

การศึกษาผลของวิธีการทำดอกอัญชันแห้งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำดอกอัญชัน

STUDY ON THE EFFECT OF DRYING METHODS ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF BUTTERFLY PEA FLOWERS

อัยยัญดา สิริจลพพงศ์¹ วรวิติ สุขชัยยะ² สุราทิพย์ ทองเล่ม² ฟนทิพย์ หอมริน¹ และ เจริญพร โชคบริบาล^{2*}¹สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220²สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220Aiyada Sirinjullapong¹ Vorawadee Suchaiya² Sutatip Thonglem² Fonthip Homruean¹ and Jaroenporn Chokboribal^{2*}¹Home economic program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220²Material Sciences program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

*E-mail: Chokboribal.J@gmail.com

Received: 2024-08-15

Revised: 2024-12-09

Accepted: 2024-12-12

บทคัดย่อ

ดอกอัญชันเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของแอนโทไซยานิน แต่ในระหว่างการทำแห้งและแปรรูปดอกอัญชันสำหรับนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารจะพบปัญหา ได้แก่ การสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระจากความร้อนและน้ำตาล ทั้งนี้การศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทำดอกอัญชันแห้ง จะสามารถรักษาและป้องกันการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระและสารในกลุ่มของแอนโทไซยานินได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการทำแห้ง 3 แบบ ได้แก่ การตากแดด การอบแห้ง และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกอัญชัน พบว่า ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ดอกอัญชันคงรูปและมีสีของน้ำต้มดอกอัญชันใกล้เคียงกับน้ำอัญชันจากดอกสด และยังช่วยรักษาสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด นอกจากนี้การทำน้ำหวานจะลดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยน้ำต้มดอกอัญชันแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 41.41 ± 1.13 mg GAE/g และมีการต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละ 39.76 ± 0.55 ในขณะที่น้ำหวานดอกอัญชันแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่า คือ เท่ากับ 37.74 ± 1.56 mg GAE/g และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระเป็น 37.01 ± 1.08 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ดอกอัญชัน น้ำดอกอัญชัน การทำแห้ง แอนโทไซยานิน

ABSTRACT

Butterfly pea is a plant with high nutritional value and contains biologically active compounds. This active compound possesses nutraceutical and antioxidant properties, which belong to the anthocyanin group. The drying and processing stages of using butterfly pea as a food ingredient cause antioxidant degradation due to heat and sugar. Studying and identifying appropriate methods for producing dried butterfly pea flowers using suitable techniques can serve as a preliminary approach to preserving the degradation of antioxidant and anthocyanin compounds. This research studied total phenolic content and antioxidant activities of 3 types of dried butterfly pea flowers: sun drying, hot air drying, and freeze-drying. The results found that freeze-dried butterfly pea flowers retained their shape and juice color similar to fresh butterfly pea flower juice. Additionally, this method effectively preserved the highest level of antioxidants. Moreover, making syrup reduces the amount of phenolic compounds and antioxidant activity. The butterfly pea flower juice had a total phenolic content of 41.41 ± 1.13 mg GAE/g and antioxidant activity of $39.76 \pm 0.55\%$ DPPH scavenging, whereas butterfly pea flower syrup had a lower, total phenolic content and antioxidant activity of 37.74 ± 1.56 mg. GAE/g and $37.01 \pm 1.08\%$ DPPH scavenging, respectively.

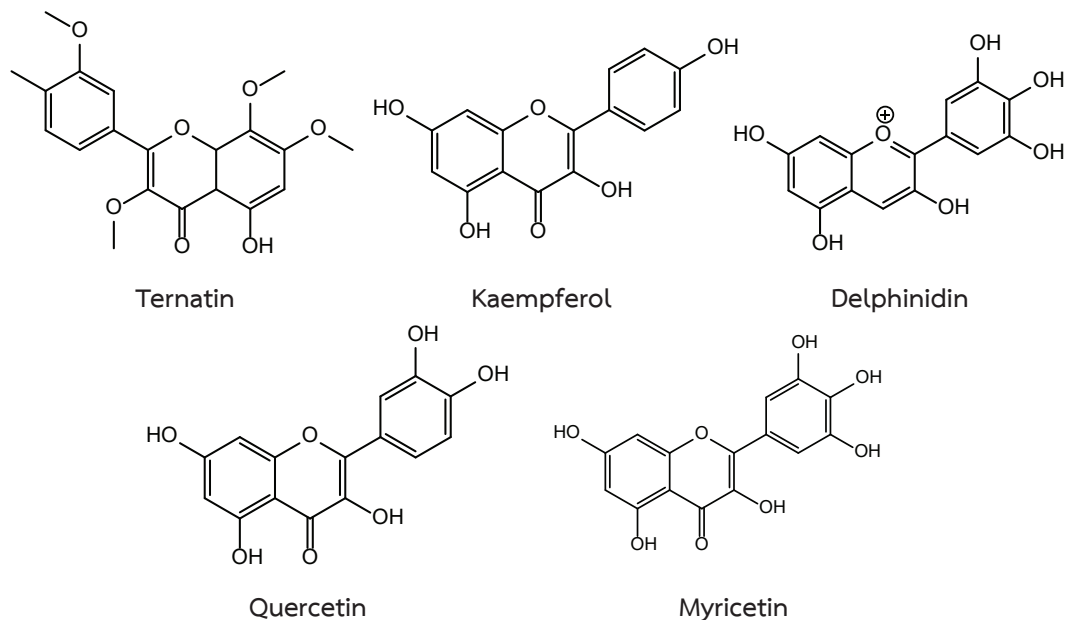
Keywords: Butterfly pea flowers, Butterfly pea flower juice, Drying, Anthocyanin

บทนำ

อัญชัน (Butterfly pea) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Clitoria tematea* Linn. อยู่ในวงศ์ Leguminosae เป็นไม้ล้มลุกในกลุ่มฝักเมล็ดกลมที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย ออกดอกตลอดทั้งปี ดอกมีหลายสี ได้แก่ น้ำเงิน ม่วง ฟ้ำ และขาว ดอกอัญชันสีน้ำเงินนิยมนำไปประกอบอาหารคาวหวาน และใช้ตกแต่งอาหารให้น่ารับประทาน เช่น ขนมชั้น ฐาน บัวลอย บุหลันต้นเมฆ ลอดช่อง ครองแครง ขนมเระไร ข้าวเกรียบปากหม้อ ข้าวเหนียวมูล ถั่วแปบ ส้มกลืน น้ำเชื่อม เค้ก ไอศกรีม มัฟฟิน และโยเกิร์ต (Sarma et al., 2023; Gupta et al., 2010)

ดอกอัญชันประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ที่ใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ รูมาตอยด์ โรคข้ออักเสบ โรคหัวใจ โรคผิวหนัง เนื้องอก ต้อกระจก หอบหืด และการติดเชื้อโรคต่าง ๆ (Ma'ruf et al., 2022; Aziza et al., 2021; Nugraha et al., 2021; Adhikary et al., 2018; ALshamrani et al., 2018; Pakpahan et al., 2023; Kusuma, 2019; Anand et al., 2011) ผลทางเภสัชวิทยาพบว่าอัญชันช่วยต้านเชื้อแบคทีเรียและปรสิต ด้านมะเร็ง ด้านอนุมูลอิสระ ลดการต้านการอักเสบ เสริมภูมิคุ้มกัน แก้ปวด ลดไข้ แก้ซึมเศร้า ด้านเบาหวาน (Oguis et al., 2019) และด้านสารฮิสตามีน (Sarma et al., 2023; Verma et al., 2013; Gupta et al., 2010)

ดอกอัญชันมีสารสีน้ำเงินแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Flavonol glycosides สามารถละลายน้ำได้ดี แต่ไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรด โดยจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนแอนโทไซยานินชนิดที่พบในดอกอัญชัน ได้แก่ Ternatin Kaempferol Quercetin และ Myricetin (Singh et al., 2022; Kazuma et al., 2003) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 โครงสร้าง Ternatin และอนุพันธ์

สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระระดับปานกลางถึงสูง (Rice-Evans et al., 1997) มีฤทธิ์ในการเกิด Lipid peroxidation ช่วยชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว และต้านการอักเสบ ช่วยลดปริมาณ Malondialdehyde (MDA) และเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และ Catalase (CAT) (Patil & Patil, 2011) ดอกอัญชันยังประกอบด้วยสารในกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด (Phenolic compounds) ที่ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ สามารถลดเลือนริ้วรอยและชะลอการเสื่อมสภาพของผิวหนัง จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอางสำหรับการชะลอวัย นอกจากนี้สารสกัดจากดอกอัญชันมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลชีพ ด้านเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และยับยั้งพิษจากแมลงต่าง ๆ (Saetang, 2016; Cheewabanthoeng et al., 2021)

จากคุณประโยชน์ของดอกอัญชันที่กล่าวมานี้ทำให้ดอกอัญชันเป็นที่ต้องการของตลาด ทั้งการใช้ประโยชน์ในด้านอาหารและยา ในด้านอาหารนั้นมักใช้ดอกอัญชันแห้ง เนื่องจากหาได้ง่าย สามารถควบคุมความเข้มของสี เหมาะแก่การนำไปประกอบเป็นอาหารได้ทุกประเภท การทำแห้งเป็นกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาดอกอัญชันให้นานขึ้นและเพิ่มมูลค่าให้กับดอกอัญชัน ซึ่งวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของสมุนไพรที่แตกต่างกัน (Piskov et al., 2020) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การอบลมร้อน การอบด้วยไมโครเวฟ และการตากแดด ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพืช (Rittilert, 2022)

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งแบบต่าง ๆ ได้แก่ การตากแดด การอบลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ และศึกษาคุณภาพทางเคมีของน้ำต้มและน้ำเชื่อมดอกอัญชัน ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 ชนิดเปรียบเทียบกับดอกสด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการแปรรูปดอกอัญชันแห้งให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง

วิธีการ

1. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) (Fluka, Germany), Ethanol (Merck, Germany), Potassium chloride (KCl) (บริษัทเอกตรงเคมีภัณฑ์, ประเทศไทย), Folin Ciocalteu (MERCK, Germany), Gallic acid (Aldrich, Germany), Ammonium thiocyanate (Aldrich, Germany), Ferrous chloride (Aldrich, Germany), Potassium ferricyanide (Aldrich, Germany), Trichloroacetic acid (Aldrich, Germany), Ferric chloride (Aldrich, Germany) และ Sodium carbonate (Merck, Germany)

2. การเตรียมดอกอัญชันและการทำแห้งดอกอัญชัน

ดอกอัญชันนำมาจากท้องถิ่น อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ที่เก็บในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน นำดอกอัญชันสด 300 กรัม มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา 1 ครั้ง จากนั้นนำดอกอัญชันไปทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การตากแดด (Sun drying)

นำดอกอัญชันใส่ถาดอะลูมิเนียมขนาด 33 cm x 4.5 cm x 2.5 cm จากนั้นนำไปตากแดดในเวลา 8.00-16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิต่ำสุด 30 – 38 องศาเซลเซียส)

2.2 การอบลมร้อน (Hot air drying)

นำดอกอัญชันใส่ถาดอะลูมิเนียมขนาด 33 cm x 4.5 cm x 2.5 cm นำไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง (ความเร็วลมเฉลี่ย 4.2 เมตรต่อวินาที) โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer : Semon รุ่น MX-D011E ประเทศไทย)

2.3 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

นำดอกอัญชันไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส ความดัน 50 ปาสคาล เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Freeze dryer : GOLD-SIM รุ่น FD5-4 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

นำดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้ง ไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาผลผลิตโดยมวล (Yield) ภายหลังการอบแห้ง ดังสมการที่ 1 เมื่อกำหนดให้ m_0 คือ มวลทำแห้ง (กรัม) และ m_1 คือมวลที่เหลืออยู่หลังทำแห้ง (กรัม) และวัดสีของดอกอัญชันด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ CIE L*a*b* Color scale (Color meter : FRU รุ่น WR 10 ประเทศจีน)

$$\text{Yield (\%)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

4. การเตรียมน้ำต้มดอกอัญชันและการเตรียมน้ำหวานดอกอัญชัน

4.1 น้ำต้มดอกอัญชัน

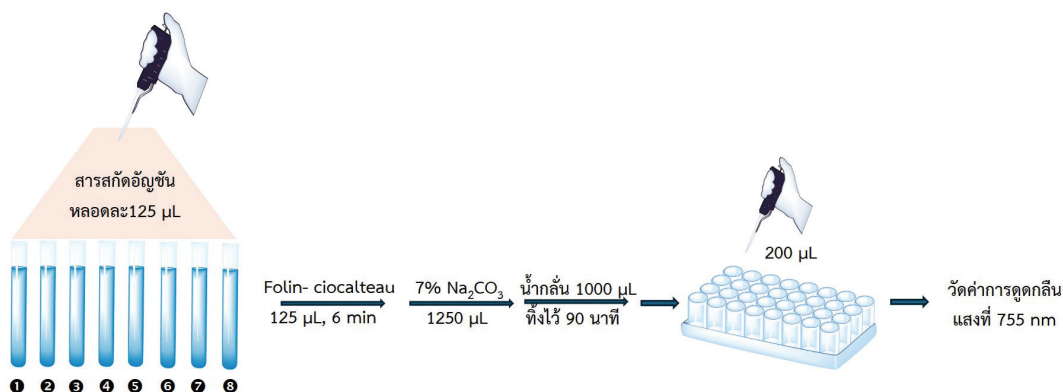
ต้มดอกอัญชันสดหนัก 150 กรัม ในน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10-15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออก แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำต้มดอกอัญชันสดสำหรับน้ำต้มดอกอัญชันแห้งทำโดยชั่งดอกอัญชันแห้ง (การตากแดด) หนัก 42 กรัม ดอกอัญชันแห้ง (การอบแห้ง) หนัก 27 กรัม และดอกอัญชันแห้ง (การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) หนัก 12 กรัม ในน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10-15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออกแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำต้มดอกอัญชันแห้ง

4.2 น้ำหวานดอกอัญชัน

การทำน้ำหวานดอกอัญชันสดและดอกอัญชันแห้งทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1 เติมน้ำตาลทรายขาวยี่ห้อมิตรผล (บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด ประเทศไทย) หนัก 100 กรัม ต้มทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10 ถึง 15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออกแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำหวานดอกอัญชันสดและน้ำหวานดอกอัญชันแห้ง

5. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

นำน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน ตัวอย่างละ 125 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร จากนั้นเติม Folin- ciocalteau reagent ร้อยละ 10 ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 6 นาที แล้วเติม Na_2CO_3 ร้อยละ 7 ปริมาตร 1,250 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 1,000 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 90 นาที จากนั้นปิเปตสารที่ได้ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 755 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (Perkin Elmer รุ่น L160000A ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ เปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid (Chen et al., 2015; Miliauskas et al., 2004) ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

6. การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เข้มข้น 3.9×10^{-2} มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล (ร้อยละ 99.99) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นเตรียมสารสกัดจากดอกอัญชันแต่ละตัวอย่าง โดยละลายดอกอัญชัน 10 กรัม และน้ำตาลทรายขาว 50 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 50 ไมโครลิตร กับ DPPH 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader (Perkin Elmer รุ่น L160000A ประเทศสหรัฐอเมริกา) คำนวณหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH scavenging activity (%) (Blois, 1958) ดังสมการที่ 2

$$\text{DPPH scavenging activity (\%)} = \frac{(A_0 - A_s)}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลาย DPPH (ชุดควบคุม)

A_s คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณฟีนอลิก ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) และความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพของดอกอัญชันแห้ง

ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งโดยการตากแดดมีสีเข้มขึ้นและมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับดอกสด เช่นเดียวกับดอกอัญชันที่ผ่านการอบลมร้อนมีสีเข้มขึ้นและมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย ในขณะที่ดอกอัญชันที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสีจางลงแต่มีขนาดของดอกเท่าเดิม (ภาพที่ 3)

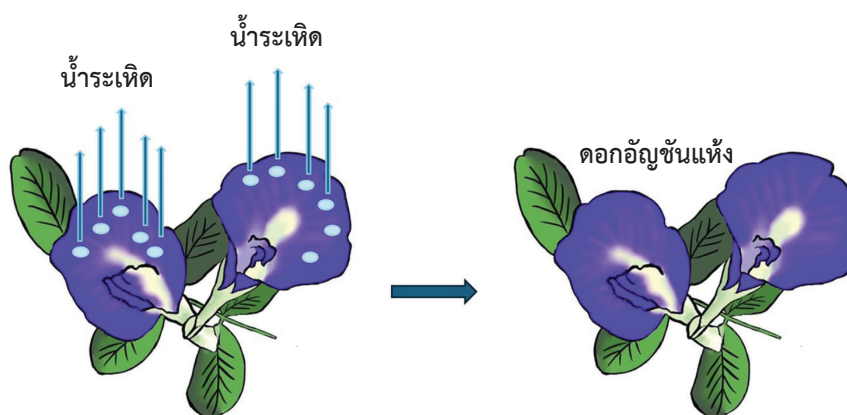


ภาพที่ 3 ลักษณะของดอกอัญชันก่อนและหลังการทำแห้ง

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของดอกอัญชันหลังการทำแห้ง

วิธีการทำแห้ง	น้ำหนักดอกสด (กรัม)	น้ำหนักดอกแห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (ร้อยละ)
ดอกสด	300	-	-
การตากแดด	300	84±0.81	27.67±0.27
การอบลมร้อน	300	54±1.08	17.62±0.20
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	300	54±1.22	8.62±0.99

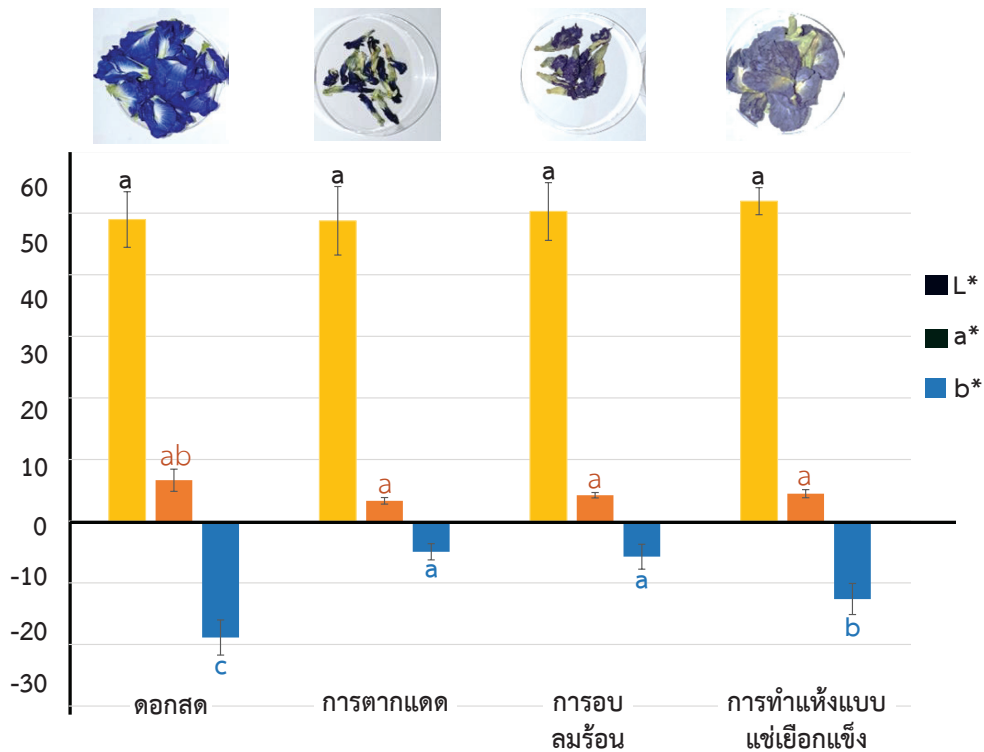
การทำแห้งดอกอัญชัน ส่งผลให้น้ำหนักของดอกอัญชันลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้นในดอกอัญชัน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีน้ำหนักดอกอัญชันแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดการระเหิดของน้ำออกจากโครงสร้างของดอกอัญชัน (ภาพที่ 4) โดยโมเลกุลของน้ำที่ระเหิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดอกอัญชัน (Merivaara et al., 2021) ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ออกจากดอกอัญชันโดยไม่ทำลายเซลล์ จึงช่วยรักษาสภาพของเซลล์ได้มากที่สุด จึงได้ดอกอัญชันที่แห้งและคงรูปได้ดี (ภาพที่ 4) ซึ่งสามารถนำดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไปประดับตกแต่งอาหารได้



ภาพที่ 4 การระเหิดของน้ำออกจากดอกอัญชัน

ตารางที่ 2 ค่าสี L^* , a^* , b^* ของดอกอัญชัน

วิธีการทำแห้ง	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสีแดง (a^*)	ค่าสีน้ำเงิน (b^*)
ดอกสด	48.96±4.52	6.64±1.80	-18.88±2.85
การตากแดด	48.75±5.56	3.31±0.53	-4.97±1.31
การอบลมร้อน	50.26±4.68	4.21±0.43	-5.77±2.03
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	51.93±2.20	4.46±0.67	-12.64±2.52



abc Mean±SD ในแต่ละค่าแทนสี โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

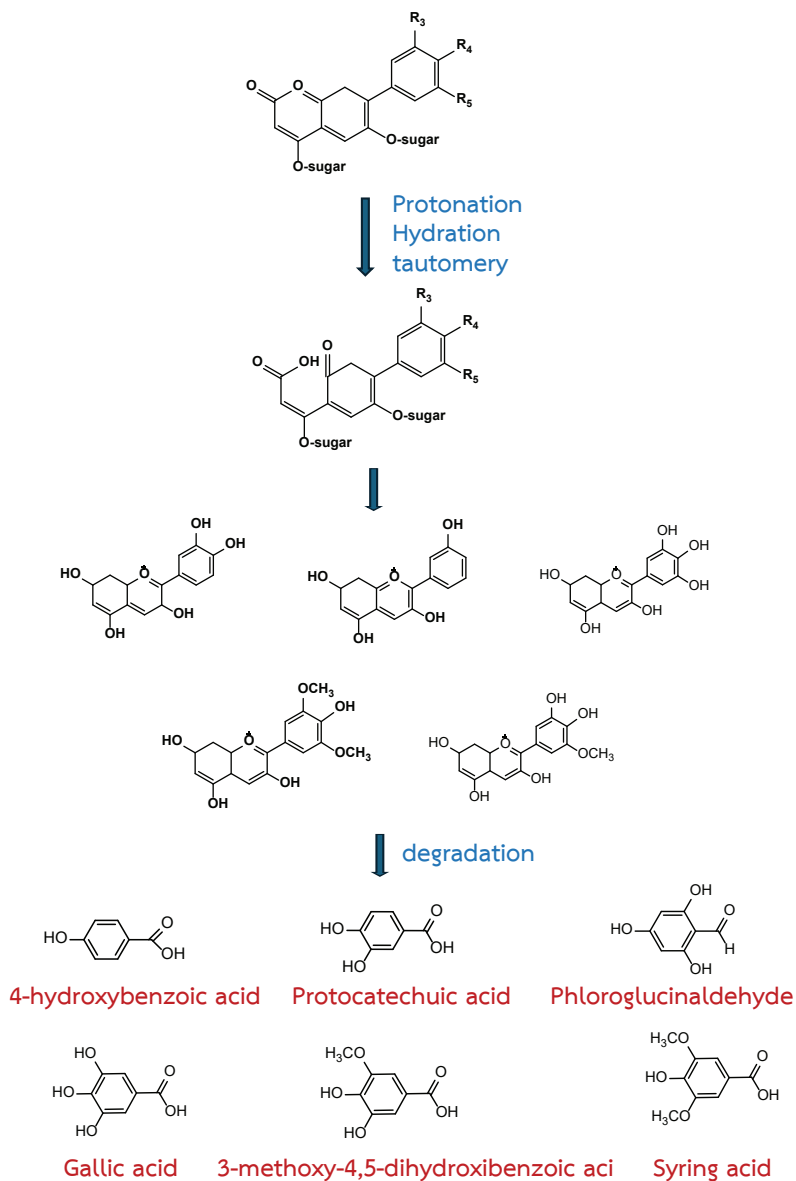
ภาพที่ 5 ค่า L*, a*, b* ของดอกอัญชัน

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 5 พบว่าดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งมีค่าความสว่าง (L*) ใกล้เคียงกัน โดยการอบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (a*) และค่าสีน้ำเงินลดลง (b*) ซึ่งส่งผลต่อสีเหลืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของดอกอัญชันในภาพที่ 3 และ 5

เมื่อพิจารณาค่าสี b* (ภาพที่ 5) พบว่าการแห้งโดยการตากแดดและอบลมร้อนมีผลทำให้ค่าสีน้ำเงินลดลง อาจเนื่องมาจากรังสี UV จากแสงแดด (Purbaningtias et al., 2017) และความร้อนจากลมร้อน (Sipahli et al., 2017; Oancea, 2021) ที่มีผลต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานิน จากปฏิกิริยา Protonation ตามด้วย Hydration และ Tautomerism ตามลำดับ ทำให้เกิด O^+ ในโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ส่งผลให้เกิดการสลายตัวเป็น 4-Hydroxy benzoic acid, Protocatechuic acid, Phloroglucinaldehyde, Gallic acid, Syring acid, 3-methoxy-4,5-dihydroxybenzoic acid (ภาพที่ 6) ที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าแอนโทไซยานิน

2. ลักษณะของน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน

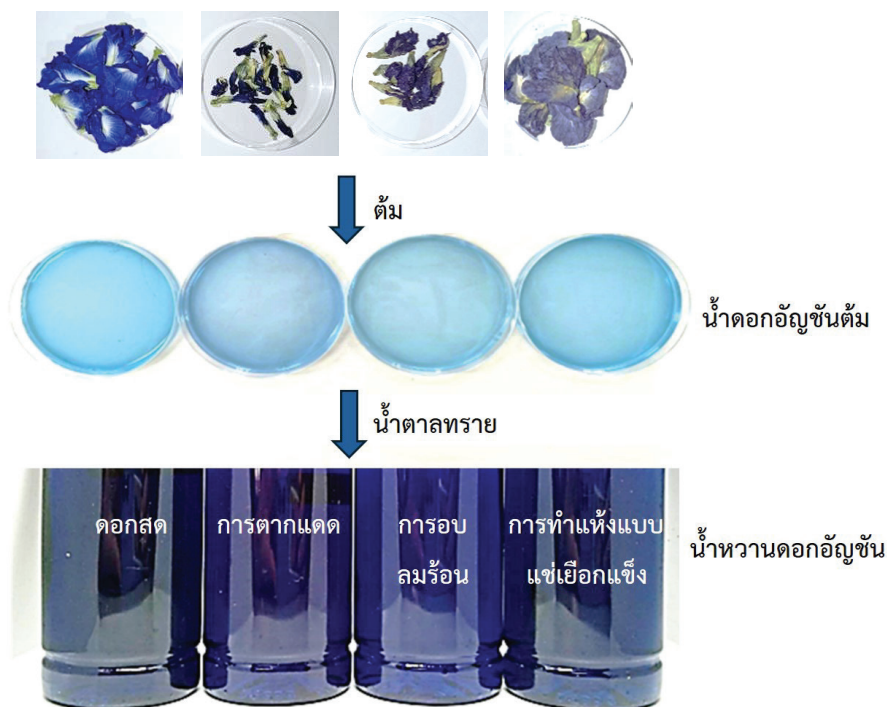
สีของน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชันผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสีใกล้เคียงกับสีน้ำดอกอัญชันสด (ภาพที่ 7) อาจเป็นเพราะมีปริมาณแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ส่วนสีน้ำต้มดอกอัญชันที่ผ่านการตากแดดและการอบลมร้อน มีสีน้ำเงินที่สว่างกว่าสีจากน้ำต้มดอกอัญชันสดและดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอาจเป็นเพราะมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวจากรังสี UV และความร้อน (Purbaningtias et al., 2017; Oancea, 2021)



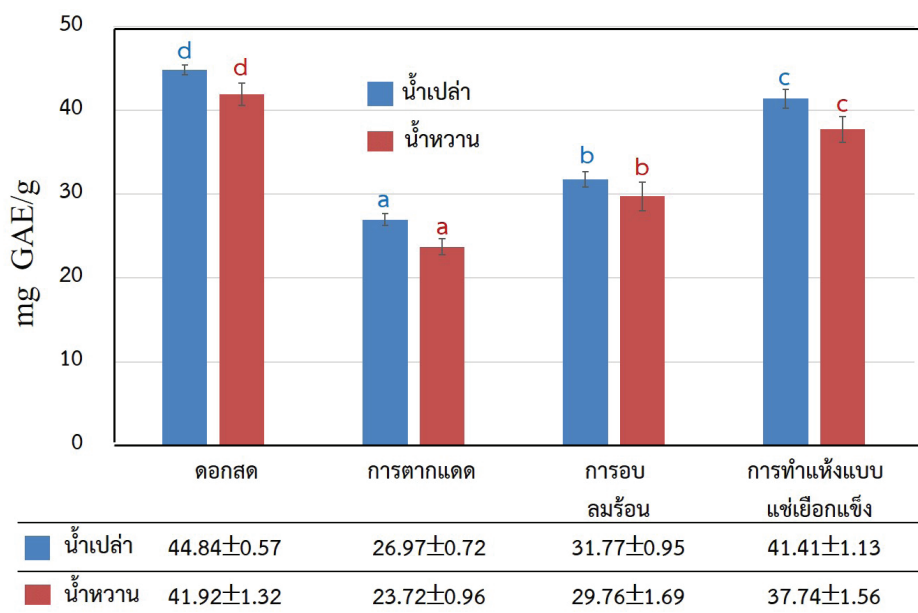
ภาพที่ 6 กลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินจากความร้อน

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ดอกอัญชันสดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดคือ 44.84 ± 0.58 mg GAE/g รองลงมาคือ ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (41.41 ± 1.13 mg GAE/g) ส่วนน้ำดอกอัญชันแห้งตากแดด และดอกอัญชันที่ผ่านการตากแดด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดคือ 26.97 ± 0.72 mg GAE/g (ภาพที่ 8) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rittilert (2022) ที่พบว่าปริมาณฟีนอลิกจากการทำแห้งด้วยลมร้อน และการตากแดดในผงชา แก่นตะวันลดลง อันเนื่องมาจากรังสี UV และความชื้น



ภาพที่ 7 ลักษณะของน้ำตำดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน

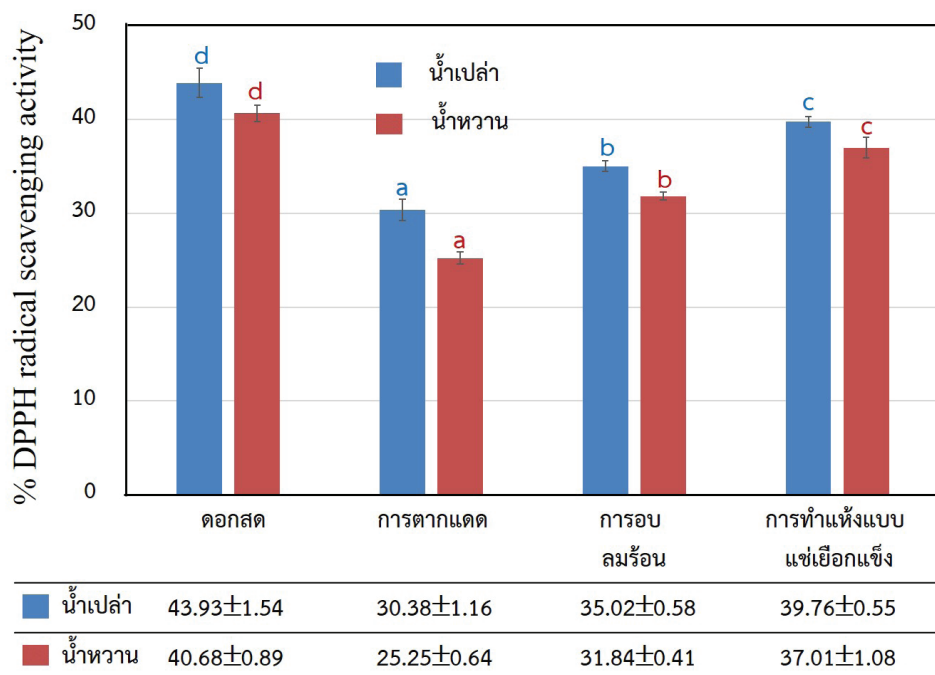


^{abc}Mean ± SD %DPPH โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำอัญชัน

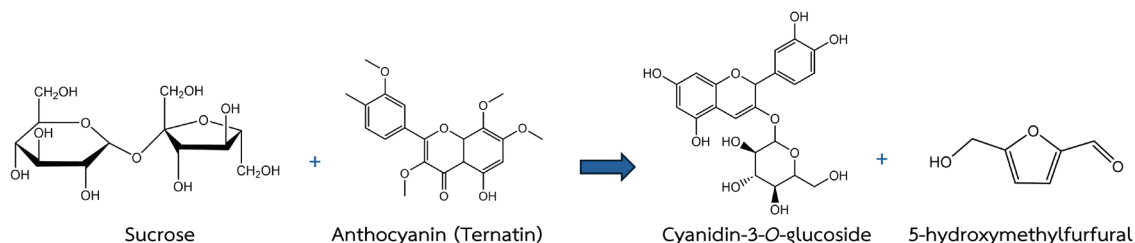
4. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

น้ำดอกอัญชันที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (ร้อยละ 39.76 ± 0.55 DPPH scavenging) ซึ่งสูงกว่าน้ำดอกอัญชันที่ผ่านการอบลมร้อน (ร้อยละ 35.02 ± 0.58 DPPH scavenging) และน้ำดอกอัญชันที่ผ่านการตากแดด (ร้อยละ 30.38 ± 1.16 DPPH scavenging) ส่วนน้ำหวานดอกอัญชันให้ค่า Total phenolic และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ดอกอัญชันที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ค่า Total phenolic เท่ากับ 37.74 ± 1.56 mg GAE/g และร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ 37.01 ± 1.08 DPPH scavenging ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทำให้แห้งเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงฟีนอลิกทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมน้ำตาลมีผลทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งน้ำตาลมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยน้ำตาลไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินไปเป็น Antocyanidin-3-O-glucoside (C3G) และเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็น 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) (Song et al., 2023) (ภาพที่ 10) จากนั้น 5-HMF จะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้สารเป็นสารประกอบที่ไม่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant inactive) (Song et al., 2023) (ภาพที่ 11)



^{abc}Mean $\pm$ SD ในแต่ละค่าแกนสี โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 9 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำดอกอัญชัน



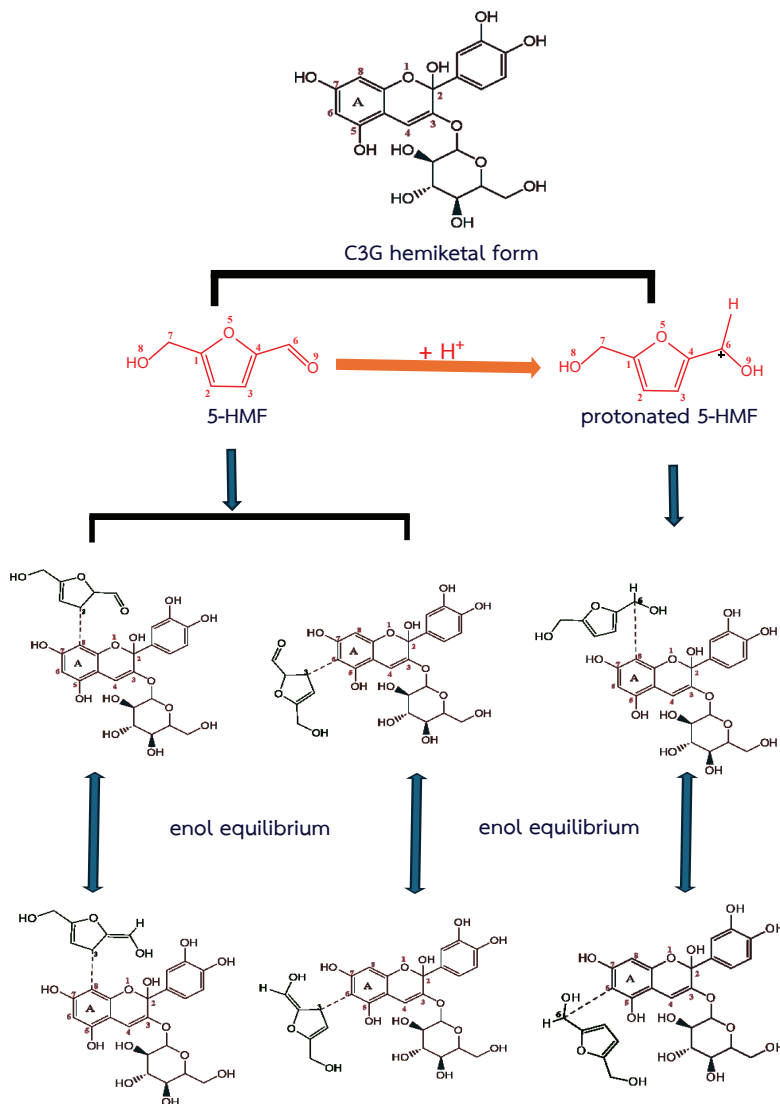
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินและการเกิด 5-hydroxymethylfurfural

จากกลไกการจับของน้ำตาล(Sucrose)กับแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ คือ Cyanidin-3-O-glucoside (C3G) และ 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) (ภาพที่ 10) จากนั้น 5-HMF หรือ protonated 5-HMF จะไปจับกับ C3G ที่ตำแหน่งจับอนุมูลอิสระ (Active site) (Song et al., 2023) ทำให้ประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานินลดลง (ภาพที่ 11)

ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (ภาพที่ 8) ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง (ภาพที่ 9) เหตุผลที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งช่วยรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้มากกว่าวิธีการทำแห้งแบบอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างมากกว่าวิธีอื่น ๆ จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำส่งผลให้โมเลกุลของน้ำตาลละลายได้มากขึ้น นอกจากนี้ความร้อนจากการตากแดดและการอบลมร้อนอาจทำให้สารสำคัญเกิดการย่อยสลายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอัญชันมีปริมาณแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำมารับประทานเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ แต่ดอกอัญชันสดมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ใกล้เคียงกับดอกสดแต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้เวลาในการผลิตนาน และกรรมวิธีในการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นวิธีนี้อาจไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้โดยทั่วไป ส่วนการทำแห้งโดยการตากแดดนั้น ถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนในการผลิตต่ำ และทำได้ง่าย แต่อาจมีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล และภูมิอากาศ การทำแห้งโดยการอบลมร้อนมีวิธีการไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังช่วยรักษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการตากแดด

อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีผลต่อการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในการผลิตน้ำอัญชันหรืออาหารที่มีอัญชันเป็นส่วนประกอบอาจต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำตาลที่ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อคงคุณค่า



ภาพที่ 11 การทำปฏิกิริยาของ 5-HMF และ C3G hemiketal form

สรุป

ดอกอัญชันมีสารประกอบฟีนอลที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งแอนโทไซยานินในดอกอัญชันสามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนและรังสี UV การทำแห้งดอกอัญชันแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้ดีที่สุด และน้ำตาลจะให้ประสิทธิภาพการต่อต้านอนุมูลอิสระลดลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สนับสนุนสถานที่เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Adhikary, R., Sultana, S., & Bishayi, B. (2018). *Clitoria ternatea* flower petals: Effect on TNFR1 neutralization via downregulation of synovial matrix metalloproteases. **Journal of Ethnopharmacology**, **210**, 209-222.
- ALshamrani, S. M., Safhi, F. A., Mobasher, M. A., Saleem, R. M., Alharthi, A., Alshaya, D. S., & Awad, N. S. (2022). Antiproliferative effect of *Clitoria ternatea* ethanolic extract against colorectal, breast, and medullary thyroid cancer cell lines. **Separations**, **9**(11), 331.
- Anand, S. P., Doss, A., & Nandagopalan, V. (2011). Antibacterial studies on leaves of *Clitoria ternatea* Linn. A high potential medicinal plant. **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, **2**(3), 453-456.
- Aziza, V., Ulimaz, T. A., Ustari, D., Suganda, T., Concibido, V., Irawan, B., & Karuniawan, A. (2021). Keragaman Fenotipik Bunga Telang Double Petal Asal Indonesia dan Thailand Berdasarkan Morfologi Bunga. **AL-KAUNIYAH Jurnal Biologi**, **14**(1), 78-89.
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature**, **181**(4617), 1199-1200.
- Cheewabanthong, C., Sornchaithawatwong, C., & Tadtong, S. (2021). Anti-aging activity of mauve *Clitoria Ternatea* L. petal extract. **Thai Pharmaceutical and Health Science Journal**. **16**(3), 228-233.
- Chen, L. Y., Cheng, C. W., & Liang, J. Y. (2015). Effect of esterification condensation on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. **Food Chemistry**, **170**, 10-15.
- Gupta, G., Chahal, J., & Bhatia, M. (2010). *Clitoria ternatea* (L.): old and new aspects. **Journal of Pharmacy Research**, **3**(11), 2610-2614.
- Kazuma, K., Noda, N., & Suzuki, M. (2003). Flavonoid composition related to a different line of *Clitoria ternatea*. **Phytochemistry**, **64**(6), 1133-1139.
- Kusuma, A. D. (2019). Potensi Teh Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Sebagai Obat Pengencer Dahak Herbal Melalui Uji Mukositas. **Risenologi**, **4**(2), 65-73.
- Ma'ruf N. Q., Hotmian, E., Tania, A. D., Antasionasti, I., Fatimawali, & Tallei, T. E. (2022). **In silico analysis of the Interactions of *Clitoria Ternatea* (L.) bioactive compounds against multiple immunomodulatory receptors**. In R. Lalu Rudyat Telly Savalas (Ed.), Vol. 2638 AIP Conference Proceedings (070006). Indonesia: AIP Publishing.
- Merivaara, A., Zini, J., Koivunotko, E., Valkonen, S., Korhonen, O., Fernandes, F. M., Yliperttula, M. (2021). Preservation of biomaterials and cells by freeze-drying: Change of paradigm. **Journal of Controlled Release**, **336**, 480-498.
- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. **Food Chemistry**, **85**(2), 231-237.

- Nugraha, A. P., Rahmadhani, D., Puspitaningrum, M. S., Rizqianti, Y., Kharisma, V. D., & Ernawati, D. S. (2021). Molecular docking of anthocyanins and ternatin in *Clitoria ternatea* as coronavirus disease oral manifestation therapy. **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research**, **12**(4), 362-367.
- Piskov, S., Timchenko, L., Grimm, W., Rzhepakovsky, I., Avanesyan, S., Sizonenko, M., & Kurchenko, V. (2020). Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus Ostreatus*). **Foods Journal**, **9**(2), 160, 1-26.
- Purbaningtias, T. E., Aprilia, A. C., & Fauzi'ah, L. (2017). **The study of temperature and UV light effect in anthocyanin extract from dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) rind using UV-Visible spectrophotometer**. In R. Riyanto (Ed.) Vol.1911(1) AIP Conference Proceedings (020014), Indonesia: AIP Publishing.
- Oancea, S. (2021). A review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. **Antioxidants**, **10**(9), 1-23.
- Oguis, G. K., Gilding, E. K., Jackson, M. A., & Craik, D. J. (2019). Butterfly pea (*Clitoria ternatea*), a cyclotidebearing plant with applications in agriculture and medicine. **Frontiers in Plant Science**, **10**(645), 1-23.
- Pakpahan, F. D., Rahmiyani, I., & Sukmawan, Y. P. (2023). Wound healing activity of the *Clitoria ternatea* L. flower ethanolic extract gel preparation in diabetic animal model. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, **16**(1), 140-144.
- Patil, A. P., & Patil, V. R. (2011). Evaluation of invitro antioxidant activity of seeds of blue and white flowered varieties of *Clitoria Ternatea* Linn. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, **3**(4), 330-336.
- Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, **2**(4), 152-159.
- Rittilert, P. (2022). Effect of drying methods on physical and chemical quality of Jerusalem artichoke tea powders during storage. **Agriculture and Technology Journal**, **3**(2), 110-120.
- Saetang, D. (2016). **Development of beverage from extracts of butterfly pea and roselle**. (Master Thesis). Rajamangala University of Technology Phranakhon, Bangkok. (In Thai).
- Sarma, S. K., Kumar, D., Yamini, C., Santhalahari, C., Lahari, C., Kumar C. G., & Lahitha, M. (2023). Review On *Clitoria Ternata*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine**, **8**(9), 43-58.
- Singh, R., Yu, C. C., Chen, G. W., Chen, C. H., Ys, N., Lin, J., & Koksel, F. (2022). Butterfly pea flower as a novel ingredient to produce antioxidant-enriched yellow pea-based breakfast cereals. **Foods**, **11**(21), 3447.

- Sipahli, S., Mohanlall, V., & Mellem, J. J. (2017). Stability and degradation kinetics of crude anthocyanin extracts from *H. sabdariffa*. **Food Science and Technology**, 37(2), 209-215.
- Song, B., Li, H., Tian, J., Zhang, Y., Li, Z., Wang, J., Wang, Y., Xi, X., & Li, B. (2023). Mechanism of sugar degradation product 5-hydroxymethylfurfural reducing the stability of anthocyanins. **Food Chemistry**, 419, 136067.
- Verma, P. R., Itankar, P. R., & Arora, S. K. (2013). Evaluation of antidiabetic antihyperlipidemic and pancreatic regeneration, potential of aerial parts of *Clitoria ternatea*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 23(5), 819-825.