

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จาก สาหร่ายเกลียวทองด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Encapsulation of Carotenoid Extract from Spirulina by Spray Drying Technique

สุภาวดี พลโยธา และ สุทัศน์ สุระวัง*
Supavadee Phonyotha and Suthat Surawang*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50100

Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand

*Corresponding author: Email: ssurawang@gmail.com

(Received: 26 April 2023; Accepted: 12 July 2023)

Abstract: *Spirulina platensis* is a highly nutritious cyanobacterium. It also contains carotenoids, which are important antioxidants. Carotenoids are light and temperature sensitive, and thus easily breakdown. The extracted carotenoid of microwave assisted extraction from spirulina was encapsulated using different ratio of wall materials (maltodextrin : gum arabic) as 2.0:0.0, 1.5:0.5 and 1.0:1.0 and inlet temperature of 140 and 180 °C by spray drying. The physicochemical properties and morphology using scanning electron microscopy (SEM) of the encapsulated powder was investigated. The results showed that the ratio of wall material and inlet temperature had a significant effect on yield, moisture content, β-carotene content, total carotenoid content and the encapsulation efficiency. The ratio of maltodextrin : gum arabic of 1.0 : 1.0 and the inlet temperature of 180 °C, resulting the highest encapsulation efficiency of 47.34 ± 2.96 % with 22.07 ± 0.50 % yield, β-carotene content of 6.97 ± 0.52 μg/g dry powder and carotenoid content of 2.50 ± 0.16 mg/g dry powder. The physicochemical properties of encapsulated powder were moisture content of 1.03 ± 0.21 % and water activity of 0.068 ± 0.008 .

Keywords: Spirulina, carotenoid, encapsulation, spray drying

บทคัดย่อ: สาหร่ายเกลียวทองเป็นไซยาโนแบคทีเรียที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ เนื่องจากแคโรทีนอยด์มีความไวต่อแสง และอุณหภูมิ ทำให้สลายตัวได้ง่าย จึงทำการเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทองที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบไมโครเวฟ โดยศึกษาชนิดของสารห่อหุ้ม (มอลโตเดกซ์ตรินต่อกัมอะราบิก) ในอัตราส่วนโดยมวล 2.0 : 0.0, 1.5 : 0.5 และ 1.0 : 1.0 และอุณหภูมิเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 140 และ 180 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า อุณหภูมิเข้าและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มส่งผลต่อร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณบีตาแคโรทีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใช้มอลโตเดกซ์ตริน และกัมอะราบิก ในอัตราส่วน 1.0:1.0 ที่อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส ทำให้มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 47.34 ± 2.96 โดยมีร้อยละผลผลิต ร้อยละ 22.07 ± 0.50 มีปริมาณบีตา - แคโรทีน $6.97 \pm 0.52 \mu\text{g/g dry powder}$ และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด $2.50 \pm 0.16 \text{ mg/g dry powder}$ ซึ่งผงตัวอย่างที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณความชื้น คิดเป็นร้อยละ 1.03 ± 0.21 และค่าคอเรคเตอร์แอกทิวิตี 0.068 ± 0.008

คำสำคัญ: สาหร่ายเกลียวทอง แคโรทีนอยด์ เอนแคปซูเลชัน การทำแห้งแบบพ่นฝอย

คำนำ

สาหร่ายเกลียวทองเป็นไซยาโนแบคทีเรียชนิดแกรมลบที่ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ อีกทั้งยังมีซี - ไพโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ (Bingula *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2016) แคโรทีนอยด์ที่พบในสาหร่ายเกลียวทองมีมากถึง 0.3 - 2.6% ได้แก่ β -carotene, zeaxanthin และ β -cryptoxanthin (Ambati *et al.*, 2019; Assuncao *et al.*, 2021; Finamore *et al.*, 2017) ซึ่งแคโรทีนอยด์นั้นเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีแดง ส้ม เหลือง ละลายได้ในไขมัน สามารถจำแนกแคโรทีนอยด์ในโมเลกุลเป็น 2 กลุ่ม (Kiokias *et al.*, 2016) ได้แก่ แคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งมนุษย์และสัตว์อื่นไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากแหล่งอื่น พบได้ในพืชและจุลินทรีย์ต่าง ๆ โดยแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายนั้นมีประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งของ สารตั้งต้นวิตามินเอที่ได้จากบีตาแคโรทีน (Assuncao *et al.*, 2021) มีหน้าที่สำคัญในเมแทบอลิซึมของมนุษย์และสัตว์ ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเมะเร็งชนิดต่าง ๆ โรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคที่เกี่ยวข้องกับสายตา

เช่น จอประสาทตาเสื่อม หรือต้อกระจก เป็นต้น (Liang *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2018)

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้แคโรทีนอยด์จากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เนื่องจากผู้บริโภคนั้นยังตระหนักถึงความปลอดภัย และประโยชน์ของอาหารมากกว่าแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ จึงทำให้แนวโน้มในอุตสาหกรรมอาหารที่มีส่วนผสมของแคโรทีนอยด์เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการใช้แคโรทีนอยด์เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งานจากหลายปัจจัย เช่น มีความไม่เสถียรสูง ไม่ละลายน้ำ สลายตัวได้ง่ายจากแสง อุณหภูมิ ความชื้น รวมถึงในระหว่างกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษา (Ribeiro *et al.*, 2020) จึงไม่สามารถนำแคโรทีนอยด์มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้โดยตรง อีกทั้งสารสกัดแคโรทีนอยด์นั้นอยู่ในรูปของน้ำมัน ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยการนำเทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันมาประยุกต์ใช้ในการห่อหุ้มและป้องกันการสลายตัวได้ง่ายของแคโรทีนอยด์ อีกทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

การเอนแคปซูเลชันเป็นเทคนิคการกักเก็บสารที่สลายตัวได้ง่ายไว้ด้านใน แล้วเคลือบด้วยสารห่อหุ้มด้านนอก สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบ

แช่เยือกแข็ง (freeze dry), เอกซ์ทรูชัน (extrusion), โคอะเคเวชัน (coacervation), ฟลูอิดไลซ์เบด (fluidized bed coating) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำ ปริมาณผลผลิตสูง โดยประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของตัวอย่าง ความดัน และอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิอากาศ และขนาดของอนุภาคนอกจากนั้นชนิดของสารห่อหุ้ม ยังเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Soukoulis and Bohn, 2018) ซึ่งการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกันทำให้ผงตัวอย่างที่ได้มีคุณภาพทางกายภาพ และเคมีที่ต่างกันด้วย เช่น สารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ และโปรตีน เป็นต้น สารห่อหุ้มที่นิยมใช้มากที่สุด คือ มอลโตเดกซ์ตริน เป็นสารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนให้เป็นสายสั้น ๆ ของน้ำตาลกลูโคส มีสมบัติในการขึ้นรูปฟิล์มที่ดี สามารถละลายได้ดีในน้ำ แต่มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลชันที่ต่ำ จึงต้องใช้ร่วมกับสารห่อหุ้มชนิดอื่นเนื่องจากสารสกัดแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปของน้ำมัน ซึ่งควรทำให้อยู่ในเมทริกซ์ที่เหมาะสมก่อนทำการเอนแคปซูเลชัน โดยการทำให้อยู่ในระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water, W/O) คือระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคน้ำมัน (สารสกัดแคโรทีนอยด์) ที่กระจายแขวนลอยอยู่ในวัฏภาคน้ำ โดยสารห่อหุ้มที่นำมาใช้ควรเป็นสารที่มีสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความคงตัว เช่น กัมอะราบิก ซึ่งเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากยางพาราในสกุลอะเซีย (Acacia) มีสมบัติในการเป็นอิมัลชันและให้ความคงตัวที่ดี และมีความหนืดต่ำเมื่อใช้ความเข้มข้นมาก (Oliyaei *et al.*, 2020) นิยมใช้เป็นสารห่อหุ้มที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสำคัญพวกวิตามินต่าง ๆ

ดังนั้น การเอนแคปซูเลชันสารสำคัญด้วยสารห่อหุ้มด้านนอกจะช่วยลดการสลายตัวของสารสกัดแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากสาหร่ายเกลียวทอง และตัวอย่างผงที่กักเก็บยังสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้จากสาหร่ายเกลียวทองด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการเปรียบเทียบชนิด

และอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน และกัมอะราบิกในอัตราส่วนโดยมวล 2.0:0.0, 1.5:0.5 และ 1.0:1.0 และอุณหภูมิอากาศเข้า 140 และ 180 องศาเซลเซียส ที่มีต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน รวมถึงคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสารสกัดจากสาหร่ายเกลียวทอง

การสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทองสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมสกัด (ดัดแปลงวิธีจาก Elik *et al.*, 2020; Hiranvarachet *et al.*, 2013) กำหนดอัตราส่วนของสาหร่ายเกลียวทอง (น้ำหนักแห้ง) ต่อน้ำมันทานตะวัน (ตัวทำละลาย) ในอัตราส่วนโดยมวล 1:100 โดยใช้เครื่องไมโครเวฟ (Toshiba รุ่น MW2-MM24PC(BK)) ช่วยสกัดพร้อมทั้งชุดเครื่องแก้วสกัดเป็นเวลา 5 นาที แล้วแยกสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (Hettich รุ่น MIKRO 220) กำหนดความเร็วรอบ 3,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในขวดสีชาเพื่อเตรียมการเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้จากสาหร่ายเกลียวทองด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทองด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทองด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคน้ำมัน (สารสกัดแคโรทีนอยด์) ต่อสารห่อหุ้ม อัตราส่วนโดย 7:1:2 ผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันให้เข้ากันโดยผสม Tween 80 ปริมาณร้อยละ 1.0 ของส่วนผสมทั้งหมด ด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ชนิดความเร็วสูง (homogenizer) (IKA รุ่น T25) กำหนดความเร็ว 7,500 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (BUCHI รุ่น B-290) โดยใช้อัตราการไหลของตัวอย่าง 6.5 มิลลิลิตรต่อวินาที ที่ความดัน 40 บาร์ (ดัดแปลงวิธีจาก Kang *et al.*, 2019; Tolun *et al.*, 2016)

ทำการศึกษาอัตราส่วนมอลโตเดกซ์ตริน และกัมอะราบิกของสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชัน สารสกัดแคโรทีนอยด์ ได้แก่ 2.0:0.0, 1.5:0.5 และ 1.0:1.0 และศึกษาอุณหภูมิขาเข้า (inlet temperature) ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 140 และ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก (outlet temperature) ที่ 80 ± 5 และ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (%)

การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (%) ของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน สามารถคำนวณจากสมการที่ 1

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{mass of encapsulated}}{\text{Total mass of feed solution}} \times 100 \quad (1)$$

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) และการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Aqualab LITE (DECAGON, USA) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีน (β -carotene)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีน ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC Agilent Technologies รุ่น 1260 Infinity) ใช้คอลัมน์ชนิด Agilent Poroshell 120 SB-C18 (ขนาด 2.1×100 mm, 2.7 micron) และใช้ตัวพา 2 ชนิด คือ 40 % ethyl acetate เป็นตัวทำละลาย A และ 60 % methanol เป็นตัวทำละลาย B กำหนดให้ มีอัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลาวิเคราะห์ (run time) 10 นาที และเวลาชะ (retention time) 5.2 - 5.4 นาที ตรวจวัดโดยใช้ Diode array detector (DAD) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และหาปริมาณโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโดยใช้สารมาตรฐานบีตา-แคโรทีน (C4582-5MG, Sigma-Aldrich) (ดัดแปลงวิธีจาก Kupan *et al.* (2016) และ Kiokias *et al.* (2016))

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด โดย ซึ่งตัวอย่าง 5 กรัม ละลายในตัวทำละลาย (hexane : acetone : ethanol = 2 : 1 : 1) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องเขย่า (shaker) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในที่มืด จากนั้น นำเฉพาะส่วนใส วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Fisher รุ่น Genesys 10S UV-Vis) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานบีตา-แคโรทีน (C4582-5MG, Sigma-Aldrich) คำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ในหน่วย มิลลิกรัม บีตา-แคโรทีน ต่อ 1 กรัม สารสกัด (mg β -carotene / g extract) (ดัดแปลงวิธีจาก Hiranvarachat *et al.* (2013))

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation efficiency; EE)

$$\text{Encapsulation efficiency} = \frac{\text{Total carotenoids content of encapsulated}}{\text{Total carotenoids content of feed solution}} \times 100 \quad (2)$$

ลักษณะสัณฐานของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM)

การศึกษาลักษณะสัณฐานของอนุภาค เตรียมตัวอย่างให้มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 6 ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Thermo fisher scientific Inc. รุ่น Prisma E) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 2×3 factorial experimental in CRD นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic 17.0 (SPSS Inc., USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต

จากผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยมอลโตเดกซ์ตรินและกัมอะราบิกที่อุณหภูมิเข้า 140 และ 180 องศาเซลเซียส (Table 1) พบว่า มีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 20.35 - 24.19 โดยการใช้มอลโตเดกซ์ตรินร่วมกับกัมอะราบิกในการเอนแคปซูเลชันมีร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Alvarez-Henao *et al.* (2018) รายงานว่ามีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 21.00 - 21.30 เมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิเข้าที่ 185 ± 5 องศาเซลเซียส ในการศึกษาผลของการเอนแคปซูเลชันลูทีนด้วยมอลโตเดกซ์ตรินร่วมกับกัมอะราบิก เนื่องจากสารสกัดแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปของน้ำมันจึงทำให้มีโครงสร้างแบบไฮโดรลิพิด (Hydro-lipid) ในขณะที่มอลโตเดกซ์ตรินมีความสามารถในการขึ้นรูปฟิล์ม และการเป็นอิมัลชันต่ำ ทำให้มีการจับกันของน้ำมันและโครงสร้างได้น้อย จึงส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้น้อยกว่าการใช้ร่วมกันกับกัมอะราบิกที่มีโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นแบบไฮโดรลิพิดและไฮโดรฟิลิก (Tupuna *et al.*, 2018) นอกจากนั้น อุณหภูมิเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน โดยการใช้อุณหภูมิสูงทำให้มีร้อยละผลผลิตน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากการถ่ายเทมวลของความร้อนในการระเหยระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งการใช้อุณหภูมิต่ำเกิดการห่อหุ้มได้ช้า จึงเกิดการสูญเสียร้อยละผลผลิตน้อย ทำให้การใช้อุณหภูมิต่ำมีร้อยละผลผลิตของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมากกว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Kaderides and Goula, 2019; Piñón-Balderrama *et al.*, 2020)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความคงตัว และอายุการเก็บรักษาของสารสำคัญในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มี

ลักษณะเป็นผง โดยทั่วไปผงตัวอย่างที่ทำการเอนแคปซูเลชันน้ำมันควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 - 4 หรือ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีน้อยกว่า 0.6 (Aksoylu Özбек and Günç Ergönül, 2017; Alvarez-Henao *et al.*, 2018) ซึ่งจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ (Figure 1) พบว่า อุณหภูมิเข้าของการทำแห้งแบบพ่นฝอย และอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ตรินและกัมอะราบิกส่งผลต่อปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี โดยการใช้อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.84 - 2.48 ในขณะที่การใช้อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.03 - 1.75 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tolun *et al.* (2016) รายงานว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการพ่นฝอย ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในอนุภาคสูงขึ้นนำไปสู่การระเหยของน้ำได้รวดเร็วขึ้น จึงทำให้ความชื้นของผงตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส (Lourenco *et al.*, 2020) นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินร่วมกับกัมอะราบิกในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินมีโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของมอลโตเดกซ์ตรินได้ดี ดังนั้นการใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงอย่างเดียว มีปริมาณความชื้นมากกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินร่วมกับกัมอะราบิกในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น (Archaina *et al.*, 2019)

การวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีนและปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีนและปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทอง (Table 2) พบว่า การใช้อุณหภูมิต่ำ (140 องศาเซลเซียส) มีปริมาณบีตา-แคโรทีน และปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าการใช้อุณหภูมิสูง (180 องศาเซลเซียส) ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งการใช้มอลโตเดกซ์ตริน เพียงชนิดเดียวที่

Table 1. Yield of encapsulated powders with different inlet temperature and wall material ratio of maltodextrin (MD) and gum arabic (GA)

Wall material ratio (MD : GA)	Inlet temperature (°C)	Yield of encapsulated powders (%)
2.0 : 0.0	140	22.95 ± 1.16 ^{ab}
1.5 : 0.5	140	22.87 ± 0.84 ^{ab}
1.0 : 1.0	140	24.19 ± 1.46 ^a
2.0 : 0.0	180	20.35 ± 0.38 ^c
1.5 : 0.5	180	21.05 ± 1.07 ^c
1.0 : 1.0	180	22.07 ± 0.50 ^{bc}

^{a-c} Common letters in the same columns represent a significant difference ($P < 0.05$)

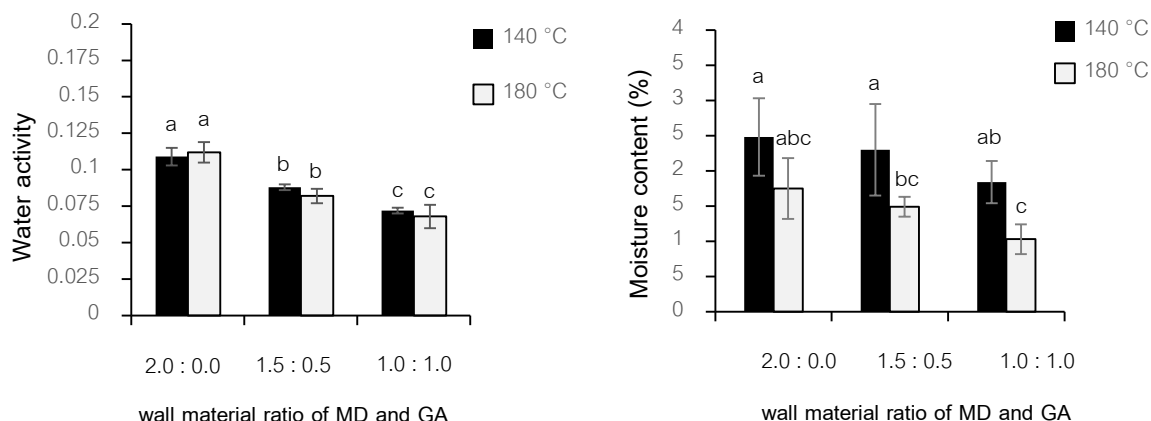


Figure 1. Water activity and moisture content of encapsulated powders with different inlet temperature and wall material ratio of maltodextrin (MD) and gum arabic ratio (GA)

อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส มีปริมาณ บีตา-แคโรทีน 5.43 ± 1.06 $\mu\text{g/g}$ dry powder และปริมาณ แคโรทีนอยด์ทั้งหมด 1.45 ± 0.10 mg/g dry powder ในขณะที่อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส มีปริมาณ บีตา-แคโรทีน 2.50 ± 0.18 $\mu\text{g/g}$ dry powder และ ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 1.14 ± 0.03 mg/g dry powder เนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการระเหยน้ำ ออก สามารถช่วยลดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ได้ ดีกว่าการใช้อุณหภูมิสูง (Correa-Filho *et al.*, 2019) จึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเข้าในการทำแห้งแบบพ่น

ฝอยส่งผลต่อปริมาณบีตา-แคโรทีน และปริมาณแคโรทีน-นอยด์ทั้งหมดของผงที่ได้จากการเอนแคปซูเลชัน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของมอลโตเด็คซ์ตริน และกัมอะราบิกที่ใช้เป็นสารห่อหุ้ม พบว่า ที่อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย การใช้อัตราส่วนของมอลโตเด็คซ์ตรินต่อกัมอะราบิก 1.5:0.5 และ 1.0:1.0 มีปริมาณบีตา-แคโรทีน 5.24 ± 0.87 และ 4.77 ± 0.5 $\mu\text{g/g}$ dry powder และปริมาณ แคโรทีน-นอยด์ในผงผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน 1.66 ± 0.05 และ 1.91 ± 0.12 mg/g dry powder ตามลำดับ

Table 2. β -carotene content, total carotenoid content and encapsulation efficiency of encapsulated powders with different inlet temperature, maltodextrin (MD) and gum arabic ratio (GA)

Wall material ratio (MD : GA)	Inlet temperature (°C)	β -carotene content ($\mu\text{g/g}$ dry powder)	Total carotenoid content (mg/g dry powder)	Encapsulation efficiency (%)
2.0 : 0.0	140	5.43 ± 1.06^b	1.45 ± 0.10^d	28.62 ± 0.27^d
1.5 : 0.5	140	5.24 ± 0.87^{bc}	1.66 ± 0.05^c	32.54 ± 0.95^c
1.0 : 1.0	140	4.77 ± 0.55^{bc}	1.91 ± 0.12^b	39.69 ± 2.48^b
2.0 : 0.0	180	2.50 ± 0.18^d	1.14 ± 0.03^e	19.97 ± 0.43^f
1.5 : 0.5	180	4.11 ± 0.42^c	1.49 ± 0.04^d	26.92 ± 0.73^e
1.0 : 1.0	180	6.97 ± 0.52^a	2.50 ± 0.16^a	47.34 ± 2.96^a

^{a-f} Common letters in the same columns represent a significant difference ($P < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อัตราส่วนของมอลโตเด็คซ์ตรินต่อกัมอะราบิก 1.5:0.5 และ 1.0:1.0 มีปริมาณบีตา-แคโรทีน 4.11 ± 0.42 และ $6.97 \pm 0.52 \mu\text{g/g}$ dry powder และปริมาณแคโรทีนอยด์ในผงผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน 1.49 ± 0.04 และ $2.50 \pm 0.16 \text{ mg/g}$ dry powder ตามลำดับ ดังนั้น ชนิดและอัตราส่วนของสารหล่อหุ้มที่ใช้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณบีตา-แคโรทีน และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันเช่นกัน เนื่องจากกัมอะราบิกมีคุณสมบัติในการสร้างฟิล์ม และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี โดยกัมอะราบิกประกอบด้วยส่วนของอะราบินอกาแลคแทน (arabinogalactan) และไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ซึ่งโปรตีนมีส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิก สามารถยึดเกาะได้ทั้งส่วนที่เป็นน้ำกับน้ำมัน จึงทำหน้าที่ในการเป็นตัวประสาน ทำให้สามารถห่อหุ้มสารสำคัญในน้ำมันทานตะวันได้ดีกว่า (Bustos-Garza *et al.*, 2013; Oliyai *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2020) การเพิ่มสัดส่วนของกัมอะราบิกในสารหล่อหุ้ม จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสำคัญได้ดีขึ้น เนื่องจากกัมอะราบิกสามารถสร้างฟิล์มได้ดี

และป้องกันการแตกของเมทริกซ์ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อลักษณะอนุภาคของตัวอย่างที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันอีกด้วย (Adejoro *et al.*, 2019; Kausadikar *et al.*, 2015)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน

ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทอง มีความสอดคล้องกับปริมาณบีตา-แคโรทีน และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน โดยปริมาณบีตา-แคโรทีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันมีปริมาณมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันที่ดีด้วย (Table 2) โดยจากผลการทดลอง พบว่า การใช้อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย และอัตราส่วนของมอลโตเด็คซ์ตรินต่อกัมอะราบิก 1.0:1.0 มีปริมาณบีตา-แคโรทีน $6.97 \pm 0.52 \mu\text{g/g}$ dry powder ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผงตัวอย่าง $2.50 \pm 0.16 \text{ mg/g}$ dry powder และมีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน ร้อยละ 47.34 ± 2.96 ซึ่งเป็นสภาวะและอัตราส่วนของสารหล่อหุ้มที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของอนุภาคผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน

ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานของอนุภาคผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยในอัตราส่วนของสารห่อหุ้มและอนุภาคน้ำตาลต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า ดัง Figure 2 พบว่า การใช้อนุภาคน้ำตาล 140 องศาเซลเซียส (Figure 2. A1-A3) มีอนุภาคของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันเป็นลักษณะหยาบและหดรัดตัวลงในระดับหนึ่ง ในขณะที่อนุภาคน้ำตาล 180 องศาเซลเซียส (Figure 2. B1-B3) มีอนุภาคของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน มีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเรียบ นอกจากนั้นชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มยังส่งผลต่อลักษณะพื้นฐานของอนุภาคผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันเช่นกัน โดยการใช่มอลโตเดกซ์ตรินร่วมกับกัมอะราบิกในอัตราส่วน 1.0:1.0 มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มได้ดีที่สุด จะมีลักษณะของผงห่อหุ้มเป็นทรงกลมได้ดีกว่าการใช่มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิด

เดียว เนื่องจากอัตราในการระเหยและอุณหภูมิในการทำแห้ง ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันเกิดการสร้างฟิล์มที่บริเวณผิวนอก ทำให้อนุภาคของผงที่เป็นทรงกลมมีความเว้าบนพื้นผิวหรือหดรัดตัวเมื่อใช้สารห่อหุ้มที่ต่างกัน ซึ่งการทำแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำช้าลง จึงใช้ระยะเวลาในการห่อหุ้มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปของผงเอนแคปซูเลทเป็นรอยเหี่ยวย่น และยุบตัว (Adejoro *et al.*, 2019; Alvarez-Henao *et al.*, 2018; Tolun *et al.*, 2016) ลักษณะพื้นฐานของอนุภาคภายนอกของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่สามารถห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ได้ ทำให้ป้องกันสารสำคัญจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแสง หรือสภาพแวดล้อมภายนอก ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาสารสกัดแคโรทีนอยด์ได้นานขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างหลากหลาย (Burhan *et al.*, 2019)

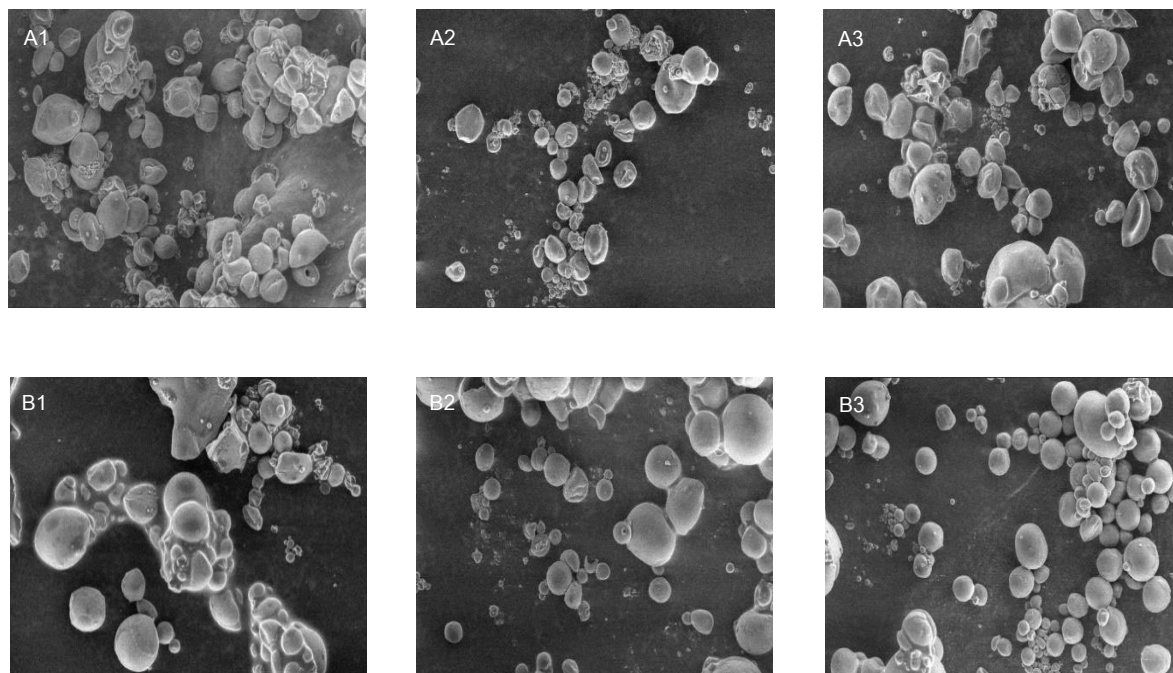


Figure 2. SEM micrograph of encapsulated powders at different inlet temperature (A) 140 °C and (B) 180 °C with different ratio of MD:GA (1= 2.0 : 0.0, 2= 1.5 : 0.5, 3= 1.0 : 1.0)

สรุป

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเกลียวทองด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเปรียบเทียบชนิด และอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตรินและกัมอะราบิก ในอัตราส่วนโดยมวล 2.0 : 0.0, 1.5 : 0.5 และ 1.0 : 1.0 และอุณหภูมิเข้า 140 และ 180 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิเข้าและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณบีตา-แคโรทีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ ทั้งหมด และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของผงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส และใช้มอลโตเด็คซ์ตรินต่อกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม ในอัตราส่วนโดยมวล 1.0:1.0 มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูงที่สุด ซึ่งมีปริมาณบีตา-แคโรทีน 6.97 $\mu\text{g/g}$ dry powder และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 2.50 mg/g dry powder

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริม และสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณบริษัท กรีนไดมอนด์ จำกัด (บุญสม ฟาร์ม) ที่ให้ความอนุเคราะห์สาหร่ายเกลียวทอง และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุน เชื้อเพื่ออุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Adejoro, F.A., A. Hassen and M.S. Thantsha. 2019. Characterization of starch and gum arabic-maltodextrin microparticles encapsulating acacia tannin extract and evaluation of their potential use in ruminant nutrition. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 32(7): 977-987.

Aksoylu Özbek, Z. and P. Günç Ergönül. 2017. A review on encapsulation of oils. Celal Bayar University Journal of Science 13(2): 293-309.

Alvarez-Henao, M.V., N. Saavedra, S. Medina, C.J. Cartagena, L.M. Alzate and J. Londono-Londono. 2018. Microencapsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. Food Chemistry 256: 181-187.

Ambati, R.R., D. Gogisetty, R.G. Aswathanarayana, S. Ravi, P.N. Bikkina, L. Bo and S. Yuepeng. 2019. Industrial potential of carotenoid pigments from microalgae: Current trends and future prospects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 59(12): 1880-1902.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. Association of the Official Analysis Chemists, Inc., Washington, D.C.

Archaina, D., F. Vasile, J. Jiménez-Guzmán, L. Alamilla-Beltrán and C. Schebor. 2019. Physical and functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract spray dried with maltodextrin-gum arabic mixtures. Journal of Food Processing and Preservation 43(9): e14065, doi: 10.1111/jfpp.14065.

Assuncao, L.S., P.Q.M. Bezerra, V.S.H. Poletto, A.O. Rios, I.G. Ramos, C.D.F. Ribeiro, B.A.S. Machado, J.I. Druzian, J.A.V. Costa and I.L. Nunes. 2021. Combination of carotenoids from *Spirulina* and PLA/PLGA or PHB: New options to obtain bioactive nanoparticles. Food Chemistry 346: 128742, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128742.

- Bingula, R., C. Dupuis, C. Pichon, J.-Y. Berthon, M. Filaire, L. Pigeon and E. Filaire. 2016. Study of the effects of betaine and/or C-phycocyanin on the growth of lung cancer A549 cells *in vitro* and *in vivo*. Journal of Oncology 2016: 8162952, doi: 10.1155/2016/8162952.
- Burhan, A.M., S.M. Abdel-Hamid, M.E. Soliman and O.A. Sammour. 2019. Optimisation of the microencapsulation of lavender oil by spray drying. Journal of Microencapsulation 36(3): 250-266.
- Bustos-Garza, C., J. Yáñez-Fernández and B.E. Barragán-Huerta. 2013. Thermal and pH stability of spray-dried encapsulated astaxanthin oleoresin from *Haematococcus pluvialis* using several encapsulation wall materials. Food Research International 54(1): 641-649.
- Correa-Filho, L.C., M.M. Lourenco, M. Moldao-Martins and V.D. Alves. 2019. Microencapsulation of β -carotene by spray drying: Effect of wall material concentration and drying inlet temperature. International Journal of Food Science 2019: 8914852, doi: 10.1155/2019/8914852.
- Elik, A., D.K. Yanik, and F. Göğüş. 2020. Microwave-assisted extraction of carotenoids from carrot juice processing waste using flaxseed oil as a solvent. LWT - Food Science and Technology 123: 109100, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109100.
- Finamore, A., M. Palmery, S. Bensehaila and I. Peluso. 2017. Antioxidant, immunomodulating, and microbial-modulating activities of the sustainable and ecofriendly *Spirulina*. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2017: 3247528, doi: 10.1155/2017/3247528.
- Hiranvarachat, B., S. Devahastin, N. Chiewchan and G.S.V. Raghavan. 2013. Structural modification by different pretreatment methods to enhance microwave-assisted extraction of β -carotene from carrots. Journal of Food Engineering 115(2): 190-197.
- Kaderides, K. and A.M. Goula. 2019. Encapsulation of pomegranate peel extract with a new carrier material from orange juice by-products. Journal of Food Engineering 253: 1-13, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.02.019.
- Kang, Y.-R., Y.-K. Lee, Y.J. Kim and Y.H. Chang. 2019. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum arabic and maltodextrin. Food Chemistry 272: 337-346.
- Kausadikar, S., A.D. Gadhave and J. Waghmare. 2015. Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavour tea. Advances in Applied Science Research 6(4): 69-78.
- Kiokias, S., C. Proestos and T. Varzakas. 2016. A review of the structure, biosynthesis, absorption of carotenoids-analysis and properties of their common natural extracts. Current Research in Nutrition and Food Science 4 (Special Issue 1): 25-37.
- Kupan, S., H. Hamid, A. Kulkarni and M. Yusoff. 2016. Extraction and analysis of beta-carotene recovery in CPO and oil palm waste by using HPLC. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 11(4): 2184-2188.

- Liang, R., C.F. Shoemaker, X. Yang, F. Zhong and Q. Huang. 2013. Stability and bioaccessibility of β -carotene in nanoemulsions stabilized by modified starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(6): 1249-1257.
- Lourenco, S.C., M. Moldao-Martins and V.D. Alves. 2020. Microencapsulation of pineapple peel extract by spray drying using maltodextrin, inulin, and arabic gum as wall matrices. *Foods* 9(6): 718, doi: 10.3390/foods9060718.
- Oliyai, N., M. Moosavi-Nasab, A.M. Tamaddon and M. Fazaeli. 2020. Double encapsulation of fucoxanthin using porous starch through sequential coating modification with maltodextrin and gum arabic. *Food Science and Nutrition* 8(2): 1226-1236.
- Park, W.S., H.-J. Kim, M. Li, D.H. Lim, J. Kim, S.-S. Kwak, C.-M. Kang, M.G. Ferruzzi and M.-J. Ahn. 2018. Two classes of pigments, carotenoids and C-Phycocyanin, in spirulina powder and their antioxidant activities. *Molecules* 23(8): 2065, doi: 10.3390/molecules23082065.
- Piñón-Balderrama, C.I., C. Leyva-Porras, Y. Terán-Figueroa, V. Espinosa-Solís, C. Álvarez-Salas and M.Z. Saavedra-Leos. 2020. Encapsulation of Active Ingredients in Food Industry by Spray-Drying and Nano Spray-Drying Technologies. *Processes* 8(8): 889, doi: 10.3390/pr8080889.
- Ribeiro, A.M., M. Shahgol, B.N. Estevinho and F. Rocha. 2020. Microencapsulation of vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids* 108: 106029, doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106029.
- Soukoulis, C. and T. Bohn. 2018. A comprehensive overview on the micro- and nano-technological encapsulation advances for enhancing the chemical stability and bioavailability of carotenoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58(1): 1-36.
- Tolun, A., Z. Altintas and N. Artik. 2016. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology* 239: 23-33.
- Tupuna, D.S., K. Paese, S.S. Guterres, A. Jablonski, S.H. Flôres and A. de Oliveira Rios. 2018. Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. *Industrial Crops and Products* 111: 846-855.
- Wu, Q., L. Liu, A. Miron, B. Klimova, D. Wan and K. Kuca. 2016. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: An overview. *Archives of Toxicology* 90(8): 1817-1840.