแบบพ่นฝอย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 94.88 – 96.88 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ โดยการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี ที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nurhadi et al. (2012) ที่รายงานว่า น้ำผึ้งผงเตรียมด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 17.8 ทำแห้งแบบสุญญากาศ มีค่า wettability และ dispersing time เท่ากับ 0.07 และ 1.08 นาที ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้กัมอะราบิกเท่ากับ 5.71 และ 3.05 เท่า ตามลำดับ

การดูดน้ำกลับเป็นอีกปัจจัยที่ใช้พิจารณาคุณสมบัติของเอนแคปซูลที่เตรียมได้ เนื่องจากการดูดน้ำกลับมีผลต่อความเหนียวและการเก็บรักษาของสารเอนแคปซูล จากการศึกษาพบว่าสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 มีค่าการดูดน้ำกลับต่ำกว่า 50 °C MD20, 60 °C MD10 และ 60 °C MD20 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับ Yamashita et al. (2017) และ Nayak and Rastogi (2010) มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี ต่ำ เป็นกลุ่มที่มีพันธะโอลิโกแซคคาไรด์แบบสายยาว ซึ่งจะมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ตรงกันข้ามกับมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี สูง จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า ดังนั้น MD20 ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์มากกว่าจะมีจำนวนกลูโคสที่มีพันธะสายสั้นมากกว่าและสามารถดูดน้ำกลับได้มากกว่า (Mahdavi et al., 2016) การดูดน้ำกลับของสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 พบว่า ไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.40 และ 93.57 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yamashita et al. (2017) ที่รายงานว่าสารเอนแคปซูลเตรียมด้วย MD10 และ MD20 มีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 44.78±0.63, 44.86±0.11) และงานวิจัยของ Rigon and Norena (2016) ที่ศึกษาการเตรียมเอนแคปซูลจากแบล็คเบอร์รีด้วยกัมอะราบิก พบว่า สารเอนแคปซูลมีความสามารถในการละลายร้อยละ 88.2–97.4 และค่าการดูดน้ำกลับร้อยละ 14.49 – 19.42 ซึ่งความสามารถในการละลายของ LDA จากการศึกษานี้อยู่ในช่วงที่รายงาน

ค่าการดูดน้ำกลับของสารเอนแคปซูลแสดงความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความสามารถในการละลาย จะเห็นได้ว่าสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 มีค่าการดูดน้ำกลับน้อยที่สุดแต่มีความสามารถในการละลายสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 94.40±0.53 และ 93.57±0.09 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของสาร

เอนแคปซูล 60°C MD10 และ MD20 พบว่า มีลักษณะเหนียวเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สารเอนแคปซูลที่เตรียมได้มีค่าความสามารถในการละลายต่ำกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมที่ 50°C ด้วย MD10 และ MD20 อย่างไรก็ตาม ค่าความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 ก็มีค่าสูงโดยมีค่ามากกว่าร้อยละ 90

บทสรุป

การเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานินจากผลลำดวนร่วมกับสารห่อหุ้มมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 20 ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้สารเอนแคปซูลที่มีคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ความคงตัวต่อความร้อน ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน ความสามารถในการละลาย และสารแอนโทไซยานินสูง การดูดซับน้ำกลับต่ำร่วมกับความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติที่ดีของสารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งและประสิทธิภาพของกระบวนการทำแห้ง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นกระบวนการเอนแคปซูเลชันสามารถช่วยกักเก็บ รักษาคุณภาพ และลดการสลายตัวของสารออกฤทธิ์แอนโทไซยานิน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการนำสารเอนแคปซูลไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และมูลค่าเพิ่มสูงต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาอุตสาหกรรมเกษตร และศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี และอภิรดา พรปัณณวิชญ. (2561). การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12(2): 169-180.

อรุษา เชาวนลิขิต และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2554). รายงานการวิจัย สีธรรมชาติจากเปลือกมังคุด คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

AOAC. (2000). Official Methods 920.149. 17th Edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, Md. : Washington. DC.

AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th Edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, Md. : Washington, DC.

Da Fonseca Machado A.P., Rezende C.A., Rogrigues R.A., Barbero G.F., de Tarso Vieira e Rosa P.,

and Martinez J. (2018). Encapsulation of anthocyanin-rich extract from blackberry residues by spray-drying, freeze-drying and supercritical antisolvent. Powder Technology. 340: 553-562.

Da Silva Carvalho A.G., Machado M.T.C., da Silva V.M., Sartoratto A., Rodrigues R.A.F. and Hubinger M.D. (2016). Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. Powder Technology. 294: 421-428.

Dag D. Kilercioglu M. and Oztop M.H. (2017). Physical and chemical chaacteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. LWT-Food Science and Technology. 83: 86-94.

Hamzah Y., Juma N.A. and Sembok W.Z.W. (2013). Effect of drying on the storage stability of encapsulated anthocyanins powder extract from butterfly pea flower (*Clitoria ternatea*). In 13th ASEAN Food Conference. 9-11 September 2013. Singapore. 1–4.

Idham Z., Muhamad I.D.A.I. and Sarmidi M.R. (2010). Degradation kinetics and colour stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. Journal of Food Process Engineering. 35: 522-542.

Jensen M.B., Bergamo C.A.L-d-D., Payet R.M., Liu X. and Konczak I. (2011). Influence of Copigment Derived from Tasmannia Pepper Leaf on Davidson's Plum Anthocyanins. Journal of Food Science. 76: 447-453.

Jimenez-Gonzalez O., Ruiz-Espinosa H., Luna-Guevara J.J., Ochoa-Velasco C.E., Luna Vital D. and Luna-Guevara M.L. (2018). A potential natural coloring agent with antioxidant properties: Microencapsulates of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas fruit pericarp. NFS Journal. 13: 1-9.

Labuschagne P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. Food Research International. 107: 227-247.

Mahdavi S.A., Jafari S.M., Assadpour E. and Ghorbani M. (2016). Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. Journal of Food Engineering. 181: 59-66.

Mar J.M. da Silva, L.S. Lira, A.C. Kinupp, V.F. Yoshida, M.R. Moreira, W.P. Bruginski, E. Campos, F.R. Machado, M.B. de Souza, T.P. Campelo, P.H. de Araujo Bezerra J. and Sanches E.A. (2020). Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. Powder Technology. 360: 383-391.

Nayak C.A., and Rastogi N.K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. Drying Technology. 28: 1396-1404.

Nurhadi B., Andoyo R., Mahani and Indiarto R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. International Food Research Journal. 19: 907-912.

Pang S.F., Yusoff M.M. and Gimbun J. (2014). Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. Food Hydrocolloids. 37: 159-165.

Rigon R.T. and Norena C.P.Z. (2016). Microencapsulation by spray-drying of bioactive compounds

extracted from blackberry (*Rubus fruticosus*). Journal of Food Science and Technology. 53: 1515-1524.

Sakulnarmrat K. and Konczak I. (2013). Composition and inhibitory activities towards digestive enzymes of polyphenolic-rich fractions obtained from Davidson's plum and quandong. LWT- Food Science and Technology. 57: 366-375.

Santivarangkna Ch., Kulozik U. and Foerst P. (2007). Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures, Biotechnology Progress. 23: 302-315.

Silva P.B., Duarte C.R. and Barrozo M.A.S. (2016). Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. Food and Bioproducts Processing. 98: 62–70.

Tonon R.V., Brabet C. and Hubinger M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering. 88: 411–418.

Tolun A., Altintas Z. and Artik N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum Arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. Journal of Biotechnology. 239: 23-33.

Yamashita C., Chung M.M.S., dos Santos C., Mayer C.R.M., Moraes I.C.F. and Branco I.G. (2017). Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. LWT-Food Science and Technology. 84: 256-262.