การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

โดย
นางสาวยุพาพร ผลาขจรศักดิ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-464-524-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EXTRACTION AND STABILITY OF ANTHOCYANINS

FROM MANGOSTEEN PEEL

By

Yupaporn Palakajornsak

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2004

ISBN 974-464-524-5

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด” เสนอโดย นางสาวยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิราวรรณ คงคล้าย)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่............เดือน.....................พ.ศ. ....

ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ
2. อาจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร
3. อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชูเกียรติ สอดศรี)
................../......................../...................

....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)
................/................/................

……………………………………กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)
……….…/…………/…………

....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)
.............../................/................

....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุษราภรณ์ งามปัญญา)
…………/…………../……………

K 45403205 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ : แอนโธไซยานินส์ การสกัด ความคงตัว มังคุด

ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ : การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด (EXTRACTION AND STABILITY OF ANTHOCYANINS FROM MANGOSTEEN PEEL) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : อ.ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ, อ.ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร และ อ.ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 103 หน้า.
ISBN 974-464-524-5

แอนโธไซยานินส์เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง ม่วง น้ำเงิน พบมากในดอกไม้ และผลไม้บางชนิด เช่น กระเจี๊ยบแดง ดอกอัญชัน และเปลือกมังคุด การนำแอนโธไซยานินส์ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะในการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุดโดยใช้ 1%HCl ใน 95% ethanol เป็นตัวทำละลาย โดยเปรียบเทียบปริมาณของแอนโธไซยานินส์ที่ได้จากเปลือกมังคุดบริเวณด้านนอกและด้านในของเปลือก ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลาย และเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ จากการทดลองพบว่า ส่วนด้านนอกของเปลือกมังคุดเป็นส่วนที่มีปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงกว่าส่วนด้านในของเปลือกมาก อัตราส่วนระหว่างเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลาย และเวลาในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมคือ 1:25 และเวลาในการสกัดน้อยที่สุดที่ให้ค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงสุดคือ 1 ชั่วโมง จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ แสง และเวลาพบว่า ที่พีเอชต่ำ (1.0) ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่พีเอชสูง (4.0) ที่อุณหภูมิต่ำ ($4\pm3^{\circ}$ซ) ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ($30\pm3^{\circ}$ซ) สภาวะที่ไม่มีแสงความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่มีแสง และความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งแสงและอุณหภูมิจะส่งผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในทางที่เสริมกัน กล่าวคือ สภาวะที่มีแสงและอุณหภูมิสูงความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะต่ำที่สุด ในสภาวะที่ไม่มีแสงและอุณหภูมิต่ำความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะมีค่าสูงที่สุด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนักศึกษา..

ลายมือชื่อ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ 1. .... 2. .... 3. ....………

K 45403205 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : ANTHOCYANINS/EXTRACTION/STABILITY/MANGOSTEEN

YUPAPORN PALAKAJORNSAK : EXTRACTION AND STABILITY OF ANTHOCYANINS FROM MANGOSTEEN PEEL. THESIS ADVISORS : PRASONG SIRIWONGWILAICHAT, Ph.D., ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN, Ph.D., AND EAKAPHAN KAEWMANEECHAI, Ph.D. 103 pp. ISBN 974-464-524-5.

Anthocyanins are pigment of red, purple and blue color, mainly found in some flowers and fruits such as roselle (*Hibuscus* sabdariffa Linn.), archan (*Clitorea ternatea* Linn.) and Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.). For application in the industry, study of optimum extracting condition is necessary. This study aims at determination of suitable conditions for anythocyanins extraction from mangosteen peel. Peel position (internal and external), peel/solvent ratio and leaching time are three variables assumed to affect the extracted yield. The results showed that external part of mangosteen peel contains higher anthocyanins than internal part of the peel. The peel/solvent ratio at 1:25 gave the highest yield. The maximum amount of extracted anthocyanins was found at extraction length of 1 hour. Effect of pH, temperature, light and time on stability of anthocyanins was also observed. Anthocyanins solution at low pH (1.0) was more stable than that at high pH (4.0), at low temperature ($4\pm3^{\circ}$c) was more stable than that at high temperature ($30\pm3^{\circ}$c) and at absence of light was more stable than that at present of light. Stability of anthocyanins decreased with increasing time of storage. Furthermore, temperature and light synergistically effected anthocyanins stability. Stability of anthocyanins was lowest at high temperature with light present while it was highest at low temperature with absence of light.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2004

Student's signature..

Thesis Advisors' signature 1. .... 2. .... 3. ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านการแก้ไขปรับปรุง เรียบเรียงจนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่มีความสมบูรณ์ที่สุด ซึ่งการทำวิจัยและการเรียบเรียงรูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้ไม่อาจสำเร็จได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อ.ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้แนวทางในการทำวิจัย และช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาเพื่อตรวจสอบและให้คำแนะนำ ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และบุคคลที่ขาดไม่ได้เลย คือ คุณธีระยุทธ-คุณกรรณิการ์ ผลาขจรศักดิ์และครอบครัว ที่ให้ทั้งกำลังใจ กำลังทรัพย์ สนับสนุนในทุกด้านจนวิทยานิพนธ์สำเร็จเป็นรูปเล่ม ตลอดจนกลุ่มบุคคลที่มีส่วนช่วยทำให้เกิดแรงใจและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยตลอดมา คือ พี่เจ้าหน้าที่และพี่นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน รุ่นพี่ เพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโททุกคน และผู้สนับสนุนทุนวิจัยทุกท่าน

ข้าพเจ้า นางสาวยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ ในนามของผู้ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวนามข้างต้นเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ
กิตติกรรมประกาศ ฉ
สารบัญตาราง ฌ
สารบัญรูป ฎ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.4 สมมติฐานของการศึกษา 3
1.5 ขอบเขตการศึกษา 4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา 4
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 มังคุด 5
2.2 แอนโธไซยานินส์ 7
2.2.1 การสกัดแอนโธไซยานินส์ 9
2.2.2 เสถียรภาพของแอนโธไซยานินส์ 14
3. วิธีดำเนินการวิจัย 28
3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ในการวิจัย 28
3.2 วิธีการทดลอง 29
3.2.1 ศึกษาการสกัดและการตรวจวัดปริมาณแอนโธไซยานินส์ จากเปลือกมังคุด 29
3.2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ จากเปลือกมังคุด 30

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

หน้า

บทที่

4. ผลการทดลอง 32

4.1 ศึกษาการสกัดและการตรวจวัดปริมาณแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด 32

4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด 37

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 52

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก 58

ภาคผนวก ก. วิธีการทดลอง 58

ภาคผนวก ข. รูปประกอบการทดลองและผลการทดลอง 62

ภาคผนวก ค. ตารางผลการทดลอง 66

ภาคผนวก ง. ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ 68

ประวัติผู้วิจัย 103

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมังคุดต่อน้ำหนักผล (เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลาต่างๆ ของผลที่อยู่บนต้น 6
2. น้ำหนักผล และร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผล 7
3. การเตรียมบัพเฟอร์ที่ pH 1-4 31
4. สัดส่วนของเปลือกมังคุด 32
5. ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกของมังคุด 33
6. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 40
7. ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 40
8. ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 41
9. ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 41
10. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 43
11. ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 43
12. ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 44
13. ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 44
14. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 46
15. ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 46

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่	**หน้า**

16. ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 3
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 47
17. ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 3
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 47
18. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 4
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 49
19. ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 4
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 49
20. ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 4
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 50
21. ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ pH 4
    เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน 50

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1. โครงสร้างของเกลือเฟลวิเลียม 8
2. โครงสร้างของแอนโธไซยานิดิน 8
3. ผลของโครงสร้างของแอนโธไซยานิดินที่มีต่อสีแอนโธไซยานินส์ 14
4. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานินส์เมื่อ pH เปลี่ยน 15
5. ผลของ pH ต่อความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ 16
6. ผลของออกซิเจนต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ 20
7. สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์กับ quercetin-5’-sulfunic acid 22
8. สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์กับกรดแอสคอร์บิค 23
9. สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-rutin 26
10. สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-caffeic acid 26
11. สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-catechin 27
12. ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนของเปลือกมังคุดด้านนอกและด้านใน 33
13. ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายต่างๆ ใช้เวลาในการสกัดนาน 1 ชั่วโมง 35
14. ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในเวลาต่างๆ 36
15. ค่าการดูดกลืนแสงของแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ ณ วันที่ 0 (เริ่มต้นการเก็บ) 37
16. ค่า a* ของแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ ณ วันที่ 0 (เริ่มต้นการเก็บ) 38

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้สีผสมอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารได้รับการยอมรับ เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และแสดงถึงเอกลักษณ์ของอาหาร จึงถือได้ว่า สีผสมอาหารเป็นองค์ประกอบหนึ่งในอาหารที่มีความสำคัญและขาดไม่ได้ ซึ่งสีผสมอาหารตามที่กระทรวงสาธารณสุข อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ คือ สีสังเคราะห์ และสีจากธรรมชาติ

อุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ใช้สีสังเคราะห์เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งสีสังเคราะห์นี้มีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณการใช้ เนื่องจากปริมาณของสีสังเคราะห์ หากมีมากเกินกว่าที่ร่างกายสามารถกำจัดออกได้ อาจก่อให้เกิดสารตกค้างและสะสมไว้ในร่างกาย จนถึงระดับที่อาจเกิดอันตรายต่อร่างกายได้ เช่น เกิดอาการแพ้ หรือเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอื่นๆ และถ้าสีสังเคราะห์ที่ไม่ได้มาตรฐาน อาจเกิดอันตรายเนื่องจากโลหะหนักหรือสารอื่นๆที่ปนเปื้อนมาด้วย ดังนั้นการใช้สีธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สีธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโธไซยานินส์ เป็นต้น แอนโธไซยานินส์ (anthocyanins) เป็นรงควัตถุชนิดหนึ่งที่ให้สีในช่วงตั้งแต่สีแดง ม่วงจนกระทั่งถึงสีน้ำเงิน พบมากในผัก ผลไม้ ดอกไม้ เช่น อัญชัน องุ่น เปลือกมังคุด เป็นต้น มังคุดเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมังคุดในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ซึ่งเปลือกมังคุดที่เหลือทิ้งหลังจากการบริโภคคิดเป็น 82% ของน้ำหนักผล (กวิศร์ และ สุรพงษ์, 2522) สามารถนำมาสกัดแอนโธไซยานินส์เพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารได้

ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรได้ จากการศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากแหล่งธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารโดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดพบว่าปริมาณของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย (Chiriboga และ Francis, 1970; Metivier และคณะ, 1980; Bronnum-Hansen และคณะ, 1985; สุภาพรรณ และ อรไท, 2529) อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด (Bronnum-Hansen และคณะ, 1986; รัตนา และ ระมน, 2532; เกียรติศักดิ์, 2535) ปริมาณของกรดที่ใช้ (Fuleki และ Francis, 1968; Metivier และคณะ, 1980; Bronnum-Hansen และคณะ, 1985; สุภาพรรณ และ อรไท, 2529) และเวลาในการสกัด (Chiriboga และ Francis, 1970; สุภาพรรณ และ อรไท, 2529; รัตนา และ ระมน, 2532) เป็นต้น ส่วนความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ขึ้นกับโครงสร้างของแอนโธไซยานินส์ (นิธิยา, 2539) ความเป็นกรด-ด่าง (Brouillard และ Delaport, 1977; Cabrita และคณะ, 2000) อุณหภูมิ (Darravingas และ Cain, 1965; Palamidis และ Markakis, 1975; Brouillard และคณะ, 1982; Maccarone และคณะ ,1985; Fossen และคณะ, 1998; Cabrita และคณะ, 2000; Morais และคณะ, 2002; เกียรติศักดิ์, 2535) ออกซิเจน (Darravingas และ Cain, 1965; Starr และ Francis, 1968) แสง (Jurd, 1972; Palamidis และ Markakis, 1975; Sweeny, 1981; Morais และคณะ, 2002) กรดแอสคอร์บิค (Starr และ Francis, 1968; Garcia และ Bridle, 1999; Choi และคณะ, 2002) เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการศึกษาสภาวะในการสกัดที่เหมาะสม และความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด และปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์เพื่อช่วยทำให้สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต การเก็บรักษา และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารให้เหมาะสมต่อไปได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาสภาวะในการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุดเพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดได้

1.2.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถผลิตสีผสมอาหารทดแทนสีสังเคราะห์ได้

1.3.2 ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตการเกษตรได้

1.3.3 ลดปัญหาราคาผลิตผลตกต่ำในบางฤดูกาล

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

1.4.1 ส่วนของเปลือกมังคุด อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เวลาที่วัตถุดิบสัมผัสกับตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้

1.4.2 pH ของสารละลาย อุณหภูมิการเก็บ ระยะเวลาในการเก็บ และแสงมีผลต่อความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ที่สกัดจากเปลือกมังคุด

1.5 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาสภาวะในการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุดที่ผลิตในประเทศไทยโดยเก็บตัวอย่างจากตลาดบางกอกน้อย ในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ปี พ.ศ. 2547 เก็บวัตถุดิบในสภาวะที่แช่แข็ง (-18°ซ) และทำการละลายก่อนนำมาสกัดโดยใช้ 1%HCl ใน 95% ethanol เป็นตัวทำละลายโดยมีการศึกษาผลของส่วนของเปลือกด้านนอกและเปลือกด้านใน อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 1:10, 1:25, 1:50, 1:100 และ 1:250 รวมถึงเวลาในการสกัดที่เวลา 2 นาที 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมงต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด และปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุดที่ผลิตในประเทศไทย โดยศึกษาในสภาวะที่มี pH ตั้งแต่ 1-4 ที่อุณหภูมิ $4\pm3^{\circ}$ซ และ $30\pm3^{\circ}$ซ ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมปริมาณแสง คือได้รับแสงและไม่ได้รับแสง สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์เมื่อเก็บเป็นเวลา 0, 1, 2, 5, 8, 15 และ 60 วัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1.6.1 ศึกษาปัจจัยการสกัดต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

1.6.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มังคุด

มังคุดเป็นไม้ผลเมืองร้อนพบมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ พม่าและไทย เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี เป็นที่นิยมชมชอบของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศจนได้รับนามว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูง เพราะนอกจากตลาดภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทั้งในรูปของผลสด และแช่แข็ง ทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายสิบล้านบาท

มังคุดมีชื่อสามัญว่า Mangosteen และชื่อพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn. ตระกูล *Guttiferae* ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นโตเต็มที่ 10-25 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 25-35 เซนติเมตร ใบเป็นแบบใบเดี่ยวขนาดใหญ่มีลักษณะคล้ายรูปไข่กว้าง 4.5-10 เซนติเมตร ยาว 12-23 เซนติเมตร ผลมีลักษณะเป็นแบบ berry ประกอบด้วยยอดของรังไข่ในดอก ห่อหุ้มด้วยกลีบเลี้ยง ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5–7 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มอมม่วงถึงสีม่วงเข้ม เปลือกหนาประมาณ 0.8–1 เซนติเมตร ผลมียางสีเหลืองเมื่อปอกเปลือกมังคุดจะเห็นกลีบสีขาวจำนวน 4-8 กลีบ แต่ละกลีบจะมีเมล็ดอยู่ภายใน 2-3 เมล็ดต่อผล เมล็ดมีความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร มีอยู่สายพันธุ์เดียว เรียกกันว่าพันธุ์พื้นเมือง เพราะมังคุดเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และเมล็ดมังคุดเจริญจากเนื้อเยื่อของต้นแม่ไม่ได้เกิดจากการผสมเกสร จึงแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย ลักษณะพันธุ์ เช่น ทรงต้น ใบ ผล รสชาติและขนาดของผลจะแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการปลูก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะมังคุดในประเทศไทย ซึ่งมีแหล่งที่ปลูก คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง พบว่ามีลักษณะดังนี้

มังคุดในภาคกลางและตะวันออก มีลักษณะโดยทั่วไปของใบค่อนข้างเรียว ผลขนาดเล็ก ส่วนขั้วผลจะเล็กและยาว เปลือกผลค่อนข้างบาง สีของกลีบที่ปลายขั้วผลมีสีแดง ผลเมื่อสุกจะมีสีม่วงดำให้คุณภาพของเนื้อดี ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน

ส่วนมังคุดภาคใต้ ลักษณะของใบจะอ้วนและป้อม ผลมีขนาดใหญ่กว่า ให้น้ำหนักผลดี ขั้วผลสั้น เปลือกหนา กลีบที่ปลายขั้วผลมีสีเขียวเข้ม ผลเมื่อสุกจะมีสีแดงอมชมพู ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ในเดือนกรกฎาคม-กันยายน ผลจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงได้ช้ากว่า ในช่วงการเก็บรักษาผลมังคุดจะเริ่มเปลี่ยนสีไป จนมีสีม่วงเข้ม หรือม่วงดำ ในระยะเวลาประมาณ 7 วัน ควรเก็บผลมังคุดไว้ในอุณหภูมิห้อง (25-30°ซ) การขนส่งและเก็บรักษาผลมังคุด ควรเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 13°ซ และถ้าบรรจุผลมังคุดในถุงพลาสติกเจาะรู จะทำให้มังคุดคงสภาพดีอยู่ได้ประมาณ 4 สัปดาห์ เมื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อของผลมังคุดในช่วงอายุต่างๆ จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วมากในช่วง 3-4 สัปดาห์ และหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 1 และน้ำหนักผลเฉลี่ย และร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผล จะขึ้นอยู่กับขนาดผล ดังตารางที่ 2 ซึ่งจะพบว่าเมื่อผลมังคุดมีขนาดใหญ่สัดส่วนของเปลือกจะน้อยลง แต่สัดส่วนของเมล็ดและเนื้อมีมากกว่า

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมังคุดต่อน้ำหนักผล (%) ในระยะเวลาต่างๆ ของผลที่อยู่บนต้น

อายุผล (สัปดาห์)	3	4	5	6	7
เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเนื้อ / น้ำหนักผล	6.06	13.10	17.24	17.21	17.81

ที่มา : กวิศร์ และ สุรพงษ์ (2522)

ตารางที่ 2 น้ำหนักผล และร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผล

ขนาดผล	น้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของ				จำนวนเมล็ดสมบูรณ์/ผล
		เปลือก	กลีบเลี้ยง	เมล็ด	เนื้อ	
ใหญ่	90.4	59.4	3.1	5.6	31.9	2
กลาง	54.2	61.7	4.8	2.8	30.7	1
เล็ก	43.5	61.9	5.1	2.2	30.8	0.8

ที่มา : กวิศร์ และ สุรพงษ์ (2522)

จากตารางที่1 จะเห็นว่า ส่วนที่เหลือนอกจากเนื้อมังคุด คือ น้ำหนักของเปลือกมังคุด ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 2 พบว่า ร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกสูงประมาณ 60% ดังนั้นถ้าสามารถนำส่วนเปลือกของมังคุดมาใช้ประโยชน์ได้ จะช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรและลดปริมาณขยะได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

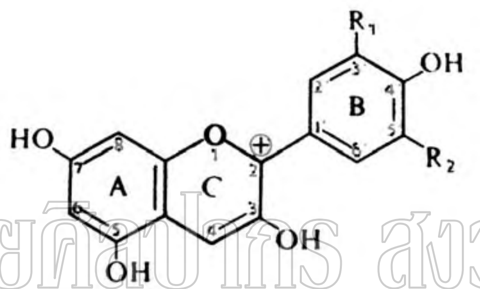
สารประกอบที่พบในเปลือกมังคุดมีด้วยกันหลายชนิดเช่น Xanthone, α- และ δ-mangostin, Polyphenols, Quinones, Tannin, Catechins, Polysaccharides, Stilbenes และ anthocyanins ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญและนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ แอนโธไซยานินส์ (anthocyanins) ที่พบในเปลือกมังคุด คือ cyanidin 3-sophoroside และ cyanidin 3-glucoside ซึ่งได้วิเคราะห์ด้วยวิธี TLC (Du และ Francis, 1977)

2.2 แอนโธไซยานินส์

แอนโธไซยานินส์เป็นรงควัตถุที่พบในผัก ผลไม้ ดอกไม้ ให้สีม่วงแดงไปจนถึงสีน้ำเงิน ละลายอยู่ใน Vacuole sap ของพืช (Vacuole sap เป็นส่วนหนึ่งที่เห็นได้ชัดที่สุดในเซลล์พืชที่มีอายุมาก โครงสร้างจะมีเนื้อเยื่อหุ้ม และภายในมีของเหลวบรรจุอยู่) ละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายใน non-hydroxyl solvents เช่น อีเทอร์ อะซีโตน คลอโรฟอร์ม และเบนซิน

แอนโธไซยานินส์เป็นสารประกอบในกลุ่ม flavonoids ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุล ประกอบด้วยวงแหวน เบนโซไพแรน (benzopyran) 2 วงต่อกับวงแหวนฟีนิล (phenyl ring) เป็นอนุพันธ์ของเกลือเฟลวิเลียม (flavylium salt) แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยส่วนที่เป็น aglycone (anthocyanidin) และน้ำตาล 1 หรือ 2 ตัว โดยปกติจะพบ free aglycone ในอาหารน้อยมาก ยกเว้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัว (degradation) ส่วนของน้ำตาลที่พบมาก มีอยู่ 5 ชนิด คือ glucose, rhamnose, galactose, xylose, arabinose

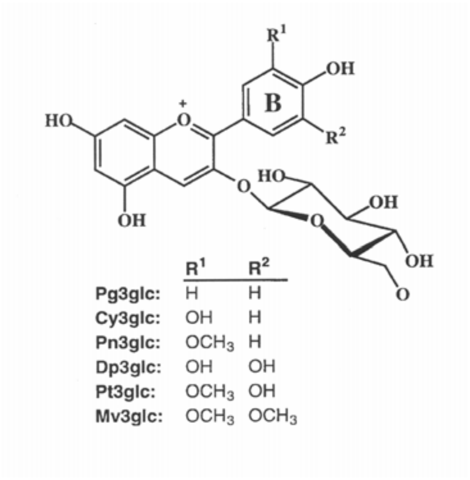
แอนโธไซยานิดิน แบ่งออกเป็น 6 ชนิด โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 1 โครงสร้างของเกลือเฟลวิเลียม

ที่มา : Chen and Hrazdina (1981)



Pg3glc : Palargonidin-3-glucoside

Cy3glc : Cyanidin-3-glucoside

Pn3glc : Peonidin-3-glucoside

Dp3glc : Delphinidin-3-glucoside

Pt3glc : petunidin-3-glucoside

Mv3glc : Malvidin-3-glucoside

รูปที่ 2 โครงสร้างของแอนโธไซยานิดิน

ที่มา : Cabrita และคณะ(2000)

2.2.1 การสกัดแอนโธไซยานินส์

วิธีการสกัดแอนโธไซยานินส์มีหลายวิธีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้ โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัด และทำการสกัดในสภาวะที่เป็นกรด ประสิทธิภาพในการสกัดแอนโธไซยานินส์จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัดหรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังต่อไปนี้

- **ชนิดของตัวทำละลาย**

Chiriboga และ Francis (1970) ได้สกัดแอนโธไซยานินส์จากกากของผล cranberry ด้วยตัวทำละลายต่างๆ ทั้งสิ้น 8 ชนิด ได้แก่ น้ำ, acetone, ethylene glycol, propylene glycol, isopropanol, methylethyl ketone, methanol และ ethanol พบว่า methanol และ ethanol มีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ และเมื่อใช้ร่วมกับสารละลายกรด 0.03% HCl ใน methanol จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้น แต่ถ้าต้องการนำใช้ไปในอาหาร ethanol จะได้รับความนิยมมากกว่า methanol เนื่องจากจะมีปริมาณสารที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยกว่า อีกทั้ง methanol มีความเป็นพิษสูงกว่าแม้จะตกค้างอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม นอกจากนี้ความชื้นของวัตถุดิบมากกว่า 20% ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Metivier และคณะ (1980) ศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดแอนโธไซยานินส์จากกากองุ่นที่เหลือจากการผลิตไวน์แดง โดยตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ methanol, ethanol และน้ำ พบว่า methanol เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด ซึ่งสูงกว่าการใช้ ethanol ร้อยละ 20 และสูงกว่าการใช้น้ำร้อยละ 73

Bronnum-Hansen และคณะ (1985) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากผล elderberry พบว่า ตัวทำละลายประเภท alcohol จะให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าการใช้สารละลายกรด (acidified water, 0.1 M HCl) แต่การสกัดด้วย alcohol จะมี solvent recovery ต่ำกว่า เนื่องจากตัวทำละลายประเภท alcohol จะเหลือใน filter cake สูง ส่งผลดีในระหว่างการกรอง

สุภาพรรณ และ อรไท (2529) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลายต่างกัน ได้แก่ 1%HCl ใน methanol, 1%HCl ใน ethanol และ 1%HCl ใน buthanol พบว่าการใช้ 1%HCl ในสารละลาย Alcohol ทั้ง 3 ชนิด จะมีประสิทธิภาพการสกัดดีกว่าการใช้ 1%HCl ในน้ำ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่าง Alcohol ทั้ง 3 ชนิด พบว่า 1%HCl ใน methanol จะมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด รองลงมาได้แก่ 1%HCl ใน ethanol และ 1%HCl ใน buthanol ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- **อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย**

อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีสำคัญในการสกัด เนื่องจากมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลาย ตลอดจนความเข้มข้นและปริมาณสุดท้ายของสารละลายที่สกัดได้

Bronnum-Hansen และคณะ (1986) ได้สกัดแอนโธไซยานินส์จากผล elderberry โดยแปรอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย (สารละลายกรด 0.1 M HCl) ในช่วง 2.5 ถึง 40 พบว่า ที่อัตราส่วนต่ำๆ คือ 2.5 ถึง 5 จะทำให้สารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ได้จากการสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูง แต่เปอร์เซ็นต์แอนโธไซยานินส์ในการสกัดครั้งแรกต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 50-60 และต้องสกัด 3-4 ครั้ง เพื่อให้ได้แอนโธไซยานินส์รวมใกล้เคียงร้อยละ 100 แต่เมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายสูงขึ้น

การสกัดครั้งแรกจะได้เปอร์เซ็นต์แอนโธไซยานินส์สูงถึงร้อยละ 90 แต่ปริมาตรรวมของสารละลายที่ใช้ก็จะเพิ่มด้วย ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องพิจารณา รวมถึงจำนวนครั้งในการสกัด และปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้

รัตนา และ ระมน (2532) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากกระเจี๊ยบแดงแห้ง โดยใช้ 0.1 M HCl ใน 95% ethanol สกัดด้วยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ 5 ระดับ ดังนี้ 5:1, 10:1, 15:1, 20:1 และ 25:1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 10:1

เกียรติศักดิ์ (2535) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากดอกอัญชันโดยใช้สารละลายกรด HCl ที่ pH 4.5 สกัดด้วยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ คือ 120:1, 120:2, 120:3, 120:4 และ 120:5 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 120:3

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- **ชนิดของกรดที่ใช้สกัดหรือค่าความเป็นกรด-ด่าง**

ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดได้เนื่องจากกรดส่งผลต่อ pH ของตัวทำละลายในการสกัด โดยที่กรดแก่จะมีคุณสมบัติในการย่อยผนังเซลล์สูง และทำให้ pH ของตัวทำละลายต่ำ ประสิทธิภาพการสกัดสูง

Fuleki และ Francis (1968) ได้สกัดแอนโธไซยานินส์จากผล cranberry ด้วยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายคือ 1:5 โดยใช้ ethanol เป็นตัวทำละลายแทน methanol เพราะ ethanol เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ และพบว่าสารละลาย 1.5 N HCl ใน ethanol (85:15 v/v) เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพการสกัดสูง และการใช้กรด HCl จะช่วยให้แอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากแอนโธไซยานินส์มีความคงตัวที่ดีในสารละลายที่เป็นกรด

Metivier และคณะ (1980) ศึกษาชนิดกรดที่มีผลต่อการสกัดแอนโธไซยานินส์จากกากองุ่นที่เหลือจากการผลิตไวน์แดง ชนิดของกรดที่ใช้ ได้แก่ HCl, citric, tartaric, formic, acetic และ propionic พบว่า การสกัดด้วยกรด HCl ความเข้มข้นร้อยละ 10 ใน methanol ให้ปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงสุด ส่วนการใช้กรดอินทรีย์ใน methanol พบว่าสารละลายกรด citric มีประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด รองลงมาคือ กรด tartaric, กรด formic, กรด acetic และกรด propionic ตามลำดับ ส่วนการใช้กรดอินทรีย์ในน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่า สารละลายกรด acetic มีประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด รองลงมาคือ citric, tartaric และ HCl ซึ่งปริมาณที่สกัดด้วยสารละลายกรดในน้ำจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการสกัดด้วยสารละลายกรดใน methanol และใน ethanol

Bronnum-Hansen และคณะ (1985) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากผล elderberry โดยใช้กรด citric และ HCl พบว่า กรด 0.1 M HCl มีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่า citric ที่ความเข้มข้น 0.01-10% เมื่อ citric มีความเข้มข้น 20% จะให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงเทียบเท่าของ HCl นอกจากนี้ราคาของ citric แพงกว่า HCl มาก จึงควรเลือกใช้ HCl เป็นกรดที่ใช้สำหรับสกัดแอนโธไซยานินส์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สุภาพรรณ และ อรไท (2529) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด โดยชนิดของกรดต่างกัน ได้แก่ HCl, H_2SO_4 และ H_3PO_4 ละลายในน้ำ ให้มีความเข้มข้น 1N พบว่าตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดแอนโธไซยานินส์ได้ดีที่สุด คือ 1N HCl และให้ค่า pH ต่ำที่สุด รองลงมาคือ H_2SO_4 และ H_3PO_4

- **เวลาที่ใช้ในการสกัด**

เวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่ได้ เนื่องจากเวลามีผลต่อการแพร่ (diffuse) ของแอนโธไซยานินส์ออกจากเซลล์เมมเบรนเข้าสู่สารละลาย

Chiriboga และ Francis (1970) ทำการศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากกาก Cranberry ด้วย 0.03%HCl ใน methanol สกัดเป็นเวลา 30 นาทีเปรียบเทียบกับ 30 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นจาก 19% เป็น 49% ตามลำดับ

สุภาพรรณ และ อรไท (2529) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด โดยทำการศึกษาที่เวลาในการสกัด 3 ระดับคือ 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะสามารถสกัดแอนโธไซยานินส์ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รัตนา และ ระมน (2532) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินส์จากกระเจี๊ยบแดงแห้ง โดยใช้ 0.1 M HCl ใน 95% ethanol สกัดเป็นเวลาในการสกัด 0, 0.5, 1, 2, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น

- **อุณหภูมิในการสกัด**

Chiriboga และ Francis (1970) ทำการศึกษาอุณหภูมิในการสกัดพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นจาก 25°ซ เป็น 50°ซ ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เนื่องจากแอนโธไซยานินส์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยความร้อน ทำให้เกิดการเสื่อมเสียไปเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการสกัดจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำ

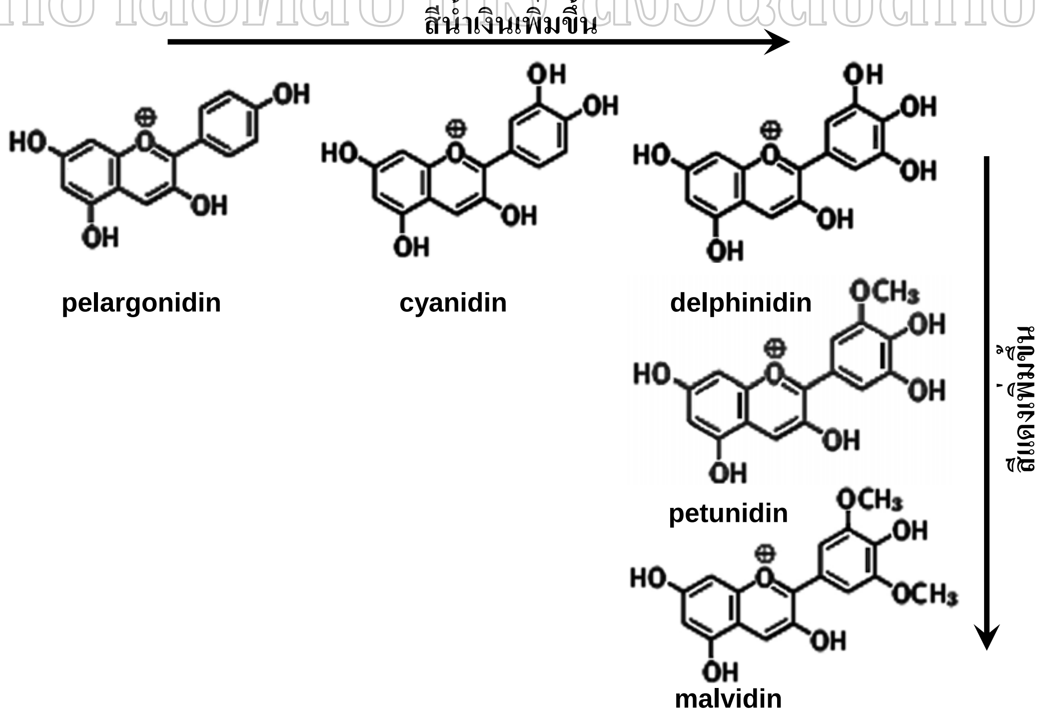
2.2.2 เสถียรภาพของแอนโธไซยานินส์

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ เช่น โครงสร้างของแอนโธไซยานินส์ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ออกซิเจน แสง กรดแอสคอร์บิค น้ำตาล และสารประกอบอื่นๆที่ก่อให้เกิด Co-pigment เช่น Flavone, Flavonones, flavonols, Coumarin, Cinnamic acid, Dihydrochalcone, flavan-3-ols เป็นต้น

- **โครงสร้างของแอนโธไซยานินส์**

โครงสร้างในส่วนของวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีของแอนโธไซยานินส์ เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย และการเพิ่มหมู่เมธอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3’ และ 5’ จะทำให้สีแดงเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



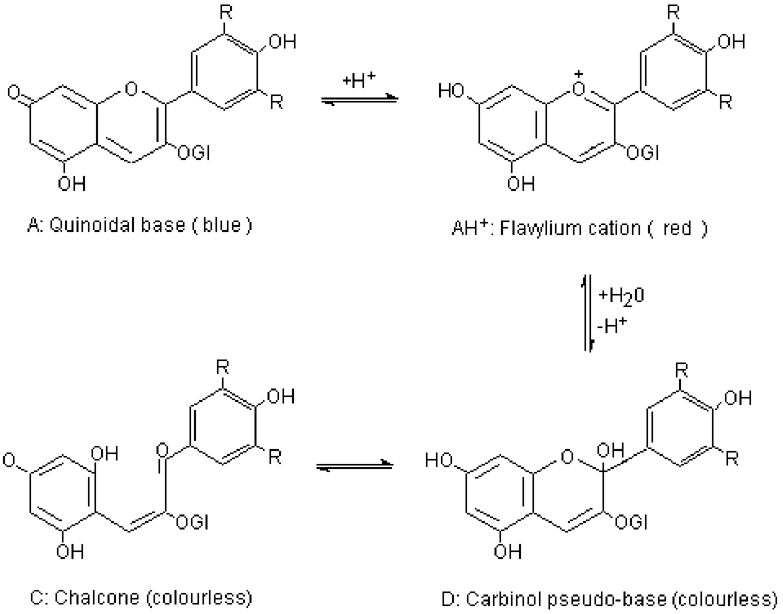
รูปที่ 3 ผลของโครงสร้างของแอนโธไซยานิดินที่มีต่อสีแอนโธไซยานินส์

ที่มา : นิธิยา (2539)

- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH)**

สีของแอนโธไซยานินส์เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของ pH ในตัวกลางนั้นๆ เมื่อแอนโธไซยานินส์อยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก (pH < 0.5) จะอยู่ในรูปของ flavylium cation (red) อยู่เพียงชนิดเดียว ซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดง เมื่อ pH สูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง ปริมาณ flavylium cation จะเริ่มลดลงเนื่องจากการเกิด hydration ไปเป็น carbinol base ซึ่งไม่มีสี ส่วนสมดุลระหว่างแอนโธไซยานินส์ที่อยู่ในรูปของ flavylium cation และ quinoidal base (anhydro base) จะเกิดสมดุลที่ pK = 4.25 ดังนั้นเมื่อแอนโธไซยานินส์อยู่ในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 4.5 ขึ้นไป หรืออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส จึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีสีและโครงสร้างของ quinoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีสีน้ำเงิน ทำให้สารละลายที่ได้มีสีน้ำเงินดังรูปที่ 4

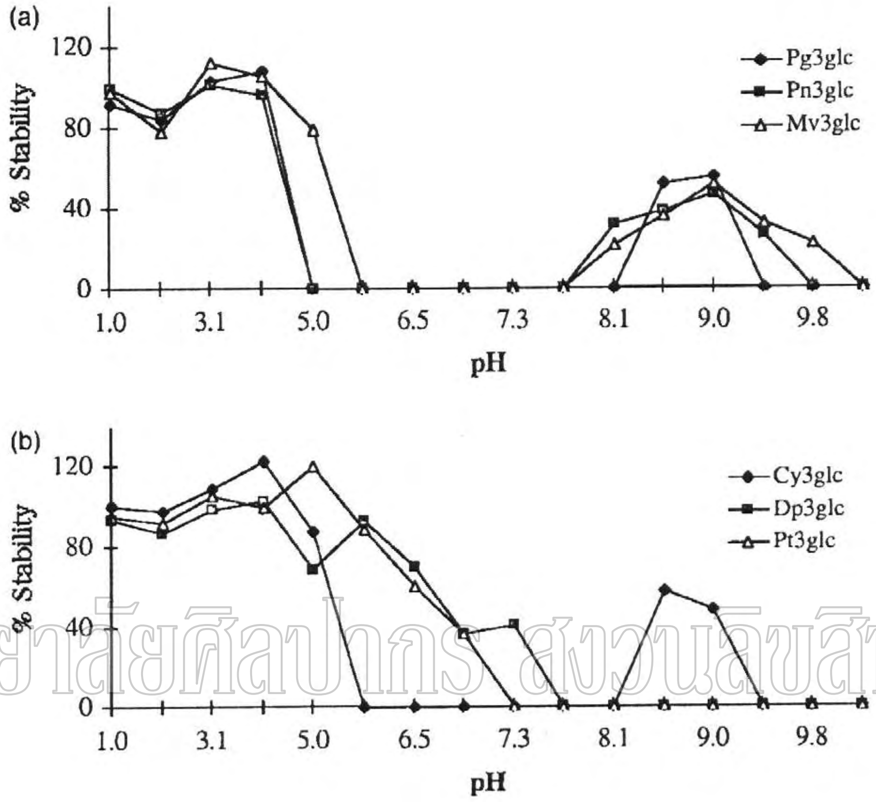
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานินส์เมื่อ pH เปลี่ยน

ที่มา : Brouillard และ Delaport (1977)

Cabrita และคณะ (2000) ศึกษาความตัวของสีแอนโธไซยานิดินทั้ง 6 ชนิดในสารละลายที่มี pH ต่างกันตั้งแต่ 1-12 นาน 60 วัน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Pg3glc หมายถึง pelargonidin-3-glucoside

Pn3glc หมายถึง peonidin-3-glucoside

Mv3glc หมายถึง malvidin-3-glucoside

Cy3glc หมายถึง cyanidin-3-glucoside

Dp3glc หมายถึง delphinidin -3-glucoside

Pt3glc หมายถึง petunidin-3-glucoside

รูปที่ 5 ผลของ pH ต่อความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์

ที่มา : Cabrita และคณะ (2000)

พบว่า แอนโธไซยานิดินที่ศึกษาทั้งสิ้น 6 ชนิด เป็นแอนโธไซยานิดินหลักที่พบมาก ได้แก่ pelargonidin, delphinidin, cyanidin, petunidin, peonidin และmalvidin จะมีความคงตัวในช่วง pH (1-5) ที่เป็นกรดสูง แต่เมื่อเข้าใกล้สภาวะที่เป็นกลางความคงตัวจะลดลงจนกระทั่งเกิดการสลายตัวหมด แต่มีแอนโธไซยานิดินบางชนิด เช่น pelargonidin, cyanidin, peonidin และ malvidin ความคงตัวจะเพิ่มขึ้นในสภาวะที่เป็นเบส (pH 7-10) ด้วยแต่ก็ไม่สูงเท่ากับในสภาวะที่เป็นกรด แสดงว่า ค่า pH แตกต่างกันส่งผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานิดินแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน โดยปกติ pH ต่ำซึ่งเป็นสภาวะที่เป็นกรดความคงตัวจะมากกว่าในสภาวะที่มี pH สูงซึ่งเป็นเบส

- **อุณหภูมิ**

มีการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยต่างให้ผลสรุปทั่วๆ ไป คือ แอนโธไซยานินส์จะถูกทำลายด้วยความร้อนระหว่างผ่านกระบวนการต่างๆและการเก็บรักษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Darravingas และ Cain (1965) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ใน canned red raspberries ที่เก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 21 และ 38°ซ เก็บเป็นเวลา 0, 30, 60 และ 90 วัน พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้น ปริมาณแอนโธไซยานินส์จะลดลง และในสภาวะที่อุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ลดลงมากขึ้น

Palamidis และ Markakis (1975) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในเครื่องดื่ม โดยเก็บที่อุณหภูมิ 10, 20 และ38°ซ ในที่มืด พบว่า อุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ลดลง

Brouillard และคณะ (1982) พบว่า การเกิดสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างโครงสร้างของแอนโธไซยานินส์ เป็นแบบดูดความร้อน สมดุลเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา

Blue quinonoid ↔ red Flavylium ↔ colorless Carbinol base ↔ colorless-chalcone

ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนสมดุลจะเลื่อนไปทาง chalcone ซึ่ง chalcone จะเปลี่ยนเป็น flavylium ช้าลง Brouillard พบว่า ถ้าเป็นแอนโธไซยานิดินชนิดเดียวกันแต่จำนวนน้ำตาลที่มาเกาะไม่เท่ากัน เช่น 3,5-diglycosides จะใช้เวลาในการเกิดสมดุลระหว่าง chalcone กับ flavylium ที่ 25°ซ นาน 12 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็น 3-glycosides จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้จะนานมากขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้) เนื่องจากการวัดความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดนั้นมักวัดเมื่อแอนโธไซยานินส์อยู่ในรูปของ flavylium ดังนั้นถ้าศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินส์ จะต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนของ chalcone ไปเป็น flavylium จนหมดก่อนวัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Maccarone และคณะ (1985) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในน้ำส้มที่เก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 25 และ 35°ซ พบว่า อัตราการเสื่อมเสียเกิดเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10°ซ

Fossen และคณะ (1998) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ (petanin และ Cyanidin-3-glucoside) ใน pH 1-9 เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 23°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 1, 2, 5, 8, 15 และ 60 วัน พบว่า ที่ทุกระดับ pH ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นทำให้ปริมาณของแอนโธไซยานินส์ลดลง ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินส์จะลดลงอย่างรวดเร็ว

Cabrita และคณะ (2000) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในสารละลาย buffer pH 1.0-11.5 เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ23°ซ เป็นเวลา 60 วันพบว่า ในทุกระดับ pH เมื่ออุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแอนโธไซยานินส์ลดลง

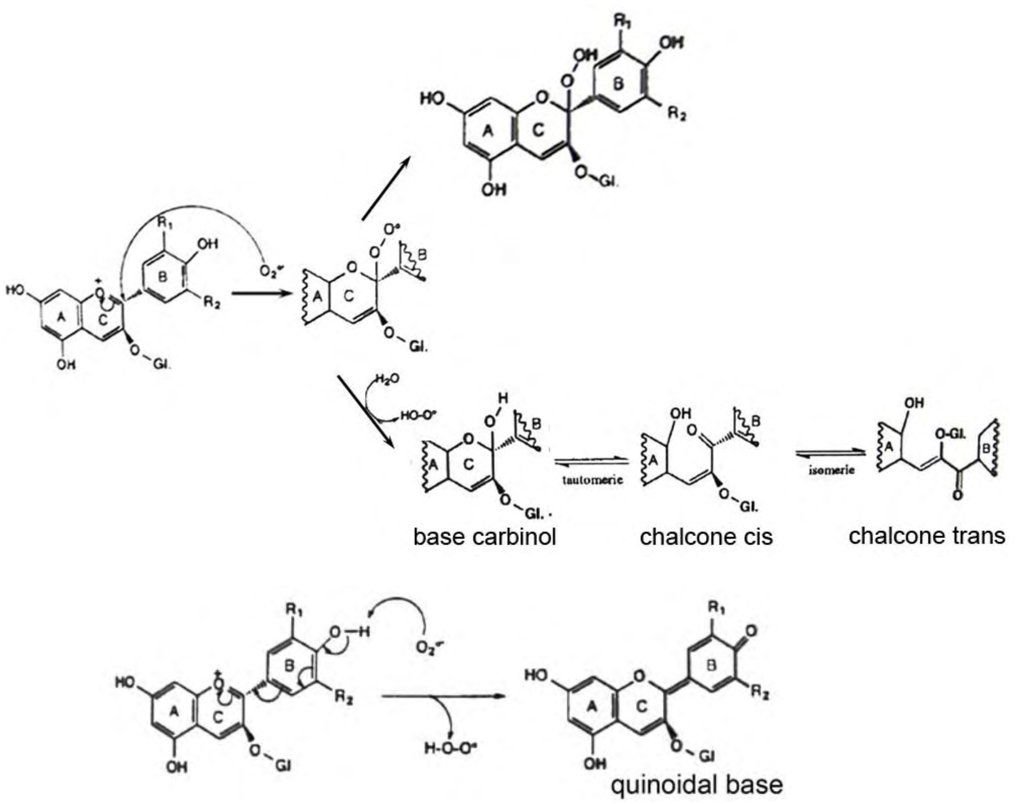
Morais และคณะ (2002) ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ โดยเก็บในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงเป็นเวลา 14 วันในอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 24, 32, 40°ซ พบว่า ที่สภาวะการเก็บเหมือนกัน อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินส์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเวลาเพิ่มขึ้น

เกียรติศักดิ์ (2535) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่ในสารละลาย HCl ที่ pH 4.5 โดยเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 4±1 และ30±1°ซ เป็นเวลา 63 วัน พบว่า อุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแอนโธไซยานินส์ลดลง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- **O_2 (ออกซิเจน)**

ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในสารละลายแอนโธไซยานินส์มีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น โดยที่โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแอนโธไซยานินส์ในตำแหน่งที่ C-2 หรือที่หมู่ hydroxyl group ของ B-ring ได้เป็น carbinol base หรือ chalcone หรือ quinoidal base ซึ่งมีผลทำให้ flavylium cation ลดลง สีแดงของสารละลายจึงลดลงดังรูปที่ 6 ทั้งนี้อัตราของการเกิดออกซิเดชั่นยังขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 6 ผลของออกซิเจนต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์

ที่มา : Saint-Gaulejac และคณะ (1999)

Darravingas และ Cain (1965) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ใน canned red raspberries ที่เก็บในสภาวะที่มี headspace gas เปรียบเทียบกับสภาวะสุญญากาศ และสภาวะที่มีไนโตรเจน พบว่า ในสภาวะที่มี headspace gas จะส่งผลทำให้แอนโธไซยานินส์ถูกทำลายได้มากกว่าอีก 2 สภาวะที่เหลือ ซึ่งทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวให้ผลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณออกซิเจนเล็กน้อยในส่วนของ headspace เหมือนกัน

Starr และ Francis (1968) ศึกษาผลของออกซิเจนต่อการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินส์ใน cranberry ถ้าเพิ่ม headspace oxygen จาก 0 เป็น 0.3 ml และ 2.0 ml ตามลำดับ เก็บเป็นเวลา 32 สัปดาห์ พบว่าในสภาวะที่มี headspace oxygen สูง

จะทำให้แอนโธไซยานินส์ใน cranberry เกิดการสูญเสียมากกว่าที่มี headspace oxygen ต่ำ นอกจากนี้ในสภาวะที่มีกรดแอสคอร์บิคร่วมด้วยจะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์จะมีค่าต่ำสุดในสภาวะที่มี headspace oxygen สูงที่สุด คือ 2.0 ml ร่วมกับกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 177 μg/ml

- **แสง**

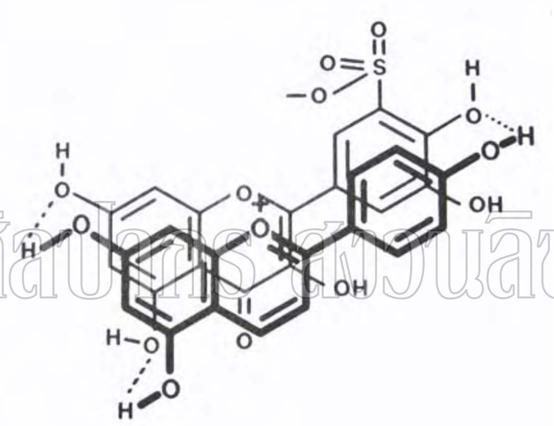
แสงจะให้ผลที่ตรงกันข้ามกันระหว่าง biosynthesis และการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินส์ โดยเฉพาะแอนโธไซยานินส์ที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 จะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงได้มากกว่าแอนโธไซยานินส์ที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน และการเกิด photo-oxidation ของแอนโธไซยานินส์จะให้ผลเหมือนกันแอนโธไซยานินส์ที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน ได้เป็น chalcone (เป็นโครงสร้างที่ไม่มีสี)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Jurd (1972) ได้ทำการศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินส์เป็นแบบ first order kinetic เนื่องจากการขาดอิเล็คตรอนของ flavylium cation จึงทำให้แอนโธไซยานินส์มีความไวต่อปฏิกิริยาสูงภายใต้สภาวะของการแปรรูป และสภาวะที่เก็บผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเป็นผลให้ได้สารประกอบ ซึ่งมีโครงสร้างและสีที่ไม่พึงประสงค์ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล

Palamidis และ Markakis (1975) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในเครื่องดื่ม เก็บที่อุณหภูมิ 20°ซ ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า ในสภาวะที่มีแสงทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ลดลง

Sweeny (1981) ศึกษาโดยใช้แอปเปิ้ล (พันธุ์ที่มีสีแดง) ซึ่งยังไม่โตเต็มที่และยังมีสีเขียวบ่มในที่มืด แอปเปิ้ลจะไม่เปลี่ยนเป็นสีแดง ส่วนการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินส์พบว่า polyhydroxylate flavone, isoflavone และ aurone sulfonates (เป็น copigment ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิด bathochromic shift ได้) มีส่วนในการทำให้แอนโธไซยานินส์มีความคงตัวน้อยลงเมื่อถูกแสง เนื่องจากการเกิดการก่อตัวของโมเลกุล ซึ่งเกิดจาก π-π ring interaction, H-bonding และ ionic bounding ระหว่าง sulfonate ซึ่งมีประจุลบกับ flavylium ซึ่งขาดอิเล็คตรอนดังรูปที่ 7



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

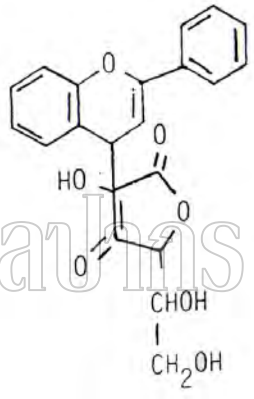
รูปที่ 7 สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์กับ quercetin-5’-sulfonic acid

ที่มา : Sweeny (1981)

Morais และคณะ (2002) ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ โดยเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสงและมีแสงเป็นเวลา 14 วันที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 24, 32 และ 40°ซ พบว่าที่สภาวะการเก็บเหมือนกัน อัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสง

● **กรดแอสคอร์บิค**

โดยปกติกรดแอสคอร์บิคสามารถเกิดการ oxidized ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน copper และ hydrogen peroxide ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการจางลงของสีแอนโธไซยานินส์ ดังนั้นจึงถือได้ว่ากรดแอสคอร์บิคเป็นเหมือนตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินส์ได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิคสามารถเกิดการ condensation กับแอนโธไซยานินส์ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัว และเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีต่อไป ดังรูปที่ 8



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 8 สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์กับกรดแอสคอร์บิค

ที่มา : Markakis (1982)

Starr และ Francis (1968) ศึกษาผลกระทบของกรดแอสคอร์บิคในผลิตภัณฑ์ cranberry cocktail พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิคเพิ่มขึ้นจาก 78 μg/ml ไปเป็น 177 μg/ml อัตราการสูญเสียของแอนโธไซยานินส์จะเพิ่มขึ้น

Garcia และ Bridle (1999) ศึกษาอิทธิพลของโครงสร้างต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์และเกลือ flavylium ด้วยกรดแอสคอร์บิค โดยได้ทำการศึกษาโดยเพิ่มกรดแอสคอร์บิคลงไปในแอนโธไซยานินส์ให้มีความเข้มข้นสุดท้าย 330 mg/l เปรียบเทียบกับแอนโธไซยานินส์ที่ไม่มีการเพิ่มกรดแอสคอร์บิค เก็บผลเป็นเวลา 0-18 วัน ปรากฏว่าอัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินส์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และอัตราการสูญเสียของแอนโธไซยานินส์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรดแอสคอร์บิคเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ส่วนเกลือ flavylium ก็ให้ผลเช่นเดียวกับแอนโธไซยานินส์ คือเมื่อมีกรดแอสคอร์บิคในองค์ประกอบจะทำให้เกิดการสลายตัวได้มากขึ้น มีผลทำให้ความคงตัวลดลง

Choi และคณะ (2002) ศึกษาผลกระทบของกรดแอสคอร์บิคในน้ำผลไม้และความคงตัวของรงควัตถุในน้ำส้มระหว่างการเก็บเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 สัปดาห์ โดยทำการเปรียบเทียบน้ำส้มที่มีและไม่มีการเติมกรดแอสคอร์บิค 23.1 mg/100 ml พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ลดลง และในสภาวะที่มีกรดแอสคอร์บิคจะทำให้แอนโธไซยานินส์เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าสภาวะที่ไม่มีกรดแอสคอร์บิค

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- **Co-pigment**

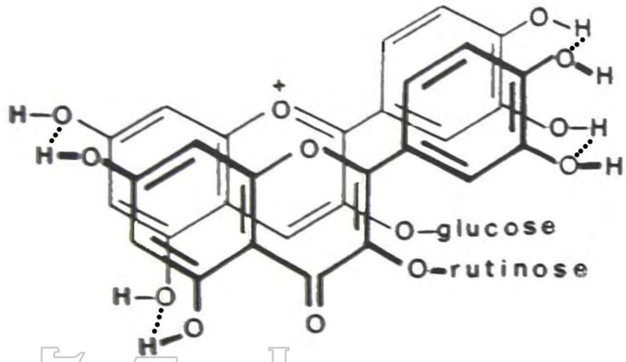
อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ คือ การเกิด co-pigment กับสารประกอบต่างๆ เช่น flavone, flavonol, Aurone, flavonone, Flavan-3-ols, Alkaloids และ Amino acids เป็นต้น ทั้งนี้อัตราการเกิด Co-pigmet ขึ้นอยู่กับชนิดของ Co-pigment ชนิดของแอนโธไซยานินส์ ความเข้มข้นของ Co-pigment และแอนโธไซยานินส์ด้วย

Asen และคณะ (1972) ศึกษาผลของ co-pigmentation ของแอนโธไซยานินส์ในเนื้อเยื่อพืช ที่ส่งผลต่อสี โดยใช้ Co-pigments หลายชนิด ได้แก่ Aurone (Aureusidin), Alkaloids (Caffeine, Brucine), Amino acids (Alanine, Arginine, Aspartic acid, Glutamic acid, Glycine, Histidine, Proline), Coumarin (Esculin), Cinnamic acid (Caffeic acid, Ferulic acid, Sinapic acid, Chlorogenic acid), Dihydrochalcone (Phloridzin), Flavan-3-ols [(+)-Catechin], Flavones (vitexin, isovitexin, swertisin), Flavonones (Hesperidin, Naringin), Flavonol (robinin, isoquercitrin, quercitrin, hyperin, rutin, quercimeritrin, xanthorhamnin) ความเข้มข้น 6×10^{-3} M ในสารละลาย Cyanidin-3,5-diglucosides เข้มข้น 2×10^{-3} M ที่ pH 3.32 พบว่า co-pigment ในกลุ่ม Aurone, Flovone, Flavonol ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงที่สุดเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ Flavonones, Dihydrochalcone, Flavan-3-ols, Coumarin, Cinnamic acid, Alkaloids และ Amino acids ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า co-pigment ทำให้ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์มีค่าสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของ co-pigment ที่ใช้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Scheffeldt และ Hrazdina (1978) ศึกษาผลของ rutin ต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ (Malvidin-3,5-diglucoside) ที่ pH 3.2 พบว่า เมื่อมี rutin ความเข้มข้น 1.2×10^{-2} M ในสารละลาย Malvidin-3,5-diglucoside ทำให้ความเข้มสีของสารละลายลดลงจากค่าสูงสุดเพียง 1.7 เท่า เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มี rutin จะลดลงถึง 11 เท่า หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 1 นาที

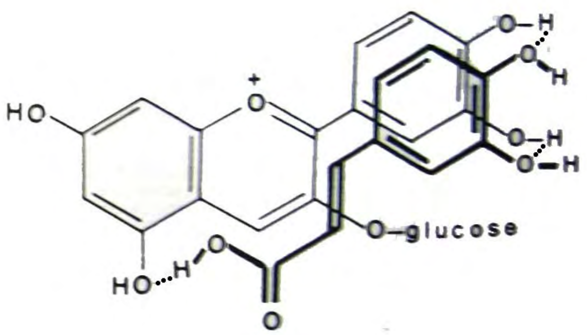
Maccarone และคณะ (1985) ศึกษาผลของ rutin และ caffeic acid ต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในน้ำส้ม พบว่าเมื่อเติม rutin 50 mg/100 ml และ caffeic acid 50 mg/100 ml ทำให้ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) มีค่า 75 และ 90 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการก่อตัวของสารประกอบที่มีความคงตัวสูงดังรูปที่ 9 และ 10



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 9 สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-rutin

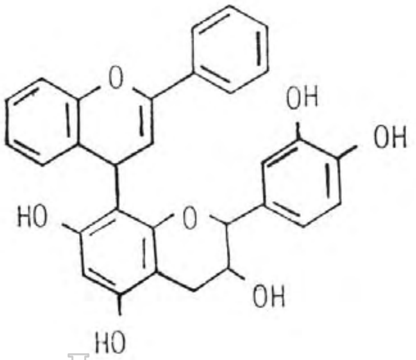
ที่มา : Maccarone และคณะ (1985)



รูปที่ 10 สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-caffeic acid

ที่มา : Maccarone และคณะ (1985)

เกียรติศักดิ์ (2535) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ โดยทำการเติมวัตถุเจือปนอาหารเพื่อช่วยในการรักษาเสถียรภาพของแอนโธไซยานินส์ คือ (+)-catechin, rutin และ caffeic acid ความเข้มข้น 80 mg/100ml เก็บที่อุณหภูมิต่ำ เป็นเวลา 98 วัน พบว่าความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงในสภาวะที่มี rutin, (+)-catechin และ caffeic acid ตามลำดับ สารประกอบที่มีความคงตัวสูงดังรูปที่ 11



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 11 สารประกอบระหว่างแอนโธไซยานินส์-catechin

ที่มา: Markakis (1982)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ เปลือกมังคุดที่ผลิตในประเทศไทยโดยรวบรวมมาจากตลาดบางกอกน้อย ในช่วงเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน ปี พ.ศ. 2547

3.1.2 สารเคมี
- Hydrochloric acid; HCl (BDH laboratory)
- Potassium chloride; KCl (APS Ajax Finechem)
- Potassium hydrogen phthalate; $KHC_6 H_4 (COO)_2$ (J.T. Baker)
- Potassium dihydrogen orthophosphate; KH_2PO_4 (Fisher Scientific)
- Sodium hydroxide; NaOH (Mallinckeodt Baker)
- 95% Ethanol
- น้ำกลั่น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.1.3 อุปกรณ์
- ปิเปต
- ขวดปริมาตร
- บีกเกอร์
- เทอร์โมมิเตอร์
- water bath
- เครื่องปั่น blender
- กระดาษกรองเบอร์ 1
- แท่งแก้ว
- suction flask
- อุปกรณ์ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
- เครื่อง vacuum rotary evaporator
- Round bottom (ขวดทรงกลม)
- UV-Vis spectrophotometer model Genesys 10 series (Rochester, NY USA)
- เครื่องวัดสี Tintometer model Lovibond PFX 19 (Wiltshire, England)
- เครื่อง PHM 210 Standard pH meter (Radiometer Analytical S.A., France)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาการสกัดและการตรวจวัดปริมาณแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด

การเตรียมและเก็บตัวอย่างเปลือกมังคุด

นำเปลือกมังคุดมาแยกส่วนเปลือกด้านนอกและด้านในออกจากกันดังรูปผนวกที่ 1 ในภาคผนวก ข. โดยใช้มีดหรือช้อนขูดตรงบริเวณรอยต่อของส่วนเปลือกด้านนอกและด้านใน เก็บในถุงซิปปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -18°ซ ก่อนทำการทดลองให้นำมาละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง บดเปลือกที่ผ่านการแยกด้วยเครื่องปั่น blender เป็นเวลา 30 วินาที เก็บในถุงซิปปิดสนิท

- คำนวนหา %เปลือกนอก และ %เปลือกในต่อน้ำหนักผล
- คำนวนหา %เปลือกนอก และ %เปลือกในต่อน้ำหนักเปลือกทั้งหมด
- หาความชื้นของเปลือกมังคุด (A.O.A.C., 1990 หมายเลข 925.10)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- **ตรวจสอบปริมาณแอนโธไซยานินส์จากส่วนนอกและในของเปลือกมังคุด**

นำเปลือกนอกและเปลือกในของมังคุดที่เตรียมไว้มาทำการสกัดตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Fuleki และ Francis, 1968a,b (ภาคผนวก ก.) คำนวณปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่ได้ตามวิธีของ Fuleki และ Francis, 1968a,b (ภาคผนวก ก.) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์หาปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดที่ได้ ประเมินผลเพื่อศึกษาช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด และเลือกส่วนของเปลือกมังคุดที่ให้ปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงสุด เพื่อนำไปศึกษาในตอนต่อไป

- **ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายในการสกัด**

ทำการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Fuleki และ Francis, 1968a,b (ภาคผนวก ก.) โดยแปรอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายในการสกัดต่างๆ คือ 1:10, 1:25, 1:50, 1:100 และ 1:250 ตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วนทำการสกัดจำนวน 3 ครั้ง สกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงทำการทดลองทั้งสิ้น 3 ซ้ำ เปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายแตกต่างกัน

- **ศึกษาผลของเวลาต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้**

ทำการสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Fuleki และ Francis, 1968a,b (ภาคผนวก ก.) ซึ่งเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ได้ข้างต้นมาทำการทดลองโดยแปรเวลาในการสกัด 5 ระดับ ดังนี้ 2 นาที 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์และประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ที่เวลาต่างๆกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

- **ศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ แสงและเวลา ต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้**

<u>การเตรียมสารตัวอย่าง</u>

ทำการสกัดแอนโธไซยานินส์ตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากตอนที่ 3.2.1

<u>การเตรียมบัพเฟอร์ (buffer)</u>

เตรียมบัพเฟอร์ตามวิธีของ Cabrita และคณะ (2000) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเตรียมบัพเฟอร์ที่ pH 1-4

pH	0.2 M KCl (ml)	0.2 M $KHC_6H_4(COO)_2$ (ml)	0.2 M HCl (ml)
1	25	-	67
2	50	-	13
3	-	50	22.3
4	-	50	0.1

หมายเหตุ ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 200 ml ด้วยน้ำกลั่น

ขั้นตอนการทดลอง

ศึกษาการวัดค่าสีและความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ตามวิธีของ Cabrita และคณะ (2000) โดยเตรียมสารสกัดแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุดให้มีความเข้มข้นของสารละลาย 40 mg/ml ปิเปตมา 10 ml ทำการระเหยด้วยเครื่อง vacuum rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 35°ซ ความดัน 70 mbar หมุนด้วยความเร็ว 80 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที หรือจนกว่าสารละลายจะแห้ง ละลายสารสกัดที่แห้งแล้วด้วยสารละลายบัพเฟอร์ที่เตรียมไว้ (ควบคุม pH โดยใช้ 0.2 M HCl หรือ 0.2 M NaOH เป็นตัวปรับ) ปรับปริมาตรสุดท้ายของทุกระดับ pH ให้ได้ 100 ml ความเข้มข้นสุดท้ายที่ได้มีค่า 4 mg/ml นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4±3°ซ และ 30±3°ซ ในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณแสง (ได้รับแสงและไม่ได้รับแสง) โดยเก็บในกล่องควบคุมแสงดังรูปผนวกที่ 2 ในภาคผนวก ข. ตรวจสอบความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดของแต่ละ pH วัดค่าของสีในระบบ L*a*b* ด้วยเครื่อง Tintometer ตามวิธีของ Garcia และ Bridle (1999) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เปรียบเทียบความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH ตั้งแต่ 1-4 ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง และที่อุณหภูมิ 4±3°ซ และ 30±3°ซ หลังจากเก็บเป็นเวลา 0, 1, 2, 5, 8, 15 และ 60 วัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาการสกัดและการตรวจวัดปริมาณแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด

มังคุดที่ใช้ในการสกัดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนเปลือกด้านนอกและเปลือกด้านในของมังคุดซึ่งสัดส่วนของเปลือกมังคุดแสดงผลดังตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเปลือกนอกต่อน้ำหนักผลและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปลือกนอกต่อน้ำหนักเปลือกทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของเปลือกนอกต่อผล และน้ำหนักเฉลี่ยของเปลือกนอกต่อเปลือกทั้งหมดมีค่าไม่มากนัก นอกจากนี้ความชื้นของส่วนเปลือกด้านนอกและด้านในของมังคุด แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ส่วนเปลือกด้านนอกจะมีความชื้นต่ำกว่าส่วนเปลือกด้านในอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณลักษณะทางกายภาพของส่วนเปลือกด้านนอกและด้านในของมังคุดแตกต่างกัน โดยที่ส่วนเปลือกด้านนอกจะมีลักษณะแข็ง บาง แห้งมาก เปราะแตกง่าย และไม่มีน้ำไหลออกมาเมื่อมีการกดทับ ส่วนเปลือกด้านในมีความนุ่มมาก หนา เมื่อมีการกดทับจะมีน้ำไหลออกมา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 4 สัดส่วนของเปลือกมังคุด

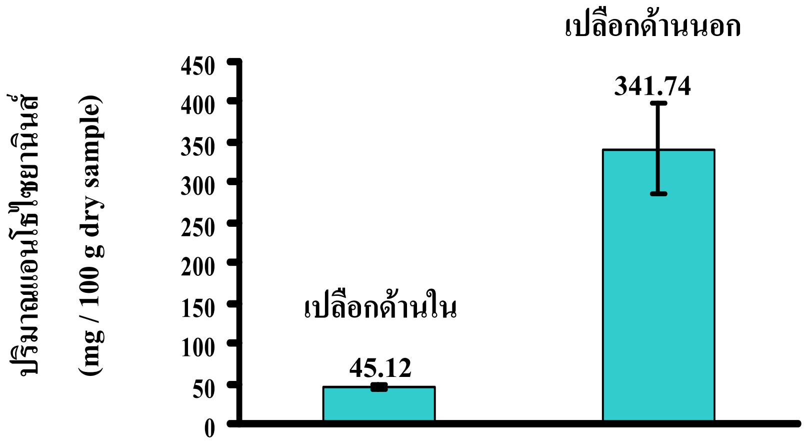
คุณลักษณะ	เปลือกทั้งหมด	เปลือกนอก	เปลือกใน
%น้ำหนักเปลือก/ผล	64.60$\pm$1.26	9.39$\pm$0.18	55.22$\pm$1.29
%น้ำหนักเปลือก/เปลือกทั้งหมด	100	14.66$\pm$0.40	85.34$\pm$0.40
ความหนาของเปลือก (เซนติเมตร)	0.86 $\pm$0.07	0.078 $\pm$0.000	0.78$\pm$0.07

ตารางที่ 5 ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกของมังคุด

ส่วนของเปลือก	ความชื้น (โดยน้ำหนักเปียก)	ความชื้น (โดยน้ำหนักแห้ง)
ด้านนอก	45.30 ± 0.010^{b}	82.82 ± 0.32^{b}
ด้านใน	64.06 ± 0.74^{a}	178.35 ± 5.67^{a}

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนด้านนอกและส่วนด้านในของเปลือกมังคุด พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกด้านนอกของมังคุดมีค่าสูงกว่าเปลือกด้านในของมังคุด โดยมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 533 nm แสดงให้เห็นว่าแอนโธไซยานินส์ที่มีอยู่ในส่วนเปลือกด้านนอกและด้านในน่าจะเป็นชนิดเดียวกัน และส่วนเปลือกด้านนอกมีปริมาณแอนโธไซยานินส์มากกว่าส่วนด้านในอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังรูปที่ 12 และรูปผนวกที่ 3 ในภาคผนวก ข. ทั้งนี้อาจจะเกิดจากองค์ประกอบของเปลือกด้านนอกและด้านในมีความแตกต่างกัน เปลือกด้านนอกของมังคุดมีลักษณะแข็ง มีความชื้นต่ำ มีสีเข้ม ส่วนเปลือกในที่มีลักษณะนิ่ม มีน้ำอยู่มาก มีสีอ่อนกว่าจึงมีความเข้มข้นของแอนโธไซยานินส์ต่ำ

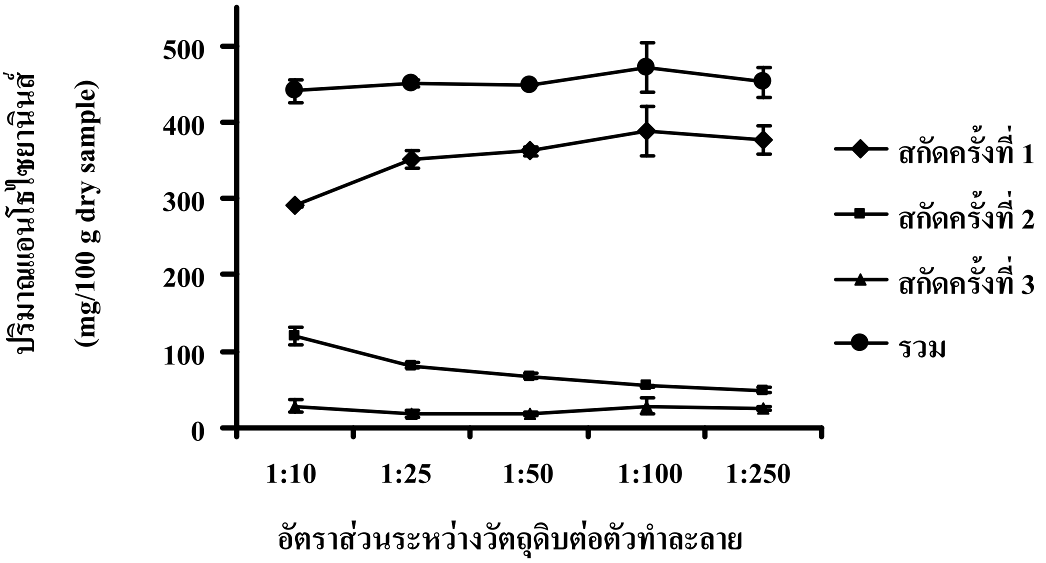
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 12 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนของเปลือกมังคุดด้านนอกและด้านใน

จากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังรูปที่ 13 และรูปผนวกที่ 4 ในภาคผนวก ข. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากการสกัดครั้งที่ 1, 2 และ 3 พบว่าในการสกัดครั้งแรกจะได้แอนโธไซยานินส์ที่มีปริมาณมากกว่าครั้งที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ปริมาตรของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น ทำให้แอนโธไซยานินส์ที่อยู่ในตัวของวัตถุดิบสามารถแยกออกมาได้มาก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในครั้งที่ 2 อัตราส่วนของระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ลดลง แสดงว่ามีแอนโธไซยานินส์ตกค้างอยู่ในกากลดลง ดังนั้นอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ 1:25 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ให้ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในครั้งที่ 1 และ 2 ไม่แตกต่างจากอัตราส่วน 1:50, 1:100, 1:250 อย่างมีนัยสำคัญทางสิถิติ ($p>0.05$) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ประหยัด ตัวทำละลาย ค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำให้เข้มข้นด้วย แต่ถ้าใช้อัตราส่วนที่ต่ำกว่านี้ คือ 1:10 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในครั้งแรกมีค่าต่ำกว่าทุกอัตราส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีการตกค้างของแอนโธไซยานินส์ในกากมาก ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในครั้งที่ 2 มีปริมาณสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

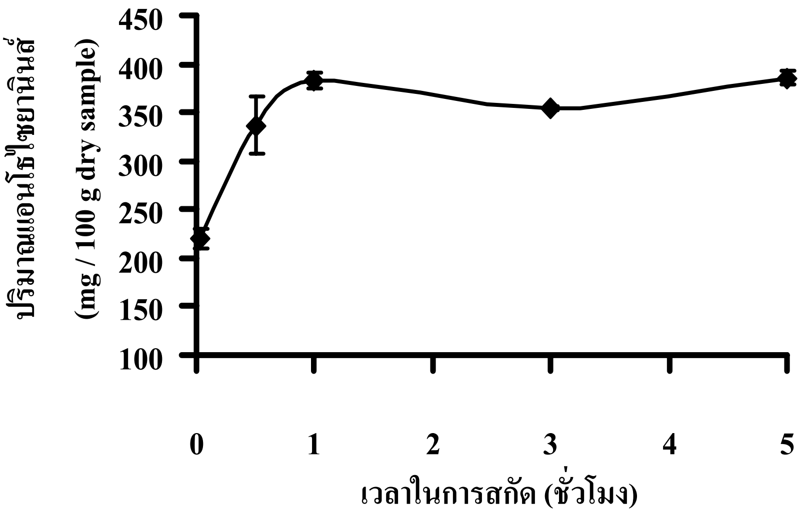
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 13 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายต่างๆ ใช้เวลาในการสกัดนาน 1 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

เมื่อนำส่วนเปลือกด้านนอกของมังคุด มาสกัดด้วยอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:25 โดยทำการศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้น สังเกตได้จากสีที่เพิ่มขึ้นดังรูปผนวกที่ 5 ในภาคผนวก ข. สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงด้วยกันดังรูปที่ 14 คือ ในช่วงแรกของการสกัดเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง และช่วงที่ 2 เวลาในการสกัดที่มากกว่า 1 ชั่วโมงจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นเวลาในการสกัดน้อยที่สุดที่สามารถสกัดแอนโธไซยานินส์ออกมาได้มากที่สุด คือ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 14 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในเวลาต่างๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกด้านนอกของมังคุดที่สกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:25 สกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 209.34±4.08 mg/100 g sample (โดยน้ำหนักเปียก) หรือ 382.71±7.44 mg/100 g sample (โดยน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ปริมาณแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุดที่สุภาพรรณ และ อรไท รายงานไว้ คือ 22.24±0.38 mg/100 g sample ซึ่งอาจเป็นเพราะว่างานวิจัยดังกล่าวไม่ได้มีการแยกส่วนของเปลือกมังคุดในการสกัด ส่วนในวัตถุดิบตัวอื่นๆ เช่น ดอกอัญชันมีรายงานว่าพบในปริมาณ 12.06 mg/100 g sample (เกียรติศักดิ์, 2535) และกระเจี๊ยบแดงพบในปริมาณ 315 mg/100 g sample (รัตนา และ ระมน, 2532) จึงอาจกล่าวได้ว่าแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนเปลือกด้านนอกของมังคุดมีปริมาณมากพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งวัตถุดิบอื่นๆ จึงน่าจะมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นสีผสมอาหารได้

4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

จากผลการทดลองในตอนที่ 4.1 เลือกสภาวะในการสกัดที่เหมาะสม คือ ใช้ส่วนนอกของเปลือกมังคุด นำไปสกัดโดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1:25 ทำการสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ ผลการทดลองเป็นดังนี้

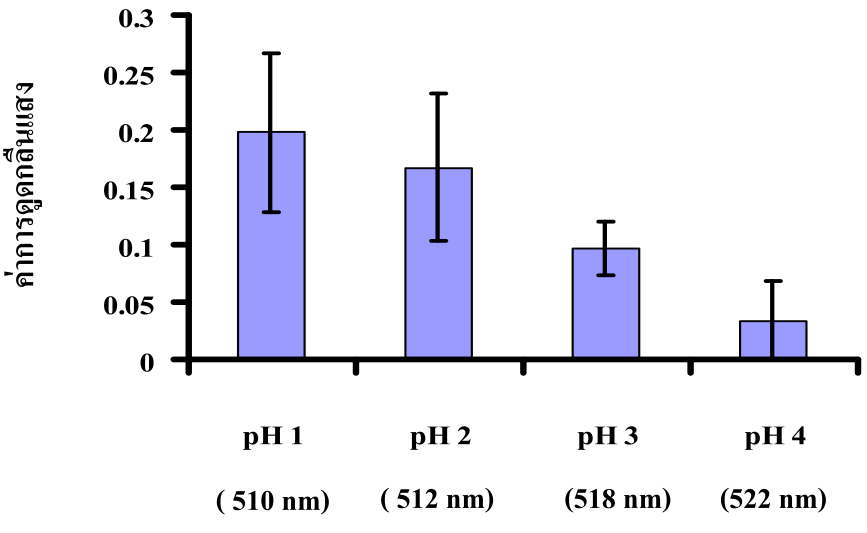
<u>ผลของ pH ต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้</u>

จากการตรวจสอบค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่แต่ละระดับของ pH ไม่เท่ากัน คือ ที่ pH 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 510, 512, 518 และ 522 nm ตามลำดับ จึงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ให้ค่าสูงสุดที่แต่ละ pH ดังกล่าว พบว่า ที่ pH 1 จะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ pH 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 15

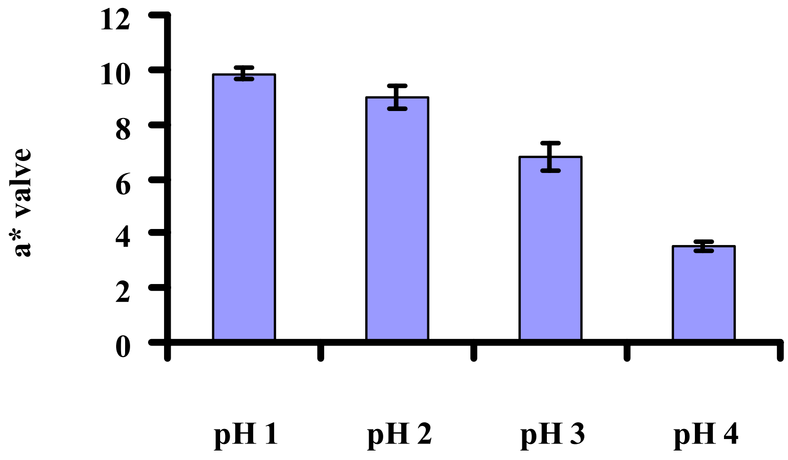
จากการวัดค่า L*a*b* ด้วยเครื่อง Tintometer พบว่าค่า a* เป็น + แสดงถึงสีแดง จึงเป็นค่าที่นำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ในการทดลองนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

พบว่าที่ทุกระดับ pH ตั้งแต่ 1-4 ค่า a* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ pH 1 จะมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ pH 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 ค่าการดูดกลืนแสงของแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ ณ วันที่ 0 (เริ่มต้นการเก็บ)



รูปที่ 16 ค่า a* ของแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ ณ วันที่ 0 (เริ่มต้นการเก็บ)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 15, 16 และรูปผนวกที่ 6 ในภาคผนวก ข. จะพบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น ความเป็นกรดจะลดลง ค่าการดูดกลืนแสง และค่า a* ของแอนโธไซยานินส์จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าแอนโธไซยานินส์จะมีความคงตัวของสีแดงได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ทั้งนี้เนื่องจากแอนโธไซยานินส์อยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก (pH<0.5) ซึ่งจะมี flavylium cation (red) อยู่เพียงชนิดเดียว เมื่อ pH สูงขึ้น ปริมาณ flavylium cation จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากการเกิด hydration ไปเป็น carbinol base ซึ่งไม่มีสี สมดุลระหว่างแอนโธไซยานินส์ทั้ง 2 รูป อธิบายได้จากการที่ flavylium cation จะถูกเปลี่ยนรูปไปจนหมด โดยที่ flavylium cation และ quinoidal base จะเกิดสมดุลกันที่ pK=4.25

ดังนั้นเมื่อแอนโธไซยานินส์อยู่ในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 4.5 ขึ้นไป จึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีสี ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนรูปมาเป็น carbinol base และ chalcone จะส่งผลให้คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ดังนั้นถ้าต้องการใช้แอนโธไซยานินส์เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระควรคำนึงถึงค่า pH ด้วย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>ผลของอุณหภูมิและแสงต่อความความตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้</u>

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ในสารละลายที่ระดับ pH 1-4 เมื่อเก็บเป็นเวลา 60 วัน โดยเปรียบเทียบค่าของสีที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าของสีตอนเริ่มต้นในวันแรกที่เก็บ ใช้ค่า a* ซึ่งแสดงถึงสีแดงและค่าการดูดกลืนแสงซึ่งแสดงถึงปริมาณของแอนโธไซยานินส์ที่ให้สี ณ สภาวะนั้นเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณาความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ โดยถือว่าความคงตัวของสีแอนโธไซยานินส์ ณ เวลาหนึ่งเปลี่ยนไปเมื่อค่า a* และค่าการดูดกลืนแสงแตกต่างจากวันแรกที่เก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

<u>การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1</u>

การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินส์เกิดเพียงเล็กน้อย ดังรูปผนวกที่ 7 ในภาคผนวก ข. และตารางที่ 6-9 ค่า L* เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารละลายมีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่า b* และค่าการดูดกลืนแสงลดลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีเพียงค่า a* ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ เมื่อเก็บนานขึ้นค่า a* ลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่า a* ที่ทุกสภาวะการเก็บ (ตารางที่ 8) พบว่าสภาวะอุณหภูมิต่ำทั้งที่มีแสงและไม่มีแสงสามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์เมื่อเทียบกับสีตอนเริ่มต้นได้นานกว่า 60 วัน รองลงมาคือ สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงแต่ไม่มีแสงสามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 60 วัน และสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงสามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 8 วัน ตามลำดับ แสดงว่า เวลามีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ คือ เมื่อเวลานานขึ้นความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลง ซึ่งจะลดลงเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มากระตุ้น ได้แก่ อุณหภูมิ และแสง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ได้เร็วมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	0.198±0.069 ns	0.198±0.069 ns	0.198±0.069 ns	0.198±0.069 ns
1	0.142±0.014 ns	0.144±0.015 ns	0.173±0.046 ns	0.186±0.056 ns
2	0.146±0.023 ns	0.139±0.014 ns	0.169±0.047 ns	0.177±0.058 ns
5	0.124±0.006 ns	0.129±0.014 ns	0.133±0.009 ns	0.137±0.014 ns
8	0.124±0.006 ns	0.125±0.006 ns	0.138±0.020 ns	0.140±0.019 ns
15	0.120±0.010 ns	0.122±0.011 ns	0.126±0.016 ns	0.128±0.019 ns
60	0.119±0.009 ns	0.123±0.009 ns	0.133±0.009 ns	0.138±0.012 ns

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 7 ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	85.506±4.847 ns	85.506±4.847 ns	85.506±4.847 ns	85.506±4.847 ns
1	89.039±2.039 ns	90.309±2.074 ns	87.214±4.268 ns	87.990±3.314 ns
2	88.147±3.109 ns	90.691±1.499 ns	87.750±4.470 ns	90.009±1.823 ns
5	90.773±1.642 ns	89.673±2.084 ns	89.223±2.448 ns	87.135±4.980 ns
8	90.587±1.363 ns	90.959±1.454 ns	89.352±2.043 ns	89.813±0.990 ns
15	90.485±1.532 ns	90.316±1.946 ns	90.685±1.874 ns	90.447±1.698 ns
60	91.240±0.729 ns	91.146±0.447 ns	90.835±0.661 ns	90.152±2.970 ns

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 8 ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	9.8323±0.2180^{a}	9.8323±0.2180^{a}	9.8323±0.2180^{a}	9.8323±0.2180^{a}
1	9.2700±0.4407^{abA}	9.3906±0.3924^{aA}	9.4750±0.4369^{aA}	9.6615±0.2834^{aA}
2	9.0658±0.3694^{abA}	9.3356±0.3778^{aA}	9.3144±0.3369^{aA}	9.5312±0.3447^{aA}
5	8.9488±0.3898^{abA}	9.1863±0.2671^{aA}	9.1688±0.4627^{aA}	9.5110±0.3573^{aA}
8	8.7830±0.2940^{bA}	9.0972±0.2756^{aA}	9.1439±0.4710^{aA}	9.4131±0.3220^{aA}
15	8.6928±0.1961^{bA}	8.9613±0.2940^{abA}	8.9412±0.7010^{aA}	9.3442±0.3365^{aA}
60	7.4812±0.5767^{cB}	8.1357±0.4805^{bAB}	8.6503±0.6011^{aAB}	9.2953±0.3430^{aA}

หมายเหตุ : a, b, c แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 9 ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	7.0854±5.5267^{ns}	7.0854±5.5267^{ns}	7.0854±5.5267^{ns}	7.0854±5.5267^{ns}
1	3.6455±2.7592^{ns}	2.5883±1.2902^{ns}	5.3499±4.3569^{ns}	4.0299±3.3154^{ns}
2	5.4344±3.8342^{ns}	2.3321±0.4237^{ns}	4.8902±4.6050^{ns}	2.9978±1.3842^{ns}
5	2.8868±0.8976^{ns}	3.4469±2.1279^{ns}	3.6752±2.0301^{ns}	5.0152±5.2584^{ns}
8	3.5737±1.7024^{ns}	3.1276±1.2012^{ns}	4.2955±2.9835^{ns}	3.0934±1.5479^{ns}
15	3.2520±1.5430^{ns}	3.0574±1.8638^{ns}	3.2269±0.7017^{ns}	2.8381±0.6469^{ns}
60	3.6693±1.5202^{ns}	3.2862±1.4978^{ns}	3.4364±1.0075^{ns}	3.2858±1.7869^{ns}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

<u>การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2</u>

การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 พบว่าค่าการดูดกลืนแสง ค่า L* a* และ b* ดังแสดงในรูปผนวกที่ 8 ในภาคผนวก ข. และตารางที่ 10-13 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินส์ซึ่งเกิดมากกว่าที่ pH 1 ค่า L* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า สารละลายมีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่า b* ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าการดูดกลืนแสงและค่า a* เกิดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ ค่าการดูดกลืนแสง และค่า a* ลดลงเรื่อยๆเมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยที่อุณหภูมิต่ำทั้งในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงจะสามารถรักษาปริมาณและสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้นานกว่า 60 วัน รองลงมาคือ สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงแต่ไม่มีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 60 วัน แต่สามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 15 วัน และในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 60 วัน แต่รักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 15 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 10 และ 12) แสดงว่า เวลามีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ คือ เมื่อเวลานานขึ้นความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลง ซึ่งจะลดลงเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มากระตุ้นได้แก่ อุณหภูมิ และแสง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ได้เร็วมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	0.167 ± 0.064^{a}	0.167 ± 0.064^{a}	0.167 ± 0.064^{a}	0.167 ± 0.064^{a}
1	0.127 ± 0.013^{abA}	0.129 ± 0.013^{aA}	0.149 ± 0.039^{aA}	0.149 ± 0.038^{aA}
2	0.120 ± 0.008^{abA}	0.124 ± 0.013^{aA}	0.140 ± 0.033^{aA}	0.141 ± 0.032^{aA}
5	0.112 ± 0.006^{abA}	0.117 ± 0.010^{aA}	0.136 ± 0.032^{aA}	0.138 ± 0.032^{aA}
8	0.108 ± 0.002^{abA}	0.114 ± 0.009^{aA}	0.126 ± 0.014^{aA}	0.133 ± 0.027^{aA}
15	0.103 ± 0.003^{abB}	0.109 ± 0.005^{aAB}	0.118 ± 0.005^{aAB}	0.127 ± 0.016^{aA}
60	0.093 ± 0.003^{bB}	0.099 ± 0.003^{aB}	0.108 ± 0.003^{aA}	0.113 ± 0.003^{aA}

หมายเหตุ : a, b แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 11 ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	87.253 ± 5.317^{ns}	87.253 ± 5.317^{ns}	87.253 ± 5.317^{ns}	87.253 ± 5.317^{ns}
1	90.949 ± 0.628^{ns}	91.597 ± 0.422^{ns}	88.824 ± 3.369^{ns}	90.566 ± 1.683^{ns}
2	90.597 ± 0.941^{ns}	90.647 ± 0.790^{ns}	89.226 ± 2.478^{ns}	90.414 ± 1.897^{ns}
5	92.068 ± 0.567^{ns}	91.925 ± 0.250^{ns}	89.368 ± 3.276^{ns}	89.332 ± 3.378^{ns}
8	92.031 ± 0.317^{ns}	91.375 ± 1.876^{ns}	91.429 ± 0.436^{ns}	88.806 ± 3.418^{ns}
15	93.191 ± 0.258^{ns}	91.751 ± 0.653^{ns}	91.022 ± 1.827^{ns}	90.279 ± 2.821^{ns}
60	92.292 ± 1.455^{ns}	92.291 ± 0.677^{ns}	92.381 ± 0.280^{ns}	92.001 ± 1.155^{ns}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 12 ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	9.0033 ± 0.4332^{a}	9.0033 ± 0.4332^{a}	9.0033 ± 0.4332^{a}	9.0033 ± 0.4332^{a}
1	8.5594 ± 0.4316^{abA}	8.7457 ± 0.1767^{abA}	8.8697 ± 0.1418^{aA}	9.0105 ± 0.0839^{aA}
2	8.3964 ± 0.3013^{abA}	8.6343 ± 0.2250^{abA}	8.6988 ± 0.1033^{aA}	8.8573 ± 0.0545^{aA}
5	8.2082 ± 0.3272^{abB}	8.5223 ± 0.1078^{abAB}	8.5867 ± 0.1401^{aAB}	8.8247 ± 0.0860^{aA}
8	7.9747 ± 0.3502^{abB}	8.4478 ± 0.1590^{abAB}	8.3924 ± 0.4613^{aAB}	8.7954 ± 0.0950^{aA}
15	7.6783 ± 0.5929^{bcA}	8.2653 ± 0.2064^{bA}	8.1232 ± 0.8895^{aA}	8.7228 ± 0.1303^{aA}
60	6.8125 ± 0.1561^{cC}	7.4058 ± 0.2969^{cBC}	7.8149 ± 0.6413^{aAB}	8.6256 ± 0.2117^{aA}

หมายเหตุ : a, b, c แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B, C แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 13 ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	4.8882 ± 4.6172^{ns}	4.8882 ± 4.6172^{ns}	4.8882 ± 4.6172^{ns}	4.8882 ± 4.6172^{ns}
1	1.8038 ± 1.8060^{ns}	1.2631 ± 0.9429^{ns}	3.4575 ± 3.4044^{ns}	1.8977 ± 1.7718^{ns}
2	2.4992 ± 1.5178^{ns}	2.5011 ± 1.1498^{ns}	3.1611 ± 2.8445^{ns}	2.5756 ± 2.3764^{ns}
5	1.7780 ± 0.7825^{ns}	1.3677 ± 0.6934^{ns}	3.3508 ± 3.2258^{ns}	2.9112 ± 2.4394^{ns}
8	1.7446 ± 0.9016^{ns}	1.8962 ± 2.1972^{ns}	2.1745 ± 1.6916^{ns}	3.8690 ± 2.9024^{ns}
15	1.7009 ± 0.8916^{ns}	1.9127 ± 0.8406^{ns}	3.0127 ± 2.8107^{ns}	2.7537 ± 2.8328^{ns}
60	1.9724 ± 2.0225^{ns}	1.9874 ± 1.5566^{ns}	1.9664 ± 1.1478^{ns}	1.3103 ± 0.4153^{ns}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

<u>การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3</u>

การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 พบว่าค่าการดูดกลืนแสง ค่า L* a* และ b* ดังแสดงในรูปผนวกที่ 9 ในภาคผนวก ข. และตารางที่ 14-17 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินส์เกิดมากกว่าที่ pH 1 และ 2 ค่า L* เพิ่มขึ้น แสดงว่า สารละลายมีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่า b* ลดลง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าการดูดกลืนแสงและค่า a* เกิดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ เมื่อเก็บนานขึ้น ค่าการดูดกลืนแสง และค่า a* ลดลง โดยที่อุณหภูมิต่ำทั้งในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงสามารถรักษาปริมาณและสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้นานกว่า 60 วัน รองลงมาคือ อุณหภูมิสูงทั้งในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ไว้ได้เป็นเวลาน้อยกว่า 60 วัน แต่สามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 15 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 14 และ 16) แสดงว่า เวลามีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ คือ เมื่อเวลานานขึ้นความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลง ซึ่งจะลดลงเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มากระตุ้นได้แก่ อุณหภูมิ และแสง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ได้เร็วมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	0.097±0.023 [a]	0.097±0.023 [a]	0.097±0.023 [a]	0.097±0.023 [a]
1	0.086±0.013 [aA]	0.087±0.012 [aA]	0.092±0.012 [aA]	0.092±0.012 [aA]
2	0.081±0.006 [abA]	0.084±0.007 [abA]	0.089±0.008 [aA]	0.089±0.008 [aA]
5	0.077±0.005 [abA]	0.078±0.006 [abA]	0.088±0.006 [aA]	0.088±0.006 [aA]
8	0.076±0.003 [abC]	0.077±0.004 [abBC]	0.086±0.003 [aAB]	0.087±0.004 [aA]
15	0.070±0.007 [abA]	0.071±0.006 [abA]	0.082±0.003 [aA]	0.082±0.003 [aA]
60	0.054±0.004 [bB]	0.055±0.003 [bB]	0.079±0.003 [aA]	0.082±0.003 [aA]

หมายเหตุ : a, b แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B, C แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 15 ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	91.116±2.255 [ns]	91.116±2.255 [ns]	91.116±2.255 [ns]	91.116±2.255 [ns]
1	92.540±0.305 [ns]	92.197±1.221 [ns]	92.156±0.830 [ns]	92.707±1.102 [ns]
2	92.118±1.212 [ns]	92.684±0.411 [ns]	92.240±1.384 [ns]	92.999±1.002 [ns]
5	92.981±0.512 [ns]	93.214±0.527 [ns]	92.631±0.148 [ns]	93.355±0.273 [ns]
8	92.849±0.794 [ns]	93.299±0.482 [ns]	92.604±0.927 [ns]	92.088±1.248 [ns]
15	93.298±0.738 [ns]	93.816±0.515 [ns]	92.909±0.482 [ns]	92.558±0.289 [ns]
60	93.951±0.663 [ns]	94.222±0.328 [ns]	93.550±0.568 [ns]	93.314±0.690 [ns]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 16 ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	6.8044±0.4717[a]	6.8044±0.4717[a]	6.8044±0.4717[a]	6.8044±0.4717[a]
1	6.6702±0.1071[aB]	6.7565±0.0567[aAB]	6.9570±0.1730[aAB]	7.0723±0.1473[aA]
2	6.4865±0.2453[aA]	6.6134±0.1797[aA]	6.8025±0.2865[aA]	6.8282±0.2069[aA]
5	6.1119±0.3394[abA]	6.3100±0.2694[abA]	6.7571±0.2887[aA]	6.8016±0.1977[aA]
8	6.0540±0.3139[abB]	6.2656±0.2330[abAB]	6.6252±0.3019[aAB]	6.7540±0.1926[aA]
15	5.3505±0.4281[bC]	5.7064±0.4162[bBC]	6.4788±0.3968[aAB]	6.7076±0.1599[aA]
60	3.6993±0.4168[cB]	4.1657±0.4156[cB]	6.1835±0.1657[aA]	6.5511±0.1566[aA]

หมายเหตุ : a, b, c แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B, C แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 17 ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	1.3003±1.2757[ns]	1.3003±1.2757[ns]	1.3003±1.2757[ns]	1.3003±1.2757[ns]
1	0.7379±0.7177[ns]	0.9094±0.8955[ns]	0.7002±0.7654[ns]	0.9642±0.6215[ns]
2	1.1736±0.9174[ns]	0.7883±0.6566[ns]	0.8640±1.1764[ns]	0.6519±0.6953[ns]
5	1.0815±1.3293[ns]	0.7746±1.0246[ns]	1.0687±0.7492[ns]	0.1036±0.0889[ns]
8	0.7211±0.7566[ns]	0.4564±0.6617[ns]	0.7349±0.8703[ns]	0.8483±0.9985[ns]
15	0.9844±0.4708[ns]	0.6611±0.5572[ns]	0.6039±0.4455[ns]	0.6113±0.5379[ns]
60	1.1885±0.7456[ns]	0.7905±0.6165[ns]	0.5399±0.6059[ns]	0.2259±0.0527[ns]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

<u>การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4</u>

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 พบว่าค่าการดูดกลืนแสง ค่า L* a* และ b* ดังแสดงในรูปผนวกที่ 10 ในภาคผนวก ข. และตารางที่ 18-21 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินส์ซึ่งเกิดมาก เห็นผลชัดเจนที่สุดเมื่อเทียบกับ pH 1-3 พบว่าค่า L* เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารละลายมีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่า b* เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าการดูดกลืนแสงและค่า a* เกิดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ ค่าการดูดกลืนแสง และค่า a* ลดลงเรื่อยๆเมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 60 วัน แต่สามารถรักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์นานกว่า 60 วัน รองลงมาคือ สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสงสามารถรักษาปริมาณและสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 60 วัน ส่วนสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงแต่ไม่มีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 5 วัน แต่รักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 15 วัน และสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงสามารถรักษาปริมาณของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 5 วัน แต่รักษาความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์ได้น้อยกว่า 8 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 18 และ 20) แสดงว่าเวลามีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ คือ เมื่อเวลานานขึ้นความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลง ซึ่งจะลดลงเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มากระตุ้นได้แก่ อุณหภูมิและแสง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ได้เร็วมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 18 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ ที่ pH 4 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	0.034±0.004[a]	0.034±0.004[a]	0.034±0.004[a]	0.034±0.004[a]
1	0.028±0.004[abA]	0.028±0.005[abA]	0.032±0.006[aA]	0.032±0.006[aA]
2	0.027±0.002[abA]	0.028±0.005[abA]	0.032±0.006[aA]	0.032±0.006[aA]
5	0.021±0.001[bcA]	0.023±0.003[bcA]	0.030±0.005[aA]	0.030±0.005[aA]
8	0.019±0.003[bcA]	0.021±0.003[bcA]	0.027±0.006[abA]	0.028±0.006[aA]
15	0.013±0.005[cdB]	0.016±0.004[cdAB]	0.024±0.005[abAB]	0.026±0.004[abA]
60	0.006±0.005[dB]	0.009±0.004[dAB]	0.014±0.003[bAB]	0.018±0.003[bA]

หมายเหตุ : a, b, c, d แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

A, B แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 19 ค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ ที่ pH 4 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	94.974±0.453[ns]	94.974±0.453[ns]	94.974±0.453[ns]	94.974±0.453[ns]
1	92.745±2.672[ns]	93.141±2.019[ns]	93.203±1.722[ns]	94.152±1.411[ns]
2	92.314±1.124[ns]	92.145±1.615[ns]	92.847±1.437[ns]	93.003±1.264[ns]
5	92.106±3.077[ns]	91.074±3.748[ns]	90.932±1.845[ns]	92.531±1.269[ns]
8	91.120±4.750[ns]	91.406±4.542[ns]	93.255±1.974[ns]	93.251±2.005[ns]
15	92.753±1.436[ns]	92.191±2.457[ns]	93.943±0.777[ns]	92.226±1.069[ns]
60	94.069±0.706[ns]	93.376±0.579[ns]	93.508±1.591[ns]	93.348±1.580[ns]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 20 ค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	3.5303 ± 0.1954^{a}	3.5303 ± 0.1954^{a}	3.5303 ± 0.1954^{a}	3.5303 ± 0.1954^{a}
1	3.0160 ± 0.6165^{abA}	3.0132 ± 0.6131^{abA}	3.2695 ± 0.6540^{abA}	3.2804 ± 0.6416^{aA}
2	3.0473 ± 0.2272^{abA}	3.2753 ± 0.3451^{aA}	3.5431 ± 0.1875^{aA}	3.5366 ± 0.1677^{aA}
5	2.8462 ± 0.0292^{abcA}	3.0068 ± 0.1674^{abA}	3.2029 ± 0.3398^{abA}	3.2152 ± 0.4509^{aA}
8	2.4624 ± 0.2975^{bcA}	2.7693 ± 0.2165^{abcA}	3.0288 ± 0.4642^{abA}	3.1065 ± 0.4250^{aA}
15	2.1218 ± 0.0541^{cdA}	2.2299 ± 0.0218^{bcA}	2.8459 ± 0.5410^{abA}	2.9497 ± 0.4829^{aA}
60	1.4773 ± 0.2379^{dB}	1.9600 ± 0.1862^{cAB}	2.1831 ± 0.0911^{bA}	2.5075 ± 0.3460^{aA}

หมายเหตุ: a, b, c, d แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $(p<0.05)$

A, B แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $(p<0.05)$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 21 ค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ ที่ pH 4 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงที่แตกต่างกัน

วันที่	30°ซ		4°ซ	
	มีแสง	ไม่มีแสง	มีแสง	ไม่มีแสง
0	0.2144 ± 0.2203^{ns}	0.2144 ± 0.2203^{ns}	0.2144 ± 0.2203^{ns}	0.2144 ± 0.2203^{ns}
1	1.6127 ± 1.4680^{ns}	1.1107 ± 1.5648^{ns}	1.1624 ± 0.5420^{ns}	0.9594 ± 0.2377^{ns}
2	0.9100 ± 0.8325^{ns}	1.6092 ± 1.4939^{ns}	0.9027 ± 0.4475^{ns}	0.7931 ± 0.4474^{ns}
5	0.5520 ± 0.0231^{ns}	0.9292 ± 0.5464^{ns}	0.6106 ± 0.5011^{ns}	0.5576 ± 0.1178^{ns}
8	1.1585 ± 0.5460^{ns}	0.8181 ± 0.4610^{ns}	1.1895 ± 1.0636^{ns}	1.1198 ± 0.9079^{ns}
15	1.4547 ± 0.9610^{ns}	0.5603 ± 0.5316^{ns}	0.7131 ± 0.6543^{ns}	1.2081 ± 1.4143^{ns}
60	1.9474 ± 0.5147^{ns}	1.6804 ± 0.6206^{ns}	1.0267 ± 1.4742^{ns}	1.3404 ± 0.9880^{ns}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งและแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $(p>0.05)$

จากการทดลองความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่ pH ไม่เท่ากัน พบว่าสภาวะที่มี pH ต่ำ (1.0) จะมีความคงตัวสูงแม้ว่าจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ เช่นอุณหภูมิและแสง แต่ที่ pH สูง (4.0) จะมีความคงตัวต่ำแม้จะอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง แสดงว่า pH มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์มากกว่าอุณหภูมิและแสง เมื่อเปรียบเทียบในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (30°ซ) พบว่าแอนโธไซยานินส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ (4°ซ) เนื่องจากในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้สมดุลเลื่อนจากซ้ายไปขวาดังนี้

Blue quinonoid ↔ red Flavylium ↔ colorless carbinol base ↔ colorless chalcone

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิด chalcone มากขึ้น ปริมาณ flavylium ลดลง ความคงตัวของสีแดงของแอนโธไซยานินส์จึงลดลง ส่วนในสภาวะที่มี pH และอุณหภูมิเดียวกันเมื่อมีแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์ได้มากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเมื่อทดสอบค่าที่ได้ในทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินส์จะเกิดได้มากที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง เนื่องจากสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิด chalcone แล้วยังพบว่าแสงจะเป็นตัวเร่งให้ carbinol base เปลี่ยนเป็น chalcone ได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก photo-oxidation ดังนั้นอุณหภูมิสูงและแสงจึงเป็นปัจจัยส่งเสริมให้อัตราการเกิด chalcone เพิ่มขึ้น และยิ่ง pH ของสารละลายสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงจะเกิดได้มากขึ้นด้วย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cabrita และคณะ (2000) และ Fossen และคณะ (1998) ที่สรุปไว้ว่า สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะลดลงมากกว่าสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ และความคงตัวจะลดลงมากขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น ส่วน Morais และคณะ (2002) รายงานว่าแสงทำให้ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ลดลง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ส่วนเปลือกด้านนอกของมังคุดเป็นส่วนที่มีปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงกว่าส่วนเปลือกด้านใน
2. อัตราส่วนระหว่างเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลายมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ 1:25
3. เวลาในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยพบว่าเวลาในการสกัดน้อยที่สุดที่ให้ค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์สูงสุด คือ 1 ชั่วโมง
4. pH มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ โดยสภาวะที่มี pH ต่ำ (pH 1) ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่มี pH สูง (pH 4)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

5. อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ โดยสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ ($4\pm3^{\circ}$ซ) ความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ($30\pm3^{\circ}$ซ)
6. แสงมีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์เพียงเล็กน้อย โดยสภาวะที่ไม่มีแสงความคงตัวของแอนโธไซยานินส์สูงกว่าสภาวะที่มีแสงเล็กน้อย ซึ่งค่าที่วัดได้จากในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงจะไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ ($p>0.05$)
7. เวลามีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะต่ำลง
8. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวทั้งแสงและอุณหภูมิจะส่งผลในทางที่เสริมกัน กล่าวคือ สภาวะที่มีแสงและอุณหภูมิสูงความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะต่ำที่สุด ดังนั้นในสภาวะที่ไม่มีแสงและอุณหภูมิต่ำความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จะมีค่าสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาในด้านของการนำสีแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป
2. ควรมีการศึกษาผลของปัจจัยอื่นๆต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ เช่น flavonoid, catechin, rutin, caffeic acid, tartaric acid, flavone, flavonone เป็นต้น
3. ควรศึกษาคุณสมบัติในด้านของการเป็นสาร anti-oxidant ของแอนโธไซยานินส์แต่ละตัวและแต่ละ pH
4. ควรศึกษาหาชนิดของแอนโธไซยานินส์ในเปลือกมังคุดโดยใช้ HPLC (High-performance liquid chromatography)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บรรณานุกรม

กวิศร์ โกสิยะจินดา และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2522. การเจริญเติบโตของผลมังคุด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ ปีที่ 13 ฉบับ 1-2 หน้า 71.

เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2535. การสกัดแอนโธไซยานินส์จากดอกอัญชัน. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะกลุ่มเกษตรสัญจร. 2530. มังคุด ราชินีแห่งผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สหมิตรออฟเซท, 69 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. แอนโธไซยานินส์. บทที่ 11. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 277-284.

รัตนา รุจิรวนิช และ ระมน เสรีวรวิทย์กุล. 2532. การสกัดแอนโธไซยานินส์จากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาพรรณ ดุลยพิรุฬหศิลป์ และ อรไท สุขเจริญ. 2529. การสกัดแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Asen, S., Stewart, R.N., and Norris, K.H. 1972. Co-pigment of anthocyanins in plant tissues and its effect on color. Phytochemistry. 11: 1139-1144.

Bronnum-Hansen, K., Jacobsen, F., and Flink, J.M. 1985. Anthocyanin colourants from elderberry (Sambucus nigra L.). I.Process considerations for production of the liquid extract. J. Food Technol. 20: 703-711.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Bronnum-Hansen, K. and Flink, J.M. 1986. Anthocyanin colourants from elderberry (Sambucus nigra L.) IV.Further studies on production of the liquid extract, concentrates and freeze dried powder. J. Food Technol. 21: 605-614.

Brouillard, R. 1982. Chemical structure of anthocyanins. Chap. 1. In "Anthocyanins as food colours." P. Markakis (Ed.), p.1. Academic Press, New York.

Brouillard, R. and Delaporte, B. 1977. Chemistry of anthocyanin Pigments. 2.[1] Kinetic and Thermodynamic Study of Proton transfer, Hydration, and Tautomeric reactions of Malvidin 3-glucoside. J. Am. Chem. Soc. 99: 8461-8468.

Cabrita, L., Fossen, T., and Oyvind M. Andersen. 2000. Colour and stability of the six commom anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions. Food Chem. 68: 101-107.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Chen, L.J. and Hrazdina, G. 1981. Structural aspects of anthocyanin-flavonoid complex formation and its role in plant color. Phytochemistry. 20: 297-303.

Chiriboga, C. and Francis, F.J. 1970. An anthocyanin recovery system from cranberry pomace. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 233-236.

Choi, M.H., Kim, G.H., and Lee, H.S. 2002. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. Food Research International. 35: 753-759.

Darravingas,G. and Cain,R.F. 1965. Changes in the anthocyanin pigment of raspberries during processing and storage. J. Food Sci. 30:400-405.

Du, C.T. and Francis, F.J. 1973. Anthocyanins of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) J. Food Sci. 38: 810-813.

Du, C.T. and Francis, F.J. 1977. Anthocyanins of mangosteen, Garcinia mangostana. J. Food Sci. 42 : 1667-1668.

Fossen, T., Cabrita, L., and Anderson, ϕ.M. 1998. Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. Food Chem. 63: 435-440.

Francis, F.J. 1982. Analysis of anthocyanins. Chap. 7 In "Anthocyanins as food colours." P. Markakis (Ed.), p.182. Academic Press, New York.

Fuleki, T. and Francis, F.J. 1968a. Quantitative methods for anthocyanins.1.Extraction and determination of total anthocyanin in cranberry. J. Food Sci. 33: 72-77.

Fuleki, T. and Francis, F.J. 1968b. Quantitative methods for anthocyanins. II. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. J. Food Sci. 33: 78-82.

Garcia-Viguera, C. and Bridle, P. 1999. Influence of structure on colour stability of anthocyanins and Flavylium salts with ascorbic acid. Food Chem. 64: 21-26.

Jurd, L. 1972. Anthocyanidins and related compound. XVI. The dimerization of flavylium salts in aqueous solutions. Tetrahedron. 28: 493-504.

Metivier, R.P., Francis, F.J., and Clydesdale, F.M. 1980. Solvent extraction of anthocyanins from wine pomace. J. Food Sci. 45: 1099-1100.

Maccarone, E., Maccarrone, A., and Rapisarda, P.1985. Stability of Anthocyanins of Blood Orange Friut Juice. J. Food Sci. 50: 901-904.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanins in Foods. Chap. 6 In "Anthocyanins as food colours." P. Markakis (Ed.), p.163. Academic Press, New York.

Morais,H., Romos,C., Forgacs,E., Cserhati,T., and Oliviera,J. 2002. Influence of storage conditions on stability of monomeric anthocyanina studied by revered-phase high-performance liquid chromatography. J. Chromatography B. 770: 297-301.

Palamidis, N. and Markakis, P. 1975. Stability of grape anthocyanin in carbonated beverage. J. Food Sci. 40: 1047-1049.

Saint- Gaulejac, N.C., Glories, Y., and Vivas, N. 1999. Free radical scavenging effect of anthocyanins in red wines. Food Research International. 32: 327-333.

Scheffeldt, P. and Hrazdina, G. 1978. Co-pigmentation of anthocyanins under physiological conditions. J. Food Sci. 43: 517-520.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Sellappan, S., Akoh, C.C., and Krewer, G. 2002. Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Georgia-Grown Blueberries and Blackberries. J. Agric. Food Chem. 50: 2432-2438.

Starr, M.S. and Francis, F.J. 1968. Oxygen and ascorbic acid effect on the relative stability of four anthocyanin pigments in cranberry juice. Food Tech. 22: 91-93.

Sweeny, J.G., Wilkinson, M.M., and Lacobucci,G.A. 1981. Effect of flavonoid sulfonates on the photobleaching of anthocyanins in acid solution. J. Agric. Food Chem. 29: 563-567.

ภาคผนวก ก.

วิธีการทดลอง

วิธีการหาปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1990 หมายเลข 925.10)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2.0000 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในภาชนะอะลูมิเนียมที่มีฝาปิดสนิท ซึ่งผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่แล้ว นำเข้าตู้อบไฟฟ้าอบด้วยอุณหภูมิ $130\pm3^{\circ}$ซ ประมาณ 8-10 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก ทำการอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากสูตร

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-หลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

<u>วิธีการสกัดแอนโธไซยานินส์</u>

วิธีการสกัดแอนโธไซยานินส์มีหลายวิธีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้ โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัด และทำการสกัดในสภาวะที่เป็นกรด มีขั้นตอนการสกัดตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Fuleki และ Francis (1968a) ดังนี้

นำตัวอย่างที่ต้องการมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

⇓

บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (Blender)

⇓

ชั่งตัวอย่างบดแล้วมาประมาณ 1 กรัม (SW)

⇓

เติมสารละลายที่ใช้ในการสกัด 50 มล.

⇓

เขย่าเล็กน้อย (ประมาณ 2 นาที) แล้วเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

⇓

กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยใช้สุญญากาศ

⇓

ล้าง residue ด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

⇓

ปรับปริมาตรสารละลายที่กรองให้ได้ประมาณ 50 มล. (TEV)

⇓

ปิเปตสารละลายที่กรองได้ประมาณ 1 มล. (SV)

⇓

เจือจางด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. (DV)

⇓

เก็บในตู้เย็นนาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้แอนโธไซยานินส์อยู่ในสภาพสมดุล

⇓

วัดค่าการดูดกลืนแสง (O.D.) ที่ความยาวคลื่น 500-600 nm.

<u>วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโธไซยานินส์</u>

ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดคำนวณได้จากสูตรของ Fuleki และ Francis (1968a) ดังนี้

$$Tacy = O.D. \times \frac{TEV}{SW} \times \frac{DV}{SV} \times \frac{1}{E^{1\%}_{1\,cm}/10} \times 100$$

โดยที่ Tacy (total anthocyanins) คือ ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง (มิลลิกรัม/วัตถุดิบ 100 กรัม)

O.D. (optical density) คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

DV (dilution volume) คือ ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เจือจางเตรียมไว้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร)

SV (sample volume) คือ ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เตรียมสำหรับเจือจาง (มิลลิลิตร)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

SW (sample weight) คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)

TEV (Total extract volume) คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

$E^{1\%}_{1\,cm}$ (Extinction coefficient) ได้จากค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักของ E ของแอนโธไซยานินส์ทุกตัวที่มีอยู่ในพืชตัวอย่างนั้นๆ

ในการทดลองนี้ทราบว่าแอนโธไซยานินส์ที่พบในเปลือกมังคุด เป็น cyanidin จึงเลือกใช้ค่า E, ε และมวลโมเลกุลตาม Sellappan และคณะ (2002) ดังนี้ ค่า E (Extinction coefficient) ของ Cyanidin-3-glucoside มีค่า 599, ε เท่ากับ 26,900 และมวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 449.2

<u>วิธีการคำนวณการเตรียมสารละลายแอนโธไซยานินส์ให้มีความเข้มข้น 40 mg/ml</u>

สารละลายแอนโธไซยานินส์สามารถคำนวณได้สูตร

1) A = $c\varepsilon l$; กฎของเบียร์ สามารถหาความเข้มข้นของสารเมื่อทราบค่าการดูดกลืนแสง โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง, c คือ ความเข้มข้น, ε = 26,900 และ l คือ path length (1 cm)

2) สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีทั่วไป Mol = g/MW ; $M_1V_1 = M_2V_2$ ผนวกรวมสูตรทั้งหมดเข้าด้วยกัน ได้สูตรที่ใช้ในการคำนวณการเตรียมสารละลายแอนโธไซยานินส์ดังนี้

$$\frac{A}{\varepsilon} \times V_1 = \frac{g}{MW} \times V_2$$

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแอนโธไซยานินส์ที่อ่านได้เริ่มต้น

ε ของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 26,900

V_1 คือ ปริมาตรของสารสกัดเริ่มต้นที่ต้องใช้ (มิลลิลิตร)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

g คือ ปริมาณของแอนโธไซยานินส์ที่ต้องการเตรียม (กรัม)

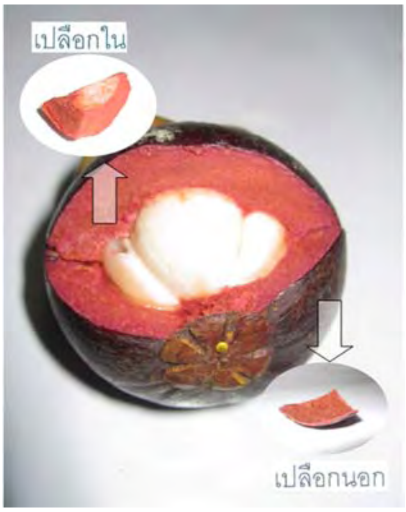
MW ของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2 (กรัม)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม (มิลลิลิตร)

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่มีความเข้มข้น 40 mg/ml จำนวน 250 ml โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแอนโธไซยานินส์เริ่มต้นมีค่า 2.448 เมื่อคำนวณตามสูตรข้างต้นพบว่า ค่า V_1 ที่ได้ 244 ml ดังนั้นสารละลายแอนโธไซยานินส์ 40 mg/ml จำนวน 250 ml เตรียมได้โดยนำสารสกัดแอนโธไซยานินส์เริ่มต้นมา 244 ml แล้วเจือจางด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด (1%HCl ใน 95% ethanol) จนปริมาตรสุดท้ายเป็น 250 ml

ภาคผนวก ข.

รูปประกอบการทดลองและผลการทดลอง



รูปผนวกที่ 1 ส่วนของเปลือกด้านนอกและเปลือกด้านใน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

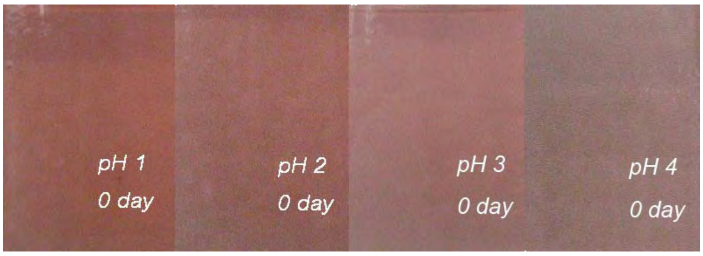
รูปผนวกที่ 2 กล่องควบคุมปริมาณแสง

รูปผนวกที่ 3 สีของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนเปลือกนอกและเปลือกใน

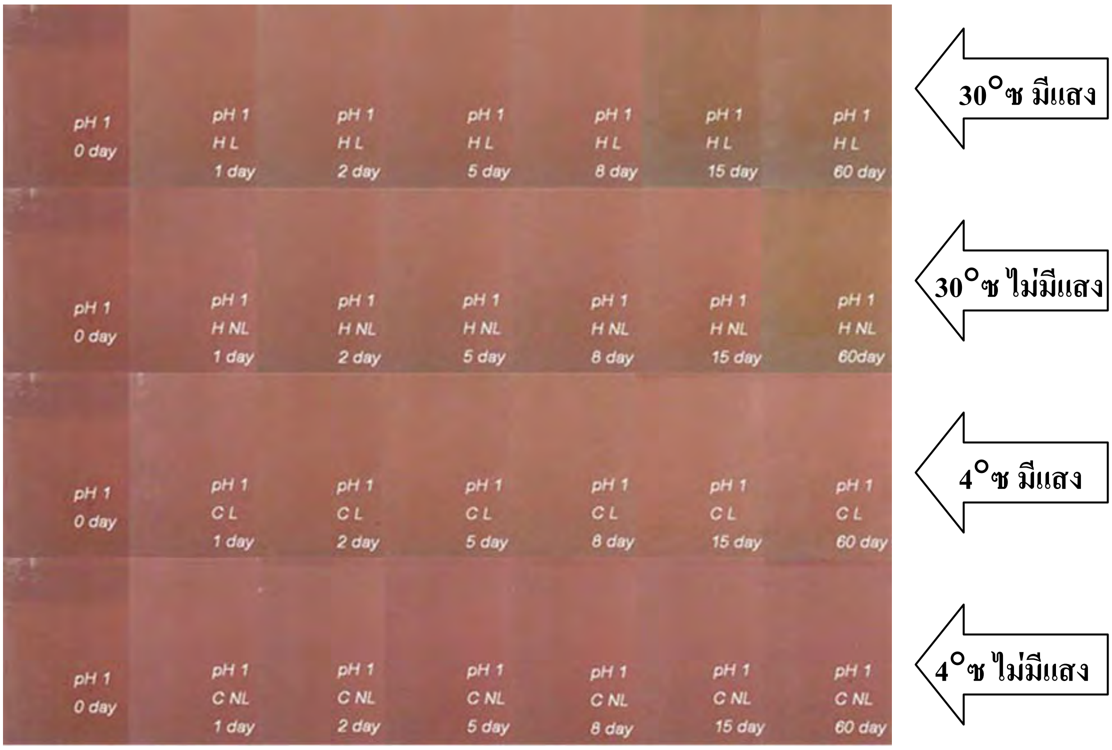
รูปผนวกที่ 4 สีของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในอัตราส่วนต่างๆ ในการสกัดครั้งที่ 1

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปผนวกที่ 5 สีของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้ในเวลาต่างๆ

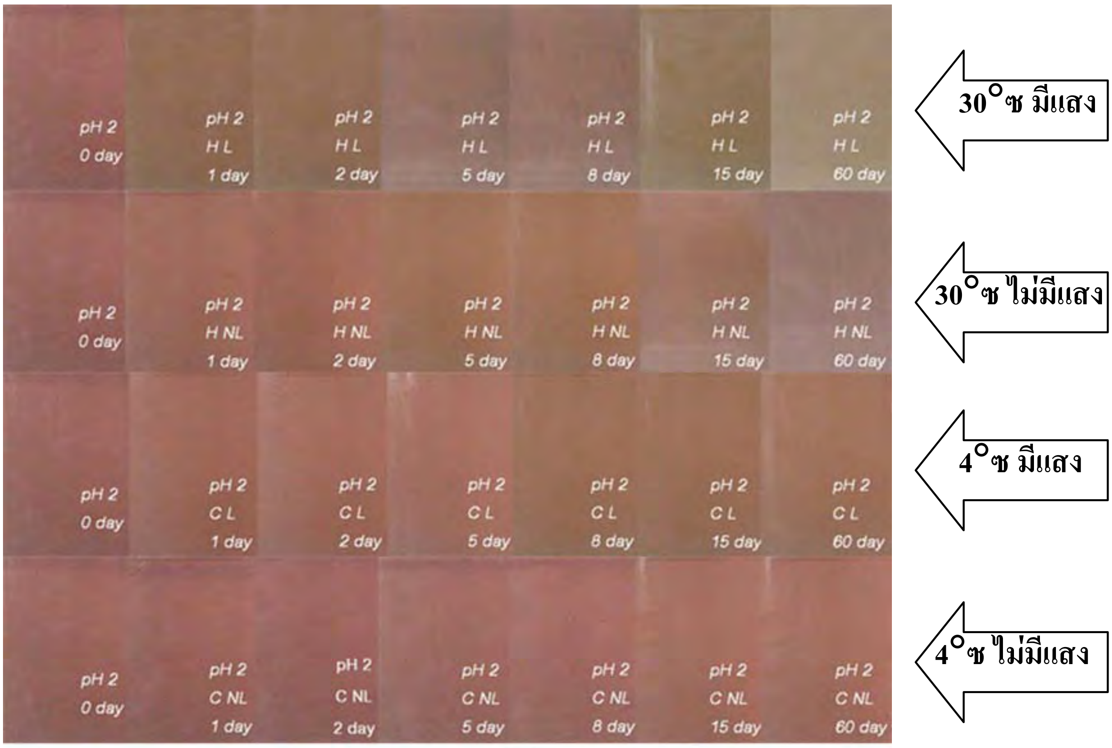


รูปผนวกที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของสีแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1-4

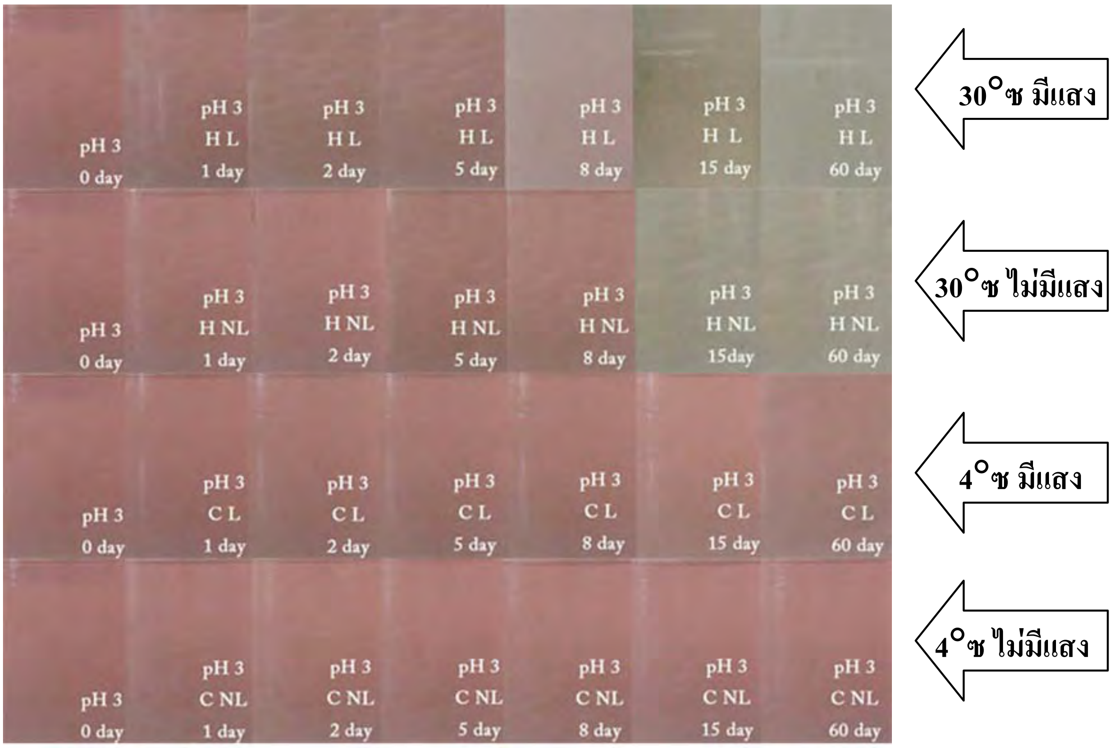


รูปผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของสีในสารละลาย pH 1 ในสภาวะการเก็บต่างๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

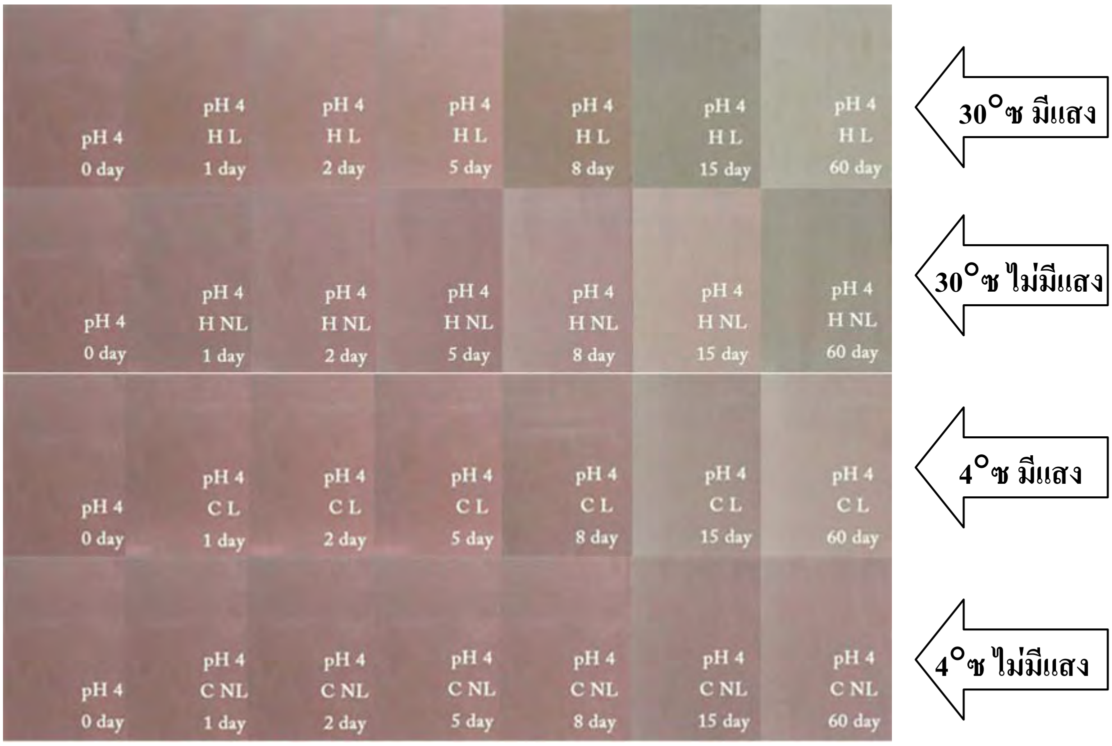


รูปผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของสีในสารละลาย pH 2 ในสภาวะการเก็บต่างๆ



รูปผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของสีในสารละลาย pH 3 ในสภาวะการเก็บต่างๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปผนวกที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของสีในสารละลาย pH 4 ในสภาวะการเก็บต่างๆ

ภาคผนวก ค.

ตารางผลการทดลอง

ตารางภาคนวกที่ 1 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากส่วนต่างๆของเปลือกมังคุด

ส่วนของเปลือก	ปริมาณแอนโธไซยานินส์ (mg/100g dry Sample)
เปลือกด้านนอก	341.74±55.42[a]
เปลือกด้านใน	45.12±3.35[b]

หมายเหตุ : a, b แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางภาคนวกที่ 2 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่สกัดด้วยอัตราส่วนต่างๆ ที่สกัดครั้งที่ 1-3

อัตราส่วนในการสกัด	ปริมาณแอนโธไซยานินส์ (mg/100g dry Sample)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	รวม
1:10	291.78±2.40[b]	119.62±10.96[a]	28.86±7.35[ns]	440.26±15.91[ns]
1:25	351.37±11.30[a]	81.70±2.87[b]	18.08±3.94[ns]	451.15±4.22[ns]
1:50	362.01±6.42[a]	67.92±2.62[bc]	19.10±2.36[ns]	449.03±1.45[ns]
1:100	388.81±32.93[a]	54.38±0.21[cd]	28.43±10.28[ns]	471.62±32.19[ns]
1:250	376.58±17.79[a]	49.51±4.44[d]	26.13±1.97[ns]	452.23±20.27[ns]

หมายเหตุ : a, b,…, d แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันของค่าในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคนวกที่ 3 ปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่เวลาในการสกัดต่างๆ

เวลาในการสกัด	ปริมาณแอนโธไซยานินส์ (mg/100g dry Sample)
2 นาที	220.91±10.06 [c]
30 นาที	336.31±29.47 [b]
1 ชั่วโมง	382.71±7.44 [a]
3 ชั่วโมง	353.65±2.26 [ab]
5 ชั่วโมง	385.74±7.03 [a]

หมายเหตุ : a, b, c แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางภาคนวกที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงและค่า a* value ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ ที่ 0 วัน

pH	ค่าการดูดกลืนแสง	a* value
1	0.198±0.069 [a]	9.8323±0.2180 [a]
2	0.167±0.064 [a]	9.0033±0.4332 [a]
2	0.097±0.023 [ab]	6.8044±0.4717 [b]
4	0.034±0.035 [b]	3.5303±0.1954 [c]

หมายเหตุ : a, b, c แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภาคผนวก ง.

ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 anova แบบ CRD ของค่าความชื้นของส่วนเปลือกนอกและในมังคุด (wet basis)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Moist	1	528.0940167	528.0940167	1900.53	<.0001
Error	4	1.1114667	0.2778667		
Corrected Total	5	529.2054833			

ตารางผนวกที่ 2 anova แบบ CRD ของค่าความชื้นของส่วนเปลือกนอกและในมังคุด (dry basis)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr >F
Moist	1	13688.97135	13688.97135	847.39	<.0001
Error	4	64.61673	16.15418		
Corrected Total	5	13753.58808			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 3 anova แบบ CRD ของปริมาณแอนโธไซยานินส์จากเปลือกด้านนอกและในมังคุด

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Area	1	131975.1366	131975.1366	85.63	0.0008
Error	4	6164.8098	1541.2025		
Corrected Total	5	138139.9464			

ตารางผนวกที่ 4 anova แบบ CRD ของค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์ของส่วนเปลือกนอกที่สกัดด้วยอัตราส่วนต่างๆในการสกัดครั้งที่ 1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Ratio	4	16991.06989	4247.76747	13.53	0.0005
Error	10	3139.04080	313.90408		
Corrected Total	14	20130.11069			

ตารางผนวกที่ 5 anova แบบ CRD ของค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์ของส่วนเปลือกนอกที่สกัดด้วยอัตราส่วนต่างๆในการสกัดครั้งที่ 2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Ratio	4	9479.568000	2369.892000	76.50	<.0001
Error	10	309.791333	30.979133		
Corrected Total	14	9789.359333			

ตารางผนวกที่ 6 anova แบบ CRD ของค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์ของส่วนเปลือกนอกที่สกัดด้วยอัตราส่วนต่างๆในการสกัดครั้งที่ 3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Ratio	4	320.4641067	80.1160267	2.17	0.1461
Error	10	369.2292667	36.9229267		
Corrected Total	14	689.6933733			

ตารางผนวกที่ 7 anova แบบ CRD ของค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์ของส่วนเปลือกนอกที่สกัดด้วยอัตราส่วนต่างๆในการสกัดรวมทั้ง 3 ครั้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Ratio	4	1585.973360	396.493340	1.15	0.3872
Error	10	3440.097600	344.009760		
Corrected Total	14	5026.070960			

ตารางผนวกที่ 8 anova แบบ CRD ของค่าปริมาณแอนโธไซยานินส์ของส่วนเปลือกนอกที่สกัดด้วยเวลาในการสกัดต่างๆ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Time	4	54639.74244	13659.93561	63.26	<.0001
Error	10	2159.47760	215.94776		
Corrected Total	14	56799.22004			

ตารางผนวกที่ 9 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
pH	3	0 .04864225	0.01621408	6.89	0.0132
Error	8	0.01883467	0.00235433		
Corrected Total	11	0.06747692			

ตารางผนวกที่ 10 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH ต่างๆ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
pH	3	71.31044922	23.77014974	191.75	<.0001
Error	8	0.99172443	0.12396555		
Corrected Total	11	72.30217365			

ตารางผนวกที่ 11 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	0.01295114	0.00215852	1.98	0.1369
Error	14	0.01525200	0.00108943		
Corrected Total	20	0.02820314			

ตารางผนวกที่ 12 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	0.01303000	0.00217167	2.69	0.0596
Error	14	0.01130200	0.00080729		
Corrected Total	20	0.02433200			

ตารางผนวกที่ 13 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	0.01333714	0.00222286	1.56	0.2300
Error	14	0.01992467	0.00142319		
Corrected Total	20	0.03326181			

ตารางผนวกที่ 14 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	0.01436657	0.00239443	1.36	0.2956
Error	14	0.02462000	0.00175857		
Corrected Total	20	0.03898657			

ตารางผนวกที่ 15 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00429100	0.00143033	1.00	0.4419
Error	8	0.01146667	0.00143333		
Corrected Total	11	0.01575767			

ตารางผนวกที่ 16 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00296025	0.00098675	0.63	0.6142
Error	8	0.01247067	0.00155883		
Corrected Total	11	0.01543092			

ตารางผนวกที่ 17 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00028758	0.00009586	0.77	0.5429
Error	8	0.00099733	0.00012467		
Corrected Total	11	0.00128492			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 18 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00062500	0.00020833	0.97	0.4531
Error	8	0.00171867	0.00021483		
Corrected Total	11	0.00234367			

ตารางผนวกที่ 19 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00013267	0.00004422	0.21	0.8843
Error	8	0.00165733	0.00020717		
Corrected Total	11	0.00179000			

ตารางผนวกที่ 20 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00068492	0.00022831	2.30	0.1538
Error	8	0.00079333	0.00009917		
Corrected Total	11	0.00147825			

ตารางผนวกที่ 21 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	74.1545985	12.3590997	1.93	0.1451
Error	14	89.4927093	6.3923364		
Corrected Total	20	163.6473078			

ตารางผนวกที่ 22 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	68.7807139	11.4634523	1.98	0.1368
Error	14	80.9736007	5.7838286		
Corrected Total	20	149.7543146			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 23 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	67.4726118	11.2454353	1.04	0.4417
Error	14	151.6091980	10.8292284		
Corrected Total	20	219.0818098			

ตารางผนวกที่ 24 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	63.7820733	10.6303456	0.99	0.4693
Error	14	150.5633753	10.7545268		
Corrected Total	20	214.3454487			

ตารางผนวกที่ 25 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	16.20550825	5.40183608	0.57	0.6481
Error	8	75.31438067	9.41429758		
Corrected Total	11	91.51988892			

ตารางผนวกที่ 26 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	18.22810567	6.07603522	0.69	0.5831
Error	8	70.42870800	8.80358850		
Corrected Total	11	88.65681367			

ตารางผนวกที่ 27 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	20.88618092	6.96206031	0.74	0.5593
Error	8	75.66493600	9.45811700		
Corrected Total	11	96.55111692			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 28 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	4.77968825	1.59322942	0.70	0.5789
Error	8	18.25421267	2.28177658		
Corrected Total	11	23.03390092			

ตารางผนวกที่ 29 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.20983425	0.06994475	0.02	0.9951
Error	8	25.06213667	3.13276708		
Corrected Total	11	25.27197092			

ตารางผนวกที่ 30 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	2.18365425	0.72788475	0.29	0.8306
Error	8	19.97967467	2.49745933		
Corrected Total	11	22.16332892			

ตารางผนวกที่ 31 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	9.29534683	1.54922447	10.98	0.0001
Error	14	1.97548183	0.14110585		
Corrected Total	20	11.27082867			

ตารางผนวกที่ 32 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	4.87420234	0.81236706	7.03	0.0013
Error	14	1.61810285	0.11557877		
Corrected Total	20	6.49230519			

ตารางผนวกที่ 33 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	2.57842677	0.42973779	1.83	0.1640
Error	14	3.28096570	0.23435469		
Corrected Total	20	5.85939247			

ตารางผนวกที่ 34 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.63062035	0.10510339	1.04	0.4420
Error	14	1.41762632	0.10125902		
Corrected Total	20	2.04824667			

ตารางผนวกที่ 35 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.24382127	0.08127376	0.52	0.6774
Error	8	1.23921278	0.15490160		
Corrected Total	11	1.48303405			

ตารางผนวกที่ 36 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.32763223	0.10921074	0.85	0.5027
Error	8	1.02291439	0.12786430		
Corrected Total	11	1.35054663			

ตารางผนวกที่ 37 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.48279468	0.16093156	1.14	0.3901
Error	8	1.13011923	0.14126490		
Corrected Total	11	1.61291391			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 38 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.60021001	0.20007000	1.64	0.2558
Error	8	0.97595684	0.12199460		
Corrected Total	11	1.57616685			

ตารางผนวกที่ 39 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.65072450	0.21690817	1.19	0.3735
Error	8	1.45899000	0.18237375		
Corrected Total	11	2.10971450			

ตารางผนวกที่ 40 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	5.33419140	1.77806380	6.82	0.0135
Error	8	2.08475447	0.26059431		
Corrected Total	11	7.41894586			

ตารางผนวกที่ 41 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	6	40.3519090	6.7253182	0.77	0.6069
Error	14	122.5084249	8.7506018		
Corrected Total	20	162.8603339			

ตารางผนวกที่ 42 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	46.2222848	7.7037141	1.22	0.3514
Error	14	88.1520849	6.2965775		
Corrected Total	20	134.3743697			

ตารางผนวกที่ 43 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	33.0080473	5.5013412	0.45	0.8322
Error	14	170.5254288	12.1803878		
Corrected Total	20	203.5334761			

ตารางผนวกที่ 44 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	42.6608799	7.1101467	0.65	0.6933
Error	14	154.2203230	11.0157374		
Corrected Total	20	196.8812029			

ตารางผนวกที่ 45 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	11.71333151	3.90444384	0.40	0.7583
Error	8	78.50467468	9.81308433		
Corrected Total	11	90.21800619			

ตารางผนวกที่ 46 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	19.81902881	6.60634294	0.70	0.5804
Error	8	76.00634002	9.50079250		
Corrected Total	11	95.82536883			

ตารางผนวกที่ 47 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	7.32979169	2.44326390	0.26	0.8500
Error	8	74.21102438	9.27637805		
Corrected Total	11	81.54081607			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 48 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	2.82065952	0.94021984	0.24	0.8658
Error	8	31.27599992	3.90949999		
Corrected Total	11	34.09665944			

ตารางผนวกที่ 49 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.32826543	0.10942181	0.06	0.9771
Error	8	13.53129748	1.69141219		
Corrected Total	11	13.85956291			

ตารางผนวกที่ 50 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 1 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.29496730	0.09832243	0.04	0.9864
Error	8	17.52498095	2.19062262		
Corrected Total	11	17.81994825			

ตารางผนวกที่ 51 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.01050229	0.00175038	2.78	0.0537
Error	14	0.00880667	0.00062905		
Corrected Total	20	0.01930895			

ตารางผนวกที่ 52 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00851733	0.00141956	2.13	0.1138
Error	14	0.00931133	0.00066510		
Corrected Total	20	0.01782867			

ตารางผนวกที่ 53 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00704790	0.00117465	1.03	0.4461
Error	14	0.01596133	0.00114010		
Corrected Total	20	0.02300924			

ตารางผนวกที่ 54 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00522248	0.00087041	0.71	0.6446
Error	14	0.01706533	0.00121895		
Corrected Total	20	0.02228781			

ตารางผนวกที่ 55 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00130625	0.00043542	0.53	0.6755
Error	8	0.00659800	0.00082475		
Corrected Total	11	0.00790425			

ตารางผนวกที่ 56 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00110967	0.00036989	0.64	0.6119
Error	8	0.00464400	0.00058050		
Corrected Total	11	0.00575367			

ตารางผนวกที่ 57 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00160425	0.00053475	1.00	0.4408
Error	8	0.00427467	0.00053433		
Corrected Total	11	0.00587892			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 58 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00115667	0.00038556	1.49	0.2882
Error	8	0.00206400	0.00025800		
Corrected Total	11	0.00322067			

ตารางผนวกที่ 59 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00099767	0.00033256	4.29	0.0442
Error	8	0.00062000	0.00007750		
Corrected Total	11	0.00161767			

ตารางผนวกที่ 60 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00072567	0.00024189	34.56	<.0001
Error	8	0.00005600	0.00000700		
Corrected Total	11	0.00078167			

ตารางผนวกที่ 61 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	67.8243366	11.3040561	2.46	0.0774
Error	14	64.3025380	4.5930384		
Corrected Total	20	132.1268746			

ตารางผนวกที่ 62 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	53.2362125	8.8727021	1.85	0.1604
Error	14	67.0736553	4.7909754		
Corrected Total	20	120.3098678			

ตารางผนวกที่ 63 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	55.9486631	9.3247772	1.09	0.4166
Error	14	120.1918247	8.5851303		
Corrected Total	20	176.1404878			

ตารางผนวกที่ 64 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	41.1920892	6.8653482	0.72	0.6430
Error	14	134.1805033	9.5843217		
Corrected Total	20	175.3725926			

ตารางผนวกที่ 65 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	12.64879833	4.21626611	1.14	0.3889
Error	8	29.51213333	3.68901667		
Corrected Total	11	42.16093167			

ตารางผนวกที่ 66 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	4.04715092	1.34905031	0.48	0.7055
Error	8	22.50845600	2.81355700		
Corrected Total	11	26.55560692			

ตารางผนวกที่ 67 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	21.03642267	7.01214089	1.25	0.3559
Error	8	45.05329200	5.63166150		
Corrected Total	11	66.08971467			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 68 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	18.50619900	6.16873300	1.59	0.2658
Error	8	30.98682267	3.87335283		
Corrected Total	11	49.49302167			

ตารางผนวกที่ 69 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	13.88262092	4.62754031	1.57	0.2708
Error	8	23.57836733	2.94729592		
Corrected Total	11	37.46098825			

ตารางผนวกที่ 70 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.24728358	0.08242786	0.08	0.9676
Error	8	7.97171133	0.99646392		
Corrected Total	11	8.21899492			

ตารางผนวกที่ 71 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	8.93163868	1.48860645	9.74	0.0003
Error	14	2.14051244	0.15289375		
Corrected Total	20	11.07215112			

ตารางผนวกที่ 72 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	4.66498626	0.77749771	12.73	<.0001
Error	14	0.85524299	0.06108879		
Corrected Total	20	5.52022925			

ตารางผนวกที่ 73 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	3.17958296	0.52993049	2.24	0.0999
Error	14	3.30693335	0.23620953		
Corrected Total	20	6.48651631			

ตารางผนวกที่ 74 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.35304180	0.05884030	1.49	0.2507
Error	14	0.55179509	0.03941393		
Corrected Total	20	0.90483689			

ตารางผนวกที่ 75 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.32976329	0.10992110	1.80	0.2255
Error	8	0.48929457	0.06116182		
Corrected Total	11	0.81905786			

ตารางผนวกที่ 76 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.32953259	0.10984420	3.02	0.0940
Error	8	0.29111583	0.03638948		
Corrected Total	11	0.62064842			

ตารางผนวกที่ 77 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.58067810	0.19355937	5.31	0.0262
Error	8	0.29135971	0.03641996		
Corrected Total	11	0.87203781			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 78 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.01868852	0.33956284	3.67	0.0627
Error	8	0.73952793	0.09244099		
Corrected Total	11	1.75821645			

ตารางผนวกที่ 79 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.66710055	0.55570018	1.85	0.2166
Error	8	2.40473320	0.30059165		
Corrected Total	11	.07183375			

ตารางผนวกที่ 80 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	5.21793315	1.73931105	12.23	0.0023
Error	8	1.13735149	0.14216894		
Corrected Total	11	6.35528464			

ตารางผนวกที่ 81 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	24.06072543	4.01012091	0.85	0.5559
Error	14	66.38877577	4.74205541		
Corrected Total	20	90.44950120			

ตารางผนวกที่ 82 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	27.24953178	4.54158863	0.99	0.4659
Error	14	63.93515194	4.56679657		
Corrected Total	20	91.18468372			

ตารางผนวกที่ 83 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	16.5830746	2.7638458	0.30	0.9241
Error	14	126.9682871	9.0691634		
Corrected Total	20	143.5513617			

ตารางผนวกที่ 84 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	25.6481488	4.2746915	0.57	0.7493
Error	14	105.3537680	7.5252691		
Corrected Total	20	131.0019168			

ตารางผนวกที่ 85 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	8.01565658	2.67188553	0.57	0.6526
Error	8	37.75902193	4.71987774		
Corrected Total	11	45.77467850			

ตารางผนวกที่ 86 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.92088300	0.30696100	0.07	0.9740
Error	8	34.72888203	4.34111025		
Corrected Total	11	35.64976503			

ตารางผนวกที่ 87 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	7.82639706	2.60879902	0.60	0.6340
Error	8	34.90008416	4.36251052		
Corrected Total	11	42.72648122			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 88 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	8.67171821	2.89057274	0.68	0.5869
Error	8	33.85291966	4.23161496		
Corrected Total	11	42.52463787			

ตารางผนวกที่ 89 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	3.64403652	1.21467884	0.28	0.8393
Error	8	34.85205069	4.35650634		
Corrected Total	11	38.49608722			

ตารางผนวกที่ 90 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 2 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.99590477	0.33196826	0.17	0.9164
Error	8	16.00734418	2.00091802		
Corrected Total	11	17.00324895			

ตารางผนวกที่ 91 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00328381	0.00054730	4.63	0.0085
Error	14	0.00165333	0.00011810		
Corrected Total	20	0.00493714			

ตารางผนวกที่ 92 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00309457	0.00051576	4.49	0.0097
Error	14	0.00160867	0.00011490		
Corrected Total	20	0.00470324			

ตารางผนวกที่ 93 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00067029	0.00011171	0.98	0.4716
Error	14	0.00158867	0.00011348		
Corrected Total	20	0.00225895			

ตารางผนวกที่ 94 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00054257	0.00009043	0.79	0.5910
Error	14	0.00159800	0.00011414		
Corrected Total	20	0.00214057			

ตารางผนวกที่ 95 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00008667	0.00002889	0.19	0.9019
Error	8	0.00123200	0.00015400		
Corrected Total	11	0.00131867			

ตารางผนวกที่ 96 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00012225	0.00004075	0.77	0.5400
Error	8	0.00042067	0.00005258		
Corrected Total	11	0.00054292			

ตารางผนวกที่ 97 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00032200	0.00010733	3.52	0.0687
Error	8	0.00024400	0.00003050		
Corrected Total	11	0.00056600			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 98 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00031425	0.00010475	7.86	0.0091
Error	8	0.00010667	0.00001333		
Corrected Total	11	0.00042092			

ตารางผนวกที่ 99 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00035358	0.00011786	5.22	0.0275
Error	8	0.00018067	0.00002258		
Corrected Total	11	0.00053425			

ตารางผนวกที่ 100 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Trt	3	0.00199400	0.00066467	65.92	<.0001
Error	8	0.00008067	0.00001008		
Corrected Total	11	0.00207467			

ตารางผนวกที่ 101 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	14.69941295	2.44990216	2.01	0.1319
Error	14	17.04889200	1.21777800		
Corrected Total	20	31.74830495			

ตารางผนวกที่ 102 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	15.25698867	2.542831445	1.81	0.1718
Error	14	19.67877448	1.405626749		
Corrected Total	20	34.93576314			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 103 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	10.16321133	1.69386856	1.30	0.3198
Error	14	18.25556267	1.30396876		
Corrected Total	20	28.41877400			

ตารางผนวกที่ 104 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	11.15249381	1.85874897	1.37	0.2926
Error	14	18.99580200	1.35684300		
Corrected Total	20	30.14829581			

ตารางผนวกที่ 105 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.64276267	0.21425422	0.25	0.8621
Error	8	6.97336733	0.87167092		
Corrected Total	11	7.61613000			

ตารางผนวกที่ 106 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.48714967	0.49571656	0.44	0.7339
Error	8	9.11445600	1.13930700		
Corrected Total	11	10.60160567			

ตารางผนวกที่ 107 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.90149667	0.30049889	1.89	0.2098
Error	8	1.27247800	0.15905975		
Corrected Total	11	2.17397467			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 108 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	2.29460867	0.76486956	0.93	0.4683
Error	8	6.55857733	0.81982217		
Corrected Total	11	8.85318600			

ตารางผนวกที่ 109 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	2.61906225	0.87302075	3.10	0.0890
Error	8	2.25052467	0.28131558		
Corrected Total	11	4.86958692			

ตารางผนวกที่ 110 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.47830958	0.49276986	1.46	0.2955
Error	8	2.69186333	0.33648292		
Corrected Total	11	4.17017292			

ตารางผนวกที่ 111 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	20.89992899	3.48332150	28.19	<.0001
Error	14	1.72973621	0.12355259		
Corrected Total	20	22.62966520			

ตารางผนวกที่ 112 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	15.47337554	2.57889592	24.70	<.0001
Error	14	1.46163829	0.10440273		
Corrected Total	20	16.93501383			

ตารางผนวกที่ 113 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	1.19964748	0.19994125	2.02	0.1311
Error	14	1.38775895	0.09912564		
Corrected Total	20	2.58740643			

ตารางผนวกที่ 114 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.43998558	0.07333093	1.24	0.3434
Error	14	0.82659925	0.05904280		
Corrected Total	20	1.26658483			

ตารางผนวกที่ 115 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.30347924	0.10115975	6.10	0.0183
Error	8	0.13266179	0.01658272		
Corrected Total	11	0.43614103			

ตารางผนวกที่ 116 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.23652457	0.07884152	1.45	0.2989
Error	8	0.43479392	0.05434924		
Corrected Total	11	0.67131849			

ตารางผนวกที่ 117 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.03118515	0.34372838	4.43	0.0410
Error	8	0.62045949	0.07755744		
Corrected Total	11	1.65164465			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 118 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.93411619	0.31137206	4.43	0.0410
Error	8	0.56206308	0.07025789		
Corrected Total	11	1.49617927			

ตารางผนวกที่ 119 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	3.66917318	1.22305773	9.07	0.0059
Error	8	1.07905385	0.13488173		
Corrected Total	11	4.74822702			

ตารางผนวกที่ 120 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	18.31394792	6.10464931	61.30	<.0001
Error	8	0.79673766	0.09959221		
Corrected Total	11	19.11068558			

ตารางผนวกที่ 121 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.91262207	0.15210368	0.17	0.9794
Error	14	12.20196406	0.87156886		
Corrected Total	20	13.11458613			

ตารางผนวกที่ 122 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	1.19870902	0.19978484	0.28	0.9379
Error	14	10.05231685	0.71802263		
Corrected Total	20	11.25102587			

ตารางผนวกที่ 123 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	1.32156925	0.22026154	0.28	0.9364
Error	14	10.96301087	0.78307220		
Corrected Total	20	12.28458011			

ตารางผนวกที่ 124 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	3.11203411	0.51867235	0.96	0.4875
Error	14	7.58818630	0.54201331		
Corrected Total	20	10.70022041			

ตารางผนวกที่ 125 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.14887828	0.04962609	0.09	0.9654
Error	8	4.57814061	0.57226758		
Corrected Total	11	4.72701888			

ตารางผนวกที่ 126 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.43923019	0.14641006	0.19	0.9026
Error	8	6.28019670	0.78502459		
Corrected Total	11	6.71942689			

ตารางผนวกที่ 127 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.88909526	0.62969842	0.74	0.5554
Error	8	6.77210679	0.84651335		
Corrected Total	11	8.66120205			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 128 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.24777991	0.08259330	0.12	0.9461
Error	8	5.52971589	0.69121449		
Corrected Total	11	5.77749580			

ตารางผนวกที่ 129 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.29570346	0.09856782	0.39	0.7658
Error	8	2.03990317	0.25498790		
Corrected Total	11	2.33560663			

ตารางผนวกที่ 130 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 3 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.48914805	0.49638268	1.53	0.2787
Error	8	2.58706081	0.32338260		
Corrected Total	11	4.07620886			

ตารางผนวกที่ 131 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00163429	0.00027238	19.00	<.0001
Error	14	0.00020067	0.00001433		
Corrected Total	20	0.00183495			

ตารางผนวกที่ 132 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00128229	0.00021371	15.11	<.0001
Error	14	0.00019800	0.00001414		
Corrected Total	20	0.00148029			

ตารางผนวกที่ 133 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00087181	0.00014530	5.92	0.0029
Error	14	0.00034333	0.00002452		
Corrected Total	20	0.00121514			

ตารางผนวกที่ 134 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	0.00052924	0.00008821	3.98	0.0155
Error	14	0.00031000	0.00002214		
Corrected Total	20	0.00083924			

ตารางผนวกที่ 135 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00005225	0.00001742	0.69	0.5834
Error	8	0.00020200	0.00002525		
Corrected Total	11	0.00025425			

ตารางผนวกที่ 136 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00006967	0.00002322	1.04	0.4243
Error	8	0.00017800	0.00002225		
Corrected Total	11	0.00024767			

ตารางผนวกที่ 137 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00019800	0.00006600	4.60	0.0374
Error	8	0.00011467	0.00001433		
Corrected Total	11	0.00031267			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 138 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00015667	0.00005222	2.43	0.1404
Error	8	0.00017200	0.00002150		
Corrected Total	11	0.00032867			

ตารางผนวกที่ 139 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00033800	0.00011267	5.16	0.0283
Error	8	0.00017467	0.00002183		
Corrected Total	11	0.00051267			

ตารางผนวกที่ 140 anova แบบ CRD ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.00026700	0.00008900	6.36	0.0164
Error	8	0.00011200	0.00001400		
Corrected Total	11	0.00037900			

ตารางผนวกที่ 141 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	29.6569023	4.9428170	0.80	0.5851
Error	14	86.3913987	6.1708142		
Corrected Total	20	116.0483010			

ตารางผนวกที่ 142 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	31.9722806	5.3287134	0.78	0.6005
Error	14	95.8817427	6.8486959		
Corrected Total	20	127.8540232			

ตารางผนวกที่ 143 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	27.16294924	4.52715821	2.02	0.1303
Error	14	31.34684600	2.23906043		
Corrected Total	20	58.50979524			

ตารางผนวกที่ 144 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	16.03561495	2.67260249	1.43	0.2708
Error	14	26.13658400	1.86689886		
Corrected Total	20	42.17219895			

ตารางผนวกที่ 145 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	3.20401967	1.06800656	0.26	0.8494
Error	8	32.33896200	4.04237025		
Corrected Total	11	35.54298167			

ตารางผนวกที่ 146 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.53083158	0.51027719	0.27	0.8448
Error	8	15.07493533	1.88436692		
Corrected Total	11	16.60576692			

ตารางผนวกที่ 147 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	5.49017358	1.83005786	0.26	0.8547
Error	8	57.06781533	7.13347692		
Corrected Total	11	62.55798892			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 148 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	12.0775049	4.0258350	0.32	0.8143
Error	8	102.2254240	12.7781780		
Corrected Total	11	114.3029289			

ตารางผนวกที่ 149 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	6.02364758	2.00788253	0.82	0.5204
Error	8	19.68983333	2.46122917		
Corrected Total	11	25.71348092			

ตารางผนวกที่ 150 anova แบบ CRD ของค่า L* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.01981758	0.33993919	0.23	0.8716
Error	8	11.72180933	1.46522617		
Corrected Total	11	12.74162692			

ตารางผนวกที่ 151 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	8.38279674	1.39713279	15.80	<.0001
Error	14	1.23765471	0.08840391		
Corrected Total	20	9.62045145			

ตารางผนวกที่ 152 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	5.62228065	0.93704678	10.20	0.0002
Error	14	1.28651753	0.09189411		
Corrected Total	20	6.90879818			

ตารางผนวกที่ 153 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	3.98940169	0.66490028	4.11	0.0138
Error	14	2.26626947	0.16187639		
Corrected Total	20	6.25567117			

ตารางผนวกที่ 154 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4
ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	2.30798868	0.38466478	2.22	0.1031
Error	14	2.42954243	0.17353875		
Corrected Total	20	4.73753111			

ตารางผนวกที่ 155 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.20353716	0.06784572	0.17	0.9136
Error	8	3.19107067	0.39888383		
Corrected Total	11	3.39460783			

ตารางผนวกที่ 156 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.50790118	0.16930039	2.89	0.1020
Error	8	0.46794435	0.05849304		
Corrected Total	11	0.97584553			

ตารางผนวกที่ 157 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.27833300	0.09277767	1.07	0.4155
Error	8	0.69529440	0.08691180		
Corrected Total	11	0.97362740			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 158 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.76276002	0.25425334	1.91	0.2059
Error	8	1.06296319	0.13287040		
Corrected Total	11	1.82572321			

ตารางผนวกที่ 159 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.59761428	0.53253809	4.02	0.0512
Error	8	1.05854739	0.13231842		
Corrected Total	11	2.65616166			

ตารางผนวกที่ 160 anova แบบ CRD ของค่า a* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.68528293	0.56176098	10.25	0.0041
Error	8	0.43855948	0.05481993		
Corrected Total	11	2.12384241			

ตารางผนวกที่ 161 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	6.68290117	1.11381686	1.78	0.1756
Error	14	8.76753517	0.62625251		
Corrected Total	20	15.45043633			

ตารางผนวกที่ 162 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและไม่มีแสง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	5.08248892	0.84708149	1.00	0.4607
Error	14	11.81495897	0.84392564		
Corrected Total	20	16.89744789			

ตารางผนวกที่ 163 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	2.17358488	0.36226415	0.56	0.7549
Error	14	9.05266611	0.64661901		
Corrected Total	20	11.22625099			

ตารางผนวกที่ 164 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	6	2.81346954	0.46891159	0.80	0.5879
Error	14	8.23903623	0.58850259		
Corrected Total	20	11.05250577			

ตารางผนวกที่ 165 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (1 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.71126142	0.23708714	0.19	0.8993
Error	8	9.90761475	1.23845184		
Corrected Total	11	10.61887617			

ตารางผนวกที่ 166 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (2 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.25985326	0.41995109	0.51	0.6894
Error	8	6.65018399	0.83127300		
Corrected Total	11	7.91003725			

ตารางผนวกที่ 167 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (5 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.29100328	0.09700109	0.69	0.5844
Error	8	1.12813769	0.14101721		
Corrected Total	11	1.41914097			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ 168 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (8 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	0.26404427	0.08801476	0.14	0.9315
Error	8	4.93245189	0.61655649		
Corrected Total	11	5.19649616			

ตารางผนวกที่ 169 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (15 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.57402343	0.52467448	0.58	0.6459
Error	8	7.26894513	0.90861814		
Corrected Total	11	8.84296857			

ตารางผนวกที่ 170 anova แบบ CRD ของค่า b* ของสารละลายแอนโธไซยานินส์ที่ pH 4 (60 วัน)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	3	1.44642061	0.48214020	0.51	0.6879
Error	8	7.59873884	0.94984236		
Corrected Total	11	9.04515945			

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวยุพาพร ผลาขจรศักดิ์

ที่อยู่ 69-71 ซอยสมเด็จเจ้าพระยา 3 ตำบลสมเด็จเจ้าพระยา อำเภอคลองสาน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10600

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

พ.ศ. 2545 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2545-2547 ผู้ช่วยอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสนอผลงาน

เสนอผลงานบางส่วนในการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 6 ในงาน THAIFEX & HALFEX 2004 in Conjunction with world of Food Powered by ANUGA ระหว่างวันที่ 28-29 พฤษภาคม 2547 ณ ศูนย์แสดงสินค้าอิมแพค-เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร

เสนอผลงานบางส่วนในงาน the 1st KMITL International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development ระหว่างวันที่ 25-26 สิงหาคม 2547 ณ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร