บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันร่วมของสารสีธรรมชาติกับผลึกน้ำผึ้งด้วยวิธีการอบแห้งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การสกัดสารสีธรรมชาติจากพืชและการทำให้เข้มข้น

จากการสกัดสารสีธรรมชาติจากบีทรูทและการทำให้เข้มข้นโดยวิธีการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความหนืด ความเป็นกรด ด่าง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสีจากบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนทำให้เข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำก่อนการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 7.03 ± 0.05 องศาบริกซ์ หลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 40.03 ± 0.08 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดก่อนการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.42 ± 0.18 หลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 40.06 ± 0.03 ความหนืดก่อนการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 1.73 ± 0.08 เซนติพอยส์ หลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 7.02 ± 0.28 เซนติพอยส์ ความเป็นกรด ด่างก่อนการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 5.32 ± 0.05 หลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 5.93 ± 0.03 และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสีจากบีทรูทก่อนการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 0.0061 ± 0.0006 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ส่วนหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเท่ากับ 0.0050 ± 0.0002 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ตามลำดับ ส่วนค่าสีพบว่าหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 13.54 ± 0.06 เป็น 14.42 ± 0.07 ค่าสี a* มีค่าลดลงจาก 11.48 ± 0.09 เป็น 9.75 ± 1.07 ส่วนค่าสี b* ของสารสกัดสีจากบีทรูทก่อนและหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลึกน้ำผึ้งโดยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ

สภาวะการผลิตแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่เหมาะสมคือ การเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 และใช้อุณหภูมิการอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่า a_w เท่ากับ 0.304±0.004 ซึ่งปลอดภัยต่อการเก็บรักษา อีกทั้งยังมีความสามารถในการไหลที่ดีโดยมีค่ามุมกองเท่ากับ 25.40±1.58 องศา และให้ค่าสี a* ทั้งในรูปผงและสารละลายที่สูงโดยมีค่าเท่ากับ 32.60±0.36 และ 33.92±0.06 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคปซูลมีสีแดงเข้ม รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.57±0.19 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง

5.1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากการศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารสีจากธรรมชาติร่วมกับผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 เป็นปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีความสามารถในการไหลที่ดีโดยมีค่ามุมกอง 30.90±1.65 องศา และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าตัวอย่างที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.38±0.26 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง อีกทั้งยังให้ค่าสี a* ในรูปแคปซูลผงและสารสะลายที่สูง แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงเข้มโดยมีค่าเท่ากับ 26.95±0.81 และ 32.31±1.07 ตามลำดับ

5.1.4 คุณภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการศึกษาตอนที่ 2 และ 3 สามารถคัดเลือกแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในสภาวะการเอนแคปซูเลชันที่เหมาะสมที่สุด คือแคปซูลที่เติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 และผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และแคปซูลที่เติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 72 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาขนาดและรูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีขนาดใหญ่กว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศเนื่องจากในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการละลายของน้ำแข็งที่อยู่รอบผลึกน้ำผึ้ง ส่งผลทำให้น้ำละลายมอลโตเดกซ์ตรินและผลึกน้ำผึ้งจนทำให้ผลึกน้ำผึ้งเกิดการเกาะตัวกันอย่างถาวรจึงเป็นผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีขนาดใหญ่กว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบทางประสาทสัมผัสแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทั้งแบบผงและแบบชงละลายจากสภาวะการเอนแคปซูเลชันที่เหมาะสมที่สุดจากทั้งสองวิธีพบว่า ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การละลาย รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการทำแห้งทั้งสองวิธีจะพบว่า แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีสมบัติต่างๆดีกว่า โดยพิจารณาจากความสามารถในการไหล กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี a* ทั้งในรูปผงและสารละลายซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ส่วนการวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเท่ากับ 74.49 และ 75.16 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวของกลูโคสบริสุทธิ์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าผลึกน้ำผึ้งเป็นน้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์ที่ได้จากธรรมชาติ โดยกลูโคสบริสุทธิ์มีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 79.28 องศาเซลเซียส

5.1.5 การศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการเอนแคปซูเลชันทั้งสองวิธีมีลักษณะคล้ายกัน โดยปริมาณความชื้นสมดุลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งทั้งสองวิธีที่ระดับ a_w ในช่วง 0.5-0.7 จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งคือ แบบจำลองของ GAB ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับอาหารส่วนใหญ่ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายร้อยละ 0.27-1.10

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะต่ำกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของระดับ a_w ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าเมื่อระดับระดับ a_w สูงขึ้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลจะลดลง แต่เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะพบว่าที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 ที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งจากทั้งสองวิธีจะสูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสามารถในการต้านอนุมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิสระของแคปซูลผลึกน้ำผึ้งจากการทำแห้งทั้งสองวิธีจะมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.5 ที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจึงควรเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับอุณหภูมิ 25 หรือ 35 องศาเซลเซียส ที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 เนื่องจากมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เป็นผลมาจากปริมาณความชื้นที่ต่ำ และหากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาควรเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในบรรจุภัณฑ์ที่ปราศจากออกซิเจนและทึบแสงเพื่อรักษาความคงตัวของสารสีจากบีทรูท

เมื่อพิจารณาจากสมบัติของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อคัดเลือกวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันจะพบว่า แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีสมบัติที่ดีกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการไหล ค่าสี a* และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดจะมีความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 โดยจะมีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.57 ± 0.19 และ 11.38 ± 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์มจะเห็นได้ว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 11.36-29.50 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ส่วนค่า IC_{50} ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าอยู่ในช่วง 14.71-34.68 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง

ความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะดีกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาจากค่ามุมกองพบว่ามีค่าเท่ากับ 25.40 ± 1.58 และ 30.90 ± 1.65 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมกองของแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีค่ามุมกองที่น้อยกว่า 30 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการไหลที่ดีกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเนื่องจากมีค่ามุมกองที่มากกว่า 30 องศา

เมื่อพิจารณาค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่ามีค่าเป็นบวก หมายถึงแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงเนื่องมาจากสีของสารสกัดบีทรูทที่เติมลงไป และเมื่อพิจารณาค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะพบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีค่าสี a* ที่มากกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แสดงให้เห็นว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีสีแดงเข้มกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งค่าสี a* ของแคปซูลในรูปผงและสารละลายหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะมีค่าเท่ากับ 32.60±0.36 และ 33.92±0.06 ตามลำดับ ส่วนค่าสี a* ของแคปซูลหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในรูปผงและสารละลายมีค่าเท่ากับ 26.95±0.81และ 32.31±1.07

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับลักษณะปรากฏและค่าสีของแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยมีค่าเท่ากับ 7.2±1.0 และ 7.6±1.0 สำหรับการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ และ 7.1±1.1 และ 7.2±1.0 สำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบชงละลาย พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ การยอมรับโดยรวมของแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยมีค่าเท่ากับ 6.9±1.3, 7.4±0.9, 6.5±1.5, 6.7±1.3 และ 6.6±1.4 ตามลำดับ สำหรับแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ ส่วนแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.8±1.3, 7.3±0.9, 6.3±1.4, 6.4±1.6 และ 6.5±1.3 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและกายภาพระหว่างการเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

2. ควรมีการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่จะช่วยรักษาความคงตัวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในระหว่างการเก็บรักษา

3. อาจมีการศึกษาแหล่งของสารสีจากธรรมชาติชนิดอื่นที่จะนำมาใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันร่วมกับผลึกน้ำผึ้ง

4. ควรมีการพัฒนานำแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำผึ้งตกผลึกโดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved