



การเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานิน
ในกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น
STABILITY IMPROVEMENT OF ANTHOCYANIN EXTRACTED
FROM RED CABBAGE BY COPIGMENTATION

บุษราคม บุญประเสริฐ

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2568

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานิน
ในกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น
STABILITY IMPROVEMENT OF ANTHOCYANIN EXTRACTED
FROM RED CABBAGE BY COPIGMENTATION

บุษราคัม บุญประเสริฐ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2568

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง



หน้าอนุมัติการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

การค้นคว้าอิสระเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง
ด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น

Stability Improvement of Anthocyanin Extracted from Red Cabbage
by Copigmentation

ผู้ประพันธ์ บุษราคัม บุญประเสริฐ

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญาวัฒน์ ปินตาทอง

ประธานกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมไธสง

กรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฐปนีย์ สารศรี

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

Ampa Jimtaisong

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมไธสง)

คณบดี

วันดี รัชสิริจิตรประภา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี รัชสิริจิตรประภา)

กิตติกรรมประกาศ

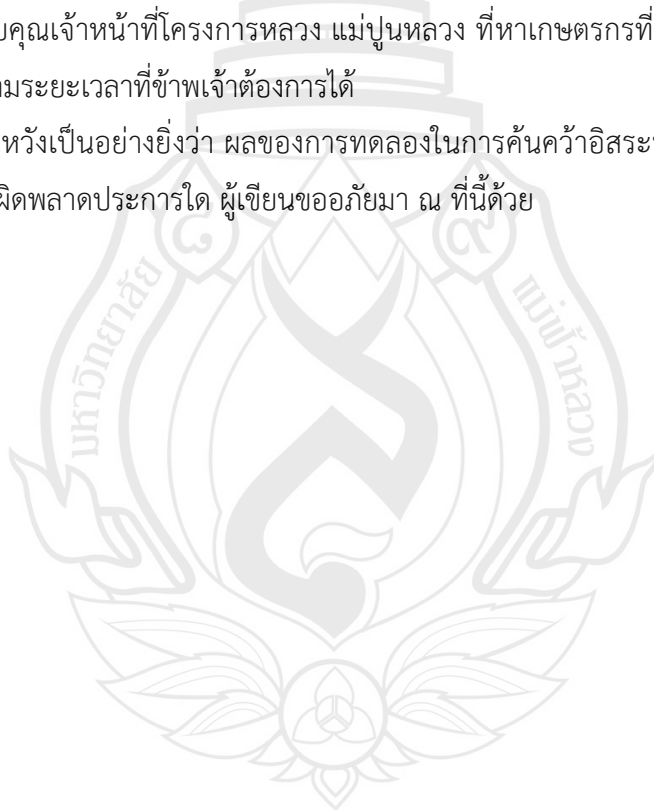
การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างสูงจาก
รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมนไสย อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา
แนวคิดในการทดลอง เกี่ยวกับการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ และข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ
และแก้ไขข้อบกพร่อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์
 อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงประจำ
อาคารปัญญา ชั้น 8 ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเรื่อง สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ ในการทำการ
ทดลอง จนข้าพเจ้าทำการทดลองสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการหลวง แม่ปูนหลวง ที่หาเกษตรกรที่ช่วยปลูกกระท่อมปลีม่วง
และเก็บเกี่ยวตามระยะเวลาที่ข้าพเจ้าต้องการได้

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลของการทดลองในการค้นคว้าอิสระนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่
สนใจ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

บุษราคัม บุญประเสริฐ



ชื่อเรื่องการค้นคว้าอิสระ	การเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานิน ในกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น
ผู้ประพันธ์	บุษราคัม บุญประเสริฐ
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง)
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมนะสง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง มาเพิ่มความคงตัวด้วยเทคนิค
 สูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dried) และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่น (Copolymerization)
 ด้วยกัวร์กัม (Guar Gum) 1.25% ร่วมกับการทำสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และวิเคราะห์หา
 ปริมาณแอนโทไซยานินรวม โดยนำกะหล่ำปลีม่วงมาสกัดด้วยตัวทำละลายควบคู่กับอัลตราโซนิก และ
 ระเหยตัวทำละลายออกเหลือ Crude Anthocyanin Extract ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง สูญญากาศ
 แบบแช่เยือกแข็งที่ 57.67 ± 6.81 % Yield และได้ปริมาณ Crude Anthocyanin Extract ของสาร
 สกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งที่ 59.26 ± 5.13 % Yield สาร
 สกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง สูญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินรวม
 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 นาที วัดค่าทุก 10 นาที สารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงโคพิก
 เมนต์เทชั่นร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีความคงตัวดีที่สุด
 มีปริมาณแอนโทไซยานินรวม 82.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งลดลงเพียง 4.92 % และในอุณหภูมิ 80
 องศาเซลเซียส ที่การทดสอบ 120 นาที สารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่น
 ร่วมกับสูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีอัตราการลดลงต่ำที่สุด 14.04 % วัดปริมาณแอนโทไซยานิน
 รวมได้ 73.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทดสอบการวัดสี ทั้ง 4 สภาวะ ในสภาวะ
 ควบคุมแสงในกล่องทึบมีค่าการเปลี่ยนแปลงสี (Delta E) เพียง 2.25 ซึ่งไม่สามารถสังเกตการ
 เปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน, กะหล่ำปลีม่วง, สูญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง, โคพิกเมนต์เทชั่น

Independent Study Title Stability Improvement of Anthocyanin Extracted from Red Cabbage by Copigmentation

Author Bussarakam Boonprasert

Degree Master of Science (Cosmetic Science)

Advisor Associate Professor Ampa Jimtaisong, Ph. D.

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. 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

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
2 ทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 กะหล่ำปลีม่วง (Red Cabbage)	3
2.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)	4
2.3 เทคนิคการสกัดแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง	9
2.4 เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่น (Copolymerization)	10
2.5 การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry)	14
2.6 การใช้เทคนิคโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง	16
2.7 หลักการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน	17
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 วัสดุุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	20
3.3 วิธีการวิจัย	21
4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	25
4.1 การเตรียมสารสกัดแอนโทไซยานิน	25
4.2 การเพิ่มความคงตัวของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง	26
4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง	27
4.4 การทดสอบความคงตัวทางความร้อนของแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี Thermal Stability	28
4.5 การทดสอบการวัดสี	30
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40

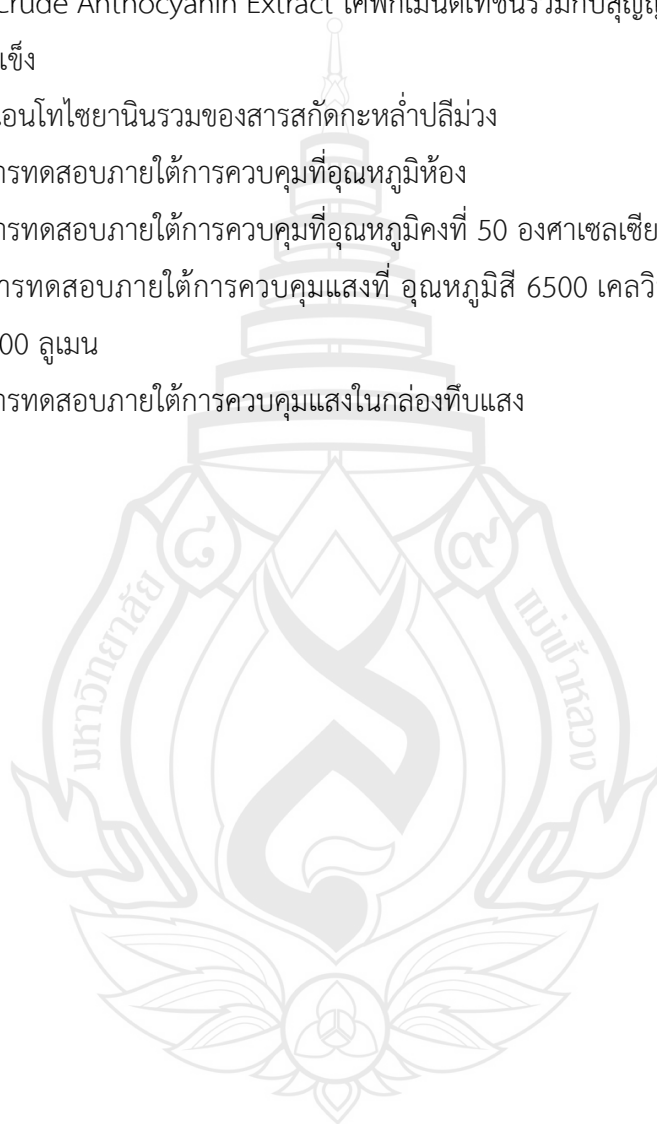
สารบัญ

บทที่	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
รายการอ้างอิง	42
ภาคผนวก	49
ประวัติผู้ประพันธ์	52



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ปริมาณ Crude Anthocyanin Extract สุนัขจิ้งจอกแบบแซ่เยือกแข็ง	26
4.2 ปริมาณ Crude Anthocyanin Extract โคพิกเมนต์ที่เข้มข้นร่วมกับสุนัขจิ้งจอกแบบแซ่เยือกแข็ง	27
4.3 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง	27
4.4 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมที่อุณหภูมิห้อง	36
4.5 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส	37
4.6 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมแสงที่ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน	37
4.7 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมแสงในกล่องทึบแสง	38



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 กะหล่ำปลีม่วง (Red Cabbage)	4
2.2 โครงสร้างแอนโทไซยานิน หรือ อะไกลโคน	5
2.3 แสดงสัดส่วนของกลุ่มแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงทั้ง 3 กลุ่ม	5
2.4 โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin 3-diglucoside-5-glucoside	6
2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินในน้ำที่มีค่า pH ต่างกัน	7
2.6 การเปลี่ยนสีของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงในสภาวะค่า pH ที่ต่างกัน	7
2.7 (A) แสดงรูปแบบการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิ (B) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของฟองอากาศที่เกิดขึ้นขณะใช้คลื่นอัลตราโซนิกฟองอากาศขยายตัวจนกระทั่งแตกตัวออก	10
2.8 รูปแบบโคพิกเมนต์เพชั่นของแอนโทไซยานิน	11
2.9 โครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินเชื่อมโยงด้วยวิธีอินเตอร์โมเลกุลลาโคพิกเมนต์เพชั่น	12
2.10 ภาพจำลองโครงสร้างโมเลกุลของการโคพิกเมนต์เพชั่นแอนโทไซยานินด้วยเพคติน	13
2.11 โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม	14
2.12 ภาพแสดงโครงสร้างแอนโทไซยานินที่ค่า pH ต่างกัน	17
2.13 กราฟค่าดูดกลืนแสงที่ pH 1.0 และ pH 4.5 ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร	18
4.1 กะหล่ำปลีม่วงสด 21 สัปดาห์ (ก), กะหล่ำปลีม่วงปั่นละเอียด (ข), สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง (ค), Crude Anthocyanin extract (ง)	25
4.2 Crude Anthocyanin extract ที่เจือจางด้วยด้วย Di ionize water (ก), ผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงหลังจากทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (ข)	26
4.3 แอนโทไซยานินที่ทำการโคพิกเมนต์ด้วยกัวร์กัม (ก), ผงกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการโคพิกเมนต์แล้วนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศเยือกแข็ง (ข)	27
4.4 การลดลงปริมาณแอนโทไซยานินรวมในการทดสอบความคงตัวทางความร้อน	29

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ΔL^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ	30
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (Δa^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ	32
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (Δb^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ	33
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ	34



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากกระแสการใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมในสูตรเครื่องสำอางเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยเฉพาะสารสกัดจากพืชที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ มีการทดสอบพบว่า สารสกัดแอนโทไซยานิน (Anthocyanin extract) ซึ่งเป็นสารพฤกษเคมี (Phytochemical) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพและช่วยลดการอักเสบได้ (Mizgier et al., 2016)

กะหล่ำปลีม่วงเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศไทย และยังเป็นพืชที่มีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นในสัดส่วนที่เท่ากัน จากงานวิจัยพบว่า กะหล่ำปลีม่วงมีสารสกัดแอนโทไซยานินในสัดส่วนที่สูงถึง 143.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (ดนัย บุญเกียรติ และคณะ, 2552) ถึงแม้จะมีงานวิจัยเกี่ยวกับสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงจำนวนมาก แต่งานวิจัยเรื่องการนำสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงมาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางยังมีไม่มากนัก สาเหตุหลัก คือ ความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาปัจจัยความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง และการเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวเพื่อจะสามารถพัฒนาต่อไปถึงการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง

ในการนำสารสกัดแอนโทไซยานินมาใช้ในเครื่องสำอาง จำเป็นจะต้องระมัดระวังเรื่องความคงตัวของแอนโทไซยานิน เพราะแอนโทไซยานินมีความไวต่อแสง ความเข้มข้นของแสงสามารถเร่งการเสื่อมสลายตัวของแอนโทไซยานิน อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทำให้สีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงได้ (Tan et al., 2021) ได้รวบรวมงานวิจัย ที่นำเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชัน (Copolymerization) และเทคนิควิธีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานิน สิ่งที่น่าสนใจ คือ เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชัน มีสารหลายชนิดสามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวได้ เช่น สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) สามารถช่วยทำให้ความคงตัวของแอนโทไซยานินดีขึ้น โดยเฉพาะการทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กัวร์กัม (Guar Gum) มาเป็นสารโคพิกเมนต์ ในแบบอินเตอร์โมเลกุลาร์โคพิกเมนต์ (Intermolecular Copigment) กับแอนโทไซยานิน โดยใช้เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชัน ร่วมกับการทำแห้งสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Vacuum Freeze Dried) เพื่อให้ได้สารสกัดแอนโทไซยานิน ที่มีความคงตัวเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง
- 1.2.3 เพื่อเพิ่มความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง
- 1.2.4 เพื่อเพิ่มความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทชั่น (Copolymerization) ร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เตรียมสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง อายุ 21 สัปดาห์ สกัดด้วยตัวทำละลายควบคู่กับอัลตราโซนิก เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวม และเพิ่มความคงตัวในสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำสารสกัดไปทดสอบความคงตัว รวบรวมผลเพื่อวิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1.4.1 ทราบถึงวิธีการเตรียมสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง
- 1.4.2 ทราบปริมาณแอนโทไซยานินรวมของกะหล่ำปลีม่วง
- 1.4.3 สามารถเพิ่มความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยเทคนิควิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่น (Copolymerization) ร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งได้
- 1.4.4 เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กะหล่ำปลีม่วง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กระหล่ำปลีม่วง (Red Cabbage)

มีชื่อสามัญ คือ Red Cabbage และชื่อท้องถิ่นว่า กระหล่ำปลีม่วง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* จัดอยู่ในวงศ์ Brassicaceae กระหล่ำปลีม่วงเป็นพืชท้องถิ่นที่มีถิ่นกำเนิดในยุโรปแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายขึ้นได้ดีในดินร่วนระบายน้ำได้ดีปัจจุบันมีการเพาะปลูกกระจายไปทั่วโลกโดยเพาะปลูกมากที่สุดในประเทศจีน กระหล่ำปลีม่วงถูกนำมารับประทานมาตั้งแต่ยุคโบราณ

กระหล่ำปลีม่วงเป็นพืชล้มลุกอายุฤดูเดียว ลำต้นมีลักษณะทรงกลม สูงประมาณ 25-45 เซนติเมตร เปลือกลำต้นมีสีขาวมีลักษณะเป็นข้อๆที่เกิดจากรอยแผลใบ ส่วนระบบราก กระหล่ำปลีม่วงประกอบไปด้วยรากแก้ว รากแขนง แตกออกด้านข้างและรากฝอย บริเวณปลายราก รากแขนงสามารถหยั่งลึกได้มากถึง 30 เซนติเมตร มีลักษณะแตกออกด้านข้างใบ เรียงวนรอบลำต้น ผิวของใบมีลักษณะเรียบ แต่เป็นลูกคลื่น ขอบใบย่น ใบโค้งงอเข้าตรงกลาง หุ้มซ้อนกันแน่นเรียกว่า หัวกระหล่ำปลีที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ดังภาพที่ 2.1 กระหล่ำปลี 1 ต้นจะมีใบห่อหุ้มประมาณ 20-40 ใบ หรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับขนาดหัว ใบจะหุ้มลำต้นอัดกันแน่น แต่ละหัวจะมีน้ำหนักประมาณ 0.8-2 กิโลกรัม กระหล่ำปลีออกดอกเป็นช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียในดอกเดียวกัน ช่อดอกแทงออกตรงกลางของหัว มีก้านดอกชูยาว 30-80 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบรองดอกสีเขียว 4 กลีบ ถัดมาด้านในเป็นกลีบดอก มีสีเหลืองสด จำนวน 4 กลีบ ด้านในสุดมีเกสรตัวผู้ 6 อัน ประกอบด้วยเกสรชั้นใน 4 อัน และชั้นนอก 2 อัน และตรงกลางมียอดเกสรตัวเมียที่เป็นลักษณะพู 2 อัน ซึ่งเชื่อมมายังรังไข่ ซึ่งอยู่ด้านในสุดของฐานดอก ดอกกระหล่ำปลีจะทยอยบานจากด้านล่างขึ้นด้านบน ผลกระหล่ำปลีเรียกว่า ฝัก มีลักษณะเรียวยาว (หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา (นทพ) หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 16, ม.ป.ป.)



ที่มา Bienmanger (n.d.)

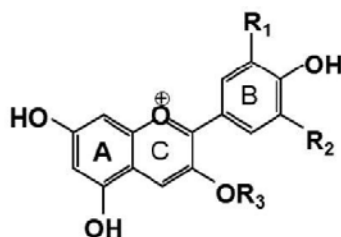
ภาพที่ 2.1 กะหล่ำปลีม่วง (Red Cabbage)

2.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นสารฟลาโวนอยด์ที่มีการบริโภคมากที่สุดในอาหารประจำวัน แอนโทไซยานินเป็นตัวแทนของกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ที่ให้สีแดง สีม่วงและสีน้ำเงินที่มีลักษณะเฉพาะแก่พืช มีรายงานเกี่ยวกับสารประกอบแอนโทไซยานินประมาณ 700 ชนิดในเอกสารที่มีอยู่ว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพและเป็นแหล่งของสารให้สีตามธรรมชาติ พืชที่อุดมด้วยแอนโทไซยานิน ได้แก่ องุ่นแดง แอปเปิ้ลแดง กะหล่ำปลีม่วง หอมแดง ส้มโอ พืช หัวไชเท้าแดง สตรอเบอร์รี่ ลูกแพร์ และพลัม เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2563)

2.2.1 โครงสร้างทางเคมี

แอนโทไซยานินมีองค์ประกอบหลัก คือ แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) หรืออะไกลโคน (Aglycone) เป็นโครงสร้างตั้งต้นของแอนโทไซยานินชนิดต่าง ๆ ในภาพที่ 2.2 แสดงถึงโครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิดิน เป็นสารประกอบของวงแหวน 3 วง โดยมีวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก C เชื่อมต่อระหว่างวงแหวนอโรมาติก A และ B และมีโมเลกุลของน้ำตาลกลุ่ม เฮกโซส (Hexose) และ เพนโทส (Pentose), กลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl), กลุ่มเมทอกซิล (Methoxy) และกลุ่มกรด (Acyl Group) มาเชื่อมต่อกับวงแหวน ทำให้ได้แอนโทไซยานินชนิดต่าง ๆ มากกว่า 20 ชนิด แต่ชนิดหลักที่พบโดยทั่วไปมี 6 ชนิด คือ เดลฟินิดิน (Delphinidin), เพทูนิดิน (Petunidin), มัลวิดิดิน (Malvidin), ไซยานิดิน (Cyanidin), พีโอนิดิน (Peonidin) และเพลาร์โกนิดิน (Pelargonidin) (Gençdağ et al., 2022)



Name	R ₁	R ₂	R ₃
Delphinidin	OH	OH	H
Petunidin	OH	OCH ₃	H
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	H
Cyanidin	OH	H	H
Peonidin	OCH ₃	H	H
Pelargonidin	H	H	H

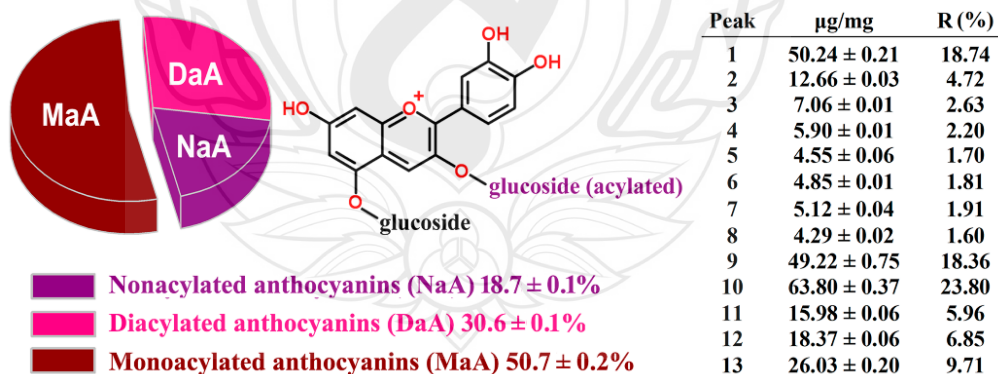
ที่มา Tena and Asuero (2022)

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างแอนโทไซยานิดิน หรือ อะไกลโคน

ชนิดของแอนโทไซยานินแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่มแสดงในภาพที่ 2.3 คือ

1. ชนิดไม่มีพันธะกรด Nonacylated Anthocyanins
2. ชนิดมีกรดพันธะเดี่ยว Monoacylated Anthocyanins
3. ชนิดมีกรดพันธะคู่ Diacylated Anthocyanins

สัดส่วนของแอนโทไซยานินที่พบในสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง คือ ชนิดไม่มีกรด 18.7% ชนิดกรดเดี่ยว 50.7% และชนิดกรดคู่ 30.6% (Fang et al., 2018)

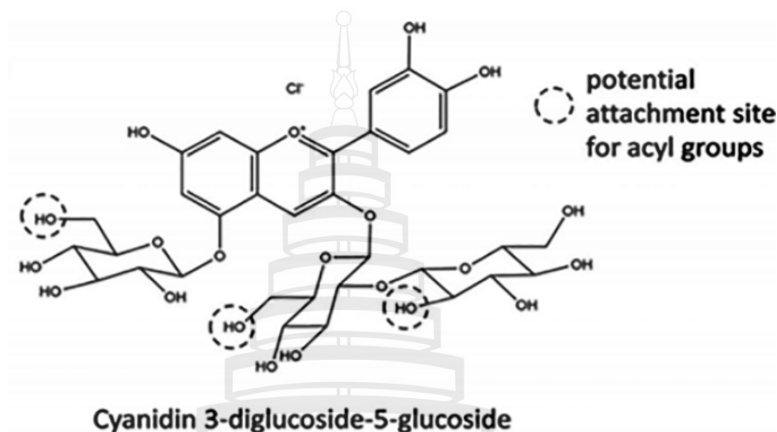


ที่มา Fang et al. (2018)

ภาพที่ 2.3 แสดงสัดส่วนของกลุ่มแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงทั้ง 3 กลุ่ม

2.2.2 ไชยานิดิน (Cyanidin)

ไชยานิดินเป็นชนิดของแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดในกลุ่มสีม่วง และไชยานิดินชนิดที่มีสัดส่วนมากที่สุด คือ ชนิด Cyanidin 3-Diglucoside-5-Glucoside ในภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไชยานิดินมีจุดเชื่อมต่อของกลุ่มกรดสามารถเชื่อมต่อได้ และเป็นปัจจัยที่เสริมความคงตัวของแอนโทไซยานิน (Zhao et al., 2017)



ที่มา Zhang et al. (2020)

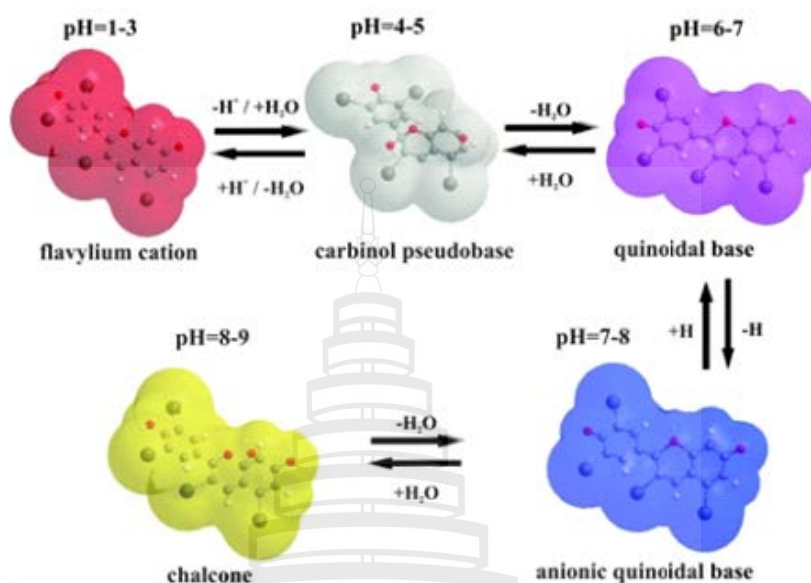
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin 3-diglucoside-5-glucoside

2.2.3 ความคงตัวของแอนโทไซยานิน

Ghareaghajlou et al. (2021) ได้อธิบายไว้ว่า แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีตั้งแต่สีแดง สีม่วง สีส้ม สีเขียวไปจนถึงสีเหลือง และที่ไม่ปรากฏสี ขึ้นอยู่กับสภาวะนั้น ๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิล จะยิ่งทำให้สีของแอนโทไซยานินมีสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น แต่หากแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยเมธอกซิล จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถบ่งบอกได้ถึงความคงตัวของสารแอนโทไซยานินด้วย เป็นที่ทราบดีว่าแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความคงตัวต่ำ และมีปัจจัยหลายอย่างมากระทบได้ง่าย ได้แก่

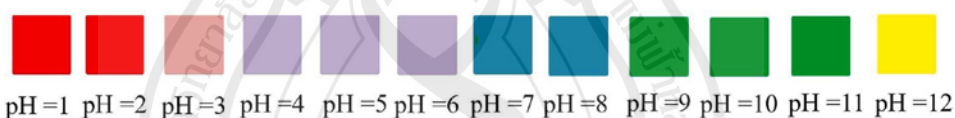
2.2.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่า pH เป็นปัจจัยหลักของการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานิน แอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงสามารถแสดงผลได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ค่า pH 1-12 จากภาพที่ 2.5 ค่า pH 1-3 จะเป็นสีแดง เรียกสภาวะนี้ว่า Flavylium cation และที่ค่า pH 4-5 เรียกสภาวะนี้ว่า Carbinol pseudo base ไม่เกิดสี (colorless) และที่ค่า pH 6-7 เรียกสภาวะนี้ว่า Quinoidal base จะออกสีม่วง และที่ค่า pH 7-8 เรียกสภาวะนี้ว่า Anionic quinoidal base จะเป็นสีน้ำเงิน และที่ค่า pH มากกว่า 8 เรียกสภาวะนี้ว่า Chalcone จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวไปถึงสีเหลือง มีผลการทดสอบพิสูจน์ว่าแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงสามารถคงตัวได้ดีที่สุดในค่า pH เป็นกรด คือ ต่ำกว่า 3 แต่ในขณะเดียวกันค่า pH 6-6.5 เป็นค่าเฉลี่ยที่สามารถตรวจพบได้ในสารสกัด

กะหล่ำปลีม่วงที่เพิ่งสกัดออกมา ในภาพที่ 2.6 จะแสดงสีของแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการทดสอบในค่า pH 1-12 โดยแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงให้สีส้มในช่วงที่กว้างและหลากหลาย



ที่มา Ananga et al. (2013)

ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินในน้ำที่มีค่า pH ต่างกัน



ที่มา Freitas et al. (2020)

ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนสีของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงในสภาวะค่า pH ที่ต่างกัน

2.2.3.2 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญมากต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน Dyrby et al. (2001) ได้ทดสอบเปรียบเทียบความไวต่อแสงและความร้อนต่อแอนโทไซยานินจากพืช 4 ชนิด คือ กะหล่ำปลีม่วง (Red cabbage), แบล็คเคอร์แรนท์ (Blackcurrant), ผิวองุ่น (Grape skin) และ เอลเดอร์เบอร์รี่ (Elderberry) พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 80 องศาเซลเซียส แอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงมีค่าความเสถียรต่อความร้อนมากกว่าพืชทั้ง 3 ชนิด และผลทดสอบแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงในสารละลายมีความเสถียรต่อความร้อนได้ดี แต่การเสื่อมสลายก็มีผลมากที่สุดที่อุณหภูมิทดสอบที่ 80 องศาเซลเซียส

Ekici et al. (2014) ได้ทำการประเมินผลกระทบของการให้ความร้อนต่อการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินจากผิวองุ่น, แครอทดำ และกะหล่ำปลีม่วง ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบว่าการรักษาที่อุณหภูมิ 70 °C ทำให้แอนโทไซยานินสูญเสียไป

11.82%, 9.36% และ 2.57% ในผิวอ่อน แครอทดำ และกะหล่ำปลีม่วง ตามลำดับ และในการทดสอบสังเกตเห็นการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 90 องศาเซลเซียส ทำให้แอนโทไซยานินสูญเสียไป 49.79%, 44.64% และ 26.09% ในผิวอ่อน แครอทดำ และกะหล่ำปลีม่วง ตามลำดับ ทั้งนี้การที่กะหล่ำปลีม่วงมีค่าความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สูงขึ้นมากกว่าแครอทดำ และผิวอ่อน เนื่องจากองค์ประกอบของแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงเป็นแอนโทไซยานินชนิดที่มีพันธะกรดมากกว่า แครอทดำ และผิวอ่อน

Jampani and Raghavarao (2015) ทำการทดสอบถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ 30, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียสที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงและพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่ผ่านความร้อนแบบการระเหยด้วยความร้อน (Thermal Evaporation) นาน 5 ชั่วโมง ลดลงจาก 100% เป็น 75% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และลดลงเหลือ 23% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2.2.3.3 แสง เป็นปัจจัยที่ทำให้แอนโทไซยานินเสื่อมสลายได้ เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง pH และอุณหภูมิ แสงมีผลอย่างมากต่อทั้ง 2 ปัจจัยที่จะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ให้เกิดความเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินที่ได้รับแสงแดด, แสงธรรมชาติภายในอาคาร หรือแสงจากหลอดไฟที่อยู่ภายในห้องก็มีผลต่อการเสื่อมสลายด้วยเช่นกัน Prietto et al. (2017) ทำการพัฒนาฟิล์มที่ไวต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง จากแป้งข้าวโพดและแอนโทไซยานินจากเยื่อหุ้มเมล็ดถั่วดำและกะหล่ำปลีม่วงพบว่า ฟิล์มที่ไวต่อค่า pH ด้วยแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงมีความเสถียรสูงกว่าแอนโทไซยานินจากเยื่อหุ้มเมล็ดถั่วดำเมื่อถูกแสง เนื่องจากมีแอนโทไซยานินชนิดพันธะกรดในกะหล่ำปลีม่วงมากกว่าแอนโทไซยานินจากเยื่อหุ้มเมล็ดถั่วดำ Chen et al. (2018) ประเมินความคงตัวของแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงและพบว่า การสลายตัวของแอนโทไซยานิน ภายใต้ห้องมืด ห้องที่มีแสงธรรมชาติ และการฉายแสงจำลองแสงอาทิตย์ การทดสอบในห้องมืด 24 ชั่วโมงแรก พบว่า Cyanidin 3-(sinapoyl)- diglucoide -5- Glucoside มีอัตราการเสื่อมสลายต่ำที่สุด คือ ลดลง 1% แต่เมื่อผ่านไป 72 ชั่วโมงพบว่าแอนโทไซยานินชนิด Cyanidin 3-(feruloyl)(feruloyl)- diglucoside -5- Glucoside มีอัตราการเสื่อมสลายที่ต่ำที่สุดคือ 8% การทดสอบในห้องที่มีแสงธรรมชาติในห้อง 24 ชั่วโมงแรก พบว่า Cyanidin 3-(sinapoyl)- diglucoide -5- Glucoside มีอัตราการเสื่อมสลายต่ำที่สุด คือ ลดลง 1% แต่เมื่อผ่านไป 72 ชั่วโมงพบว่าแอนโทไซยานินชนิด Cyanidin 3-(sinapoyl)(feruloyl)- diglucoside -5- Glucoside มีอัตราการเสื่อมสลายที่ต่ำที่สุด คือ 19% และการทดสอบในห้องที่มีการฉายแสงจำลองจากแสงอาทิตย์ ในห้อง 24 ชั่วโมง พบว่า Cyanidin 3-(sinapoyl)- diglucoide -5- Glucoside มีอัตราการเสื่อมสลายต่ำที่สุด คือ ลดลง 44% ปริมาณของพันธะกรดในแอนโทไซยานินที่พบในกะหล่ำปลีม่วงที่มากขึ้นมีผลต่อความสามารถในการลดความเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.3 เทคนิคการสกัดแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วง

วิธีการสกัดกะหล่ำปลีม่วงมีการพัฒนามาโดยตลอด หลายวิธีในอดีต และยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบันในแง่ของความคุ้มค่า นั้น นิยมใช้วิธีการหมัก (Maceration) และใช้ตัวทำละลาย (Solvent) ในการสกัด โดยเฉพาะการใช้ เอทานอล (Ethanol) ร่วมกับน้ำเป็นตัวทำละลายเพื่อสกัดสารสำคัญ ในปัจจุบันมีหลายวิธีที่นำมาสกัดและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสกัดแบบดั้งเดิม แล้วได้ผลดีและมีความคุ้มค่า ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า ได้ปริมาณสารสำคัญที่คุ้มค่ากว่า และประหยัดตัวทำละลายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยสภาวะที่ทดลองแล้วให้สารสกัดออกมาดีที่สุดคือ สกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก (Ultrasonic extractions) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ 42.39% ผสมกับน้ำใช้เวลาในการสกัด 75 นาที แต่ในขณะเดียวกันการสกัดด้วย วิธีอัลตราโซนิก สามารถที่จะให้ผลแตกต่างกันที่ 3.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าของแอนโทไซยานินใกล้เคียงกันโดยใช้ระยะเวลาสกัด 5 นาทีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตัวทำละลายเท่ากัน (Demirdöven et al., 2015)

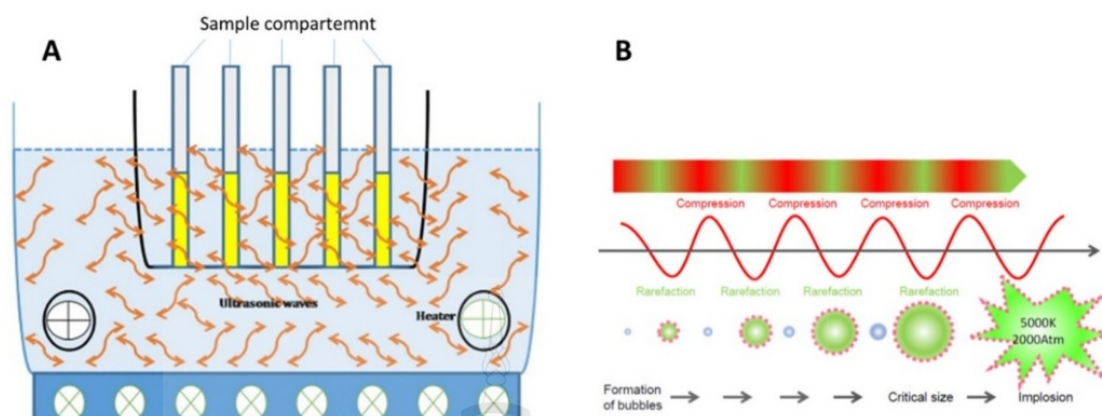
2.3.1 การสกัดแบบดั้งเดิม (Conventional Extractions)

Demirdöven et al. (2015) ได้ทำการเปรียบเทียบการสกัดสารแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง สามารถทำได้ด้วยวิธีการหมักแบบเดียวกับไวน์ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำเปล่า วิธีที่นิยมและเป็นวิธีที่ปัจจุบันยังทำอยู่คือการใช้ตัวทำละลายแช่วัตถุดิบในระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด จะมีความแตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลาย รวมถึงสัดส่วนของการผสมตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมมากที่สุด คือ น้ำและเอทานอล เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2.3.2 การสกัดด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Extractions)

ปัจจุบันมีการนำเทคนิคที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีสกัดแบบดั้งเดิม มีการทดลองสกัดสารแอนโทไซยานินในพืชหลายชนิด เช่น กลีบดอกอัญชัญ (Salacheep et al., 2020) ให้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ แต่ที่นำมาใช้กับกะหล่ำปลีม่วงนั้น เคยมีการทดลองไว้ (Ravanfar et al., 2015) ถือเป็นการทดลองเปรียบเทียบที่นำมาประยุกต์ใช้กับกะหล่ำปลีม่วง เพื่อทดสอบสารสำคัญที่ได้ รวมถึงแอนโทไซยานิน มีการนำผลทดลองนั้นกลับมาทดสอบใหม่ โดย Demirdöven et al. (2015) และยังมีการนำผลทดลองนี้ไปต่อยอดใช้ทดสอบการสกัดสารแอนโทไซยานินในพืชชนิดอื่น ๆ ด้วย

Tena and Asuero (2022) นำวิธีการใช้ อัลตราโซนิกมาประยุกต์กับแบบดั้งเดิม ดังภาพที่ 2.7 ผลทดสอบที่ได้มีความเป็นไปได้มากที่จะนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบดั้งเดิม ใช้ตัวทำละลายน้อยลง อีกทั้งยังใช้เวลาน้อยกว่าหลายเท่าตัวซึ่งถือว่าคุ้มค่าในหลาย ๆ ด้าน และที่สำคัญสามารถเพิ่มความคงตัวและลดการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้



ที่มา Tena and Asuero (2022)

ภาพที่ 2.7 (A) แสดงรูปแบบการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิ (B) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของฟองอากาศที่เกิดขึ้นขณะใช้คลื่นอัลตราโซนิกฟองอากาศขยายตัวจนกระทั่งแตกตัวออก

2.4 เทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชัน (Copigmentation)

โคพิกเมนต์เทชันเป็นการเพิ่มความคงตัวให้รงควัตถุที่สามารถเชื่อมโยงตนเองหรือสร้างโครงสร้างเชิงซ้อนด้วย ฟีนอลิก เพคติน โปรตีน ไขมัน และโพลีเมอร์ เป็นต้น โดยกลไกนี้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคงตัวของรงควัตถุได้ (Enaru et al., 2021) ภาพที่ 2.8 ได้แสดงโครงสร้างของโคพิกเมนต์เทชัน และรูปแบบของโคพิกเมนต์เทชัน เหมือนขวัญ กนกนอก (2556) ได้อธิบายรูปแบบทั้ง 4 แบบ คือ

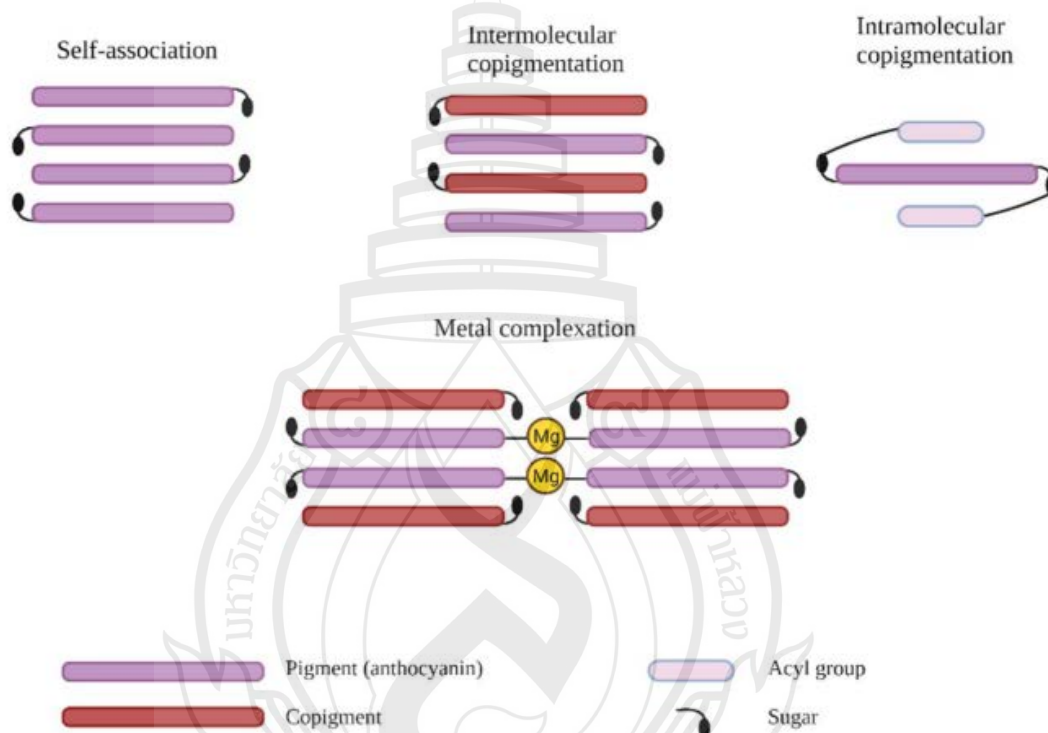
1. Self-association เป็นการรวมตัวกันของโมเลกุลแอนโทไซยานินด้วยกันเอง เชื่อมต่อกันด้วยพันธะชนิด non-covalent การรวมตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น

2. Intermolecular copigmentation เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของแอนโทไซยานินกับโมเลกุลของสารโคพิกเมนต์ โดยสารโคพิกเมนต์นี้ไม่มีสี พันธะชนิด non-covalent ทำให้เกิด Intermolecular copigmentation ได้เมื่อสารโคพิกเมนต์มีลักษณะโมเลกุลที่มีความคล้ายกับแอนโทไซยานินจะได้สารประกอบใหม่ที่มีความสามารถป้องกันการเกิด Hydration กับน้ำของแอนโทไซยานิน ทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวเพิ่มขึ้น

3. Intramolecular copigmentation เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของแอนโทไซยานินเองกับสารโคพิกเมนต์ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินเอง คือ กลุ่ม Acly group โดยจะเกิดในแอนโทไซยานินชนิดที่มีพันธะกรด (Acyated anthocyanin) การทำโคพิกเมนต์เทชัน แบบนี้

มีความคงตัวที่ดีกว่าชนิดที่ไม่มีพันธะกรดและคงตัวได้ดีกว่าชนิด intermolecular copigmentation มีการทดสอบพบว่า แอนโทไซยานินชนิดที่มีพันธะกรด สามารถลดอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจากความร้อนได้มากกว่าชนิดที่ไม่มีพันธะกรด

4. Metal complexation เป็นการใช้โลหะเป็นโคพิกเมนต์ เนื่องจากไอออนของโลหะนั้นสามารถจับได้ดีกับกลุ่มไฮดรอกซิลของแอนโทไซยานิน แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเกิดสารตกค้างหรือสารปนเปื้อนของโลหะชนิดนั้นในผลิตภัณฑ์ โลหะที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น ดีบุก ทองแดง เหล็ก อลูมิเนียม แมกนีเซียม เป็นต้น



ที่มา Enaru et al. (2021)

ภาพที่ 2.8 รูปแบบ โคพิกเมนต์เทชั่นของแอนโทไซยานิน

การที่มี Acylated anthocyanin ในปริมาณที่สูง กว่าชนิด non acylated anthocyanin ทำให้ความคงตัวของแอนโทไซยานินดีขึ้น รวมกับการใช้สารโคพิกเมนต์ที่มีความคล้ายกับโมเลกุลของแอนโทไซยานินก็จะเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานิน เหมือนขวัญ กนกนอก (2556) ได้ทำการทดสอบการเพิ่มคงตัวของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัญด้วยวิธีการโคพิกเมนต์เทชั่น ผลการทดลองพบว่า การโคพิกเมนต์เทชั่นด้วยสารฟีนอลิกบริสุทธิ์ และสารฟีนอลิกจากสารสกัดเปลือกมังคุดและลูกหม่อน สามารถเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานินได้ และเมื่อทดสอบทาง

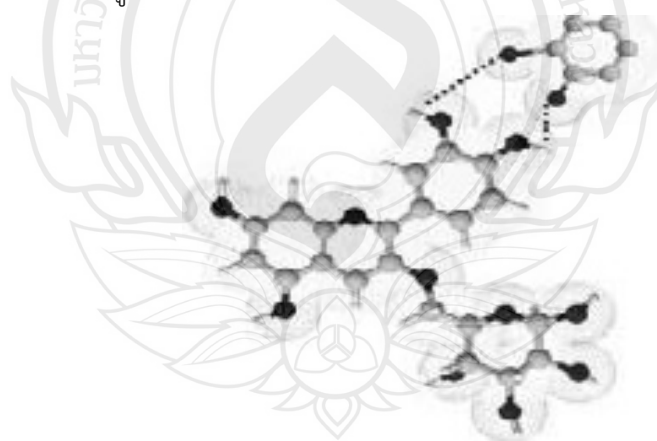
ประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคนในเครื่องดื่มที่เก็บรักษานาน 2 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสก็เป็นที่น่าพอใจและผู้บริโภคพึงพอใจต่อเครื่องดื่มที่ทำการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ทำโคพิกเมนต์เช่นกัน

ณิกุล เทียนไทย และคณะ (2563) ทำการทดสอบแอนโทไซยานินจากกระชายดำโคพิกเมนต์ด้วยสารสกัดฟีนอลิกจากเมล็ดมะเกี๋ยง เมื่อทำการโคพิกเมนต์และทดสอบในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3, 5 และ 7 อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส แอนโทไซยานินจากกระชายดำสามารถเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนได้

Zhao et al. (2020) ทำการทดสอบประสิทธิภาพความคงตัวของสีของแอนโทไซยานินจากข้าวดำ โดยใช้แซนแทนกัมและกรดแอสคอร์บิกผสมในรูปแบบของเครื่องดื่ม การใช้แซนแทนกัมเป็นสารโคพิกเมนต์กับแอนโทไซยานินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวของแอนโทไซยานินจากข้าวดำได้ การเปลี่ยนแปลงค่าสี เดลต้า E ที่ทำการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นกับแซนแทนกัมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวทางความร้อนให้เพิ่มขึ้นได้

ปานฤทัย เมฆะ (2564) ศึกษาสารสกัดจากดอกอัญชันที่ทำการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นที่ใช้ คือ กรดแกลลิก และกรดแอสคอร์บิก เพื่อทำการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นพบว่า หลังทำการทดสอบความคงตัวสารสกัดจากดอกอัญชันที่ทำการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นแล้ว มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีในระบบ CIE Lab ในค่าที่ดำ โดยมีค่า L* และ b* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* ลดลง ปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้น

Ovando et al. (2009) ได้อธิบายถึงโครงสร้างของการเชื่อมโยงโมเลกุลในการทำโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้น แบบอินเตอร์โมเลกุล โคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นไว้ ดังภาพที่ 2.9



ที่มา Ovando et al. (2009)

ภาพที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินเชื่อมโยงด้วยวิธี อินเตอร์โมเลกุล โคพิกเมนต์เพิ่มขึ้น

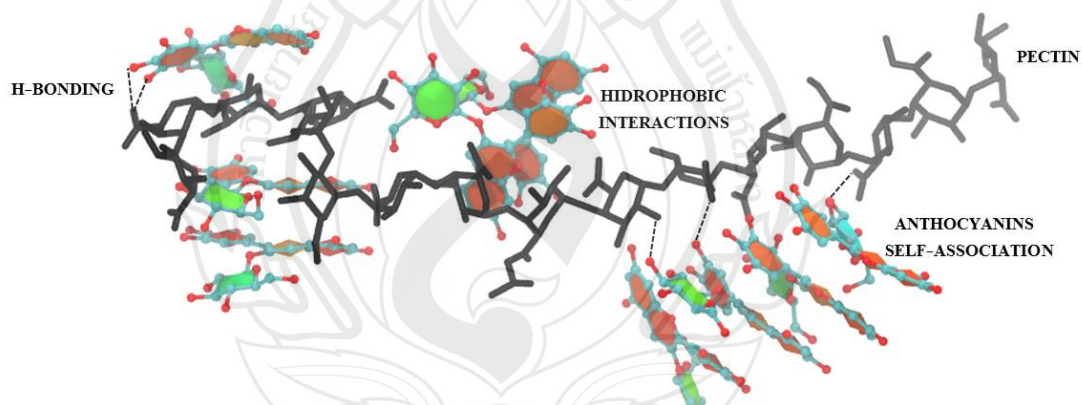
2.4.1 สารโคพิกเมนต์

สารโคพิกเมนต์มีหลายชนิดที่นำมาช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานินและใช้เป็นปัจจัยในวิธีการนำส่งสาร ซึ่ง Al-Khayri et al. (2022) ได้ทำการรวบรวมสารที่ใช้ในการเพิ่มความคงตัวของ

แอนโทไซยานินที่ได้จากพืชหลากหลายชนิดในหลายวิธีการ โดยสารโคพิกเมนต์ที่มีการนำมาใช้ส่วนมากจะเป็นกลุ่ม โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน และ ไขมัน ที่มีลักษณะเป็นโพลีเมอร์ เช่น เพคติน ไคโตซาน กัวร์กัม กัมอารบิก แชนแทนกัม และเวย์โปรตีน เป็นต้น

Fernandez et al. (2014) มีการทดลองนำ โพลีแซคคาไรด์ (เพคติน) และ คาเทชิน มาเป็นสารโคพิกเมนต์กับแอนโทไซยานินในไวน์แดง ดังภาพที่ 2.10 ได้ทำการจำลองโครงสร้างโมเลกุลให้เห็นการเชื่อมต่อของโครงสร้างระหว่างแอนโทไซยานินและเพคติน ด้วยวิธีอินเตอร์โมเลกูลา โคพิกเมนต์เทชั่น

Pang et al. (2024) เปรียบเทียบผลของโพลีแซคคาไรด์ กรดอินทรีย์ และคอลลอยด์ต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงพบว่า กลไกการทำงานของโคพิกเมนต์ กลุ่มโพลีแซคคาไรด์และกรดอินทรีย์: สร้างพันธะกับแอนโทไซยานินเกิดเป็น สารประกอบเชิงซ้อน ช่วยรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างโมเลกุล ส่วนกลุ่มคอลลอยด์ทำหน้าที่เป็น ชั้นป้องกัน ลดการสัมผัสระหว่างแอนโทไซยานินกับออกซิเจน ความชื้น และแสงจากภายนอกช่วยชะลออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ในการทดสอบนี้ใช้ ไคโตซาน โซเดียมอัลจิเนต กัวร์กัม เพคตินและแชนแทนกัมเป็นตัวทดสอบ



ที่มา Fernandez et al. (2014)

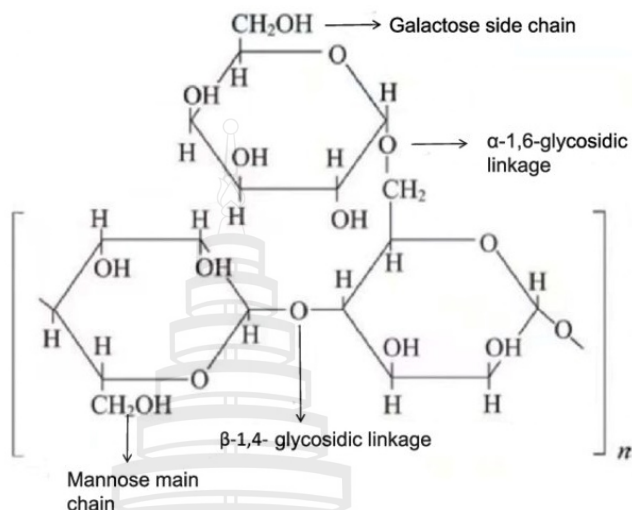
ภาพที่ 2.10 ภาพจำลองโครงสร้างโมเลกุลของการโคพิกเมนต์เทชั่นแอนโทไซยานินด้วยเพคติน

2.4.2 กัวร์กัม (Guar Gum)

กัวร์กัมผลิตมาจากเนื้อในเมล็ดถั่วกัวร์ ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและปากีสถาน เมื่อแกะเปลือกเมล็ดจากฝักถั่วกัวร์ คัดเมล็ดถั่วจากนั้นแกะเปลือกให้ไดัเมล็ดในก่อนจะนำไปเข้ากระบวนการแปรรูปเป็นผงกัวร์กัม

กัวร์กัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส (Mannose) ต่อกันด้วย

พันธะไกลโคไซด์ (Glycoside bond) ที่ตำแหน่ง เบต้า-1,4 และมีกิ่งแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) ซึ่งต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง แอลฟา-1,6 ทำให้กัวร์กัมมีคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำ นิยมใช้ในการเพิ่มความหนืด มีความคงตัวทั้งในสภาวะกรดและด่าง (Zhang et al., 2021)



ที่มา Zhang et al. (2021)

ภาพที่ 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม

กัวร์กัมสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวด้วยวิธีโคพิกเมนต์เทียบกับแอนโทไซยานินได้ de Almeida et al. (2018) มีการทดสอบใช้กัวร์กัมเป็นสารโคพิกเมนต์กับแอนโทไซยานิน เพื่อใช้ทดสอบความคงตัวจากความร้อนและวัดปริมาณแอนโทไซยานินรวม ทุก ๆ 2 วัน วันที่ 0, 2, 4, 6, 8, และวันที่ 10 โดยควบคุมอุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส แสงตามธรรมชาติขณะเก็บรักษา และทำโคพิกเมนต์เทียบกับกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1.25% ให้ผลดีที่สุดใแอนโทไซยานินที่มีการใช้เทคนิค Double emulsion ชนิด W/O/W นอกจาก Guar Gum จะช่วยเพิ่มความคงตัวต่ออุณหภูมิ

2.5 การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry)

การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) ซึ่งเป็นเทคนิคชนิดหนึ่งที่เหมาะกับการใช้ทำเอนแคปซูเลชั่น สารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้และสารจำพวกกลีเซอรอลที่ได้จากธรรมชาติ (Desai & Park, 2005) และรวมถึงสารที่ไวต่อความร้อน (heat sensitive materials) การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการระเหิดของน้ำแข็ง ซึ่งเป็นกลไกหลักของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยในขั้นตอนแรก คือ นำวัตถุดิบหั่นย่อยเป็นชิ้นเล็ก จากนั้นทำการแช่เยือกแข็งวัตถุดิบ เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์ของวัตถุดิบ

หลังจากนั้นกำจัดน้ำแข็งออกโดยการระเหิดไปเป็นไอน้ำทันทีโดยไม่ผ่านการละลาย ภายใต้สภาวะการทำให้แห้งต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะถูกกำจัดออกจากวัตถุดิบอย่างต่อเนื่องด้วยการรักษาความดันในตู้ให้ ต่ำกว่าความดันไอน้ำที่ผิวของน้ำแข็ง ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศ และกลั่นตัวบนขดลวดทำความเย็น (Fellows, 2000)

Macura et al. (2019) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (Air Drying) ที่มีผลต่อการคงตัวของแอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ในแครอทม่วง และติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษา 6 เดือน ผลปรากฏว่า การทำแห้งด้วยวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งสามารถคงปริมาณแอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ได้ดีกว่าวิธีแบบใช้ลมร้อน โดยแอนโทไซยานินที่ทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณลดลง 33% ในขณะที่การทำแห้งแบบใช้ลมร้อนมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงถึง 50% หลังจากเก็บรักษานาน 6 เดือนในอุณหภูมิห้อง

Enaru et al. (2021) และ Tan et al. (2021) ได้รวบรวมเทคนิควิธีการเอนแคปซูเลชันที่ใช้ในปัจจุบันไว้หลายวิธี เช่น เทคนิควิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying), เทคนิควิธีการทำแห้งสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying), ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Micro encapsulation), นาโนพาร์ติเคิล (Nanoparticle), ไลโปโซม (Liposome), นาโนอิมัลชัน (Nano emulsion), นาโนไลโปโซม (Nanoliposome) เป็นต้น

Nawawi et al. (2023) ได้นำเปลือกมังคุดสดมาเปรียบเทียบผลการทำแห้งด้วย 3 เทคนิควิธี คือ การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง, การทำแห้งด้วยตู้อบความร้อน และ การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ โดยนำเปลือกมังคุดสดไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -44 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง, ทำแห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 45 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ 31 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 40 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบของแอนโทไซยานิน ปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC), ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (TFC),ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และลักษณะสี ผลปรากฏว่า การทำแห้งวิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง วัดปริมาณแอนโทไซยานินได้ประมาณ 2.11 มิลลิกรัมต่อกรัม, ปริมาณฟีนอลิกรวม 94.05 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม (mg GAE/g) และ ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 621.00 มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชินต่อกรัม (mg CE/g) ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างอื่น

2.6 การใช้เทคนิคโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

การใช้เทคนิคโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับการทำแห้งสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยมีการใช้สารโคพิกเมนต์ร่วมกับการทำแห้งวิธีสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในแอนโทไซยานินที่ได้จากพืชที่แตกต่างกัน Tan et al. (2021) ได้รวบรวมผลการทดลองที่มีการใช้ทั้ง 2 เทคนิคควบคู่กัน โดยสารโคพิกเมนต์ที่นำมาใช้จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในเทคนิคการทำแห้งสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งด้วย เช่น การใช้กัวร์กัมเป็นสารโคพิกเมนต์ทดสอบกับเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งวิธีสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งกับแอนโทไซยานินจากผิวองุ่น (Kuck et al., 2016), เพคตินและเวย์โปรตีน เป็นสารโคพิกเมนต์ร่วมกับการทำแห้งวิธีสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งกับแอนโทไซยานินจากผิวองุ่น (Stănciuc et al., 2017)

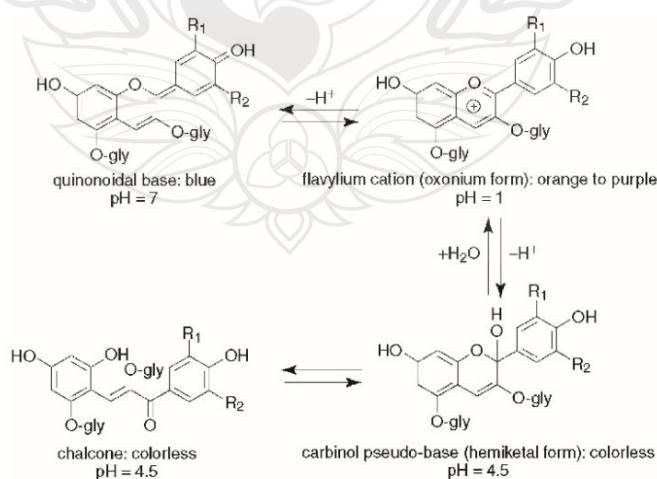
Yu and Lv (2019) ได้ทำการทดสอบความคงตัวของแอนโทไซยานินจากดอกกุหลาบ โดยเปรียบเทียบค่าการเสื่อมสลายของ แอนโทไซยานินในสารสกัดดอกกุหลาบ (Rose anthocyanin extract), สารสกัดดอกกุหลาบที่ทำการโคพิกเมนต์เทชั่นกับ กัมอารบิก (Gum arabic) และมอนโตเดกตริน (maltodextrin) แล้วทำแห้งด้วยเทคนิควิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และเทคนิควิธีสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ผลปรากฏว่า สารสกัดดอกกุหลาบที่ทำการโคพิกเมนต์เทชั่นด้วย กัมอารบิกและมอนโตเดกตริน ร่วมกับเทคนิควิธีสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง สามารถคงปริมาณของแอนโทไซยานินรวม และสารฟีนอลิกรวม ได้สูงที่สุด คือ 95.12 % และมีค่าการเสื่อมสลายจากการทดสอบอุณหภูมิที่ 70 , 80 และ 90 องศาเซลเซียสต่ำกว่า เมื่อเทียบกับเทคนิควิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในการทดสอบของ Sendri et al. (2023) การโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งของสารสกัดแอนโทไซยานินจากกระหล่ำปลีม่วง ใช้เทคนิคการทำสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ มอนโตรเด็กตริน กัมอารบิก แชนแทนกรัม และเพคติน เพื่อทดสอบความคงตัวภายใต้สภาวะต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน แสงแดด และความร้อน (80–160 องศาเซลเซียส) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินมีความคงตัวมากขึ้น และการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี L^* , a^* และ b^* เป็นต้น

2.7 หลักการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน

วิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH Differential) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total Anthocyanin) อรุษา เซาวนลิขิต (2554) ได้อธิบายหลักการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวม ด้วยวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล โดยอาศัยหลักของการวัดค่า การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ ในวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง สารสกัดจะถูกนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นสูงสุด ซึ่งสำหรับแอนโทไซยานินความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกดูดกลืนจะอยู่ในช่วง 490-550 นาโนเมตร โดยจะห่างจากสารฟีนอลิกอื่น ๆ ที่สามารถดูดกลืนได้ในช่วง 260-320 นาโนเมตร ทำให้สามารถวัดแอนโทไซยานินแยกจากสารฟีนอลิกได้

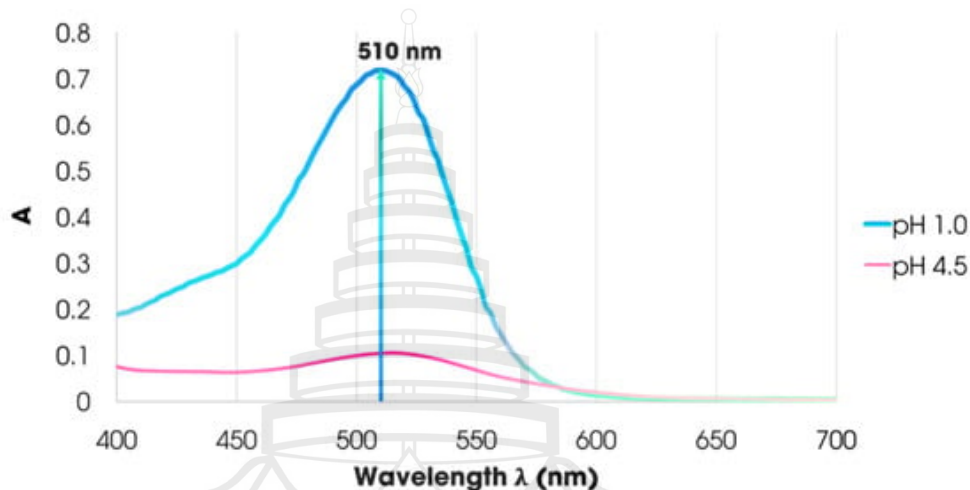
ดังนั้นวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียลจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นปัจจุบันเป็นวิธีการวัดปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่ได้รับความนิยมมากที่สุด วิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล เป็นวิธีที่พัฒนาจากการที่โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไปได้ตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไปเมื่อนำสารสกัดแอนโทไซยานิน ปรับ pH ให้เป็น 1.0 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 260-700 นาโนเมตร จะพบว่า แอนโทไซยานินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 460-560 นาโนเมตร และเมื่อปรับ pH ให้เป็น 4.5 การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวหายไป เนื่องจากที่ pH 1.0 โครงสร้างของแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปออกโซเนียม (Oxonium form) ซึ่งมีสี และที่ pH 4.5 โครงสร้างแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปเฮมิคีทอล (Hemiketal form) ซึ่งไม่มีสี ดังภาพที่ 2.12 ซึ่งในตัวอย่างมีสารอื่น ๆ ที่ดูดกลืนแสงช่วงเดียวกับแอนโทไซยานิน เมื่อเปลี่ยน pH เป็น 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารอื่น ๆ จะเท่าเดิมในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินจะหายไป



ที่มา Giusti and Wrolstad (2001)

ภาพที่ 2.12 ภาพแสดงโครงสร้างแอนโทไซยานินที่ค่า pH ต่างกัน

ดังนั้น การวัดด้วยวิธีนี้จะต้องวัดค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่นสูงสุด ที่ pH 1.0 และ 4.5 นำมาหักลบกันเพื่อกำจัดการดูดกลืนแสงจากสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน และการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรเพื่อหักลบค่าความขุ่นที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ดังภาพที่ 2.13 แสดงถึงกราฟค่าดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 1.0 และ pH 4.5



ที่มา Le et al. (2019)

ภาพที่ 2.13 กราฟค่าดูดกลืนแสงที่ pH 1.0 และ pH 4.5 ในช่วงความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร

เมื่อได้ค่าทั้งหมดสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวม ดังสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times l} \quad (1)$$

$$\text{โดย } A = (A_{\max} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{\max} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

= (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 - ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตร ของตัวอย่างที่ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0) - (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 - ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตร ของตัวอย่างที่ใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5)

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidine-3-glucoside เท่ากับ 499.2 g/mol

DF = dilution factor

ϵ = molar extinction coefficient 26,900 (l/mol.cm)

l = ความกว้างของคิวเวต (cm)

ข้อควรระวังของวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล คือ ควรมีการตรวจสอบ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ก่อนใช้เพราะการที่ pH สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานจะทำให้การวัดปริมาณแอนโทไซยานินไม่ถูกต้อง การเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ โดยใช้ปริมาตรตัวอย่างที่มากเกินไปอาจทำให้สารละลายบัฟเฟอร์ ไม่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างได้ จึงควรใช้ตัวอย่างไม่เกิน 20% ของปริมาตรทั้งหมด การวัดค่าการดูดกลืนแสงควรวัดหลังเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ในช่วงเวลา 15-60 นาที การทิ้งตัวอย่างไว้นานเกินไปจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น ถ้าตัวอย่างเป็นแอนโทไซยานินที่มีหมู่กรด (Acyl group) เป็นจำนวนมาก (Highly acylated anthocyanins) จะไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง pH เหมือนกับ แอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่กรด (Non Acyl group) หรือมีหมู่กรดเป็นจำนวนน้อย

เมื่อได้ปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากการคำนวณจากวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล สามารถทำการหาปริมาณแอนโทไซยานินรวม ในหน่วย มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (mg/100g fresh weight) ด้วยสูตรคำนวณ ดังสมการที่ (2) Rossi et al. (2022)

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

โดย C = ปริมาณแอนโทไซยานินรวม หน่วย มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (mg/100g fresh weight)

a = ปริมาณสารตัวอย่าง + บัฟเฟอร์ (มิลลิลิตร)

b = ปริมาณตัวทำละลายทั้งหมดที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

c = ปริมาณสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

d = น้ำหนักเนื้อเยื่อที่ใช้ในการสกัด (กรัม)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- | | | |
|-------|---------------------------|--|
| 3.1.1 | กระหล่ำปลีม่วงสด | โครงการหลวงแม่ขุนหลวง จังหวัดเชียงใหม่ |
| 3.1.2 | Potassium chloride | Qrec, New Zealand |
| 3.1.3 | Sodium acetate trihydrate | Supelco, Germany |
| 3.1.4 | Hydrochloric acid 37% | CARLO ERBA, Italy |

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- | | | |
|--------|---------------------------------|---|
| 3.2.1 | ตู้เย็น | Haier, China |
| 3.2.2 | เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง | XT 220A, Precisa, Switzerland |
| 3.2.3 | เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง | SP-2100, SUNTEX, Taiwan |
| 3.2.4 | เครื่องเขย่าคลื่นความถี่สูง | 690AE, CREST, USA |
| 3.2.5 | ชุดทำน้ำบริสุทธิ์ | 08.2063, TKA, Germany |
| 3.2.6 | เครื่องฟรีซดรายรุ่น | 50EC, Grisriantong, Thailand |
| 3.2.7 | อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ | TE-10D Tempunit, TECHNE, UK |
| 3.2.8 | เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง | V-530, JASCO, Japan |
| 3.2.9 | ตู้ดูดควัน | FH3, Flexlab, Thailand |
| 3.2.10 | ตู้อบลมร้อน | UF110, MEMMET, Germany |
| 3.2.11 | เครื่องระเหยสุญญากาศ | ปั๊ม A-1000S
Bath OSB-2000
Colling CCA-1110
EYELA, Japan |
| 3.2.12 | เครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติ | OHAUS, USA |

3.2.13 เครื่องปั่น	HGR-2000, Hibell Joy Life, South Korea
3.2.14 เครื่องวัดสี	CM-700d, KONOCA MINOLTA, Japan
3.2.15 Volumetric flask	Witeg, Germany
3.2.16 Pipette Tips	GILSON, France
3.2.17 กระดาษกรอง เบอร์ 1	Whatman, England

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

การวิจัยนี้ใช้กะหล่ำปลีม่วง ที่มีอายุการเพาะปลูก 21 สัปดาห์มาใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Ahmadiani et al. (2014) ทำการสกัดโดยดัดแปลงจากวิธีวิจัยของ Demirdöven et al. (2015) แกะใบทำความสะอาด สับและปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำกะหล่ำปลีม่วงที่ปั่นละเอียดมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 40% ในน้ำ (V/V) ในอัตราส่วน 3:1 (ตัวทำละลายต่อพืชโดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ที่ความถี่ 37 kHz อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 75 นาที นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองต่อด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือเป็น Crude Anthocyanin Extract นำสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงที่ได้ใส่ภาชนะและห่อฟอยด์ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำการทดลองหาปริมาณแอนโทไซยานินรวมและทดสอบความคงตัวในลำดับถัดไป

3.3.2 การเพิ่มความคงตัวของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

3.3.3.1 เพิ่มความคงตัว ในการวิจัยนี้ใช้เทคนิควิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมาเพิ่มความคงตัว ละลาย Crude Anthocyanin Extract ด้วยน้ำเพื่อให้ได้สารสำคัญออกมา นำไปแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง โดยก่อนนำเข้าทำแห้งเตรียมเครื่องทำการพรีฟรีซ (Pre Freeze) เพื่อทำการลดอุณหภูมิชั้นวาง เมื่อเครื่องพร้อมนำสารเข้าทำแห้ง โดยเริ่มจากกระบวนการทำแห้งปฐมภูมิ (Primary Dry) ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส และค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และเข้าสู่การทำแห้งทุติยภูมิ (Secondary Dry) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 29 ชั่วโมง จนได้ผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง นำไปเก็บรักษาบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึก

3.3.2.2 เพิ่มความคงตัวด้วยวิธีอินเตอร์โมเลกุลโคฟิเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ในวิจัยนี้ใช้ กัวร์กัม เป็นสารโคฟิเมนต์ เตรียมกัวร์กัม 1.25 % ในน้ำ (w/v) ผสมกับ Crude Anthocyanin Extract ที่ละลายด้วยน้ำ หลังจากนั้นนำไปทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งโดยนำสารละลายไปแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง โดยก่อนนำเข้าทำแห้ง เตรียมเครื่องทำการฟรีฟรีย (Pre Freeze) เพื่อทำการลดอุณหภูมิชั้นวางเมื่อเครื่องพร้อมนำสารเข้าทำแห้ง โดยเริ่มจากระบวนการทำแห้งปฐมภูมิ (Primary Dry) ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส และค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิไปจนถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และเข้าสู่การทำแห้งทุติยภูมิ (Secondary Dry) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 29 ชั่วโมง ได้ผงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคฟิเมนต์เทชั่นด้วยกัวร์กัมร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง นำไปเก็บรักษาบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึก

3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารแอนโทไซยานินรวมในกะหล่ำปลีม่วง

ใช้วิธี pH differential method ดัดแปลงวิธีของ อรุษา เชาวนลิขิต (2554) และ Demirdöven et al. (2015)

3.3.3.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 1.0 และเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 4.5

3.3.3.2 ชั่งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง 15 มิลลิกรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ 30 มิลลิลิตร ดึงสารละลายกะหล่ำปลีม่วงปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายกะหล่ำปลีม่วงไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวมดังสมการ

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

$$\text{โดยที่ } A = (A_{521} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{521} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$$

$$MW = 449.2 \text{ กรัมต่อโมล (cyanidin-3-glucoside)}$$

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

$$\epsilon = \text{Molar absorptivity } 26,900 \text{ L} \times \text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1} \text{ (cyanidin-3-glucoside)}$$

$$l = \text{pathlength; cm}$$

3.3.3.3 จากนั้นทำการหาแอนโทไซยานินรวมในหน่วย มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ด้วยสมการ (Rossi et al., 2022)

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

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

a = ปริมาณสารตัวอย่าง + บัพเฟอร์ (มิลลิลิตร)

b = ปริมาณตัวทำละลายทั้งหมดที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

c = ปริมาณสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

d = น้ำหนักเนื้อเยื่อที่ใช้ในการสกัด (กรัม)

3.3.4 ทดสอบความคงตัวทางความร้อน (Thermal Stability)

นำสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์ เทขึ้นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมาทำการทดสอบความคงตัวทางความร้อน ดัดแปลงจาก งานวิจัยของ de Almeida et al. (2018) และ Demirdöven et al. (2015)

3.3.4.1 เตรียมสารละลายบัพเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 1.0 และเตรียมสารละลายบัพเฟอร์โซเดียมอะซิเตต ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ที่ค่ากรด-ด่าง 4.5

3.3.4.2 ชั่งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งตัวอย่างละ 15 มิลลิกรัม ผสมในสารละลายบัพเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์และสารละลายบัพเฟอร์โซเดียมอะซิเตตที่เตรียมไว้ ตัวอย่างละ 30 มิลลิลิตร จากนั้นดึงสารละลายที่ได้ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร มาทำการเจือจางด้วย สารละลายบัพเฟอร์ตัวอย่างละ 50 มิลลิลิตร แบ่งสารละลายทั้ง 2 ตัวอย่างออกเป็นชนิดละ 13 ตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบความคงตัวทางความร้อน ตั้งแต่ 0 นาที ถึง 120 นาที โดยทำการวัดค่า ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาที ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส

3.3.4.3 ชั่งสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทขึ้นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ตัวอย่างละ 15 มิลลิกรัม ผสมในสารละลายบัพเฟอร์โพแทสเซียมคลอและสารละลายบัพเฟอร์ โซเดียมอะซิเตต ตัวอย่างละ 30 มิลลิลิตร จากนั้นดึงสารละลายที่ได้ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร มาทำ การเจือจางด้วยสารละลายบัพเฟอร์ตัวอย่างละ 60 มิลลิลิตร แบ่งสารละลายทั้ง 2 ตัวอย่างออกเป็น ชนิดละ 13 ตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบความคงตัวทางความร้อน ตั้งแต่ 0 นาที ถึง 120 นาที โดยทำ การวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาที ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส

3.3.4.4 นำผลการวัดค่าดูดกลืนแสงที่บันทึกทั้งหมด คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวม ด้วยสูตร ในข้อ 3.3.3 และทำการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลง

3.3.5 ทดสอบความคงตัวของสีที่มีผลมาจากอนุมูลอิสระและแสง

นำสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์ เทขึ้นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มาทดสอบวัดสีที่มีผลจากอนุมูลอิสระและแสงภายใต้ 4 สภาวะ ตั้งแต่สัปดาห์ 0 ถึง 4 โดยทำการบันทึกผลทุกสัปดาห์ด้วยเครื่องวัดสี ดังนี้

3.3.5.1 สภาวะที่ 1 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอนุมูลอิสระ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้อนุมูลอิสระห้อง

3.3.5.2 สภาวะที่ 2 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอนุมูลอิสระ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้ตู้ควบคุมอนุมูลอิสระที่ 50 องศาเซลเซียส

3.3.5.3 สภาวะที่ 3 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อนุมูลอิสระ 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน

3.3.5.4 สภาวะที่ 4 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคและนำใส่ไว้ในกล่องดำทึบแสง

3.3.5.5 นำค่าการวัดสี L^* , a^* , b^* และค่า ΔE ทั้ง 4 สภาวะ ที่ได้ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การเตรียมสารสกัดแอนโทไซยานิน

นำกะหล่ำปลีม่วง ที่มีอายุ 21 สัปดาห์ ไปล้างทำความสะอาด ปั่นละเอียดและผสมกับตัวทำละลายเอทานอล 40 % ในน้ำ (V/V) ในอัตราส่วน 3:1 (ตัวทำละลายต่อพืชโดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) เพื่อทำการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก ความถี่ 37 kHz ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 75 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบางและชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 หลังจากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ได้ Crude Anthocyanin Extract ตามภาพที่ 4.1 แสดงลำดับการเตรียม Crude Anthocyanin Extract จากนั้นละลาย Crude ด้วยน้ำเพื่อให้ได้สารสกัดออกมาแล้วนำไปทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ได้เป็นสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง



ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 4.1 กะหล่ำปลีม่วงสด 21สัปดาห์ (ก), กะหล่ำปลีม่วงปั่นละเอียด (ข), สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง (ค), Crude Anthocyanin extract (ง)

4.2 การเพิ่มความคงตัวของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

4.2.1 การเพิ่มความคงตัวด้วยเทคนิควิธีสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

ละลาย Crude Anthocyanin Extract ที่เตรียมไว้ด้วยน้ำ 100 มิลลิลิตรแล้วนำเข้ากระบวนการสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผลและลักษณะเป็นสารสีม่วงเข้ม ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณ Crude Anthocyanin Extract สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

การสกัด ครั้งที่	Crude Anthocyanin Extract สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง		
	ปริมาณน้ำหนักรวบรวมตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณน้ำหนักรวบรวม (กรัม)	% Yield
1	10	6.3	63
2	10	5	50
3	10	6	60
ค่าเฉลี่ย	10	5.77±0.68	57.67±6.81



ก



ข

ภาพที่ 4.2 Crude Anthocyanin extract ที่ละลายด้วย Deionized water (ก), สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (ข)

4.2.2 การเพิ่มความคงตัวด้วยวิธีอินเตอร์โมเลกุล่าโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับการสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

ละลาย Crude Anthocyanin Extract ด้วยน้ำ 100 มิลลิลิตรผสมกับสารละลายกัวร์กัม 1.25% ในน้ำ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผลและลักษณะเป็นสีม่วงสว่างกว่า ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ Crude Anthocyanin โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

การสกัด ครั้งที่	Crude Anthocyanin โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง		
	ปริมาณน้ำหนักรสตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณน้ำหนักรสแห้ง (กรัม)	% Yield
1	11.25	7	62.22
2	11.25	6	53.33
3	11.25	7	62.22
ค่าเฉลี่ย	11.25	6.67±0.58	59.26±5.13



ก



ข

ภาพที่ 4.3 แอนโทไซยานินที่ทำการโคพิกเมนต์ด้วยกั้วร็กัม (ก), สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำการโคพิกเมนต์เทชั่นแล้วนำไปสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (ข)

4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

นำสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวมด้วยวิธี pH differential และคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 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

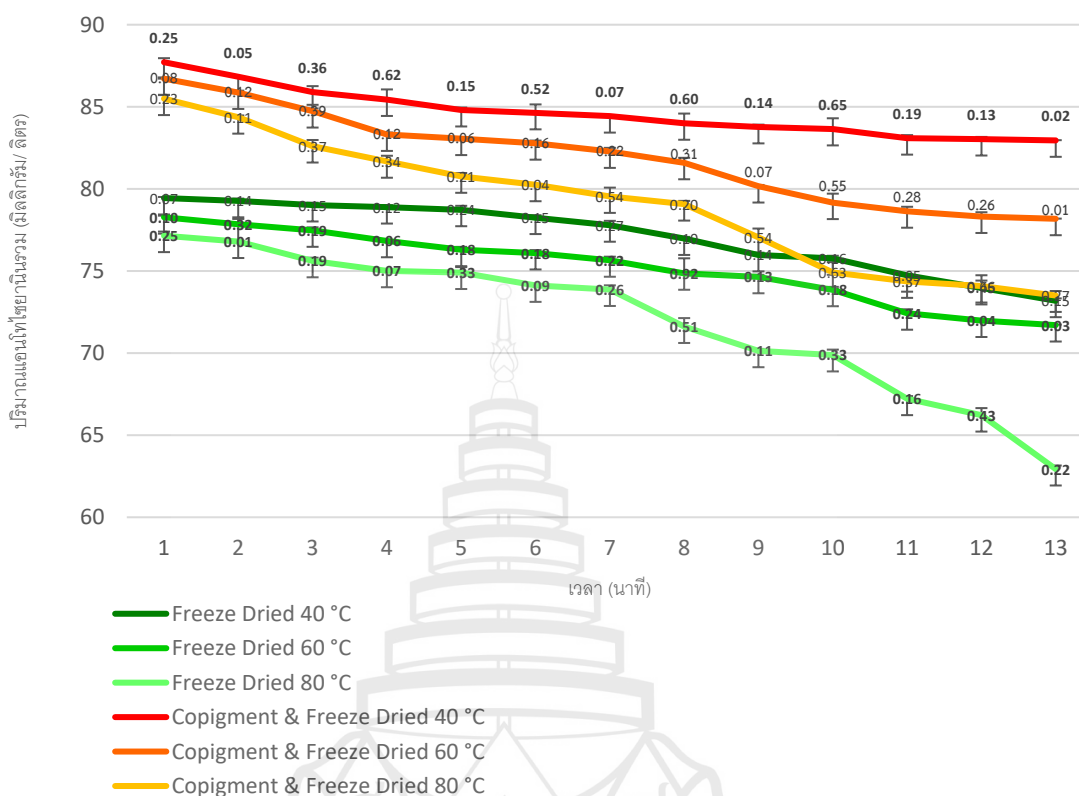
ในตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่า สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมเท่ากับ 79.44 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 190.66 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมเท่ากับ 87.72 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 210.52 ± 0.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด หรือ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งได้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่า 10.42%

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ปลูก 21 สัปดาห์ จากการทดลองกับงานวิจัยของ ดนัย บุญเกียรติ และคณะ (2552) ที่ปลูกเพียง 13 สัปดาห์ พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ปลูก 21 สัปดาห์และทำการสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมมากกว่า 33% และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมมากกว่า 47% และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ahmadiani et al. (2014) ที่มีการใช้กะหล่ำปลีม่วง ที่เพาะปลูก 21 สัปดาห์ ในพื้นที่ Integro ได้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุดที่ 188 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งน้อยกว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในการปลูกของโครงการหลวงแม่ปุนหลวง 21 สัปดาห์ อยู่ 1.4% ในการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและ 12% ในการทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อเปรียบเทียบการสกัดด้วยอัลตราโซนิคร่วมกับตัวทำละลายจากงานวิจัยของ Demirdöven et al. (2015) ได้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุดที่ 58.67 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งได้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมมากกว่า 35.4% และจากการทดลองแบบโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งได้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมมากกว่า 49.5%

4.4 การทดสอบความคงตัวทางความร้อนของแอมโมเนียไนโตรเจน ด้วยวิธี Thermal Stability

ผลการทดสอบความคงตัวทางความร้อนของสารสกัดแอมโมเนียไนโตรเจนจากกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ตั้งแต่ 0 นาที (ค่าเริ่มต้น) ถึง 120 นาที โดยทำการวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 521 และ 700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาที ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และกำหนดช่วงอุณหภูมิในการทดสอบที่ 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส จากภาพที่ 4.4 แสดงแผนภูมิเส้นจากภาคผนวกตารางที่ 1



ภาพที่ 4.4 การลดลงปริมาณแอนโทไซยานินรวมในการทดสอบความคงตัวทางความร้อน

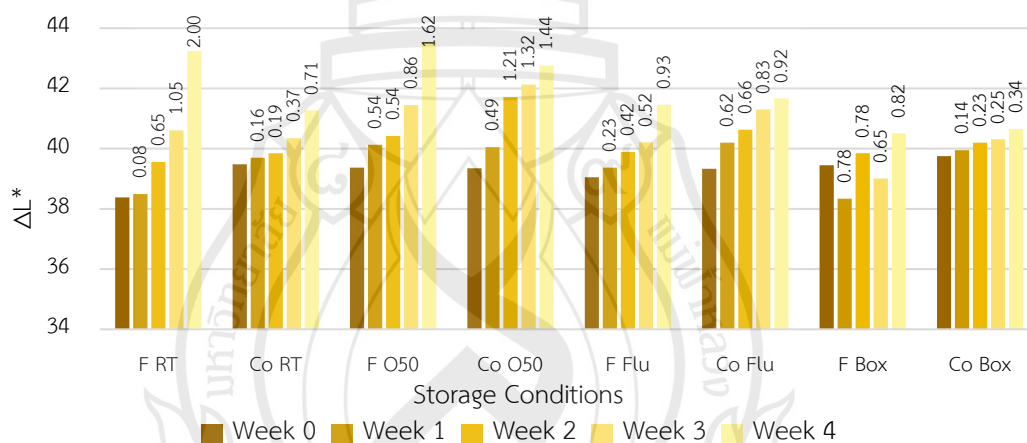
จากภาคผนวกตารางที่ 1 จะพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 87.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าแบบที่ทำสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวอยู่ 8.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่ากราฟของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบความคงตัวทางความร้อนนาน 120 นาที มีค่าการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินรวมต่ำที่สุด คือ 4.92 % และเมื่อวัดค่าทุก ๆ 10 นาที จนถึงนาทีที่ 120 จะพบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่วัดได้จากทั้ง 2 ตัวอย่าง มีอัตราการลดลงทั้งในระยะเวลาที่นานขึ้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยในนาทีที่ 120 ของอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งลดลงต่ำที่สุด 18.43 % และสารสกัดโคพิกเมนต์ร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งลดลง 14.04 %

จากผลการทดสอบความคงตัวทางความร้อนกับสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงทำสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และเทคนิควิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสฤญญากาศแบบแช่เยือกแข็งทั้ง 2 ตัวอย่าง มีการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินน้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Demirdöven et al. (2015) ซึ่งทดสอบด้วยวิธีการสกัดแบบเดียวกัน และทดสอบที่อุณหภูมิเดียวกัน การใช้เทคนิค

วิธีโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ให้ประสิทธิภาพการคงตัวดีกว่าการทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียว

4.5 การทดสอบการวัดสี

อุณหภูมิและแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง ทำการทดสอบสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง ใน 4 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง, ตู้ควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส, กล้องจำลองแสง 6500 เคลวิน 2300 ลูเมน และ ในกล่องดำทึบ โดยทำการวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , และ Delta E ตามหลัก CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี ได้ผลทั้งหมดตามแผนภูมิเปรียบเทียบทั้ง 4 สภาวะ บันทึกผลทุกสัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์



หมายเหตุ F RT: freeze dried room temperature, Co RT: copigmentation + freeze dried room temperature, F O50: freeze dried oven 50°C, Co O 50: 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 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ΔL^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

4.5.1 ค่าความสว่าง (L^*)

จากภาพที่ 4.5 แสดงผลของค่าความสว่าง (L^*) ของสารตัวอย่างทั้ง 4 สภาวะ ซึ่งแปลงจากค่าบันทึกใน ภาคผนวกตารางที่ 2 ดังนี้

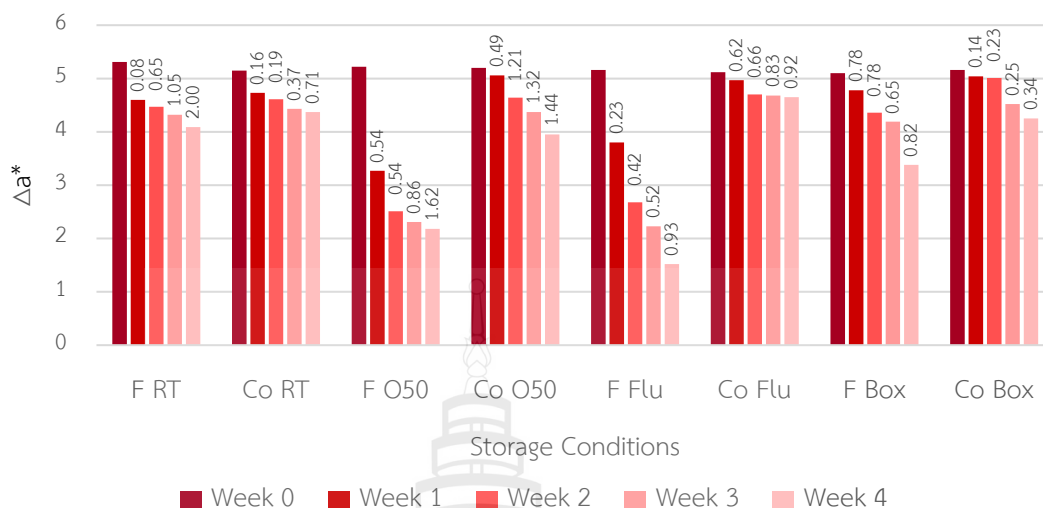
สภาวะที่ 1 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิห้อง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 คือ 38.49, 39.56 และ 40.61 ตามลำดับ และสูงขึ้นถึง 43.24 ในสัปดาห์ที่ 4 ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างสูงขึ้น ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ 39.7, 39.85, 40.35 และ 41.27 ตามลำดับ

สภาวะที่ 2 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยคือ 40.13, 40.42 และ 40.45 ในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และมีค่าสูงขึ้นถึง 43.56 ในสัปดาห์ที่ 4 ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 คือ 40.05, 41.71 และ 42.13 ตามลำดับ และค่าความสว่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสัปดาห์ที่ 4 คือ 42.76

สภาวะที่ 3 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลิสแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงคือ 39.37, 39.89, 40.21 และ 41.46 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นคือ 40.2, 40.63, 41.3 และ 41.67 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สภาวะที่ 4 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลิสและนำใส่ไว้ในกล่องทึบแสง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างคือ 38.34, 39.85, 39.01 และ 40.51 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยคือ 39.95, 40.2, 40.31 และ 40.65 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ

ค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้น จะพบว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างมากกว่าสารสกัดที่ไม่ได้ทำการโคพิคเมนต์เทชั่น เพราะค่าความสว่างมาจากสารโคพิคเมนต์ที่ผสมในสารสกัดส่งผลต่อการวัดสี แต่เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความสว่างจะพบว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิคเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง และในการทดลองนี้พบว่าตัวอย่างของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในกล่องดำทึบแสงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดตลอด 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง-สีเขียว (Δa^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

4.5.2 ค่าความเป็นสีแดง (a^*)

จากภาพที่ 4.6 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) แสดงการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันทั้ง 4 สภาวะซึ่งแปลงจากค่าบันทึกใน ภาคผนวกตารางที่ 3 ดังนี้

สภาวะที่ 1 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้อุณหภูมิห้อง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความเป็นสีแดงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ลดลงคือ 4.6, 4.47, 4.32 และ 4.09 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคฟิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงคือ 4.73, 4.61, 4.43 และ 4.37 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

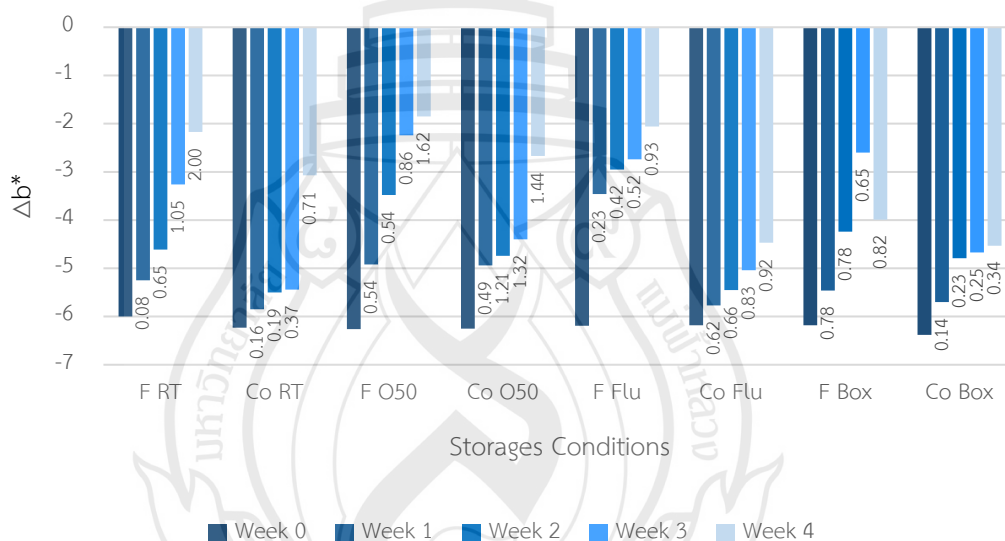
สภาวะที่ 2 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ 3.27, 2.51, 2.31 และ 2.18 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคฟิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ 5.06, 4.64, 4.37 และ 3.95 ตามลำดับซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงน้อยกว่า

สภาวะที่ 3 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 คือ 3.8, 2.68, 2.23 และ 1.52 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคฟิกเมนต์เทชั่นร่วมกับ

สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เพียงเล็กน้อยคือ 4.97, 4.7, 4.68, และ 4.65 ตามลำดับ

สภาวะที่ 4 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคและนำไปไว้ในกล่องทึบแสง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 มีค่าลดลงคือ 4.78, 4.36, 4.19 และ 3.38 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคฟิเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ค่าสีแดงลดลงคือ 5.04, 5.01, 4.52 และ 4.25 ตามลำดับ

ตลอดระยะเวลาทดสอบ 4 สัปดาห์ สภาวะกล่องดำทึบแสงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคฟิเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแช่เยือกแข็งมีค่าความเปลี่ยนแปลงสีแดงลดลงน้อยที่สุด และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีแดงลดลงมากที่สุดในสภาวะกล่องจำลองแสง



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสีน้ำเงิน-สีแดง (Δb^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

4.5.3 ค่าความเป็นสีน้ำเงิน (b^*)

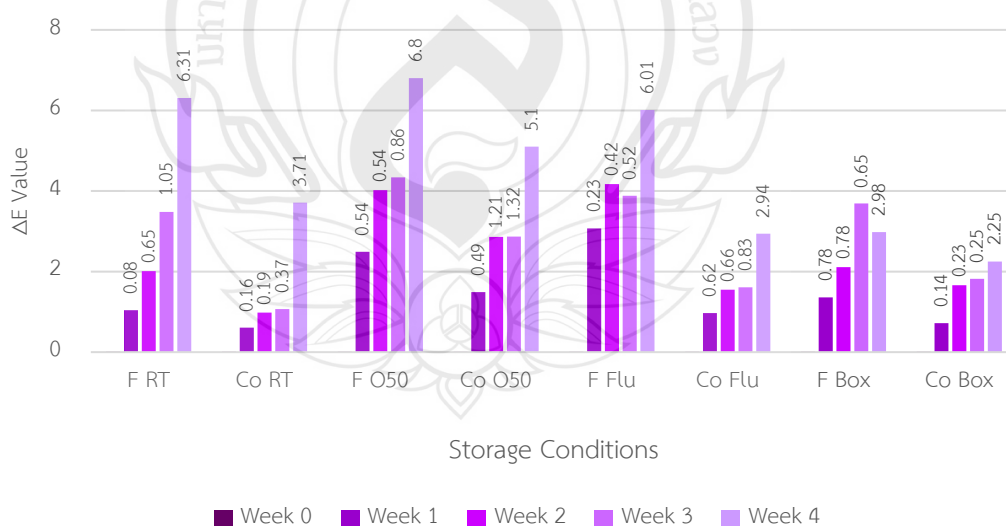
จากภาพที่ 4.7 พบว่า ในสภาวะอุณหภูมิห้องสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นใน 4 สภาวะ ซึ่งแปลงจากค่าบันทึกใน ภาคผนวกตารางที่ 4 ดังนี้

สภาวะที่ 1 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิห้อง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ -5.25, -4.61, -3.62 และ -2.17 ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคฟิเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นคือ -5.85, -5.5, -5.44 และ -3.07 ตามลำดับ

สภาวะที่ 2 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ คือ -4.92, -3.48, -2.24 และ -1.85 ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นเช่นกันในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ -4.94, -4.74, -4.4 และ -2.67 ตามลำดับ

สภาวะที่ 3 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลิสแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น คือ -3.46, -2.95, -2.74 และ -2.06 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ -5.77, -5.45, -5.04 และ -4.47 ตามลำดับ

สภาวะที่ 4 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปลิสและนำไปใส่ไว้ในกล่องดำที่บดแสง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าสีน้ำเงินมีการเปลี่ยนแปลงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ -5.46, -4.24, -2.6 และ -3.99 ตามลำดับ และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานภาพแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าสีน้ำเงินเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ -5.7, -4.79, -4.67 และ -4.53 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงใน 4 สภาวะ

4.5.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*)

จากภาพที่ 4.8 แสดงค่าเปลี่ยนแปลงของสีใน 4 สภาวะ ซึ่งแปลงจากค่าบันทึกใน ภาคผนวก ตารางที่ 5 ดังนี้

สภาวะที่ 1 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้อุณหภูมิห้อง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 คือ 1.04 และ 2.01 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไปไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า สัปดาห์ที่ 3 และ 4 มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ 3.48 และ 6.31 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 คือ 0.61, 0.98 ไม่สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า ไม่มีความแตกต่างในระดับผู้เชี่ยวชาญ และในสัปดาห์ที่ 3 มีค่า 1.07 ซึ่งไม่มีความแตกต่างของสีในระดับการรับรู้ของคนทั่วไป แต่มีการเปลี่ยนแปลงของสีจนสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าในสัปดาห์ที่ 4 ดังตารางที่ 4.4 วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสีได้ 3.71

สภาวะที่ 2 ทดสอบสารตัวอย่างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์วางไว้ภายใต้ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีในสัปดาห์ที่ 1 เพิ่มขึ้น 2.49 ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่าในระดับคนทั่วไป ในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเพิ่มขึ้น คือ 4.02 , 4.34 และ 6.80 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 คือ 1.49, 2.86 และ 2.87 ตามลำดับ ซึ่งไม่สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงในระดับคนทั่วไป และเพิ่มเป็น 5.10 ในสัปดาห์ที่ 4 จากตาราง 4.5 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

สภาวะที่ 3 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคแล้วนำไปเข้าตู้จำลองแสงด้วยหลอด LED ขนาด 19 วัตต์ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 คือ 3.07, 4.17, 3.88 และ 6.01 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าเปลี่ยนแปลงสีในสัปดาห์ที่ 1 วัดได้ 0.97 ซึ่งไม่มีความแตกต่างของสีในระดับการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสีได้ 1.55, 1.61, และ 2.94 ตามลำดับ ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับคนทั่วไป สามารถดูได้จากตารางที่ 4.6

สภาวะที่ 4 ทดสอบภายใต้การควบคุมแสง นำสารตัวอย่างบรรจุในถุงซิปล็อคและนำไปไว้ในกล่องทึบแสง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 คือ 1.36 และ 2.11 ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า แต่ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น คือ 3.69 และ 2.98 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่โคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีในสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 0.72 ซึ่งไม่มีความแตกต่างของสีในระดับการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ส่วนในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นเป็น 1.66, 1.82 และ 2.55 ตามลำดับ ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า ดังตารางที่ 4.7

จะพบว่าในสัปดาห์ที่ 1 มีเพียงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะอุณหภูมิห้อง, สภาวะจำลองแสง และสภาวะควบคุมแสงในกล่องทึบ มีค่า ΔE น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงไม่มีความแตกต่างของสีในการรับรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ในสัปดาห์ที่ 2 สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะตู้ควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส และสภาวะกล่องจำลองแสง เป็นสารตัวอย่างที่มีค่า ΔE มากกว่า 3 ซึ่งสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่าในระดับบุคคลทั่วไป ในสัปดาห์ที่ 3 สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีค่า ΔE น้อยกว่า 3 ไม่มีความแตกต่างของสีในระดับบุคคลทั่วไป ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าในทุกสภาวะ และในสัปดาห์ที่ 4 พบ 3 ตัวอย่างที่มีค่า ΔE น้อยกว่า 3 คือ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องดำทึบแสง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะตู้จำลองแสง และกล่องดำทึบแสง

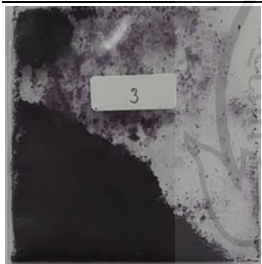
ตารางที่ 4.4 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมที่อุณหภูมิห้อง

สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 4	ผล
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นได้ว่าในสัปดาห์ที่ 4 สารสกัดมีลักษณะจับตัวกัน เหนียวและสีจางลงเล็กน้อยสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่า สารสกัดเป็นผงไม่จับตัวเป็นก้อน สีจางลงสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

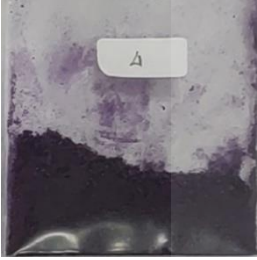
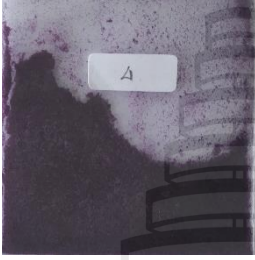
ตารางที่ 4.5 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส

สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 4	ผล
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่าสารสกัดมีลักษณะเป็นผงไม่จับตัวเป็นก้อน สีจางลงค่อนข้างชัดเจน สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่า สารสกัดมีลักษณะเป็นผง สีจางลงสามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 4.6 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมแสงที่ อุณหภูมิสี 6500 เคลวิน ค่าความสว่าง 2300 ลูเมน

สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 4	ผล
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่า สารจับตัวกันเป็นก้อน สีจางลงมีความสว่างขึ้นจนสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่าสารเป็นผง สีจางลงมีความสว่างขึ้นสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

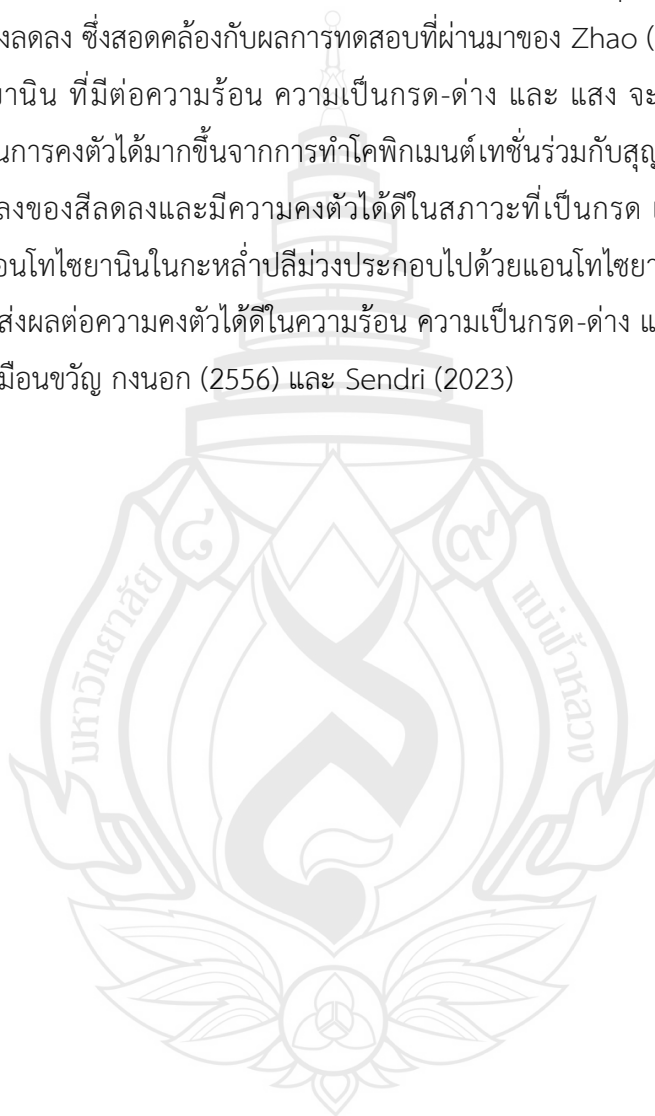
ตารางที่ 4.7 สภาวะการทดสอบภายใต้การควบคุมแสงในกล่องทึบแสง

สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 4	ผล
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่าสารจับตัวเป็นก้อน สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า
		สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง จากสัปดาห์ที่ 1-4 จะเห็นว่า สารสกัดเป็นผงมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

เมื่อเทียบผลการวัดค่าสีด้วย L^* , a^* , b^* และ ΔE กับข้อมูลการวัดสีและสังเกตด้วยตาเปล่า จะเห็นว่า เมื่อค่า L^* และ a^* มีค่าลดลง และค่า b^* มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สีของสารสกัดมีสีที่ซีดจางลง ยิ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากยิ่งทำให้ค่า ΔE มีค่ามากขึ้น โดยสัมพันธ์กับสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าซึ่งมีสีเกิดการเปลี่ยนแปลงซีดจางลง สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลง ค่า ΔL^* , Δa^* และ Δb^* น้อยกว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในทุกสภาวะ ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 สภาวะที่มีค่าการเปลี่ยนแปลง ΔL^* , Δa^* , Δb^* และ ΔE น้อยกว่า 1 ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีโดยไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่าในสภาวะที่มีค่า ΔE น้อยกว่า 3 ซึ่งเมื่อเทียบกับการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าสอดคล้องกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 4 มีเพียงสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องทึบแสง ที่มีค่า ΔE น้อยกว่า 3 ตามเกณฑ์การประเมินจะสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่ากลับพบว่า สารสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะกล่องทึบแสง ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่าได้ทั้ง 2 ตัวอย่าง

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

สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสปีคติกาสแบบแซ่เยือกแข็ง สามารถเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานินได้ โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของค่าการวัดสี CIELab ซึ่งจะมีค่าสว่าง (L^*) ค่า สีแดง (a^*) และค่า สีน้ำเงิน (b^*) มีการเปลี่ยนแปลงลดลง เป็นผลมาจากการโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นด้วยกัวร์กัม ทำให้โครงสร้างเกิดพันธะเพิ่มขึ้นและแข็งแรงมากขึ้น จากผลทดสอบทั้ง 4 สภาวะ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสี สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสปีคติกาสแบบแซ่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ผ่านมาของ Zhao (2020) ในเรื่องความคงตัวของแอนโทไซยานิน ที่มีต่อความร้อน ความเป็นกรด-ด่าง และ แสง จะพบว่าแอนโทไซยานินมีความสามารถในการคงตัวได้มากขึ้นจากการทำโคพิกเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับสปีคติกาสแบบแซ่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงของสีลดลงและมีความคงตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากโครงสร้างและองค์ประกอบแอนโทไซยานินในกะหล่ำปลีม่วงประกอบไปด้วยแอนโทไซยานินชนิดที่เป็นพันธะกรดมากกว่า 80% ส่งผลต่อความคงตัวได้ดีในความร้อน ความเป็นกรด-ด่าง และ แสง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เหมือนขวัญ กนกนอก (2556) และ Sendri (2023)



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการเตรียมสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงที่เพาะปลูก อายุ 21 สัปดาห์ ได้ผลผลิตของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง เท่ากับ $57.67 \pm 6.81\%$ โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมอยู่ที่ 79.44 ± 0.06 mg/l หรือ 190.66 ± 0.16 mg/100gFW และได้ผลผลิตของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง เท่ากับ $59.26 \pm 5.13\%$ โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมอยู่ที่ 87.72 ± 0.23 mg/l หรือ 210.52 ± 0.56 mg/100gFW

5.1.2 ผลการทดสอบความคงตัวของความร้อนของแอนโทไซยานิน 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%

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

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่มีอายุเพาะปลูก 21 สัปดาห์ให้ปริมาณแอนโทไซยานินรวมมากกว่าอายุเพาะปลูก 13 สัปดาห์ ซึ่งเป็นตัวเลือกที่สามารถต่อยอดในการรวบรวมวัตถุดิบให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นได้ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าทางภาคเกษตรกรรม อีกทั้งยังมีต้นทุนต่ำ กะหล่ำปลีม่วงจึงถือเป็นพืชที่มีศักยภาพในการสกัดแอนโทไซยานินเพื่อการอุตสาหกรรมในอนาคต

สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงทำโคพิกเมนต์เทศน์ร่วมกับสียูธูภาคแบบแซ่เยือกแข็ง และแบบที่ทำสียูธูภาคแบบเยือกแข็งเพียงอย่างเดียว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความคงตัวทางความร้อนได้ดีกว่าการเสื่อมสลายจากแสง แต่ก็ไม่มาก หากนำไปเปรียบเทียบกับการทำโคพิกเมนต์เทศน์ร่วมกับการทำสียูธูภาคแบบแซ่เยือกแข็งกับการทำสียูธูภาคแบบแซ่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวแล้ว การทำโคพิกเมนต์เทศน์ร่วมกับการทำสียูธูภาคแบบแซ่เยือกแข็งสามารถให้ประสิทธิภาพและต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ดีกว่าการทำสียูธูภาคแบบแซ่เยือกแข็งอย่างเดียวอย่างมีนัยยะสำคัญ และยังสามารถพัฒนาการใช้สารโคพิกเมนต์ชนิดอื่นให้เหมาะสมกับวัตถุดิบประสงค์ในอนาคตมีความหลากหลายกว่า

รายการอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2563). *การผลิตกะหล่ำปลี*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
<https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/01/การผลิตกะหล่ำปลี.pdf>
- ณิชกุล เทียนไทย, จตุรภัทร วาฤทธิ์, นักรบ นาคประสม และกาญจนา นาคประสม. (2563). การเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานินจากกระชายดำโดยใช้วิธีโคพิกเมนต์เทชั่น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(10), 1834-1844.
- ดนัย บุญยเกียรติ, พลกฤษณ์ มณีวรร และอุษาวดี ชนะสุด. (2552). รายงานวิจัย โครงการวิจัย อายุการวางจำหน่ายและสารต้านอนุมูลอิสระในผักโครงการหลวง. มูลนิธิโครงการหลวง.
- ปานฤทัย เมฆะ. (2564). การพัฒนาสารให้สีธรรมชาติจากดอกอัญชันด้วยเทคนิคโคพิกเมนต์เทชั่น (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา (นทพ) หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 16. (ม.ป.ป.). *กะหล่ำปลี (Cabbage)*. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2565, จาก
https://mdu16.rtarf.mi.th/www_new/images/work/2/1.Cabbage.pdf
- เหมือนขวัญ กงนอก. (2556). การใช้วิธีโคพิกเมนต์เทชั่นเพื่อเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุจากกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัน (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>

- Ananga, A., Georgiev, V., Ochieng, J., Phills, B., & Tsolova, V. (2013). Production of anthocyanins in grape cell cultures: A potential source of raw material for pharmaceutical, food, and cosmetic industries. In D. Poljuha, & B. Sladonja (Eds.), *The Mediterranean Genetic Code-Grapevine and Olive* (pp. 247-287). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/54592>
- Bienmanger. (n.d.). *Chou cabus rouge bio*. Retrieved July 18, 2022, from https://www.bienmanger.com/1F45310_Chou_Cabus_Rouge_Bio.html
- Cai, X., Du, X., Cui, D., Wang, X., Yang, Z., & Zhu, G. (2019). Improvement of stability of blueberry anthocyanins by carboxymethyl starch/xanthan gum combinations microencapsulation. *Food Hydrocolloids*, 91, 238-245.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, Ma. de L., Páez-Hernández, Ma. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>
- Chen, B. H., & Stephen Inbaraj, B. (2019). Nanoemulsion and nanoliposome based strategies for improving anthocyanin stability and bioavailability. *Nutrients*, 11(5), 1052. <https://doi.org/10.3390/nu11051052>
- Chen, Y., Wang, Z., Zhang, H., Liu, Y., Zhang, S., Meng, Q., & Liu, W. (2018). Isolation of high purity anthocyanin monomers from red cabbage with recycling preparative liquid chromatography and their photostability. *Molecules*, 23(5), 991. <https://doi.org/10.3390/molecules23050991>
- De Almeida Paula, D., Mota Ramos, A., Basílio de Oliveira, E., Mauricio 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>

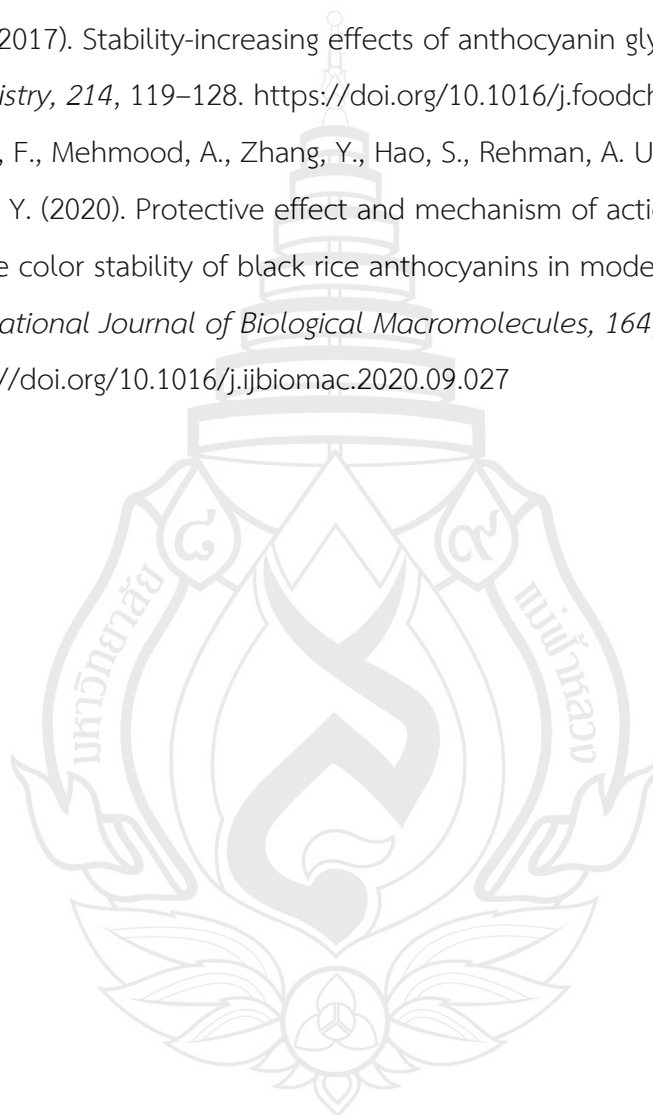
- Desai, K. G. H., & Jin Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7), 1361–1394.
<https://doi.org/10.1081/DRT-200063478>
- Dyrby, M., Westergaard, N., & Stapelfeldt, H. (2001). Light and heat sensitivity of red cabbage extract in soft drink model systems. *Food Chemistry*, 72(4), 431–437.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00251-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00251-X)
- Ekici, L., Simsek, Z., Ozturk, I., Sagdic, O., Yetim, H. (2014). Effects of temperature, time, and pH on the stability of anthocyanin extracts: Prediction of total anthocyanin content using nonlinear models. *Food Analytical Methods*, 7(6), 1328–1336. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9753-y>
- Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, T. D., Stanila, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 10(12), 1967. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
- Fang, S., Lin, F., Qu, D., Liang, X., & Wang, L. (2018). Characterization of purified red cabbage anthocyanins: Improvement in HPLC separation and protective effect against H₂O₂-induced oxidative stress in HepG2 cells. *Molecules*, 24(1), 124.
<https://doi.org/10.3390/molecules24010124>
- Fellows, P. (2000). *Food processing technology-principles and practice* (2nd ed.). Woodhead Pub., CRC Press. <https://doi.org/10.1201/NOE0849308871>
- 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>
- Freitas, P. A. V., Silva, R. R. A., de Oliveira, T. V., Soares, R. R. A., Junior, N. S., Moraes, A. R. F., Pires, A. C. d. S., & Soares, N. F. F. (2020). Development and characterization of intelligent cellulose acetate-based films using red cabbage extract for visual detection of volatile bases. *LWT*, 132, 109780.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109780>

- Gençdağ, E., Özdemir, E. E., Demirci, K., Görgüç, A., & Yılmaz, F. M. (2022). Copigmentation and stabilization of anthocyanins using organic molecules and encapsulation techniques. *Current Plant Biology*, 29(), 100238. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100238>
- Ghareaghajlou, N., Hallaj-Nezhadi, S., & Ghasempour, Z. (2021). Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems. *Food Chemistry*, 365, 130482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130482>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), F1.2.1–F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Jampani, Chandrasekhar; Raghavarao, K.S.M.S. (2015). Process integration for purification and concentration of red cabbage (*Brassica oleracea* L.) anthocyanins. *Separation and Purification Technology*, 141(), 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.024>
- 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>
- Le, X. T., Huynh, M. T., Pham, T. N., Than, V. T., Toan, T. Q., Bach, L. G., & Trung, N. Q. (2019). Optimization of total anthocyanin content, stability and antioxidant evaluation of the anthocyanin extract from Vietnamese *Carissa Carandas* L. fruits. *Processes*, 7(7), 468. <https://doi.org/10.3390/pr7070468>
- Macura, R., Michalczyk, M., Fiutak, G., & Maciejaszek, I. (2019). Effect of freeze-drying and air-drying on the content of carotenoids and anthocyanins in stored purple carrot. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, 18(2), 135–142. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0637>

- Mizgier, P., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Kolniak-Ostek, J., Kidoń, M., Fecka, I. (2016). Characterization of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of red cabbage and purple carrot extracts. *Journal of Functional Foods*, 21(), 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.004>
- 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>
- Pang, W., Zhao, H., Li, D., Li, Y., Liu, C., & Yu, R. (2024). The effects of polysaccharides, organic acids and colloids on the stability of anthocyanin in purple corn. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(), 1299-1313.
- Patras A. (2019). Stability and colour evaluation of red cabbage waste hydroethanolic extract in presence of different food additives or ingredients. *Food Chemistry*, 275, 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.100>
- Pieczykolan, E., & Kurek, M. A. (2019). Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 665-671. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.073>
- Prietto, L., Mirapalhete, T. C., Pinto, V. Z., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., Lim, L.-T., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2017). pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 492-500. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.03.006>
- 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>
- Rossi, G., Woods, F. M., & Leisner, C. P. (2022). Quantification of total phenolic, anthocyanin, and flavonoid content in a diverse panel of blueberry cultivars and ecotypes. *HortScience*, 57(8), 901-909. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16647-22>

- Salacheep, S., Kasemsiri, P., Pongsa, U., Okhawilai, M., Chindaprasirt, P., & Hiziroglu, S. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and bioactive compounds from butterfly pea petals using Taguchi method and Grey relational analysis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3720–3730. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04404-7>
- 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>
- Stănciuc, N., Turturică, M., Oancea, A.M. *et al.* (2017). Microencapsulation of anthocyanins from grape skins by whey protein isolates and different polymers. *Food Bioprocess Technol*, 10, 1715–1726. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1938-8>
- Tan, C., Dadmohammadi, Y., Lee, M. C. & Abbaspourrad, A. (2021). Combination of copigmentation and encapsulation strategies for the synergistic stabilization of anthocyanins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3164– 3191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12772>
- Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). Up-to-date analysis of the extraction methods for anthocyanins: Principles of the techniques, optimization, technical progress, and industrial application. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(2), 286. <https://doi.org/10.3390/antiox11020286>
- 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/10.1080/10942912.2019.1701011>
- Zhang, FX., Wang, GY., Huang, HY. *et al.* (2021). Terahertz absorption characteristics of guar gum determined via microfluidic technology. *Journal of European Optical Society-Rapid Publications*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s41476-021-00162-x>

- Zhang, J., Wang, Z., Liu, X. (2017). Characterization of acylated anthocyanins in red cabbage via comprehensive two-dimensional high performance liquid chromatography and HPLC-MS. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13129>
- Zhao, C. L., Yu, Y. Q., Chen, Z. J., Wen, G. S., Wei, F. G., Zheng, Q., Wang, C. D., & Xiao, X. L. (2017). Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. *Food Chemistry*, 214, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.073>
- 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>



ภาคผนวก

ผลทดสอบความคงตัวทางความร้อนและการวัดสี

ตารางที่ 1 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่ทดสอบความคงตัวทางความร้อน

เวลา (นาท)	สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)			สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง โคฟิกเมนต์เพิ่มขึ้นร่วมกับ สุญญากาศแบบแช่เยือกแข็ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	อุณหภูมิ			อุณหภูมิ		
	40	60	80	40	60	80
0	79.44±0.07	78.27±0.10	77.15±0.25	87.72±0.25	86.71±0.08	85.50±0.23
10	79.25±0.14	77.85±0.32	76.79±0.01	86.83±0.05	85.87±0.12	84.37±0.11
20	79.02±0.15	77.47±0.19	75.61±0.19	85.90±0.36	84.74±0.39	82.61±0.37
30	78.89±0.12	76.84±0.06	75.01±0.07	85.46±0.62	83.31±0.12	81.68±0.34
40	78.72±0.24	76.29±0.18	74.77±0.33	84.80±0.15	83.06±0.06	80.76±0.21
50	78.25±0.15	76.10±0.18	74.12±0.09	84.63±0.52	82.78±0.16	80.25±0.04
60	77.78±0.27	75.65±0.22	72.87±0.26	84.43±0.07	82.28±0.22	79.54±0.54
70	76.98±0.10	74.86±0.92	71.62±0.51	83.99±0.60	81.59±0.31	79.07±0.20
80	75.98±0.14	74.64±0.13	70.14±0.11	83.77±0.14	80.17±0.07	78.04±0.54
90	75.77±0.16	73.85±0.18	68.89±0.33	83.45±0.65	79.16±0.55	75.91±0.63
100	74.74±0.05	72.43±0.24	66.55±0.16	83.12±0.19	78.64±0.28	74.36±0.37
110	73.96±0.45	71.98±0.04	64.22±0.43	83.03±0.13	78.32±0.26	74.08±0.66
120	73.19±0.15	70.23±0.03	62.93±0.22	82.95±0.02	78.18±0.01	73.50±0.27
การ ลดลง (%)	7.87	10.27	18.43	4.92	9.84	14.04

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสุญญากาศแบบเยือกแข็ง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบเยือกแข็งใน 4 สภาวะ

L^*	0	1	2	3	4
F RT	38.38	38.49±0.08	39.56±0.65	40.61±1.05	43.24±2.00
Co RT	39.48	39.70±0.16	39.85±0.19	40.35±0.37	41.27±0.71
F O 50	39.37	40.13±0.54	40.42±0.54	41.45±0.86	43.56±1.62
Co O 50	39.35	40.05±0.49	41.71±1.21	42.13±1.32	42.76±1.44
F Flu	39.05	39.37±0.23	39.89±0.42	40.21±0.52	41.46±0.93
Co Flu	39.33	40.20±0.62	40.63±0.66	41.30±0.83	41.67±0.92
F Box	39.45	38.34±0.78	39.85±0.78	39.01±0.65	40.51±0.82
Co Box	39.75	39.95±0.14	40.20±0.23	40.31±0.25	40.65±0.34

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสุญญากาศแบบเยือกแข็ง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสุญญากาศแบบเยือกแข็งใน 4 สภาวะ

a^*	0	1	2	3	4
F RT	5.31	4.60±0.08	4.47±0.65	4.32±1.05	4.09±2.00
Co RT	5.15	4.73±0.16	4.61±0.19	4.43±0.37	4.37±0.71
F O 50	5.22	3.27±0.54	2.51±0.54	2.31±0.86	2.18±1.62
Co O 50	5.2	5.06±0.49	4.64±1.21	4.37±1.32	3.95±1.44
F Flu	5.16	3.80±0.23	2.68±0.42	2.23±0.52	1.52±0.93
Co Flu	5.12	4.97±0.62	4.70±0.66	4.68±0.83	4.65±0.92
F Box	5.1	4.78±0.78	4.36±0.78	4.19±0.65	3.38±0.82
Co Box	5.16	5.04±0.14	5.01±0.23	4.52±0.25	4.25±0.34

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นสื่อน้ำเงิน (b^*) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสัณฐานอากาศแบบเยือกแข็ง และ สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบเยือกแข็งใน 4 สภาวะ

b^*	0	1	2	3	4
F RT	-6	-5.25±0.08	-4.61±0.65	-3.26±1.05	-2.17±2.00
Co RT	-6.23	-5.85±0.16	-5.50±0.19	-5.44±0.37	-3.07±0.71
F O 50	-6.26	-4.92±0.54	-3.48±0.54	-2.24±0.86	-1.85±1.62
Co O 50	-6.25	-4.94±0.49	-4.74±1.21	-4.40±1.32	-2.67±1.44
F Flu	-6.19	-3.46±0.23	-2.95±0.42	-2.74±0.52	-2.06±0.93
Co Flu	-6.18	-5.77±0.62	-5.45±0.66	-5.04±0.83	-4.47±0.92
F Box	-6.18	-5.46±0.78	-4.24±0.78	-2.60±0.65	-3.99±0.82
Co Box	-6.38	-5.70±0.14	-4.79±0.23	-4.67±0.25	-4.53±0.34

ตารางที่ 5 ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (Delta E) ของสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำสัณฐานอากาศแบบเยือกแข็ง และสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงที่ทำโคพิกเมนต์เทชั่นร่วมกับสัณฐานอากาศแบบเยือกแข็งใน 4 สภาวะ

Delta E*	0	1	2	3	4
F RT	0	1.04	2.01	3.48	6.31
Co RT	0	0.61	0.98	1.07	3.71
F O 50	0	2.49	4.02	4.34	6.80
Co O 50	0	1.49	2.86	2.87	5.10
F Flu	0	3.07	4.17	3.88	6.01
Co Flu	0	0.97	1.55	1.61	2.94
F Box	0	1.36	2.11	3.69	2.98
Co Box	0	0.72	1.66	1.82	2.25

ประวัติผู้ประพันธ์

ชื่อ	บุษราคัม บุญประเสริฐ
ประวัติการศึกษา	
2544	ปริญญาตรี คณะเศรษฐศาสตร์ สาขาเศรษฐศาสตร์ระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ประวัติการทำงาน	
2561-2567	กรรมการผู้จัดการ บริษัท ดี อิมเพรสชั่น จำกัด กรุงเทพมหานคร
2559-2567	ผู้ถือหุ้น บริษัท ทวิงเกิ้ลอินเตอร์ฟู้ด จำกัด กรุงเทพมหานคร

