Published Online: 21 DEC 2023

การกักเก็บแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่เพื่อประโยชน์ทางเครื่องสำอาง

Encapsulation of Carotenoids from Goji Berry for Cosmetic Application

วริศรา ใจมอย

อีเมล: 6251701284@lamduan.ac.th

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญวัฒณ์ ปินตาทอง

อีเมล: punyawatt.pin@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและความเสถียรของแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากโกจิเบอร์รี่ตลอดจนการศึกษาการเพิ่มความคงตัวของแคโรทีนอยด์โดยใช้พอลิแลคติกเป็นตัวกักเก็บ จากการศึกษาค่าการละลายของสารสกัดด้วยตัวทำละลายที่นิยมใช้ในเครื่องสำอางด้วยเทคนิคสเปคโทรสโคปี ที่ความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร พบว่า สารสกัดแคโรทีนอยด์ชนิดลูทีนจากโกจิเบอร์รี่ มีค่าการละลายสูงสุดในตัวทำละลาย C12-15 alkyl benzoate เมื่อทดสอบความคงตัวของสีของสารสกัดเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าสีของสารสารสกัดไม่คงตัวต่อแสง และอุณหภูมิ เมื่อนำสารสกัดมากักเก็บในพอลิแลคติกเอซิด ด้วยวิธีอิมัลชัน พบว่า สารแคโรทีนอยด์ที่ถูกกักเก็บไว้มีลักษณะสีเหลืองขุ่น ขนาดอนุภาคของสารสกัดอยู่ในช่วงไมโครเมตร เมื่อนำไปทดสอบความคงตัวของสีในสภาวะเร่งต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าทุกสภาวะ มีความคงตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ไม่ได้กักเก็บ และความคงตัวของสารสกัดที่กักเก็บ ที่สภาวะทดสอบ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ได้ดีที่สุด หลังการทดสอบความคงตัวในทุกสภาวะ 30 วัน พบว่า ขนาดของสารสกัดที่กักเก็บมีขนาดอนุภาคเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญ และอนุภาคเกิดการรวมกลุ่มกันตกตะกอน ดังนั้นวิธีการกักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ต้องมีการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดต่อพอลิเมอร์ที่ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บของสารสกัดให้มีความคงตัวเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: โกจิเบอร์รี่, แคโรทีนอยด์, พอลิแลคติกแอซิด, ความคงตัว

Abstract

This st udy aims to study the properties and stability of carotenoids extracted from goji berry (*Lycium barbarum* L). In addition, the stability of carotenoid extract was improved by encapsulation technique using polylactic acid (PLA) microcapsules. The results showed that carotenoid extract from goji berries was appropriately soluble using C12-15 alkyl benzoate as a solvent, while the highest wavelength absorption was observed at 464 nm, indicating the presence of lutein. When testing the stability of the carotenoid extract for 30 days, it was found that it was sensitive to light and not resistant to heat as observed under. a heating-cooling cycle, light heat conditions (45°C). The increase in stability of carotenoids from goji berry was studied using the polylactic acid microcapsule encapsulation technique. The carotenoids encapsulation with PLA was a cloudy yellow appearance. The particle size of the extract was present in the range of micrometers. The stability of the encapsulated extracted was carried out under various accelerated conditions for 30 days, and the results showed that it was unstable under all conditions tested. Under, 4°C, it seemed to retard the stability of the encapsulated sample. Therefore, the polylactic acid encapsulation with the PLA method might not be suitable for stabilization of carotenoid extract from goji berry.

Keywords: Goji Berry, Carotenoids, Polylactic Acid, Stability

บทนำ/หลักการและเหตุผล

การเลือกใช้เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมจากสารสกัดพืช เช่น สารสกัดจากรากชะเอมเทศสารสกัดจากจิงจูฉ่าย ชาเขียว เบต้า-กลูแคนจากเห็ด สารสกัดจากเปลือกสนและสารสกัดจากโกจิเบอร์รี่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากผู้บริโภคมีความสนใจในการดูแลตัวเองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการเลือกใช้สารสกัดพืชมากขึ้น การใช้สารสกัดจากพืชนั้นมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้สารสังเคราะห์และสามารถออกฤทธิ์ได้หลากหลาย อาทิ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ช่วยชะลอวัย และฤทธิ์ช่วยให้ผิวขาวกระจ่างใส เป็นต้น

โกจิเบอร์รี่ คือ ผลไม้ชนิดหนึ่งในตระกูลเบอร์รี่ซึ่งมีผลสีแดงอมส้มรสชาติเปรี้ยวอมหวาน (ศิรินภา เซี่ยงหลิว, 2563) โกจิเบอร์รี่มีงานวิจัยเกี่ยวกับสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น มีสาร

พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) และสารบีเทน (Betaine) ที่ช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระ (Oxidative Stress) ได้ และสามารถออกฤทธิ์ต้านการอักเสบจึงช่วยบรรเทาโรคตาแห้งได้ (Chien et al., 2018) มีสารกลุ่มโพลิฟีนอล (Polyphenol) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ที่ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Skenderidis et al., 2020) แคโรทีนอยด์ และนอกจากนี้ผลโกจิเบอร์รี่แห้งยังมีสาร ลูทีน (Lutein) ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง (Liu et al., 2020) ถึง 5.7 มก./100กรัม (Niro et al., 2017) และมีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ใช้เป็นสารแต่งสีจากธรรมชาติเป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง และเป็นส่วนผสมในอาหารเสริม เนื่องจากลูทีนมีรายงานวิจัย พบว่าสามารถช่วยปกป้องจอประสาทตาที่ถูกทำลายด้วยแสงโดยทำการยับยั้งความเครียดจากการเกิดออกซิเดชัน (Oxidative Stress) ที่ทำให้เกิดการอักเสบที่เพิ่มขึ้น (Yang et al., 2020) ลูทีนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง (He et al., 2011) และมีคุณสมบัติในการสังเคราะห์สารให้ความชุ่มชื้นในผิว เช่น กรดไฮยาลูรอน (Hyaluronic acid) ได้ (Li et al., 2015) แต่ด้วยลูทีนมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่มีพันธะคู่ และวงแหวนเฮกซีน (Hexene rings) ยึดเกาะทั้ง 2 ด้านจึงทำให้ลูทีนมีความไวต่อการสลายด้วยแสง ความร้อนหรือการเกิดออกซิเดชันได้ง่าย (Cosby et al., 2020) สารสกัดลูทีนที่ได้จึงไม่คงตัวเกิดเป็นอุปสรรคในการใช้งาน

การเพิ่มความคงตัวของสารสกัดสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ การใช้พอลิเมอร์ ฟอสโฟลิปิด ด้วยวิธีทางเคมี แรงกล ตัวอย่างเช่น การกักเก็บสารด้วยไลโปโซม (Liposome) วิธีนี้มีข้อดี คือช่วยกักเก็บสารสำคัญ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพนำส่งสารสำคัญลงสู่ผิว (วรนันท์ รังสิมาวงศ์ และธนะเศรษฐ์ ง่าวหิรัญพัฒน์, 2558) นอกจากนี้การกักเก็บด้วยสารข้างต้นยังช่วยลดผลกระทบข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ และเพิ่มความคงตัวของสารให้มีประสิทธิภาพในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นยกตัวอย่าง เช่น การกักเก็บน้ำมันตะไคร้ด้วยวิธีการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) ทำให้น้ำมันตะไคร้คงคุณภาพได้ยาวนานขึ้น (มาลินี แก้วปัญหา, 2553) การกักเก็บสารหอมด้วยวิธีการเอนแคปซูเลชันให้กลิ่นติดทนบนกระดาษได้นาน (ลัดดา ศรีสุวรรณ์, 2552) ในส่วนสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ เช่น ลูทีน ได้มีรายงานถูกนำไปเพิ่มความคงตัวโดยวิธีการเตรียมด้วยระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion) เพื่อป้องกันการสลายตัวของลูทีน (Weigel et al., 2018) และลูทีนที่กักเก็บด้วยวิธีไลโปโซม สามารถเพิ่มความคงตัว (Zhao et al., 2017) อย่างไรก็ตามด้วยวิธีที่กล่าวข้างต้น ยังกักเก็บลูทีนได้ในปริมาณน้อยเนื่องจากมีงานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานว่าพอลิแลคติคเอซิดมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารได้ในปริมาณมาก และเพิ่มความคงตัวของสารสำคัญได้อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ใช้พอลิแลคติกแอซิดเป็นตัวกักเก็บสารสกัดแคโรทินอยด์จากโกจิเบอร์รี่ด้วยเทคนิคอิมัลชัน จากนั้นทำการประเมินความคงตังของสารสกัดที่กักเก็บเทียบกับสารสกัดที่ไม่ถูกกักเก็บในสภาวะที่มีแสง และในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วิธีการเตรียมโกจิเบอร์รี่

เตรียมโดยใช้โกจิเบอร์รี่แห้งที่มีลักษณะสีแดงสด 200 กรัม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ผงที่ได้นำไปใช้วิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์

เตรียมผงโกจิเบอร์รี่แห้งบดละเอียด 0.5 กรัม ผสมกับด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบที่ 200 rpm นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatmann หมายเลข 1 สารละลายที่ได้นำไประเหยคลอโรฟอร์มออกจนหมด

3. การวิเคราะห์

1) การทดสอบคุณสมบัติการละลายของสารสกัดโกจิเบอร์รี่

ทดสอบการละลายของสารสกัดโกจิเบอร์รี่ด้วยสาร 6 ชนิด ได้แก่ DI Water, Propylene Glycol, Ethanol, Olive Oil, Isopropyl Myristate และ C12-15 Alkyl Benzoate ทดสอบที่ความเข้มข้นของสารสกัดร้อยละ 1 และร้อยละ 2 เพื่อเลือกตัวทำละลายที่ดีที่สุด

2) การตรวจสอบแคโรทีนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณสารลูทีนด้วย UV-Vis Spectrophotometer นำสารสกัดโกจิเบอร์รี่ที่เตรียมไว้จากขั้นตอนการสกัดสารละลายด้วย C12-15 Alkyl Benzoate ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 200 – 800 นาโนเมตร

3) การทดสอบความคงตัวของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่

เตรียมสารละลายแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ได้ชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นแบ่งใส่ขวดแก้วขวดละ 50 มิลลิลิตร นำไปทดสอบที่สภาวะที่อุณหภูมิร้อน/สลับเย็น 4 รอบ โดย 1 รอบ เท่ากับการวางที่ร้อน 24 ชั่วโมง และเย็น

24 ชั่วโมง บันทึกผลทุกรอบโดยการสังเกตด้วยสายตาและวันค่าสี และทดสอบที่อุณหภูมิห้องที่สว่าง อุณหภูมิห้องที่มืด ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เก็บวัดผลทุก ๆ 1 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน

4) การเพิ่มความคงตัวของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่โดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล

ทำการเตรียมพอลิแลค ติกแอซิด ไมโครแคปซูล ที่กักเก็บสารสกัดโกจิเบอร์รี่ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยใช้แรงเฉือนสูงทำการผสมสารละลายพอลิแลคติกแอซิด สารสกัดโกจิเบอร์รี่ และสารไดคลอโรมีเทนเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องผสมสารละลายจะได้ส่วนที่เป็นน้ำมัน ทำการผสมส่วนของน้ำมันกับส่วนของน้ำเข้าด้วยกัน ปั่นผสมด้วยความเร็ว 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จะได้ระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งส่วนที่เป็นน้ำมันจะกระจายตัวในส่วนน้ำเกิดเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง จากนั้นนำไประเหยเพื่อระเหยตัวทำละลายจะได้พอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลหุ้มสารสกัดโกจิเบอร์รี่

5) การทดสอบขนาดของอนุภาคของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล

นำสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ด้วยการกักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ทำละลายด้วยน้ำกลั่นนำไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค (Horiba, Japan) เพื่อตรวจสอบขนาดของแคปซูลที่ได้

6) การทดสอบความคงตัวของอนุภาคของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล

นำสารที่ได้ไปทดสอบความคงตัวของสีในสภาวะต่างๆ ได้แก่ การทดสอบความคงตัวในสภาวะร้อน/สลับเย็น การทดสอบ 4 รอบ โดย 1 รอบ เท่ากับการวางที่ร้อน 24 ชั่วโมง และเย็น 24 ชั่วโมง และทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง) การทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) การทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และการทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส บันทึกผลทุก ๆ 1 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน

7) การประเมินลักษณะของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยกรดพอลิแลคติกไมโครแคปซูลส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

นำสารสกัดที่ได้ที่ถูกเตรียม ณ วันที่ 0 และหลังการทดสอบความคงตัวครบ 28 วัน สำหรับสภาะเร่งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส 45 องศาเซลเซียส และสภาวะร้อนสลับเย็น จำนวน 4 รอบ นำไปตรวจสอบรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ จากนั้นถ่ายภาพและบันทึกผล

8) การทดสอบขนาดของอนุภาคของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลหลังการทดสอบความคงตัวในสภาวะต่าง ๆ

นำส่วนที่เป็นตะกอนสีเหลืองที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค (Horiba, Japan) เพื่อตรวจสอบขนาดของตะกอนที่เกิดหลังการทดสอบครบ 1 เดือน

9) การประเมินลักษณะของตะกอนสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติก แอซิด ไมโครแคปซูลส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ หลังครบ 1 เดือน

นำส่วนที่เป็นตะกอนสีเหลืองที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของแต่ละสภาะเร่ง ได้แก่ สภาวะอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส และสภาวะร้อนสลับเย็น นำไปตรวจสอบรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ จากนั้นถ่ายภาพและบันทึกผล

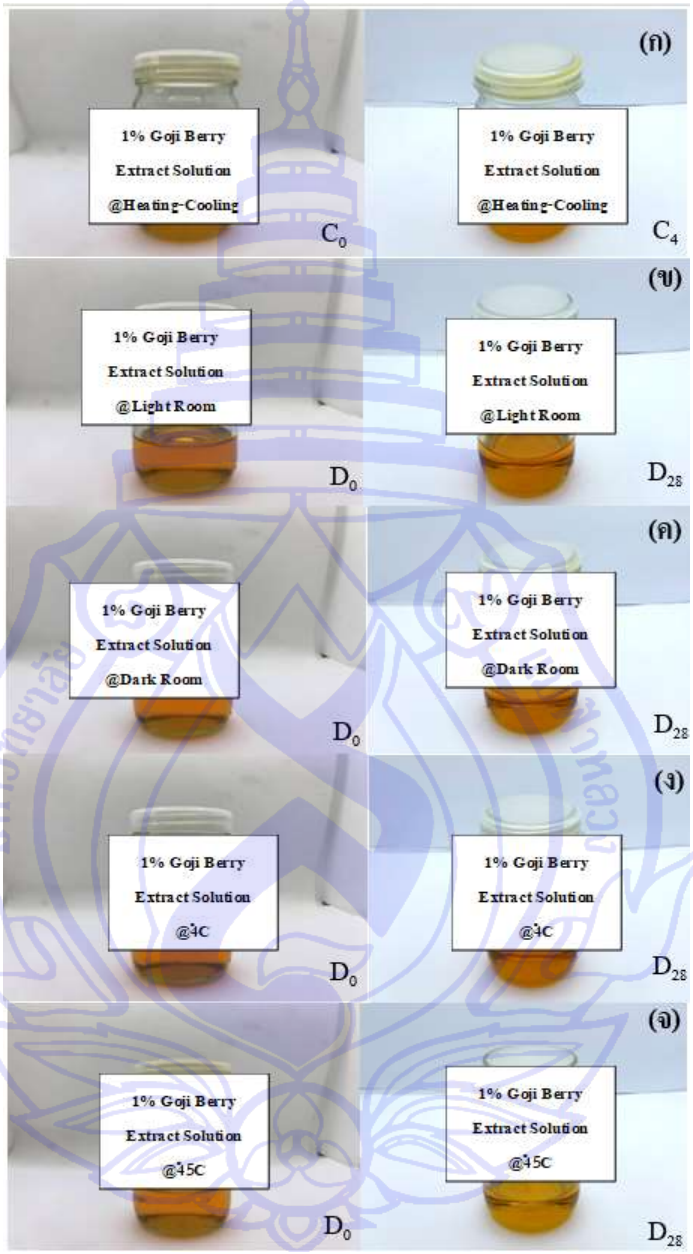
ผลวิจัย

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติในการละลายของสารสกัดโกจิเบอร์รี่ด้วยตัวทำละลาย 6 ชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พบว่า ตัวทำละลายที่ดีที่สุด คือ น้ำมัน C12-15 Alkyl Benzoate

2. ผลการตรวจสอบแคโรทีนอยด์ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณสารลูทีนโดยใช้เครื่อง UV – Vis Spectrophotometer นำสารสกัดโกจิเบอร์รี่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 200 – 800 นาโนเมตร พบว่าสารสกัดมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สูงที่สุดคือ 464 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ก่อนหน้าที่พบว่าสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ เช่น ลูทีนมีกราฟมาตรฐานอยู่ที่ 445 นาโนเมตร

3. ผลการทดสอบความคงตัวของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่การทดสอบความคงตัวของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ในสภาวะร้อน/สลับเย็น ในที่อุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง) ในที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จาการทดสอบ พบว่าสารสกัด

แคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ไม่มีความคงตัวในทุกสภาวะที่ทำการทดสอบ ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์มีความไวต่อแสงและอุณภูมิ โดยสังเกตได้จากลักษณะการเปลี่ยนสีที่สังเกตด้วยสายตาดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายของสารละลายแคโรทีนอยด์จากสารละลายสารสกัดโกจิเบอร์รี่เข้มข้น 1%

(ก) ในสภาะทดสอบร้อน/สลับเย็นจากรอบวงจรเริ่มต้น (C_0) ถึงวงจรที่สี่ (C_4)

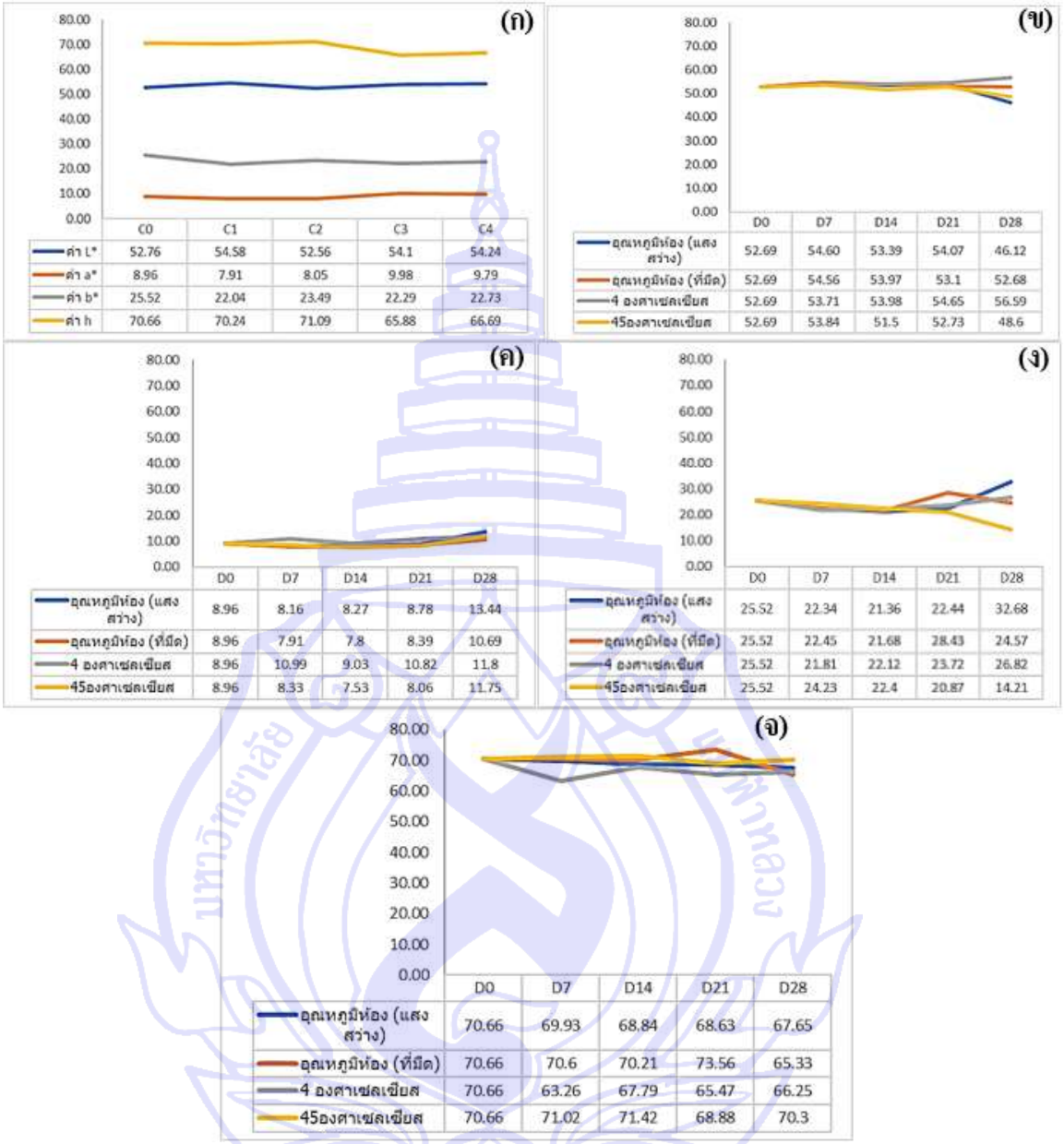
(ข) ในสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง) จากวันเริ่มต้น D_0 ถึงวันที่ D_{28}

(ค) ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) จากวันเริ่มต้น D_0 ถึงวันที่ D_{28}

(ง) ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 4 องศาเซลเซียส จากวันเริ่มต้น D_0 ถึงวันที่ D_{28}

(จ) ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 45 องศาเซลเซียส จากวันเริ่มต้น D_0 ถึงวันที่ D_{28}

เมื่อวิเคราะห์ค่า L*, a*, b* และ h (ภาพที่ 2) แสดงให้เห็นว่าค่าที่เปลี่ยนไปในแต่ละสภาวะเร่งที่ทำการทดสอบมีความสัมพันธ์กับสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ทดสอบด้วยสายตาชี้ให้เห็นว่า สารละลายแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ไม่มีความคงตัวในทุกสภาวะ โดยสภาวะการทดสอบร้อนสลับเย็นมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ ± S.D) ของ L* เท่ากับ 53.65±0.82 ค่า a*เท่ากับ 8.94±0.86 ค่า b* เท่ากับ 23.21±1.25 และค่า h เท่ากับ 68.91±2.18 และเมื่อวิเคราะห์ค่า L* ในสภาวะทดสอบที่เหลือได้แก่ สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 52.17±3.09 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) เท่ากับ 53.40±0.74 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 54.32±1.29 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 51.87±1.79 วิเคราะห์ค่า a* สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 9.52±1.98 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) เท่ากับ 8.75±1.75 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 10.32±1.13 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 8.92±1.48 วิเคราะห์ค่า b* สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 24.86±1.14 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) เท่ากับ 24.53±2.39 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 23.99±1.93 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 21.45±3.95 และ วิเคราะห์ค่า h สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 69.14±1.04 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) เท่ากับ 70.07±2.66 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 66.69±2.47 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 70.46±0.87 แต่อย่างไรก็ตามการประเมินด้วยสายตาเห็นได้ว่าสภาวะที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่สามารถยืดระยะเวลาในการเปลี่ยนสีของ สารสกัด เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น โดยที่สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้องที่สว่างและสภาวะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะกระตุ้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีมากที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ไม่คงตัวมากที่สุดเมื่อสัมผัสแสงและความร้อน



ภาพที่ 2 การประเมินค่าสีของสารละลายแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่

(ก) การประเมินค่า L*, a*, b* และ h ในสภาวะทดสอบวิธีร้อนสลับเย็น

(ข) การประเมินค่า L* ในสภาวะเร่งที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส, 45 องศาเซลเซียส

(ค) การประเมินค่า a* ในสภาวะเร่งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส, 45 องศาเซลเซียส

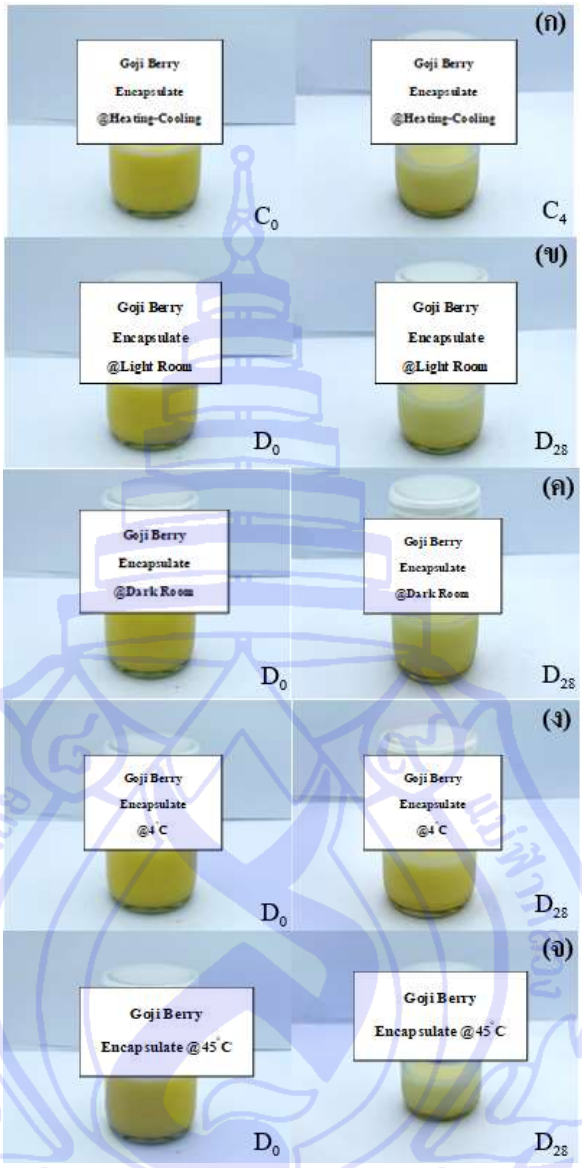
(ง) การประเมินค่า b* ในสภาวะเร่งที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส, 45 องศาเซลเซียส

(จ) การประเมินค่า h ในสภาวะเร่งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส, 45 องศาเซลเซียส

4. ผลการเพิ่มความคงตัวของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่โดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล พบว่า ลักษณะของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่จะมีลักษณะสีเหลืองขุ่น เนื่องจากใช้วิธีการเตรียมพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลด้วยวิธีการระเหยตัวทำละลายในระบบอิมัลชั่นน้ำมันในน้ำโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบใช้แรงเฉือนสูง

5. การทดสอบขนาดของอนุภาคของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลพบว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดที่ความเข้มข้น 5% ก่อนทำการระเหยตัวทำละลายมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.41 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้น 10% มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.5 ไมโครเมตร หลังระเหยตัวทำลายอินทรีย์ออกนำสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดมาวัดอนุภาคอีกครั้งเตรียมที่ความเข้มข้น 5% และ 10% พบว่า สารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้น 5% มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.30 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้น 10% มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 8.5 ไมโครเมตร ดังนั้นสารสกัดที่ได้เป็นสารสกัดที่มีขนาดอนุภาคไมโครเมตรและมีขนาดอนุภาคเล็กลงหลังการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการเตรียมสมุนไพรด้วยพอลิแลคติกแอซิด และอนุภาคของสารสกัดจะเล็กลงหลังทำการระเหยตัวทำละลาย (จิณาภา แสงสี, 2562)

6. การทดสอบความคงตัวของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล พบว่า การทดสอบความคงตัวของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลมีไม่มีความคงตัวในทุกสภาวะที่ทำการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการกักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดไม่เหมาะสมกับสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีความไวต่อแสงและอุณภูมิ โดยสังเกตได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีที่สังเกตด้วยสายตาแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ถูกกักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล

(ก) ในสภาวะที่เปลี่ยนไปจาก C_0 ถึง C_4 ด้วยวิธีร้อน/สลับเย็นในการวัดครั้งแรกและครั้งสุดท้าย

(ข) ในสภาวะที่เปลี่ยนไปจาก D_0 ถึง D_{28} ที่สภาวะอุณหภูมิห้องมีแสงสว่าง

(ค) ในสภาวะที่เปลี่ยนไปจาก D_0 ถึง $D2_8$ ที่สภาวะอุณหภูมิห้องที่มืด

(ง) ในสภาวะที่เปลี่ยนไปจาก D_0 ถึง $D2_8$ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง 4 องศาเซลเซียส

(จ) ในสภาวะที่เปลี่ยนไปจาก D_0 ถึง $D2_8$ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง 45

เมื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภายนอกโดยการวัดค่า L*, a*, b* และ ค่า h (ภาพที่ 17-21) พบว่าในแต่ละสภาวะเร่งที่ทดสอบ ค่าสีที่ได้ไม่มีความคงตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบการสังเกตสีที่เปลี่ยนไปด้วยสายตาชี้ให้เห็นว่าสารสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดไม่มีความคงตัวในทุกสภาวะเมื่อวิเคราะห์ โดยสภาวะการทดสอบร้อนสลับเย็นมีค่า L* ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ ± S.D) เท่ากับ 61.61±1.62 ค่า a* $\bar{x}$ ± S.D = 1.89±1.01 ค่า b* $\bar{x}$ ± S.D = 16.66±3.69 และค่า h $\bar{x}$ ± S.D = 84.02±2.18 และเมื่อวิเคราะห์ค่า L* ในสภาวะทดสอบที่เหลือ ได้แก่ สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 61.61±1.12 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) $\bar{x}$ ± S.D = 60.25±1.99 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 61.99±1.32 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 60.70±1.88 วิเคราะห์ค่า a* สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 1.66±1.04 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 1.69±0.95 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 2.44±0.49 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 1.17±1.12 วิเคราะห์ค่า b* สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 15.35±3.71 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่มืด) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 15.18±3.29 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 18.21±1.79และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 14.02±4.27 และ วิเคราะห์ค่า h สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (แสงสว่าง) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 84.53±2.88ท สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง(ที่มืด) ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 84.12±2.26 สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 82.44±0.79 และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ $\bar{x}$ ± S.D = 86.31±3.56 แต่อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตด้วยสายตาพบว่าการทดสอบสภาวะที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่สามารถยืดระยะเวลาในเปลี่ยนสีได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น โดยที่สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สภาวะร้อนสลับเย็น และสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง) เป็นสภาวะเร่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ไม่คงตัวมากที่สุดต่อแสงและความร้อน

7. การประเมินลักษณะของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเมื่อนำสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล ณ วันที่ 0 และหลังการทดสอบสภาวะต่าง ๆ ครบ 28 วัน ได้แก่ สภาวะเร่งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (ที่สว่าง), อุณหภูมิห้อง (ที่มืด), 4 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส

ส่วนสภาวะร้อนสลับเย็น วัดค่าเมื่อครบ 4 วงจร ไปตรวจสอบรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 1000X พบว่า ณ วันที่ 0 ลักษณะของอนุภาคที่ได้เป็นทรงกลม อนุภาคแคปซูลมีการเกาะตัวกันน้อยมาก และเมื่อครบ 28 วันลักษณะของอนุภาคในทุกสภาวะมีขนาดเล็กลงจากเดิม มีการกระจายตัวของขนาดค่อนข้างกว้าง เนื่องจากมีอนุภาคบางส่วนตกตะกอนลงมาอยู่ด้านล่างภาชนะบรรจุ ซึ่งคาดว่าส่วนที่ตกตะกอนเป็นส่วนของเปลือกหุ่มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่มีความคงตัว

8. การทดสอบขนาดของอนุภาคของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลหลังการทดสอบความคงตัวในสภาวะต่าง ๆ พบว่าเกิดการตกตะกอนสีเหลืองอยู่ด้านล่างจึงได้นำส่วนตะกอนมาวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค (Horiba, Japan) ตะกอนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสครบ 1 เดือนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 11.52 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.78 ไมโครเมตร ในสภาวะอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสครบ 1 เดือน ตะกอนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 11.57 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.86 ไมโครเมตร ในสภาวะร้อนสลับเย็นครบ 1 เดือนตะกอนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.27 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 11.83 ไมโครเมตร ในสภาวะอุณหภูมิห้องในที่สว่างครบ 1 เดือน ตะกอนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.16 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.13 ไมโครเมตร ในสภาวะอุณหภูมิห้องในที่มืดครบ 1 เดือน ตะกอนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่กักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.47 ไมโครเมตร และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 11.40 ไมโครเมตร

ดังนั้นขนาดอนุภาคหลังการทดสอบในทุกสภาวะยังคงเป็นอนุภาคที่มีขนาด ไมโครเมตร และขนาดอนุภาคหลังการทดสอบในทุกสภาวะ 1 เดือน มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจากเดิมเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4.5

9. การประเมินลักษณะของตะกอนสารสกัดแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์หลังครบ 1 เดือน พบว่าขนาดหยดของอนุภาคมีขนาดหยดที่ไม่สม่ำเสมอกัน

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (Discussion and Suggestion)

การทดสอบการละลายของสารสกัดโกจิเบอร์รี่ พบว่า C12-15 Alkyl benzoate เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสารแคโรทีนอยด์ที่ได้เป็นสารที่ละลายได้ในน้ำมันและสารมาถละลายได้ดีสุดในปริมาณความเข้มข้นสูง

เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสารสกัดแคโรทีนอยด์ พบว่าแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ช่วงความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร เมื่อทดสอบความคงตัวของสารสกัดในสภาวะทดสอบต่างๆ พบว่า มีความไวต่อแสงและไม่คงทนต่อความร้อน ไม่มีความคงทนต่อสภาวะเร่งร้อน/สลับเย็น สภาวะอุณหภูมิห้องในที่สว่าง ในที่มืด ที่สภาวะอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และที่สภาวะ 4 องศาเซลซียส

การเพิ่มความคงตัวของแคโรทีนอยด์จากโกจิเบอร์รี่โดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูล พบว่าสารแคโรทีนอยด์ที่ถูกกักเก็บไว้มีลักณะภายนอกเป็นสีเหลืองขุ่น เมื่อนำไปทดสอบขนาดของอนุภาค พบว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง ไมโครเมตร จากนั้นทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่งต่าง ๆ ได้แก่ วิธีร้อน/สลับเย็นจำนวน 4 รอบ สภาวะอุณหภูมิห้องในที่สว่าง ในที่มืด ที่สภาวะอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และที่สภาวะ 4 องศาเซลซียส ทดสอบเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าไม่มีความคงตัวทุกสภาวะแต่ที่สภาวะทดสอบ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ได้ดีที่สุด และเมื่อนำไปประเมินลักษณะของสารสกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ หลังทดสอบทุกสภาวะครบ 30 วัน พบว่าขนาดของหยดอนุภาคมีขนาดเล็กลงกว่าเดิม มีการกระจายตัวกว้าง และพบตะกอน เมื่อประเมินลักษณะของตะกอนด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าขนาดของตะกอนมีขนาดหยดที่ไม่สม่ำเสมอ และเมื่อทดสอบขนาดอนุภาคพบว่าขนาดของอนุภาคตะกอนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และยังเป็นขนาดไมโครเมตร ดังนั้นวิธีการกักเก็บด้วยพอลิแลคติก แอซิด จึงยังไม่เหมาะสมกับสารสกัดแคโรทีนอยด์ เนื่องจากยังไม่มีความคงตัวมากพอที่จะคงความสเถียรของสารสกัดแคโรทีนอยด์ได้ จึงทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่อไปได้

ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการเตรียมกักเก็บด้วยพอลิแลคติกแอซิด ควรเตรียมการละลายพอลิแลคติคแอซิด ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ก่อนโดยการตั้งทิ้งไว้ปิดฝาให้สนิท และทำการเตรียมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ เข้มข้น 7% ก่อนเนื่องจากค่อนข้างเตรียมยากต้องใช้ทั้งความร้อนและระยะเวลาในการให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อป้องกันการจับกันเป็นก้อน

รายการอ้างอิง

จิณาภา แสงสี. (2562). การกักเก็บสารสกัดสมุนไพรด้วยพอลิแอลแลคติกแอซิดโดยใช้เทคนิคการระเหยตัวทำละลาย (ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มาลินี แก้วปัญหา. (2553) *การกักเก็บน้ำมันตะไคร้โดยใช้การอบแห่งแบบพ่นฝอย* (ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลัดดา ศรีสุวรรณ์. (2552) *การศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นบนกระดาษด้วยวิธีเอนแคปซูเลท* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วรนันท์ รังสิมาวงศ์ และธนะเศรษฐ์ ง่าวหิรัญพัฒน์ (2558). การศึกษาคุณสมบัติของไลโปโซมสำหรับระบบนำส่งยาผ่านทางผิวหนัง. *Thai Bulletin of Pharmaceutical Sciences, 10*(1), 61.

ศิรินภา เชี่ยงหลิว. (2563). *โกจิเบอร์รี*. https://thaicam.go.th

Chien, K. J., Horng, C. T., Huang, Y. S., Hsieh, Y. H., Wang, C. J., Yang, J. S., . . . Chen, F. A. (2018). Effects of *Lycium barbarum* (goji berry) on dry eye disease in rats. *Molecular medicine reports, 17*(1), 809-818.

Cosby, L. E., Lee, K. H., Knobloch, T. J., Weghorst, C. M., & Winter, J. O. (2020). Comparative Encapsulation Efficiency of Lutein in Micelles Synthesized via Batch and High Throughput Methods. *International Journal of Nanomedicine,* 2020(*15)*, 8217-8230.

He, R. R., Tsoi, B., Lan, F., Yao, N., Yao, X. S., & Kurihara, H. (2011). Antioxidant properties of lutein contribute to the protection against lipopolysaccharide-induced uveitis in mice. *Chinese Medicine*, *6*(1), 1-8.

Li, R., Turner, S. D., & Brautigan, D. L. (2015). Xanthophylls lutein and zeaxanthin modify gene expression and induce synthesis of hyaluronan in keratinocyte model of human skin. *Biochemistry and biophysics reports, 4*, 52-58.

Liu, B., Xu, Q., & Sun, Y. (2020). Black goji berry (*Lycium ruthenicum*) tea has higher phytochemical contents and in vitro antioxidant properties than red goji berry (*Lycium barbarum*) tea. *Food Quality and Safety*, *4*(4), 193-201.

Niro, S., Fratianni, A., Panfili, G., Falasca, L., Cinquanta, L., & Alam, M. R. (2017). Nutritional evaluation of fresh and dried goji berries cultivated in Italy. *Italian Journal of Food Science*, *29*(3).

Skenderidis, P., Petrotos, K., & Leontopoulos, S. (2020). 10 Functional Properties of Goji Berry (*Lycium barbarum*) Fruit Extracts. *Phytochemicals in Goji Berries*, 181-224.

Weigel, F., Weiss, J., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2018). Lutein-enriched emulsion-based delivery systems: Influence of emulsifiers and antioxidants on physical and chemical stability. *Food chemistry*, *242*, 395-403.

Yang, J., Li, D., Zhang, Y., Zhang, L., Liao, Z., Aihemaitijiang, S., ...Zhang, Z. (2020). Lutein protected the retina from light induced retinal damage by inhibiting increasing oxidative stress and inflammation. *Journal of Functional Foods, 73*, 104107.

Zhao, L., Temelli, F., Curtis, J. M., & Chen, L. (2017). Encapsulation of lutein in liposomes using supercritical carbon dioxide. *Food research international*, *100*, 168-179.