

การเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานิน

ในกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น

Stability Improvement of Anthocyanin Extracted
from Red Cabbage by Copigmentation

บุษราคม บุญประเสริฐ

6451701270@lamduan.mfu.ac.th

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมไธสง

ampa@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง มาเพิ่มความคงตัวด้วยเทคนิค
สูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dried) และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่น (Copigmentation)
ด้วยกัวร์กัม (Guar Gum) 1.25% ร่วมกับการทำสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และวิเคราะห์หา
ปริมาณแอนโทไซยานินรวม โดยนำกะหล่ำปลีม่วงมาสกัดด้วยตัวทำละลายควบคู่กับอัลตราโซนิก และ
ระเหยตัวทำละลายออกเหลือสารสกัดหยาบของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งที่
ผลผลิตร้อยละ 57.67 ± 6.81 (%) Yield) และได้ปริมาณสารสกัดหยาบของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง
โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งที่ผลผลิตร้อยละ 59.26 ± 5.13 (%) Yield) สาร
สกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินรวม
 79.44 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่น
ร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินรวม 87.72 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ใน
การทดสอบความคงตัวทางความร้อน (Thermal Stability) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศา
เซลเซียส เป็นเวลา 120 นาทีวัดค่าทุก 10 นาที สารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงโคพิก
เมนต์เทชั่นร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีความคงตัวดีที่สุด มี
ปริมาณแอนโทไซยานินรวม 82.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งลดลงเพียง 4.92 % และในอุณหภูมิ 80 องศา
เซลเซียส ที่การทดสอบ 120 นาที สารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่น
ร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีอัตราการลดลงต่ำที่สุด 14.04 % วัดปริมาณแอนโทไซยานิน

รวมได้ 73.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทดสอบการวัดสี ทั้ง 4 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง, ตู้ควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส, กล่องจำลองแสง และ ในกล่องทึบแสง ในสภาวะกล่องทึบแสงมีค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*) เพียง 2.25 ซึ่งไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน, กะหล่ำปลีม่วง, สุนัขจิ้งจอกแบบแซ่เยือกแข็ง, โคพิกเมนต์เทศน์

ABSTRACT

This research aims to prepare red cabbage extracts and enhance their stability using vacuum freeze-dried technique and copigmentation with 1.25% guar gum. Red cabbage was extracted using a solvent alongside ultrasonic-assisted extraction and evaporate off the solvent, yielding a crude anthocyanin extract of $57.67 \pm 6.81\%$ for freeze-dried and $59.26 \pm 5.13\%$ for copigmentation combined with freeze-dried. The total anthocyanin content of the freeze-dried red cabbage extract was 79.44 ± 0.06 mg/L, while that of the copigmentation combined freeze-dried extract was 87.72 ± 0.23 mg/L. For thermal stability testing at 40, 60, and 80°C over 120 minutes (measured every 10 minutes), the copigmentation and freeze-dried red cabbage anthocyanin extract exhibited the highest stability at 40°C, retaining 82.95 mg/L of total anthocyanins (only a 4.92% reduction). At 80°C after 120 minutes, this extract showed the highest degradation rate (14.04%), with a remaining anthocyanin content of 73.50 mg/L. These findings correlated with color measurements under four conditions (room temperature, control 50°C, light box, and opaque box). In the dark storage condition, the total color difference (ΔE^*) was only 2.25, which was undetectable by the visual observation.

Keywords: Anthocyanin, Red Cabbage, Freeze Dried, Copigmentation

บทนำ/หลักการและเหตุผล (Introduction)

แอนโทไซยานินเป็นสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาสำคัญของแอนโทไซยานินคือ การสกัดที่มีประสิทธิภาพ คุ่มค่า และความคงตัวของแอนโทไซยานินนั้นง่ายต่อการเสื่อมสลาย กะหล่ำปลีม่วงเป็นหนึ่งในพืชที่มีแอนโทไซยานินปริมาณมาก ที่สามารถสกัดได้ดีและมีราคาไม่สูง หากสามารถเพิ่มปริมาณการสกัดแอนโทไซยานินให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น และมีความคงตัวดีขึ้นก็สามารถนำแอนโทไซยานินมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก ดังนั้นจึงมีการวิจัยมากมายที่เริ่มต้นด้วยการสกัดที่มีประสิทธิภาพและเพิ่มความคงตัวในการเก็บรักษาแอนโทไซยานิน และงานวิจัยที่สกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงแล้วเพิ่มความคงตัวนั้นยังมีไม่มาก แต่กะหล่ำปลีม่วงเป็นพืชที่หาง่ายและมีสัดส่วนแอนโทไซยานินสูง จึงควรวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดและเพิ่มความคงตัว เพื่อจะนำไปต่อยอดใช้ประโยชน์ได้ต่อไป Ahmadiani et al. (2014) ได้ศึกษาตั้งแต่อายุในการเก็บเกี่ยวของกะหล่ำปลีม่วงพบว่า อายุการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานขึ้นคือ 21 สัปดาห์ จากปกติที่เก็บเกี่ยว 13 สัปดาห์นั้น ให้ปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินที่มากขึ้น ต่อมา Ravanfar et al. (2015) นำการสกัดด้วยอัลตราโซนิคมาใช้ร่วมในการสกัดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งถือเป็นการทดลองเปรียบเทียบครั้งแรกที่นำมาประยุกต์ใช้กับกะหล่ำปลีม่วง เพื่อทดสอบสารสำคัญที่ได้ รวมถึงแอนโทไซยานิน จึงมีการนำผลทดลองนั้นกลับมาทดสอบใหม่ โดย Demirdöven et al. (2015) ได้ทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงปริมาณการสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวกับการใช้ตัวทำละลายร่วมกับอัลตราโซนิค ในแง่ของการเพิ่มความคงตัวด้วยเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทศน์ การโคพิกเมนต์ด้วยรูปแบบ Intermolecular Copigmentation เป็นรูปแบบที่นิยมนำมาทำการโคพิกเมนต์มากที่สุด โดยสารที่นำมาทำการโคพิกเมนต์ร่วมกับแอนโทไซยานินนั้นมีหลายชนิดเหมือนขมิ้น ขมิ้น (2556) ใช้สารสกัดฟีนอลิกจากเปลือกมังคุดและลูกหม่อนเป็นสารโคพิกเมนต์ มาเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานินที่สกัดได้จาก กระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัญ ณิชคุณ เทียนไทย และคณะ (2563) ใช้สารฟีนอลิกจากเมล็ดมะเกี๋ยงเป็นสารโคพิกเมนต์เพิ่มความคงตัวให้แอนโทไซยานินจากกระชายดำ ผลที่ได้จากทั้ง 2 งานวิจัยสามารถเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานินได้

การใช้สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์มาเป็นสารโคพิกเมนต์กับแอนโทไซยานินเพื่อเพิ่มความคงตัวก็มีหลายงานวิจัย เช่น Fernandez et al. (2014) ได้นำเพคตินและคาเทชิน มาโคพิกเมนต์กับแอนโทไซยานินในไวน์แดงเพื่อทดสอบความคงตัว Al-Khayri et al. (2022) ก็ทำการรวบรวมการทดลองและวิจัยในการนำ สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไขมันมาเป็นสารโคพิกเมนต์เพื่อเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานิน Yu & Lv (2019) ได้ทำการทดสอบความคงตัวของแอนโทไซยานินจากดอก

กุหลาบ โดยเปรียบเทียบค่าการเสื่อมสลายของ แอนโทไซยานินในสารสกัดดอกกุหลาบ (Rose anthocyanin extract), สารสกัดดอกกุหลาบที่ทำการโคพิกเมนต์เทียบกับ กัมอารบิก (Gum arabic) และมอนโตเดกตริน (maltodextrin) แล้วทำแห้งด้วยเทคนิควิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และเทคนิควิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ผลปรากฏว่า สารสกัดดอกกุหลาบที่ทำการโคพิกเมนต์เทียบกับ กัมอารบิกและมอนโตเดกตริน ร่วมกับเทคนิควิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง สามารถคงปริมาณของ แอนโทไซยานินรวม และ สารฟีนอลิกรวม ได้สูงที่สุดคือ 95.12 % และมีค่าการเสื่อมสลายจากการทดสอบอุณหภูมิที่ 70 , 80 และ 90 องศาเซลเซียสต่ำกว่า เมื่อเทียบกับเทคนิควิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย Kuck et al. (2016) ใช้กัวร์กัมเป็นสารโคพิกเมนต์ทดสอบกับเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งกับแอนโทไซยานินจากผิวองุ่น แต่การวิจัยที่นำมาใช้กับกะหล่ำปลีม่วงนั้นมีเพียงเล็กน้อย De Almeida Paula et al. (2018) ได้ใช้กัวร์กัมเป็นสารโคพิกเมนต์กับเทคนิคการทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมาทดสอบประสิทธิภาพความคงตัวให้กับแอนโทไซยานิน และผลสามารถเพิ่มความคงตัวได้ ทั้งนี้การใช้กัวร์กัมเป็นสารโคพิกเมนต์นั้นใช้ปริมาณเพียง 1.25% ในการเพิ่มความคงตัว เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำและหาง่าย

ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

1. การวิจัย

กะหล่ำปลีม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีแหล่งปลูกในประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกในพื้นที่โครงการหลวงแม่ปุนหลวง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้กะหล่ำปลีม่วงที่มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 21 สัปดาห์มาใช้ในการวิจัยและเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Ahmadiani et al. (2014) ทำการสกัดโดยดัดแปลงจากวิธีวิจัยของ Demirdöven et al. (2015) โดยเริ่มต้นจากการนำกะหล่ำปลีม่วงแกะใบทำความสะอาด ทำการสับและทำการปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำกะหล่ำปลีม่วงปั่นละเอียดมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 40% ในน้ำ (V/V) ในอัตราส่วน 3:1 (ตัวทำละลายต่อพืชโดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ที่ความถี่ 37 kHz ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นานเวลา 75 นาที กรองด้วยผ้าขาวบางและเครื่องกรองสุญญากาศด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือ Crude Anthocyanin Extract เก็บรักษาในตู้เย็น อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส รอการทดลองลำดับถัดไป

2. เพิ่มความคงตัวของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

ใช้เทคนิควิธีการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมาเป็นการเพิ่มความคงตัว ดัดแปลงวิธีการจาก Nawawi et al. (2023) ละลาย Crude Anthocyanin Extract ด้วยน้ำแล้วนำไปแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเข้าเครื่องสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง โดยเริ่มทำแห้งด้วย

อุณหภูมิปฏิกิริยาที่ -30 องศาเซลเซียส และทำแห้งหัตถภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลารวม 29 ชั่วโมง จนได้ผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำไปเก็บรักษาบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึก

3. เพิ่มความคงตัวด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทศันร่วมกับเทคนิควิธีการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

ใช้กั้วร็กัมเป็นสารโคพิกเมนต์ ดัดแปลงจากงานวิจัยของ de Almeida et al. (2018) เตรียมกั้วร็กัม 1.25% ในน้ำ (w/v) ผสมกับสารสั้ดหยาบที่ละลายด้วยน้ำ นำไปแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเข้าเครื่องสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง โดยเริ่มทำแห้งด้วยอุณหภูมิปฏิกิริยาที่ -30 องศาเซลเซียส และทำแห้งหัตถภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลารวม 29 ชั่วโมง จนได้ผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำไปเก็บรักษาบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึก

4. การวิเคราะห์หาปริมาณของสารแอนโทไซยานินรวมในกะหล่ำปลีม่วง

ใช้วิธี pH differential method (ดัดแปลงวิธีของ อรุษา เชาวนลิขิต. 2554, Demirdöven, A. 2015) เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 1.0) และเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตต (ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 4.5) ชั่งสารสกัด 15 มิลลิกรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ 30 มิลลิลิตร ดึงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ โดยสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการสุญญากาศเยือกแข็งเพียงอย่างเดียวเจือจางด้วยปริมาตร 50 มิลลิลิตร และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการโคพิกเมนต์เทศันร่วมกับการทำสุญญากาศเยือกแข็งเจือจางด้วยปริมาตร 60 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวม ดังสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

โดยที่ A = (A₅₂₁ - A₇₀₀) pH 1.0 - (A₅₂₁ - A₇₀₀) pH 4.5

MW = 449.2 กรัมต่อโมล (cyanidin-3-glucoside)

DF = Dilute Factor = 6 (สารสกัดปริมาณ 10 ml เจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 50 ml จนปริมาณสุดท้ายเท่ากับ 60 ml ค่า DF คำนวณจากปริมาณสารสุดท้าย/ปริมาณสารตัวอย่าง ดังนั้น DF = 60/10 = 6)

ϵ = Molar absorptivity 26,900 L x mol⁻¹ x cm⁻¹ (cyanidin-3-glucoside)

l = pathlength; cm

จากนั้นทำการหาแอนโทไซยานินรวมในหน่วย มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสดด้วยสมการ Rossi, G. (2022)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (mg/100 gFW)} = \frac{(C \times a) \times b \times 10^2}{10^3 \times c \times d}$$

โดยที่ C = ปริมาณแอนโทไซยานินรวม หน่วย มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (mg/l)

a = ปริมาณสารตัวอย่าง + บัพเฟอร์ (มิลลิลิตร)

b = ปริมาณตัวทำละลายทั้งหมดที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

c = ปริมาณสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

d = น้ำหนักเนื้อเยื่อที่ใช้ในการสกัด (กรัม)

5. ทดสอบความคงตัวทางความร้อน (Thermal Stability)

นำผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการสุญญากาศเยือกแข็งและผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์ร่วมกับการทำสุญญากาศเยือกแข็งมาทำการทดสอบความคงตัวทางความร้อน (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ De Almeida Paula, D. 2018) เตรียมสารละลายบัพเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 โมลาร์, pH 1.0) และเตรียมสารละลายบัพเฟอร์โซเดียมอะซิเตด (0.4 โมลาร์, pH 4.5)

ซึ่งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการสุญญากาศเยือกแข็ง และซึ่งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการโคพิกเมนต์ร่วมกันร่วมกับการทำสุญญากาศเยือกแข็งมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินรวมด้วยวิธีในข้อที่ 4 จากนั้นแบ่งตัวอย่างสารละลายที่ได้แต่ละชุดออกเป็นชุดละ 13 ตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบความคงตัวทางความร้อน ตั้งแต่ 0 นาที ถึง 120 นาที โดยทำการวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร ทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และแบ่งช่วงอุณหภูมิในการทดสอบที่ 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส

นำผลการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ได้ในทุกๆ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวม

6. ทดสอบวัดสีของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง

นำสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการสุญญากาศแบบเยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์ร่วมกับการทำสุญญากาศแบบเยือกแข็ง มาทดสอบวัดสีภายใต้ 4 สภาวะ ตั้งแต่สัปดาห์ 0 ถึง 4 ด้วยเครื่องวัดสี ดังนี้

สภาวะที่ 1 นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้อุณหภูมิห้อง

สภาวะที่ 2 นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 3 นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน

สภาวะที่ 4 นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคและนำไปไว้ในกล่องทึบแสง

นำสารตัวอย่างมาวัดสีทุกสัปดาห์ เพื่อหาค่า L^* , a^* , b^* และค่า ΔE^* ด้วยระบบ CIELab วัดสีของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่เก็บรักษาภายใต้ 4 สภาวะ จากนั้นนำค่าวัดสีที่ได้ทั้งหมดไปเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลง

ผลวิจัย และการอภิปรายผล (Results and Discussions)

ผลจากการสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมได้เท่ากับ 79.44 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 190.66 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมเท่ากับ 87.72 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 210.52 ± 0.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด หรือ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ได้ปริมาณแอนโทไซยานินรวมมากกว่า 10.42% แสดงผลดังตารางที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ปลูก 21 สัปดาห์ จากการทดลองกับงานวิจัยของ ดนัย บุญเกียรติ (2552) ที่ปลูกเพียง 13 สัปดาห์พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ปลูก 21 สัปดาห์และทำการสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมมากกว่า 33% และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมมากกว่า 47% และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ahmadiani et al. (2014) ที่มีการใช้กะหล่ำปลีม่วง ที่เพาะปลูก 21 สัปดาห์ในพื้นที่ Integro ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดที่ 188 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งน้อยกว่าปริมาณแอนโทไซยานิน ในการปลูกของโครงการหลวงแม่ปุนหลวง 21 สัปดาห์อยู่ 1.4% ในการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและ 12% ในการทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 1 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

	สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับ สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง	
	mg/l	mg/100gFW	mg/l	mg/100gFW
ค่าเฉลี่ยปริมาณแอนโทไซยานินรวม	79.44±0.06	190.66±0.16	87.72±0.23	210.52±0.56

ผลการทดสอบความคงตัวทางความร้อนของแอนโทไซยานิน ด้วย วิธี Thermal stability

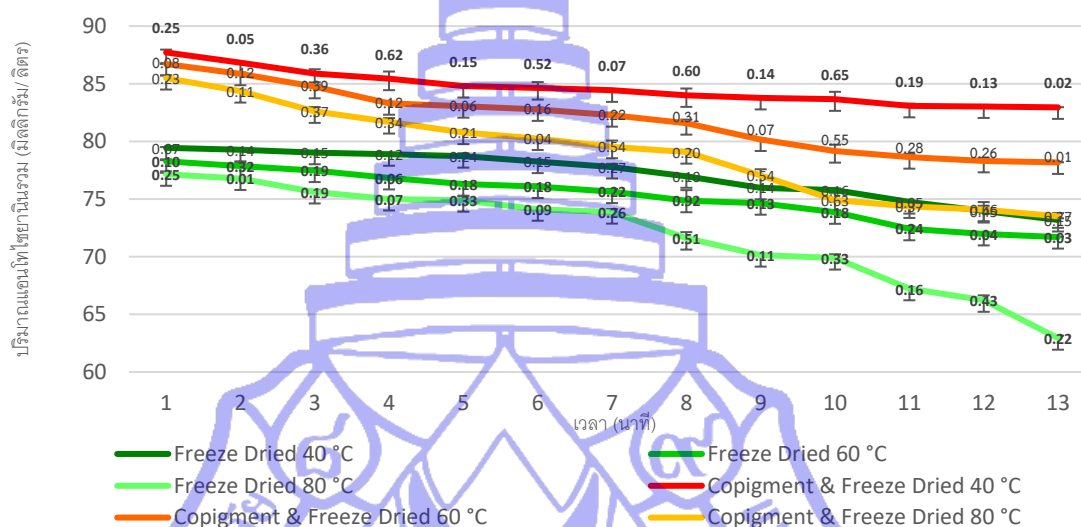
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 87.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าแบบที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว 8.28 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทดลองถึงนาที่ที่ 120 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าลดลงต่ำที่สุดเพียง 4.92% สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงแบบที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว มีอัตราการลดลงสูงที่สุดถึง 18.43% โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่นานขึ้น สัมพันธ์ต่อการลดลงของแอนโทไซยานินรวม ซึ่งผลการทดสอบความคงตัวทางความร้อนของสารสกัดแอนโทไซยานินจาก กระหล่ำปลีม่วงที่ใช้สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินน้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Demirdöven, A. (2015) ซึ่งทดสอบด้วยวิธีการสกัดแบบเดียวกัน และทดสอบที่อุณหภูมิเดียวกัน การใช้เทคนิคโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ให้ประสิทธิภาพการคงตัวดีกว่าการสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว แต่หากการนำไปประยุกต์ใช้ในความร้อนที่มากกว่า 80 องศาเซลเซียส การใช้เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพในการทนความร้อนดีกว่า ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 1

ผลการทดสอบความคงตัวทางความร้อนของแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี Thermal Stability ผลทดสอบวัดค่าแอนโทไซยานินรวมพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 82.95 mg/l ซึ่งลดลงน้อยที่สุดเพียง 4.92 % ในขณะที่ สารสกัดแอนโทไซยานินทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 73.19 mg/l ซึ่งลดลง 7.87 %

ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 78.18 mg/l ซึ่งลดลง

9.84 % ในขณะที่ สารสกัดแอนโทไซยานินทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 70.23 mg/l ซึ่งลดลง 10.27 %

ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 73.50 mg/l ซึ่งลดลง 14.04 % ในขณะที่ สารสกัดแอนโทไซยานินทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง วัดค่าแอนโทไซยานินรวมได้ 62.93 mg/l ซึ่งลดลง 18.43 %



ภาพที่ 1 การลดลงปริมาณแอนโทไซยานินรวมในการทดสอบความคงตัวทางความร้อน (ค่าบนกราฟ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละช่วงเวลาของแต่ละตัวอย่างทดสอบ)

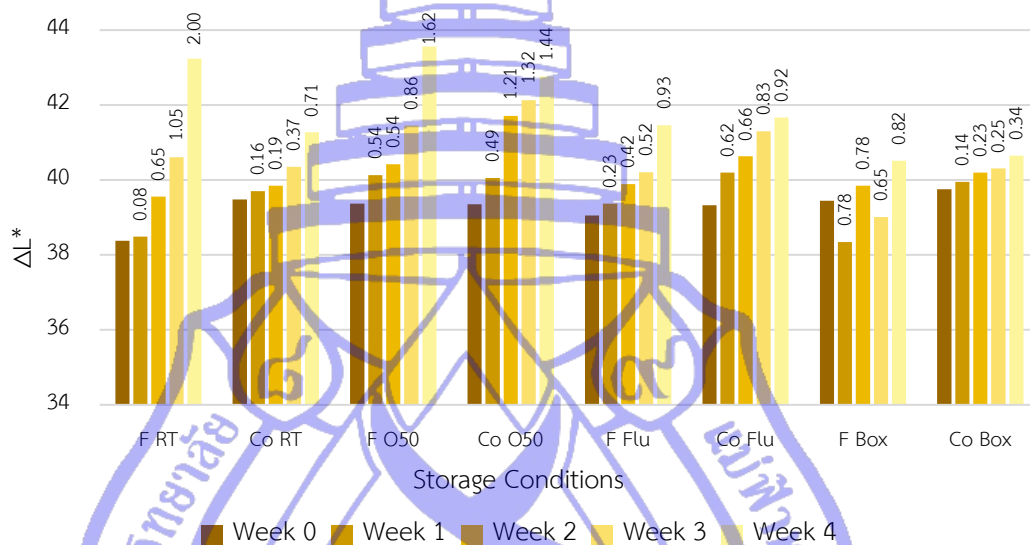
การวัดสี

ผลการทดสอบความคงตัวทางกายภาพโดยการวัดค่าสี นาน 4 สัปดาห์ ในสภาวะการควบคุมแสงในกล่องทึบ สารสกัดแอนโทไซยานินโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุดคือ 2.25 ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่สภาวะควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดแอนโทไซยานินทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุดคือ 6.80 ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า

ผลทดสอบสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ใช้สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ใช้เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ใน 4 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง, ตู้ควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส, กล่องจำลองแสง 6500 เคลวิน และ ในกล่องทึบ โดยทำการวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , และ ΔE^* ตามหลัก CIELab ด้วยเครื่องวัดสี ได้ผลทั้งหมดตามแผนภูมิเปรียบเทียบทั้ง 4 สภาวะ บันทึกผล 0 – 4 สัปดาห์

ค่าความสว่าง (L^*)

จากภาพที่ 2 สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่าง คือ 39.95, 40.2, 40.31 และ 40.65 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ มากกว่าสารสกัดที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว คือ 38.34, 39.85, 39.01 และ 40.51 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับในสภาวะกล่องจำลองแสง ค่าความสว่างจากสารโคพิกเมนต์ที่ผสมในสารสกัดส่งผลต่อการวัดสี และในสภาวะกล่องทึบแสง สารสกัดที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยที่สุดตลอดทั้ง 4 สัปดาห์

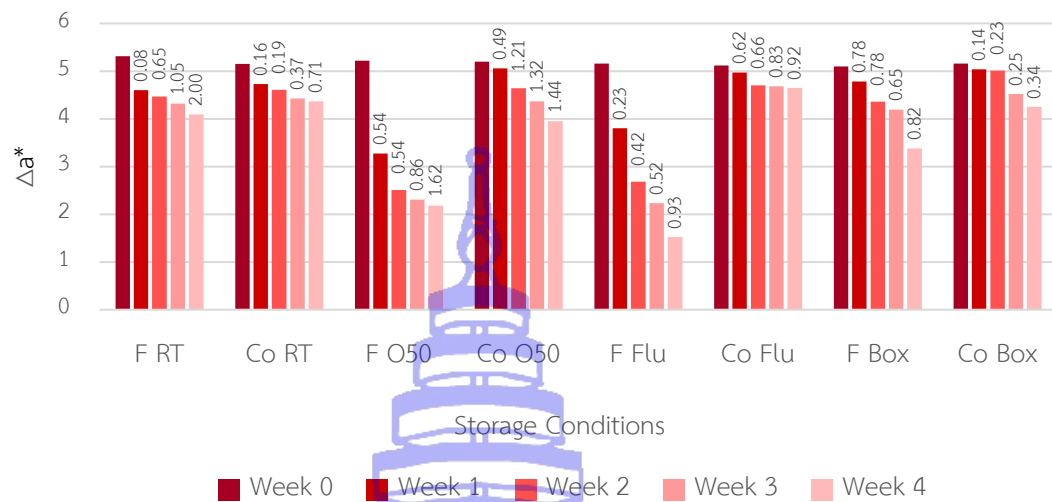


หมายเหตุ F RT: freeze dried room temperature, Co RT: copigmentation + freeze dried room temperature, F O50: freeze dried oven 50°C, Co O50: copigmentation + freeze dried oven 50°C, F Flu: freeze dried fluorescent box, Co Flu: copigmentation + freeze dried fluorescent box, F Box: freeze dried in dark box, Co Box: copigmentation + freeze dried in dark box

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ΔL^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

ค่าความเป็นสีแดง (a^*)

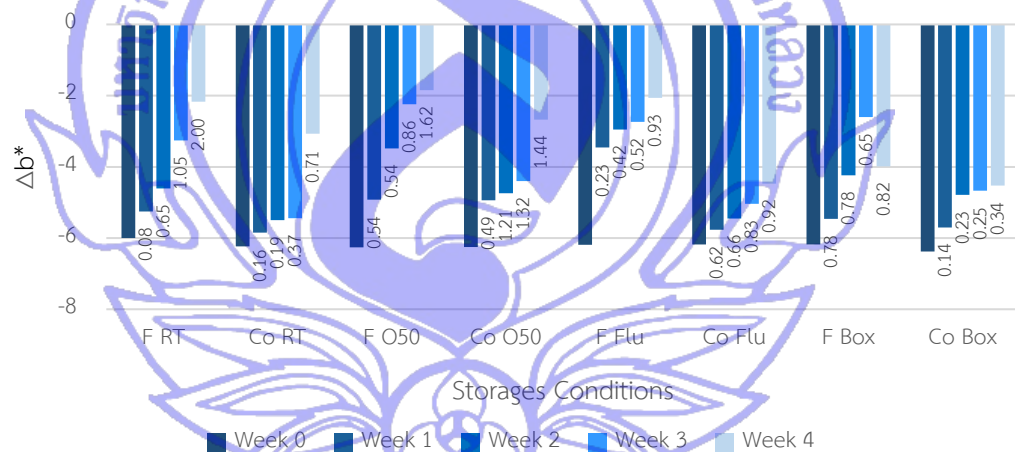
จากภาพที่ 3 ผลการทดลองพบว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงน้อยที่สุด ในสภาวะของกล่องทึบแสง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวมีค่าสีแดงลดลงมากที่สุดในสภาวะกล่องจำลองแสง ตลอดทั้ง 4 สัปดาห์



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง-สีเขียว (Δa^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

ค่าความเป็นสีน้ำเงิน (b^*)

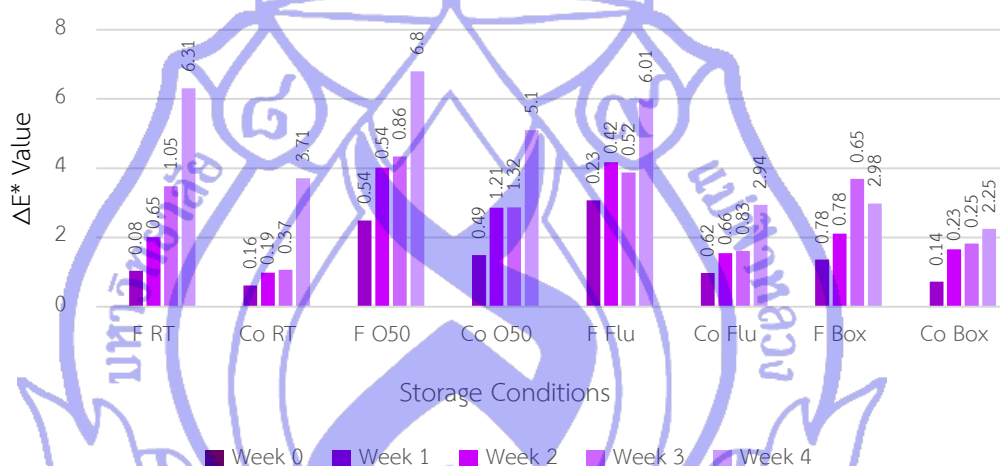
จากภาพที่ 4 สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสุญญากาศแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในสภาวะกล่องทึบแสง และมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีน้ำเงินมากที่สุดกับ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตลอด 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง (Δb^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*)

ในสัปดาห์ที่ 1 มีเพียงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิกเมนต์เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะอุณหภูมิห้อง, สภาวะจำลองแสง และสภาวะควบคุมแสงในกล่องทึบ มีค่า ΔE^* น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงไม่มีความแตกต่างของสีในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญ สัปดาห์ที่ 2 สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะตู้ควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส และสภาวะกล่องจำลองแสง เป็นสารตัวอย่างเดียวที่มีค่า ΔE^* มากกว่า 3 ซึ่งสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่าในระดับบุคคลทั่วไป สัปดาห์ที่ 3 ผงสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิกเมนต์ร่วมกับสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งมีค่า ΔE^* น้อยกว่า 3 ในทุกสภาวะ และในสัปดาห์ที่ 4 พบ 3 ตัวอย่างที่มีค่า ΔE^* น้อยกว่า 3 คือ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องทึบแสง และผงสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิกเมนต์ร่วมกับสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะตู้จำลองแสงและกล่องทึบแสง



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

เมื่อเทียบผลการวัดค่าสีด้วย L^* , a^* , b^* และ ΔE^* กับข้อมูลการวัดสีและสังเกตด้วยตาเปล่า จะเห็นว่า เมื่อค่า L^* และ a^* มีค่าลดลง และค่า b^* มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สีของสารสกัดมีสีที่ซีดจางลง ยิ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากยิ่งทำให้ค่า ΔE^* มีค่ามากขึ้น โดยสัมพันธ์กับสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าซึ่งมีสีเกิดการเปลี่ยนแปลงซีดจางลง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นพร้อมกับสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลง ค่า ΔL^* , Δa^* และ Δb^* น้อยกว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นสูญเสียสีแบบแช่เยือกแข็งในทุกสภาวะ ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 สภาวะที่มีค่าการเปลี่ยนแปลง ΔL^* , Δa^* , Δb^* และ ΔE^* น้อยกว่า 1 ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีโดยไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่าในสภาวะที่มีค่า ΔE^*

น้อยกว่า 3 ซึ่งเมื่อเทียบกับการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าสอดคล้องกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 4 มีเพียงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องทึบแสง ที่มีค่า ΔE^* น้อยกว่า 3 ตามเกณฑ์การประเมินจะสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่ากลับพบว่า สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องทึบแสง ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่าได้ทั้ง 2 ตัวอย่าง

ผลกระทบต่อความคงตัวของสีพบว่า ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี มากกว่าแสง โดยทั้งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะอุณหภูมิห้องและในสภาวะตู้บ ต่างเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า ΔL^* , Δa^* , Δb^* และ ΔE^* มากกว่า สภาวะกล่องจำลองแสงและกล่องทึบแสง

สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง สามารถเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานินได้ โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของค่าการวัดสี CIE Lab ซึ่งจะมีค่าสว่าง (L^*) ค่า สีแดง (a^*) และค่า สีน้ำเงิน (b^*) มีการเปลี่ยนแปลงลดลง เป็นผลมาจากการโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นด้วยกั้วร็กัม ทำให้โครงสร้างเกิดพันธะเพิ่มขึ้นและแข็งแรงมากขึ้น จากผลทดสอบทั้ง 4 สภาวะ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสี สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ผ่านมาของ Zhao (2020) ในเรื่องความคงตัวของแอนโทไซยานิน ที่มีต่อความร้อน ความเป็นกรด-ด่าง และ แสง จะพบว่าแอนโทไซยานินมีความสามารถในการคงตัวได้มากขึ้นจากการทำโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงของสีลดลงและมีความคงตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากโครงสร้างและองค์ประกอบแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงประกอบไปด้วยแอนโทไซยานินชนิดที่เป็นพันธะกรดมากกว่า 80% ส่งผลต่อความคงตัวได้ดีในความร้อน ความเป็นกรด-ด่าง และ แสง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เหมือนขวัญ กองนอก (2556) และ Sendri (2023)

ข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่มีอายุเพาะปลูก 21 สัปดาห์ให้ปริมาณแอนโทไซยานินรวมมากกว่าอายุเพาะปลูก 13 สัปดาห์ ซึ่งเป็นตัวเลือกที่สามารถต่อยอดในการรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นได้ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าทางภาคเกษตรกรรม อีกทั้งยังมีต้นทุนต่ำ กะหล่ำปลีม่วงจึงถือเป็นพืชที่มีศักยภาพในการสกัดแอนโทไซยานินเพื่อการอุตสาหกรรมในอนาคต

สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิคเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และแบบที่ทำสฤญญากาศแบบเยือกแข็งเพียงอย่างเดียว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวทางความร้อนได้ดีกว่า

การเสื่อมสลายจากแสงไม่แตกต่างกันมาก หากนำไปเปรียบเทียบกับการทำโคพิกเมนต์เทชันร่วมกับการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งกับการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวแล้ว การทำโคพิกเมนต์เทชันร่วมกับการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งสามารถให้ประสิทธิภาพและต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ดีกว่าการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งอย่างเดียวอย่างมีนัยยะสำคัญ และยังสามารถพัฒนาการใช้สารโคพิกเมนต์ชนิดอื่นให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในอนาคตมีความหลากหลายกว่า เช่น นำสารสกัดแอนโทไซยานินที่เพิ่มความตัวแล้วใส่ในสูตรเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ

รายการอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2563). *การผลิตกะหล่ำปลี*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

<https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/01/การผลิตกะหล่ำปลี.pdf>

ณิษฐกุล เทียนไทย, จตุรภัทร วาฤทธิ, นักรบ นาคประสม และกาญจนา นาคประสม. (2563). การเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานินจากกระชายดำโดยใช้วิธีโคพิกเมนต์เทชัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(10), 1834-1844.

ดนัย บุญเกียรติ, พลกฤษณ์ มณีวระ และอุษาวดี ชนะสุด. (2552). รายงานวิจัย โครงการวิจัย อายุการวางจำหน่ายและสารต้านอนุมูลอิสระในผักโครงการหลวง. มูลินีโครงการหลวง.

เหมือนขวัญ กงนอก. (2556). *การใช้วิธีโคพิกเมนต์เทชันเพื่อเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุจากกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัน* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). Silpakorn University Repository (SURE). <https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/10303>

อรอุษา เขาวนลิขิต. (2554). การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 6(3), 26-36.

Ahmadiani, N., Robbins, R. J., Collins, T. M., & Giusti, M. M. (2014). Anthocyanins contents, profiles, and color characteristics of red cabbage extracts from different cultivars and maturity stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7524-7531. <https://doi.org/10.1021/jf501991q>

- Al-Khayri, J. M., Asghar, W., Akhtar, A., Ayub, H., Aslam, I., Khalid, N., . . . Attimarad, M. (2022). Anthocyanin delivery systems: A critical review of recent research findings. *Applied Sciences*, 12(23), 12347.
<https://doi.org/10.3390/app122312347>
- De Almeida Paula, D., Mota Ramos, A., Basílio de Oliveira, E., Maurício Furtado Martins, E., Augusto Ribeiro de Barros, F., Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal, M., . . . Tatagiba da Rocha, C. (2018). Increased thermal stability of anthocyanins at pH 4.0 by guar gum in aqueous dispersions and in double emulsions W/O/W. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 665–672.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.219>
- Demirdöven, A., Özdoğan, K., & Tokatlı, K. E. (2015). Extraction of anthocyanins from red cabbage by ultrasonic and conventional methods: Optimization and evaluation. *Journal of Food Biochemistry*, 39(5), 491-500.
<https://doi.org/10.1111/jfbc.12153>
- Fernandes, A., Brás, N. F., Mateus, N., & de Freitas, V. (2014). Understanding the molecular mechanism of anthocyanin binding to pectin. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 30(28), 8516–8527.
<https://doi.org/10.1021/la501879w>
- Kuck, L. S., & Noreña, C. P. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. *Bordo*) skin phenolic extract using gum arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194, 569–576.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.066>
- Nawawi, N. I. M., Ijod, G., Abas, F., Ramli, N. S., Mohd Adzahan, N., & Mohamad Azman, E. (2023). Influence of different drying methods on anthocyanins composition and antioxidant activities of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) pericarps and LC-MS analysis of the active extract. *Foods*, 12(12), 2351.
<https://doi.org/10.3390/foods12122351>

- Ravanfar, R., Tamadon, A. M., & Niakousari, M. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of anthocyanins from red cabbage using Taguchi design method. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8140–8147. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1880-6>
- Sendri, N., Singh, S., Bhatt, S., Gupta, M., & Bhandari, P. (2023). Insight into the influence of oxygen, sunlight and temperature on the stability and color attributes of red cabbage anthocyanins and in vitro gastrointestinal behaviour. *Food Chemistry Advances*, 3, 100359. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100359>
- Yu, Y., & Lv, Y. (2019). Degradation kinetic of anthocyanins from rose (*Rosa rugosa*) as prepared by microencapsulation in freeze-drying and spray-drying. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 2009–2021. <https://doi.org/doi:10.1080/10942912.2019.1701011>
- Zhao, L., Pan, F., Mehmood, A., Zhang, Y., Hao, S., Rehman, A. U., Li, J., Wang, C., & Wang, Y. (2020). Protective effect and mechanism of action of xanthan gum on the color stability of black rice anthocyanins in model beverage systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3800–3807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.027>