

บทความวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและ การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ของดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.)

ปานฤทัย เมฆะ¹ และ สุจินดา ศรีวัฒนะ^{1*}

ได้รับบทความ: 24 มิถุนายน 2563

ได้รับบทความแก้ไข: 10 กันยายน 2563

ยอมรับตีพิมพ์: 21 กันยายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชันโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์สารให้สีธรรมชาตินำดอกอัญชันมาอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับพลังงาน 3,600 และ 4,800 วัตต์ และใช้เวลา 15 20 และ 25 นาที พบว่าช่วงที่เหมาะสมในการอบแห้งจะใช้พลังงานของไมโครเวฟที่ 3,602.05-4,537.65 วัตต์ และใช้เวลาในการอบ 16.80-23.17 นาที จากการวิเคราะห์ดอกอัญชันอบแห้งมีร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณแอนไซยานิน และค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 17.50, 10.20, 0.389, 1.09 มิลลิกรัมต่อกรัม, 43.39, -0.78 และ 0.87 ตามลำดับ จากนั้นทำการสกัดดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกด้วยตัวทำละลายที่ใช้คือน้ำกลั่นและเอทานอล อุณหภูมิที่ใช้ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 25 และ 30 นาที พบช่วงที่เหมาะสมในการสกัดที่ใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 35.10-45.00 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 26.67-30.00 นาที ส่วนช่วงที่เหมาะสมในการสกัดใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายได้แก่อุณหภูมิ 37.86-45.00 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการสกัด 25.34-30.00 นาที สารสกัดดอกอัญชันสามารถประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางได้

คำสำคัญ: ดอกอัญชัน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ การสกัดด้วยอัลตราโซนิก แอนไซยานิน

¹สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*ผู้ติดต่อประสานงาน, sujindapdt@gmail.com

Optimization of Microwave Vacuum Drying and Ultrasonic Extraction on Physicochemical Properties of Butterfly Pea Flower (*Clitoria ternatea* L.)

Panruthai Makha¹ and Sujinda Sriwattana^{1*}

Received: 24 June 2020

Revised: 10 September 2020

Accepted: 21 September 2020

ABSTRACT

The objectives of this study were to optimize drying process of butterfly pea flower (BPF) using microwave vacuum and to optimize ultrasonic extraction condition of dried BPF. BPF was dried at different microwave power (3,600 W and 4,800 W) and different times (15, 20 and 25 min). The optimum condition of drying was microwave power 3,602.05 to 4,537.65 W and drying time 16.80 to 23.17 min. The significant ($p \leq 0.05$) parameters on the drying efficiency were yield, moisture, a_w , total anthocyanin content (TAC), L^* , a^* and b^* as 17.50%, 10.20%, 0.389, 1.09 mg/g DW, 43.39, -0.78 and 0.87, respectively. Dried BPF was extracted using ultrasonic extraction (solvent: water and ethanol, extraction temperature: 35°C and 45°C, extraction time: 25 and 30 min). The optimum condition of water extraction was 35.10 to 45.00°C for 26.67 to 30.00 min. The optimum conditions of 50% ethanol extraction were temperature 37.86 to 45.00°C and extraction time 25.34 to 30.00 min. BP extract could be used in food and cosmetic industries.

Keywords: Butterfly Pea Flower, Microwave Vacuum Drying, Ultrasonic Extraction, Anthocyanin

¹Agro-Industrial Product Development, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University.

*Corresponding author, email: sujindapdt@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้สารให้สีในรูปแบบสีสังเคราะห์อย่างแพร่หลาย เพราะสีเหล่านั้นมีสีสดใสที่ดึงดูดและราคาถูก อย่างไรก็ตาม สีผสมอาหารสังเคราะห์ทำให้เกิดอาการแพ้และได้รับผลกระทบจากสารก่อมะเร็ง [1] ผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย จึงนิยมเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารให้สีจากธรรมชาติมากขึ้น [2] เนื่องจากมีความปลอดภัยและไม่มีพิษต่อร่างกาย [3] ตัวอย่าง เช่น สีเขียวจากใบเตย [4] สีเหลืองจากขมิ้น [5] และสีน้ำเงินจากดอกอัญชัน [3] เป็นต้น

ดอกอัญชันสีน้ำเงิน (*Clitoria terantea* L.) นิยมนำมาใช้เป็นสารให้สีในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์สีย้อมผม เป็นต้น [3] สารให้สีน้ำเงินในดอกอัญชันส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารแอนโทไซยานินที่มีโครงสร้างหลักเป็น delphinidin glycoside [6] แต่ข้อจำกัดของสารแอนโทไซยานินที่ไม่สามารถคงตัวต่อความเป็นกรดต่าง แสง และอุณหภูมิ [7] อีกทั้งดอกอัญชันนั้นเกิดการเน่าเสียได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้น การรักษาคุณภาพของสารให้สีจากดอกอัญชัน ตั้งแต่กระบวนการอบแห้งจนถึงขั้นตอนการสกัดสารสกัดจากดอกอัญชันจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศเป็นนวัตกรรมการอบแห้งที่มีความสมบูรณ์ เนื่องจาก การอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศจะทำให้มีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็วและมีผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีคุณภาพดีขึ้น เช่น การรักษาสีและสารประกอบที่ให้กลิ่นและรสที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ [8] หลักการของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศจะเริ่มเมื่อเข้าสู่ระบบสุญญากาศ ปริมาณน้ำในอาหารจะเปลี่ยนจากเฟสของเหลวเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำลงซึ่งเมื่อรวมกับการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีอัตราการอบแห้งที่สูงจะทำให้อาหารเกิดอัตราถ่ายเทมวลสู่ระบบได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สด [9] การอบแห้งวิธีนี้ถูกนำไปทำการศึกษาวิจัยเพื่อรักษาและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ใบชาเขียวไทย [10] และทุเรียนอบกรอบ [11]

การสกัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการแยกและพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารที่มีประโยชน์ออกมาจากวัสดุทางธรรมชาติ [12] เช่นเดียวกับการสกัดสารสกัดจากดอกอัญชันที่ประกอบด้วยสารแอนโทไซยานินพบได้หลากหลาย เช่น การสกัดด้วยวิธีการแช่ (maceration) [13] วิธีการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ultrasound-assisted extraction) [14-17] และวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave-assisted extraction) [3] ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สกัดด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย เป็นต้น ซึ่งวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้ตัวทำละลายในการสกัดต่ำ ค่าใช้จ่ายต่ำ และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [18] หลักการของการสกัดวิธีนี้เป็นการใช้คลื่นความถี่ช่วยให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัตถุดิบที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ คลื่นความถี่ยังไปทำลายพันธะที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์จึงทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่าย อีกทั้งช่วยส่งเสริมการแทรกซึมของตัวทำละลาย [16] งานวิจัยของ Corrales (2008) [19] รายงานว่าการสกัดสารจากเปลือกองุ่นที่ประกอบด้วยสารแอนโทไซยานินจะเหมาะสมกับวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เนื่องจากมีสมบัติโมเลกุลของรงควัตถุมีขั้วสูง ทั้งวิธีการสกัดนี้ยังให้ผลิตผลปริมาณเท่ากับ 7.76 มิลลิกรัมสมมูลของ cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกจะช่วยส่งเสริมการแทรกซึมของตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำภายในเซลล์ของกลีบดอกอัญชัน ทำให้ตัวทำละลายสามารถเข้าถึงสารแอนโทไซยานินและสามารถละลายสารแอนโทไซยานินออกมาได้ในปริมาณแอนโทไซยานินมากขึ้น [17]

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงต้องการศึกษาการอบแห้งของดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ และนำดอกอัญชันอบแห้งมาสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดดอกอัญชันที่มี ร้อยละผลผลิตและปริมาณสารแอนโทไซยานินสูง เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สารให้สีธรรมชาติที่สะดวกต่อ การใช้งาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชันโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ และศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์สารให้สี ธรรมชาติ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

ดอกอัญชัน (โครงการหลวง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่) นำมาคัดแยกโดยการวัดค่าสีใน ระบบมันเชล (Muncell color system) โดยใช้โทนสี 7.5PB3/10-10PB3/10 และดอกอัญชันมีความยาว ประมาณ 4-6 เซนติเมตร

1. การศึกษากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชันโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

นำดอกอัญชันสดซึ่งได้จากการเก็บเกี่ยวภายใน 1-2 วัน นำมาผึ่งลม 2-3 ชั่วโมง แล้วนำ ดอกอัญชันปริมาณ 1 กิโลกรัมทำการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ (MarchCool, Thailand) ใช้ ความดันสุญญากาศ 13.33 กิโลปาสคาล [8] โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ระดับพลังงานของ ไมโครเวฟสุญญากาศ (3,600 และ 4,800 วัตต์) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (15 20 และ 25 นาที) ได้สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 1 ตัวอย่างควบคุม คือ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (KluaynamThaiTowOp, Thailand) ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของดอกอัญชันอบแห้ง ดังนี้ ค่าร้อยละผลผลิต (% yield) ค่าความชื้น [20] ค่าแอกติวิตี โดยใช้อุปกรณ์ Water activity meter (AquaLab, USA) ค่าสีระบบ C.I.E. LAB (L^* , a^* , b^*) ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Color Quest XE, USA) และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential [21]

ตารางที่ 1 สภาวะในการอบแห้งของดอกอัญชัน

สิ่งทดลอง	ระดับพลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศ (วัตต์)	เวลา (นาที)
1	3600	15
2		20
3		25
4	4800	15
5		20
6		25

หมายเหตุ 3 ซ้ำการทดลอง

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

นำดอกอัญชันอบแห้งจากกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม มาทำการสกัดสารแอนโทไซยานิน โดยใช้เครื่อง อัลตราโซนิกแบบโพรบ (Sonics & materials, USA) ด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่นและสารละลายเอทานอลความเข้มข้น ร้อยละ 50 (อัตราส่วนของแห้งต่อของเหลว เท่ากับ 1:10) โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัด 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ 2 ระดับ (35, 45°C) และเวลา 2 ระดับ (25, 30 นาที) ซึ่งใช้แอมพลิจูดร้อยละ 50 ที่ 240 วัตต์ และความถี่ 20 kHz [12, 14] ได้สิ่งทดลองดังตารางที่ 2 ตัวอย่างควบคุม คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 30 นาที [7] จากนั้นนำสารสกัดมากรองด้วยตะแกรงกรองเพื่อทำการแยกสารสกัดที่เป็นของเหลวออกจากของแข็ง นำสารสกัดส่วนของเหลวทำการวิเคราะห์คุณภาพของสารสกัดจากดอกอัญชันอบแห้งดังนี้ ค่าร้อยละผลผลิต (% yield) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด [21] ความสามารถในการต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH [14] ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด [14] ค่าสีระบบ C.I.E. LAB (L^* , a^* , b^*) ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Color Quest XE, USA) และความเข้มของสี (color intensity) [15]

ตารางที่ 2 สภาวะในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

สิ่งทดลอง	ตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
1	น้ำกลั่น	35	25
2			30
3			25
4			30
5	สารละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 50	35	25
6			30
7			25
8			30

หมายเหตุ 3 ซ้ำการทดลอง

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลอง แบบ 2×3 และ 2×2 factorial in completely randomized designed สำหรับการศึกษาระบบการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชันโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ และ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ตามลำดับทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) วิเคราะห์สถิติด้วยวิธี Turkey Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย (regression equation) และวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีการหาพื้นที่ตอบสนอง (response surface methodology) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป Minitab 16.0 (Minitab, USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาระบบการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชันโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ

1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของดอกอัญชันอบแห้ง

จากการทดลองดอกอัญชันที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศโดยใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟและเวลาต่างกันที่แสดงลักษณะของดอกอัญชันอบแห้ง ดังรูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีภาพของดอกอัญชันอบแห้งในแต่ละสิ่งทดลองแสดง ดังตารางที่ 3



รูปที่ 1 ลักษณะของดอกอัญชันอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีกายภาพของดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

สิ่งทดลอง ¹ (watt/min)	ผลผลิต (%)	ปริมาณ ความชื้น (%)	ค่าแอดอร์- แอดทิวตี้	ปริมาณ แอนโท- ไซยานิน ทั้งหมด ²	ค่าสี		
					L*	a*	b*
3,600/15	21.00±0.50 ^a	17.23±0.18 ^a	0.589±0.002 ^a	1.25±0.06 ^a	42.23±0.16 ^d	-0.71±0.09 ^b	3.07±0.03 ^b
3,600/20	15.30±0.72 ^b	9.38±0.77 ^c	0.353±0.001 ^c	1.14±0.12 ^a	42.88±0.2 ^d	-0.61±0.01 ^b	-0.89±0.18 ^c
3,600/25	14.83±1.25 ^{bc}	4.95±0.75 ^d	0.254±0.002 ^c	1.07±0.11 ^{ab}	44.46±0.01 ^{bc}	-1.14±0.06 ^c	0.44±0.02 ^d
4,800/15	16.57±0.51 ^b	13.56±0.59 ^b	0.528±0.002 ^b	0.87±0.02 ^{cd}	44.93±0.33 ^{ab}	-0.96±0.06 ^c	2.01±0.18 ^c
4800/20	12.22±0.70 ^d	2.88±0.35 ^c	0.252±0.006 ^c	0.78±0.03 ^{cd}	43.93±0.22 ^c	-1.05±0.01 ^c	3.58±0.44 ^b
4,800/25	12.17±0.76 ^d	2.08±0.55 ^c	0.255±0.002 ^c	0.68±0.02 ^d	45.37±0.34 ^a	0.69±0.51 ^a	5.62±0.32 ^a
ตัวอย่างควบคุม ³	13.72±0.24 ^{cd}	5.44±0.40 ^d	0.323±0.004 ^d	0.91±0.03 ^{bc}	45.05±0.17 ^{ab}	-1.15±0.13 ^c	1.80±0.06 ^c

หมายเหตุ สิ่งทดลอง¹ (ค่าที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยจำนวน 3 ซ้ำ)
 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด² (mg/g dry weight)
 ตัวอย่างควบคุม³ (ดอกอัญชันอบแห้งโดยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง)
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการถดถอยของการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศทั้ง 6 สิ่งทดลองดังตารางที่ 3 แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการอบแห้ง มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ค่าแอดอร์-แอดทิวตี้ ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสี L* a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการอบแห้งต่อผลแต่ละปัจจัย ได้ผลดังตารางที่ 4 เมื่อมีค่า p-value น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงว่าแต่ละปัจจัยมีอิทธิพล และสมการถดถอยที่มีค่า Adjusted R² ยิ่งสูง แสดงว่าสมการนั้นสามารถทำนายผลต่อสิ่งตอบสนองนั้นได้ดี [12]

ผลการทดลองดอกอัญชันที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าเมื่อใช้สภาวะในการอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงซึ่งมีผลทำให้ค่าร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสี L^* a^* และ b^* ลดลง ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้นจะมีผลทำให้ค่าร้อยละผลผลิต ค่าร้อยละปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสี a^* และ b^* ลดลง เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนภายในวัตถุด้วยกลไกการเหนี่ยวนำเชิงประจุไอออนภายใต้สนามไฟฟ้าโดยผลจากการเหนี่ยวนำจะทำให้ประจุไอออนขั้วบวกกับขั้วลบเกิดการสั่นและการหมุนจึงเกิดการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลของน้ำภายในวัตถุจนเกิดเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งคลื่นไมโครเวฟเกิดการเหนี่ยวนำความร้อนของน้ำอิสระที่ชั้นผิวและภายในโครงสร้างเซลล์ของวัตถุ แล้วเกิดเป็นไอและนำพาความชื้นออกจากวัตถุ หากวัตถุมีความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ออกจากวัตถุได้อย่างรวดเร็ว [8-9] การอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงจะทำให้เกิดอุณหภูมิระหว่างการอบแห้งสูง และใช้เวลาการอบแห้งสั้น มีผลให้ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงอย่างรวดเร็ว [23] ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้สภาวะในการอบแห้งที่พลังงานไมโครเวฟและเวลาที่สูงขึ้นจะมีค่า L^* จะเพิ่มสูงขึ้น หมายถึงค่าความสว่างจะเพิ่มสูงขึ้น และ b^* จะเพิ่มสูงขึ้น หมายถึงสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการระเหยของน้ำในอาหารทำให้เกิดการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ที่จำเพาะของผักผลไม้ และสมุนไพรนั้นๆ ส่งผลให้คุณภาพด้านสีมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารแอนโทไซยานิน [25] มีแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยอบแห้งใบชาของ Hirun และคณะ [10] ศึกษา ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 3,200, 3,600 และ 4,000 วัตต์ ร่วมกับเวลาที่ใช้ 20, 25 และ 30 นาที พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศสำหรับใบชาจำนวน 1 กิโลกรัม วิธีที่รักษาคุณลักษณะทางกายภาพและกิจกรรมการต่อต้านอนุมูลอิสระของใบชาที่ดีที่สุด คือ การใช้ระดับพลังงานของไมโครเวฟ 3,600 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที ส่วนดอกอัญชันอบแห้งมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลดังรูปที่ 1 (e, f) เกิดจากความร้อนทำให้แอนโทไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นซาลโคน (chalcone) หรือแตกไปเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้สีซีดลง และบางกรณีจะพบสีน้ำตาลเนื่องจากการเกิดสารพอลิเมอร์ ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับชนิดของแอนโทไซยานิน และระดับอุณหภูมิออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพันธะคู่ที่มีโมเลกุลทำให้เกิดสีน้ำตาล อีกทั้งคลอโรฟิลล์ซึ่งพบได้ในส่วนกลีบเลี้ยงของดอกอัญชันไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้เกิดสีน้ำตาล [26] ตัวอย่างควบคุมที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ เนื่องจากการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศมีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ จึงช่วยรักษาสารสำคัญและสีของดอกอัญชันอบแห้งได้เป็นอย่างดี [8-10] มีแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยอบแห้งชาเขียวของ Lin และคณะ [27] ศึกษาคุณภาพของชาเขียวหลังการอบแห้ง นำใบชา 15 กรัม ทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (อุณหภูมิ 75°C) ตู้อบสุญญากาศ (อุณหภูมิ 60°C ภายใต้สภาวะ 95 กิโลปาสกาล) ตู้อบไมโครเวฟ (พลังงาน 600 วัตต์) และตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ (พลังงาน 600 วัตต์ ภายใต้สภาวะ 60 กิโลปาสกาล) จนผลิตภัณฑ์ใบชาอบแห้งมีค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 4-5 พบว่าการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมในการอบแห้งใบชาช่วยรักษาคุณภาพของใบชา สามารถลดความเสียหายของเซลล์และรักษาคุณค่าทางโภชนาการของใบชาได้ดีที่สุด

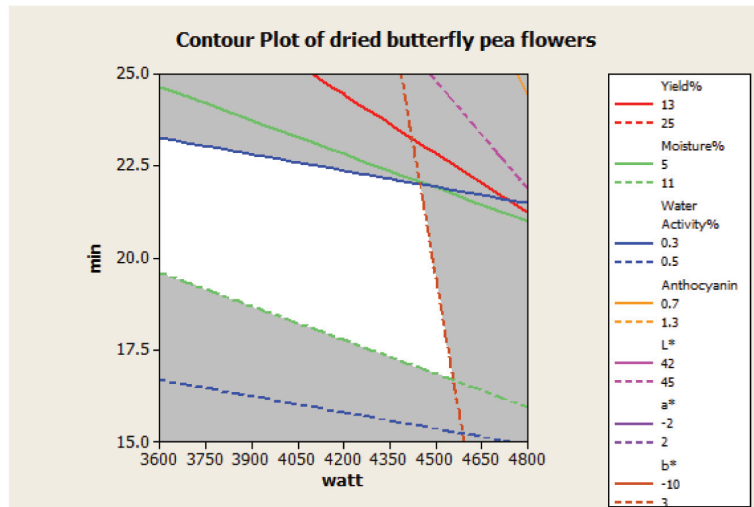
ตารางที่ 4 สมการการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศ (วัตต์) และระยะเวลา (นาท) ที่ใช้ในการอบแห้ง มีผลต่อค่าตอบสนองของดอกอัญชันอบแห้ง

ตัวแปรตาม	สมการถดถอย	Adjusted R ²	P-value
ผลผลิต (%)	$50.155 - 0.006A - 1.146B + 1.472 \cdot 10^{-4} AB$	0.7815	<0.0001
ปริมาณความชื้น (%)	$47.296 - 0.003A - 1.187B$	0.8818	<0.0001
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	$1.168 - 4.472 \cdot 10^{-5} A - 0.030B$	0.8268	<0.0001
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	$2.624 - 3.104 \cdot 10^{-4} A - 0.017B$	0.9022	<0.0001
ค่าสี L*	$23.277 - 0.004A + 0.761B + 1.498 \cdot 10^{-4} AB$	0.7801	<0.0001
ค่าสี a*	$11.336 - 0.003A - 0.665B - 1.730 \cdot 10^{-4} AB$	0.6645	0.005
ค่าสี b*	$34.963 - 0.008A - 2.134B - 5.198 \cdot 10^{-4} AB$	0.7783	<0.0001

หมายเหตุ : เมื่อ A คือพลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศ (วัตต์) และ B คือระยะเวลา (นาท)

1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งของดอกอัญชันโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ

กำหนดขอบเขตในการเลือกจุดที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ คือ ค่าร้อยละผลผลิตและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีค่าสูง [3] ค่าร้อยละปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 [24] ส่วนค่าวอเตอร์แอกทิวิตีกำหนดตามมาตรฐานต้องต่ำกว่า 0.6 [21] ส่วนค่าสี b* ที่มีค่าต่ำจะบอกระดับความเป็นสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์ [3] ผลการทดลองวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม (รูปที่ 2) จะพบว่าช่วงที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ โดยจะใช้พลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศที่ 3,602.05-4,537.65 วัตต์ และใช้เวลาในการอบ 16.80-23.17 นาที จากการวิเคราะห์จึงเลือกจุดที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ โดยจะใช้พลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศที่ 3600 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที โดยจะให้ค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับร้อยละ 17.02 ค่าร้อยละปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 10.49 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.398 ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 1.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าสี L* เท่ากับ 43.20 ค่าสี a* เท่ากับ -0.82 และค่าสี b* เท่ากับ 0.89



รูปที่ 2 พื้นที่เหมาะสมของสภาวะการอบแห้งของดอกอัญชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

1.4 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

นำสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ คือพลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศที่ 3600 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที ไปทำการทดลองจริง โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณได้และนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการลดถอยเพื่อยืนยันผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตั้งตารางที่ 5 พบว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของแต่ละปัจจัยน้อยกว่าร้อยละ 10 จะแสดงว่าสมการที่ใช้สามารถทำนายผลได้ดี [22]

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

คุณภาพทางเคมีกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%Error ¹)
ผลผลิต (%)	17.50	17.02	2.82
ปริมาณความชื้น (%)	10.20	10.49	2.76
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.389	0.398	2.26
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ²	1.09	1.15	5.21
ค่าสี L*	43.39	43.20	0.44
ค่าสี a*	-0.78	-0.81	3.70
ค่าสี b*	0.87	0.89	2.24

หมายเหตุ %Error¹ = [(ค่าที่ได้จากการทำนาย-ค่าที่ได้จากการทดลอง)/ค่าที่ได้จากการทำนาย x 100]
 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด² (mg/g dry weight)

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของสารสกัดดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อได้ดอกอัญชันอบแห้งจากสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศแล้ว จึงนำมาทำการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ภายภาพดังตารางที่ 6 ผลการทดลองในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้น้ำ กลั่นตัวทำละลาย พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดฟอง อากาศขึ้นในระหว่างการสกัด ซึ่งจะช่วยในการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกทำงานได้ดีขึ้น สารแอนโทไซยานิน จะออกมาในตัวทำละลายมากขึ้น [22] ในขณะที่การสกัดสารจากดอกอัญชันนั้นใช้พลังงานสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น และใช้เวลาในการสกัดนานขึ้นจะทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงชัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงชัน ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่น [17] มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Muangrat และคณะ [18] ที่นำสกัดปริมาณแอนโทไซยานินจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก ทำการ ศึกษาอัตราส่วนน้ำหนักซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่อน้ำ (1:3, 1:6 และ 1:9) อุณหภูมิ (50, 65 และ 80°C) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (15, 30, 45, 60 และ 120 นาที) พบว่าอัตราส่วนน้ำหนักซังแห้ง ต่อ น้ำ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้จะเพิ่ม สูงขึ้น และมีสภาวะเหมาะสมในการสกัดที่ได้ความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานินทั้งหมด คืออัตราส่วนซัง แห้งต่อน้ำเท่ากับ 1:3 อุณหภูมิในการสกัด 65°C และเวลาในการสกัด 30 นาที

ส่วนผลการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งที่ใช้เอทานอลร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลาย พบว่า เมื่อสกัดอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มข้นของสีสูง ชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารสกัดปริมาณแอนโทไซยานินที่สูงส่งผลให้การวัดค่าความดูด กลืนแสงจะแสดงด้วยคลื่นความถี่สูง (λ_{max}) ทำให้และความเข้มข้นของสีมีค่าสูง เพราะค่านี้สามารถคำนวณ ได้จากผลรวมจากค่าความดูดกลืนแสง (λ_{550} , λ_{580} และ λ_{628}) [15] มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับงานวิจัย ของ Ghafoor และคณะ [12] ทำการสกัดแอนโทไซยานิน จากเปลือกองุ่นโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก ทำการ ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 60) อุณหภูมิ (30 และ 50°C) และเวลา (15 และ 25 นาที) พบว่าจะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดที่สภาวะเหมาะสมในการสกัดสาร แอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น คือการใช้ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 52.35 อุณหภูมิที่ ใช้ในการสกัดเท่ากับ 45.14°C และเวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 24.50 นาที

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีของสารสกัดดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค

สิ่งทดลอง ¹ (ตัวทำละลาย: °C/min)	ผลผลิต (%) ^{ns}	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/g dry weight)	การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (mg/ml trolox)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/ml gallic acid)	ความเข้มของสี (color intensity)	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
น้ำกลั่น: 35 °C/25	84.73±3.31	0.87±0.09 ^c	16.39±0.16 ^d	40.67±3.60 ^c	0.68±0.04 ^c	0.10±0.01 ^{cd}	0.32±0.06 ^{ef}	-0.01±0.09 ^c
น้ำกลั่น: 35 °C/30	85.62±2.19	1.09±0.06 ^d	18.35±0.22 ^{ab}	66.42±2.94 ^a	0.91±0.03 ^{cd}	0.16±0.01 ^{bc}	0.76±0.19 ^d	0.10±0.04 ^{cde}
น้ำกลั่น: 45 °C/25	88.01±2.59	0.96±0.07 ^{de}	15.91±0.20 ^d	34.16±1.06 ^d	0.79±0.02 ^{de}	0.06±0.01 ^d	0.14±0.03 ^f	-0.01±0.03 ^c
น้ำกลั่น: 45 °C/30	89.71±1.30	1.53±0.04 ^a	18.61±0.09 ^a	66.26±0.62 ^a	1.01±0.02 ^{bc}	0.08±0.01 ^d	0.24±0.04 ^f	0.03±0.06 ^{de}
เอทานอล 50%: 35 °C/25	84.13±1.74	0.84±0.11 ^c	17.74±0.39 ^{bc}	45.20±0.44 ^{bc}	0.75±0.05 ^c	0.32±0.02 ^a	2.21±0.06 ^a	0.49±0.01 ^a
เอทานอล 50%: 35 °C/30	83.35±2.40	1.30±0.07 ^{bc}	18.92±0.51 ^a	46.76±0.60 ^b	1.02±0.09 ^{bc}	0.19±0.01 ^b	1.06±0.06 ^c	0.21±0.01 ^c
เอทานอล 50%: 45 °C/25	88.21±1.25	1.13±0.01 ^{cd}	17.54±0.24 ^c	45.00±1.31 ^{bc}	1.12±0.05 ^b	0.16±0.01 ^{bc}	1.03±0.03 ^c	0.14±0.01 ^{cd}
เอทานอล 50%: 45 °C/30	85.21±2.52	1.47±0.03 ^{ab}	18.40±0.09 ^{ab}	48.32±1.02 ^b	1.40±0.05 ^a	0.12±0.01 ^{cd}	0.54±0.05 ^{de}	0.10±0.01 ^{cde}
ตัวอย่างควบคุม ²	83.89±3.90	0.88±0.07 ^c	15.91±0.20 ^d	34.49±0.77 ^d	0.63±0.04 ^c	0.29±0.01 ^a	1.46±0.03 ^b	0.35±0.03 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ ns แสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ สิ่งทดลอง (ค่าที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยจำนวน 3 ซ้ำ)

ตัวอย่างควบคุม² (การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 30 นาที)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสมการถดถอยของการสกัด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของสารสกัดจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ดังตารางที่ 6 แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 7 พบว่าระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และระยะเวลา (นาที) ของสารสกัดดอกอัญชันโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความเข้มข้นของสี ค่าสี L^* และ a^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตารางที่ 8 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และระยะเวลา (นาที) ของสารสกัดดอกอัญชันโดยใช้โดยเอทานอล ร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความเข้มข้นของสี ค่าสี L^* a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 สมการการถดถอยที่มีนัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสกัดโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายมีผลต่อค่าตอบสนองของสารสกัดดอกอัญชัน

ตัวแปรตาม	สมการถดถอย	Adjusted R ²	P-value
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	$4.826 - 0.149A - 0.175B + 0.006A^*B$	0.9524	<0.0001
การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	$-1.821 + 0.157A + 0.643B - 0.004 A^*B$	0.9795	<0.0001
ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด	$45.728 - 3.823 A + 0.708B + 0.1269A^*B$	0.9757	<0.0001
ความเข้มข้นของสี	$-0.790 + 0.010 A + 0.044B$	0.9400	<0.0001
ค่าสี L^*	$-0.697 + 0.014 A + 0.038B + 7.667 \cdot 10^{-4} A^*B$	0.9107	<0.0001
ค่าสี a^*	$-7.180 + 0.15 A + 0.324B + 0.006A^*B$	0.8355	<0.0001

หมายเหตุ : เมื่อ A คืออุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ B คือระยะเวลา (นาที) ใช้ในการสกัด

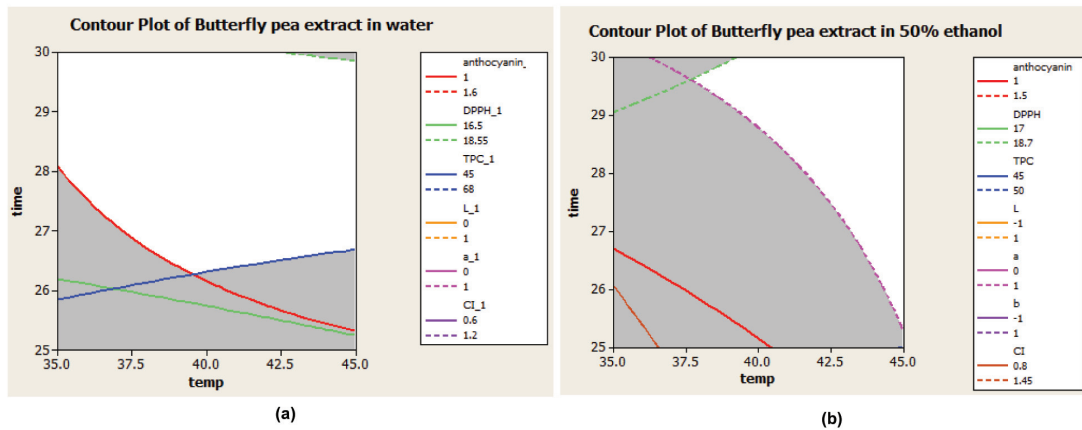
ตารางที่ 8 สมการการถดถอยที่มีนัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสกัดโดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายมีผลต่อค่าตอบสนองของสารสกัด ดอกอัญชัน

ตัวแปรตาม	สมการถดถอย	Adjusted R ²	P-value
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	$-4.443 + 0.085A + 0.171B + 0.002A^*B$	0.9233	<0.0001
การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	$14.015 - 0.036A + 0.203B$	0.7190	<0.0001
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	$69.026 - 0.904A - 0.924B - 0.035A^*B$	0.6760	0.004
ความเข้มข้นของสี	$-1.933 + 0.037A + 0.054B$	0.9195	<0.0001
ค่าสี L^*	$3.103 - 0.061A - 0.087B - 0.001 A^*B$	0.9544	<0.0001
ค่าสี a^*	$23.545 - 0.445A - 0.687B - 0.013 A^*B$	0.9924	<0.0001
ค่าสี b^*	$7.362 - 0.156A - 0.225B - 0.004 A^*B$	0.9899	<0.0001

หมายเหตุ : เมื่อ A คืออุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ B คือระยะเวลา (นาที) ใช้ในการสกัด

3.2.3 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

กำหนดขอบเขตในการเลือกจุดที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ต้องการค่าร้อยละผลผลิตและค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีค่าสูง และได้นำตัวอย่างทางการค้ามาเทียบเคียงพบว่าตัวอย่างทางการค้ามีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่าความเข้มข้นของสี ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 1.34 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง 18.30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของโทรลอกซ์น้ำหนักแห้ง 41.77 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของกรดแกลลิกน้ำหนักแห้ง 0.65, 0.29, 1.72 และ 0.03 ตามลำดับ จากรูปที่ 3 (a) จะพบช่วงที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ $35.10 \pm 45.00^\circ\text{C}$ และใช้เวลา 26.32-30.00 นาที จากการวิเคราะห์จุดที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 45°C และใช้เวลา 30 นาที โดยพบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่าความเข้มข้นของสี ค่าสี L^* และ a^* เท่ากับ 1.45 มิลลิกรัมต่อกรัมในน้ำหนัก 18.66 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของโทรลอกซ์น้ำหนักแห้ง 64.67 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของกรดแกลลิกน้ำหนักแห้ง 1.01, 0.08 และ 0.33 ตามลำดับ จากรูปที่ 3 (b) พบช่วงที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ $37.86-45.00^\circ\text{C}$ และใช้เวลา 25.34-30.00 นาที จากการวิเคราะห์จุดที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 45°C และใช้เวลา 30 นาที จะทำนายว่าพบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่าความเข้มข้นของสี ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 1.47 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 18.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ของโทรลอกซ์น้ำหนักแห้ง 48.28 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของกรดแกลลิกน้ำหนักแห้ง 1.43, 0.11, 0.55 และ 0.10 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chong และ Gwee [16] ได้ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน โดยจะศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่อุณหภูมิ ($30-50^\circ\text{C}$) เวลา (30-150 นาที) อัตราส่วนของน้ำต่อดอกอัญชัน (2-15 มิลลิลิตรต่อกรัม) และกำลังคลื่นอัลตราโซนิก (96-240 วัตต์) พบว่าสารสกัดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ 1.126 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้สภาวะในการสกัดที่อุณหภูมิ 50°C เวลาที่ใช้ในการสกัด 150 นาที อัตราส่วนของน้ำต่อดอกอัญชันเท่ากับ 15 มิลลิลิตรต่อกรัม และกำลังคลื่นอัลตราโซนิกที่ 240 วัตต์



รูปที่ 3 พื้นที่เหมาะสมของสภาวะการสกัดดอกอัญชันโดยใช้น้ำกลั่น (a) และสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 50 (b) เป็นตัวทำละลาย

3.2.4 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัด

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณได้ จึงนำสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 45°C และใช้เวลา 30 นาที ไปทำการทดลอง (ตารางที่ 9) และนำสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 45°C และใช้เวลา 30 นาที (ตารางที่ 10) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง และนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการถดถอยเพื่อยืนยันผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของแต่ละปัจจัยน้อยกว่าร้อยละ 10 จะแสดงถึงทำนายสภาวะที่เหมาะสมนั้นมีความถูกต้อง เมื่อมีความคลาดเคลื่อนจะต้องมีค่าต่ำ [22]

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

คุณภาพทางเคมีกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%Error ¹)
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ²	1.51	1.45	4.10
การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ³	18.42	18.66	1.30
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ⁴	64.06	64.67	0.90
ค่าความเข้มของสี	1.06	1.01	4.95
ค่าสี L*	0.09	0.08	1.10
ค่าสี a*	0.34	0.33	3.00

หมายเหตุ %Error¹ = [(ค่าที่ได้จากการทำนาย-ค่าที่ได้จากการทดลอง)/ค่าที่ได้จากการทำนาย x 100
 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด² (mg/g dry weight)
 การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH³ (mg/ml trolox)
 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด⁴ (mg/ml gallic acid)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลาย

คุณภาพทางเคมีกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%Error ¹)
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	1.50	1.47	2.04
การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	18.60	18.39	1.14
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	49.55	48.28	2.63
ค่าความเข้มของสี	1.45	1.43	1.39
ค่าสี L*	0.12	0.11	9.09
ค่าสี a*	0.54	0.55	1.81
ค่าสี b*	0.09	0.10	10.00

หมายเหตุ %Error¹ = [(ค่าที่ได้จากการทำนาย-ค่าที่ได้จากการทดลอง)/ค่าที่ได้จากการทำนาย x 100
 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด² (mg/g dry weight)
 การต้านทานอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH³ (mg/ml trolox)
 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด⁴ (mg/ml gallic acid)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมของดอกอัญชัน จึงได้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกอัญชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ โดยจะใช้พลังงานของไมโครเวฟสุญญากาศที่ 3600 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาทีจากกรณีวิเคราะห์ดอกอัญชันอบแห้ง มีร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณแอนไฮยาดิน และค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 17.50, 10.20, 0.389, 1.09 มิลลิกรัมต่อกรัม 43.39, - 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ จากศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก จึงได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากดอกอัญชันอบแห้งโดยใช้น้ำกลั่นและสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 45°C และใช้เวลา 30 นาที ซึ่งมีปริมาณแอนไฮยาดินสูง 1.51 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 1.50 มิลลิกรัมต่อกรัม (dry weight) ตามลำดับ ในการผลิตภาคอุตสาหกรรมอาจจะมีการเลือกใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายเพราะมีต้นทุนต่ำกว่าสารละลายเอทานอล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) และบริษัท แบล็คชอร์สฟู้ด อินเทอร์เน็ตเนชั่นเนล จำกัด ที่สนับสนุนในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colourants. *Regulatory, Toxicology and Pharmacology*, 73(3), 914-922.
2. Kaimainen, M., Laaksonen, O., Jarvenpaa, E., Sandell, M., and Huopalahti, R. (2015). Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. *Food chemistry*, 187, 398-406.
3. Marsin, A. M., Jusoh, Y. M. M., Zaidel, D. N. A., Yusof, A. H. M., & Muhamad, I. I. (2020). Microwave-assisted encapsulation of blue pea flower (*Clitoria terantea* L.) colorant: Maltodextrin concentration, power and time. *Chemical Engineering Transactions*, 78, 199-204.
4. Sowndhararajan, K., Chin, N. L., Yusof, Y. A., Lai, L. L., & Mustapha, W. A. W. (2016). Effect of blender and blending time on color and aroma characteristics of juice and its freeze-dried of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves (Pandanus). *International Journal of Food Engineering*, 12(1), 75-81.
5. Amadi, C. O., Olojede, O. A., Nwokocha, C., Ironkwe, A., Ohiaeri, C. P., Amadi, G., & Uwandu, Q. C. (2018). Turmeric research at National Root Crops Research Institute Umudike: Highlight of major achievements. *Nigeria Agricultural Journal*, 49, 57-64.
6. Terahara, N., Toki, K., Saito, N., Honda, T., Matsui, T., & Osajima, Y. (1998) Eight new anthocyanin, ternatins C1-C5 and D3 and preternatins A3 and C4 from young *Clitoria terantea* L. flowers. *Journal of Natural Products*, 61(11), 1361-1367.

7. Marpaung, A., Andarwulan, N., & Prangdimurti, E. (2013). Optimization of anthocyanin pigment extraction from butterfly pea (*Clitoria ternatea L.*) petal using response surface methodology. *Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension, 1011*, 205-212.
- a. Assavarachan, R. (2011). Drying agricultural products by microwave. *Kasem Bundit Engineering Journal, 1*(2), 31-42. (in Thai)
8. Bunnom, T., Prapakarn, S., Prapakarn, N., Liplap, P., & Arjharm, W. (2018). A study on chili drying processes using a pilot scale hot air and microwave dryer. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal, 24*(1), 38-46. (in Thai)
9. Hiram, S., Utama-ang, N., Vuong, Q. V., & Scarlett, C. J. (2014). Investigating the commercial microwave vacuum drying condition on physicochemical properties and radical scavenging ability of Thai green tea. *Drying Technology, 32*, 47-54.
10. Bai-Ngew, S., Therdthai, N., & Dhamvithee, P. (2011). Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. *Journal of Food Engineering, 104*, 114-122.
11. Ghafoor, K., Hui, T., & Choi, Y. H. (2009). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total anthocyanins from grape peel using surface methodology. *Journal of Food Biochemistry, 35*, 702-701.
12. Hariadi, H., Sunyoto M., Nurhadi, B., & Karuniawan, A. (2018). Comparison of phytochemical characteristics pigmen extract (Antosianin) sweet purple potatoes powder (*Ipomoea batatas L.*) and clitoria flower (*Clitoria ternatea*) as natural dye powder. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*(4), 3420-3429.
13. Mehmood, A., Ishaq, M., Zhao, L., Yaqoob, S., Safdar, B., Nadeem, M., Munir, M., & Wang, C. (2019). Impact of ultrasound and conventional extraction techniques on bioactive compounds and biological activities of blue butterfly pea flower (*Clitoria ternatea L.*). *Ultrasonics Sonochemistry, 2019*(51), 12-19.
14. Marpaung, A., Andarwulan, N., Hariyadi, P., & Faridah, D. N. (2017). Thermal degradation of anthocyanins in butterfly pea (*Clitoria ternatea L.*) flower extract at pH 7. *American Journal of Food Science and Technology, 5*(5), 199-203.
15. Chong, F. C., & Gwee, X. F. (2015). Ultrasonic extraction of anthocyanin from *Clitoria ternatea* flowers using response surface methodology. *Natural Product Research, 29*(15), 1485-1487.
16. Anthika, B., Kusumocahyo, S. P., & Sutanto, H. (2015). Ultrasonic approach in *Clitoria ternatea* (butterfly pea) extraction in water and extract sterilization by ultrafiltration for eye drop active ingredient. *Procedai Chemistry, 16*, 237-244.

17. Muangrat, R., Suwan, S., & Suthakit, P. (2015). Effect of various conditions in ultrasonic extraction on total anthocyanin content of purple waxy corn. *Thai Science and Technology Journal*, 23(5), 783-796. (in Thai)
18. Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., & Tauscher, B. (2008). Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 9(1), 85-91.
19. Jay M. James. (1998). Modern food microbiology. *Aspen Publishers*.
20. Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E., (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: *Collaborative study, Journal. AOAC Int.* 88, 1269-1278.
21. Yolmeh, M., & Jafari, S. M. (2017). Applications of response surface methodology in the food industry processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(3), 413-433.
22. Lin, R., Lin, H., & Lin, Q. (2013). Characteristics of microwave vacuum baking and drying of oolong and its kinetic model. *Advance Journal of Food science and Technology*, 5(11), 1423-1427.
23. Supakot, P., Phomkong, W., Onsaard, E., & Wiset, L. (2015). Effects of two-stage drying on physical properties of chilli (*Capsaicum annum cv. HuarouYon*). *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 17(2), 41-46. (in Thai)
24. Wojodylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., & Osmianski, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color and antioxidant capacity of sour cherries. *Food Bioprocess Technology*, 7, 829-841.
25. Wachira, J., & Piyaphorn, B. (2017). Effect of different processing on phenolic content, anthocyanin content, antioxidant capacity and consumer acceptance of black glutinous rice leaf tea. *Srinakharinwirot Science Journal*, 9(17), 91-103. (in Thai)
26. Lin, X., Zhang, L., Lei, H., Zhang, H., Cheng, Y., Zhu, R., & Ruan, R. (2010). Effect of drying technology on quality of green tea. *International Agricultural Engineering Journal*, 19(3), 30-37.
27. Chaovanalikit, A. (2011). Extraction and analysis of anthocyanin. *Srinakharinwirot Science Journal*, 3(9), 26-36. (in Thai)

