การผลิตและประเมินคุณสมบัติของผงพฤษเคมีจากพืชให้สีครามโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Production and Characterization of Phytochemical Powder from Indigo-Producing Plants Using Spray Drying

ณัฐพร จันทร์ฉาย[1*] พัชรณัฐ ดาวดึงส์[2] ศรีสุดา ทาหาร[3] และอัญศญา บุญประจวบ[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

[3]สาขาวิชาอังกฤษพื้นฐาน คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Nuttaporn Chanchay[1*], Patcharanut Daowadung[2], Srisuda Thaharn[3] and Ansaya Boonpajaub[1]

[1]Department of Agro-Industrial Biotechnology Faculty of Maejo University Phrae Campus
Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

[2]Department of Science Faculty of Maejo University Phrae Campus
Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

[3]Department of English Faculty of Maejo University Phrae Campus
Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

***Corresponding author:** nuttapornchanchay@gmail.com

Received: 8 May 2026/ Revised: 8 October 2026/ Accepted: 17 October 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นผงพร้อมใช้เพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง โดยศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นสารพาหะและสารช่วยห่อหุ้ม ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30% ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม 4 ชนิด ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*) ห้อมใบเล็ก (*Strobilanthes auriculata*) คราม (*Indigofera tinctoria* L.) และเบิก (*Marsdenia tinctoria*) วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย DMRT ที่ระดับ $p < 0.05$ ผลการศึกษาพบว่า ผงพฤกษเคมีมีสีตั้งแต่น้ำเงินเข้มถึงอ่อน โดยครามให้สีน้ำเงินเข้มที่สุด รองลงมาคือห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก และเบิก ตามลำดับ ทุกตัวอย่างมีความสามารถในการละลายสูง (99.96–99.97%) ความหนืด 2.91–3.12 เซนติพอยส์ ความหนาแน่น 1.49–1.53 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่า pH เป็นกลาง (6.5–7.0) ความชื้นประมาณ 10% และปริมาณน้ำอิสระ 0.2533–0.3767 นอกจากนี้ ครามที่เติมมอลโทเดกซ์ทริน 10% ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดจากการทดสอบ DPPH, ABTS และสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคบางชนิดได้ ขณะที่การเติมมอลโทเดกซ์ทริน 30% ให้ค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ต่ำที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงระดับการเกิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่าเมื่อ

เปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่น เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบพฤกษเคมี ห้อมใบใหญ่ให้ปริมาณทริปแทนทริน อินดิรูบิน และอินดิโกตินสูงที่สุด เท่ากับ 4.3317, 2.0380 และ 6.3479 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ผงพฤกษเคมีทุกสูตรมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม และแสดงศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าและส่งเสริมการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ของพืชให้สีครามในจังหวัดแพร่

คำสำคัญ: ผงพฤกษเคมี พืชให้สีคราม การห่อหุ้ม คุณสมบัติทางเคมี การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Abstract

This study aimed to extract phytochemicals from indigo-producing plants and determine suitable conditions for producing ready-to-use powders for commercial applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The effects of maltodextrin, used as a carrier and encapsulating agent, at concentrations of 10, 20, and 30% on the physical, chemical, and biological properties of powders derived from four indigo-producing plants, namely *Strobilanthes cusia*, *Strobilanthes auriculata*, *Indigofera tinctoria* L., and *Marsdenia tinctoria*, were investigated. The results showed that the powders exhibited blue shades ranging from dark to light, with *I. tinctoria* producing the darkest color, followed by *S. cusia*, *S. auriculata*, and *M. tinctoria*, respectively. were investigated. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with three replicates. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and mean differences were determined using Duncan's multiple range test (DMRT) at $p < 0.05$. All samples showed high solubility (99.96–99.97%), viscosity values of 2.91–3.12, density values of 1.49–1.53 g/cm³, neutral pH (6.5–7.0), approximately 10% moisture content, and water activity ranging from 0.2533 to 0.3767. In addition, true indigo supplemented with 10% maltodextrin exhibited the highest antioxidant activity based on the DPPH and ABTS assays and showed inhibitory activity against certain pathogenic microorganisms. In contrast, the addition of 30% maltodextrin resulted in the lowest malondialdehyde (MDA) content, indicating a lower level of oxidation in the product compared with the other maltodextrin concentrations. Analysis of phytochemical constituents revealed that large-leaf indigo contained the highest levels of tryptanthrin, indirubin, and indigotin, at 4.3317, 2.0380, and 6.3479 mg/g, respectively. Furthermore, all phytochemical powders exhibited favorable physical and chemical properties, highlighting their potential for value-added product development and commercial utilization of indigo-producing plants in Phrae Province.

Keywords: Phytochemicals powder, Indigo-Producing Plants, Encapsulation, Chemical properties, Spray Drying

บทนำ

ห้อม คราม และเบิก เป็นกลุ่มพืชให้สีครามท้องถิ่น 4 ชนิดของจังหวัดแพร่ นอกจากจะใช้เป็นสีย้อมผ้าแล้วยังสามารถสกัดพฤกษเคมีอื่น ๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ที่มีมูลค่าสูงในภาคอุตสาหกรรมหลาย ๆ ด้าน เช่น สารสกัดทริปแทนทริน (Tryptanthrin) ในอุตสาหกรรมยาและเภสัชกรรม เป็นต้น ปัจจุบันพบต้นห้อมในจังหวัดแพร่มีทั้งหมด 2 สายพันธุ์ คือ *Strobilanthes cusia* และ *Strobilanthes auriculata* voucher [1] ครามฝักงอ 1 สายพันธุ์ คือ *Indigofera tinctoria* L และเบิก 1 สายพันธุ์ คือ *Marsdenia tinctoria* การเพิ่มมูลค่าให้กับพืชให้สีคราม นอกจากใช้เป็นสารตั้งต้นในการย้อมผ้าแล้ว ปัจจุบันมีการนำไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มหรืออาหาร เนื่องจากในห้อมมีสารสำคัญและยังมีสารชีวภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ในภูมิปัญญาพื้นบ้าน มีการนำรากและใบมาใช้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การต้มหรือเคี่ยวเพื่อบริโภค และการใช้ภายนอกสำหรับดูแลบาดแผล โดยเป็นการใช้ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีการถ่ายทอดในชุมชน จากการศึกษางานวิจัยโดย Honda G และ Tabata M [2] พบว่า ในห้อมสารส่วนใหญ่เป็นสารให้สีสารกลุ่มอัลคาลอยด์ และสารกลุ่มเทอร์ปีนหลายชนิด เช่น อินดิรูบิน (indirubin) อินดิโก (indigo) [3, 4] อินดิกอยด์ (indigoid) อินโดแอลคาลอยด์ (indole alkaloids) ควินาโซลินอน

แอลคาลอยด์ (quinazolinone alkaloids) ไตรเทอร์ปีน (triterpenes) ได้แก่ ลูพีอิลออล (lupeol) บีทูลิน (botulin) และลูพินอน (lupenone) และ ซิโตสเตอรอล (sitosterols) [2, 5] โดยเฉพาะทริปแทนทริน เป็นอินโดลควินาโซลีน (indole quinazoline) ที่อาจเป็นสารอัลคาลอยด์จากพืชที่มีสีคราม และเป็นสารยับยั้งการสังเคราะห์ทางชีวภาพของเซลล์ลิวโคไตรอีน (Leukotriene, LT) ที่มีศักยภาพและออกฤทธิ์ทางปาก ทริปแทนทรินมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง ทริปแทนทรินยังระงับระดับการแสดงออกของ NOS1, COX-2 และ NF-**K**B และควบคุมระดับการแสดงออกของ IL-2, IL-10 และ TNF-**α** [6, 7] การสกัดพฤกษเคมีพร้อมใช้นำไปสู่การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ด้วยกระบวนการทางชีวนวัตกรรม ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นหรือนำชีวนวัตกรรมมาพัฒนาสินค้าใหม่เพิ่มมากขึ้น สีครามเป็นเม็ดสีที่ไม่ละลายน้ำจึงต้องใช้วิธีกักเก็บ (Encapsulation) ด้วยการเติมสารเพิ่มความคงตัว เช่น แป้งดัดแปร (Modified starch) กัมอารบิก (Gum arabic) โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) และมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ในการศึกษานี้เลือกใช้ มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin; MD) เป็นสารห่อหุ้มเม็ดสีที่ระดับ 10, 20 และ 30% เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกักเก็บและความคงตัวของเม็ดสี โดยกำหนดระดับดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง ทั้งนี้ มอลโทเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำ ไม่มีกลิ่น และมีต้นทุนต่ำ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นสารห่อหุ้ม [8] เพื่อให้เม็ดสีครามสามารถแขวนลอยอยู่ในของเหลวได้ นอกจากนั้นยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี มีปริมาณน้ำอิสระต่ำ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) และยังช่วยรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุดเด่นของการศึกษานี้คือการศึกษาเปรียบเทียบพืชให้สีครามท้องถิ่นของจังหวัดแพร่ 4 ชนิด ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก คราม และเบิก โดยประเมินผลของความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 10, 20 และ 30% ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย การศึกษานี้มุ่งเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้เกี่ยวกับความแตกต่างของคุณสมบัติของผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามแต่ละชนิด ตลอดจนผลของความเข้มข้นของสารห่อหุ้มต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยครอบคลุมการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ปริมาณสารสำคัญ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ผลการศึกษาจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบศักยภาพของพืชแต่ละชนิดและคัดเลือกระดับความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามที่มีคุณภาพและมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม ตลอดจนสนับสนุนการถ่ายทอดองค์ความรู้และการนำไปใช้ประโยชน์โดยผู้ประกอบการ วิสาหกิจชุมชนตำบลทุ่งโฮ้ง และผู้สนใจ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ ชนิดพืชให้สีครามและความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ผง ประเมินปริมาณสารสำคัญ รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของผงจากพืชให้สีคราม และคัดเลือก ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากเกณฑ์ด้านคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณสารสำคัญ ฤทธิ์ทางชีวภาพ และความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผงสารสกัดจากพืชให้สีครามและการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างสารละลายและทำให้เป็นผง

1.1 การเตรียมตัวอย่างพืชให้สีครามในจังหวัดแพร่ทั้ง 4 ชนิด (ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก คราม และเบิก) ได้แก่ ห้อมใบใหญ่สายพันธุ์ *Strobilanthes cusia* จากบ้านนาคูหา ต. สวนเขื่อน อ.เมือง จ. แพร่ ห้อมใบเล็กสายพันธุ์ *Strobilanthes auriculata* voucher จากบ้านนาตอง ต. ช่อแฮ อ. เมือง จ. แพร่ ครามสายพันธุ์ *Indigofera tinctoria* L. และเบิกสายพันธุ์ *Marsdenia tinctoria* จากบ้านนาแคม ต.สวนเขื่อน อ.เมืองแพร่ จ.แพร่ ตัวอย่างพืชให้สีครามทั้ง 4 ชนิดเก็บรวบรวมในช่วงต้นฤดูฝน เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 โดยใช้พืชที่มีอายุประมาณ 8 เดือน เก็บรวบรวมตัวอย่างพืชแต่ละชนิดปริมาณ 5 กก. โดยเก็บเกี่ยวเฉพาะส่วนใบและก้านใบ และรวบรวมไว้ในภาชนะที่สะอาดและเหมาะสมต่อการขนส่ง ก่อนนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการเตรียมตัวอย่างสำหรับการศึกษาต่อไป

1.2 การเตรียมตัวอย่างสารละลาย ใบและก้านของตัวอย่างพืชให้สีครามแต่ละชนิด เติมน้ำในอัตราส่วน 1:5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อมากรองใบและก้านออกจากน้ำแช่ด้วยผ้าขาวบางจนไม่เหลือเศษตะกอนอยู่ จากนั้นทำการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องเป่าลมรอบที่ 1 เป็นระยะเวลานาน 4 - 6 ชั่วโมง เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% จนได้สารละลายที่มีค่า pH

10 เมื่อได้สารละลายที่มีค่า pH ตามที่ต้องการแล้วจึงเติมออกซิเจนด้วยเครื่องเป่าลมรอบที่ 2 เป็นระยะเวลานาน 2 - 4 ชั่วโมง ตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนสังเกตเห็นว่าสารละลายนี้แยกชั้นออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนเป็นสีน้ำตาล ชั้นล่างเป็นสีน้ำเงิน-ดำ ทำการแยกสารละลาย 2 สีนี้ออกจากกันโดยชั้นที่เป็นสีน้ำตาลให้ทิ้งไป เก็บชั้นล่างที่เป็นสีน้ำเงิน-ดำ เติมน้ำเปล่าลงในชั้นล่างที่เป็นสีน้ำเงิน-ดำให้ได้ปริมาตรมากกว่า 3 เท่า ตั้งสารละลายทิ้งไว้จนแยกชั้น ในรอบนี้จะเห็นว่าน้ำชั้นบนจะเริ่มใสและชั้นล่างจะได้เป็นเม็ดสีน้ำเงิน จากนั้น กรองแยกเม็ดสีสีน้ำเงินที่เกิดขึ้น และนำเม็ดสีที่ได้ไปวิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เพื่อประเมินคุณภาพและองค์ประกอบของสารสีที่ได้จากพืชให้สีครามแต่ละชนิดต่อไป

1.3 การทำแห้งผงตัวอย่าง หลังจากเตรียมสารละลายดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว ทำการแบ่งสารละลายทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน จากนั้นนำสารละลายแต่ละส่วนมาทำการห่อหุ้มสาร (Encapsulation) โดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน เป็นสารห่อหุ้มในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10%, 20% และ 30% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ โดยกำหนดระดับความเข้มข้นดังกล่าวเพื่อให้ครอบคลุมระดับความเข้มข้นของสารห่อหุ้มตั้งแต่ระดับต่ำ ปานกลาง สูง และเพื่อศึกษาผลของปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณสมบัติของผงตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบและคัดเลือกระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการคงสภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงได้ โดยละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ต่อมาจึงทำให้เป็นผงตัวอย่างด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องทำแห้งแบบตัวอย่างแบบอนุภาคผงรุ่น S-300 (Germany) สภาวะในการทำแห้งดัดแปลงจากงานวิจัยของ Islam MZ et al. [9] คือ กำหนดอุณหภูมิลมขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมขาออก 90 องศาเซลเซียส ใช้ความดัน 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราการไหลของสาร 40 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อนำไประเหยจนแห้งจะได้เป็นผงตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยาต่อไป

2. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยา

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างจากแต่ละซ้ำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยา ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ การวิเคราะห์ค่าสี Hunter lab [10] การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (ดัดแปลงจากวิธีของ ทัตดาว ภาษีผล และคณะ [11]) การวิเคราะห์ความหนาแน่นโดยรวม (ดัดแปลงจาก Goula and Adamopoulos [12]) และการวิเคราะห์ความหนืด

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่า pH [13] การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้เครื่อง HPLC (Thermo Fisher Scientific, USA) และคอลัมน์ C18 reverse-phase ขนาด 4.6 × 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร โดยใช้ Mobile phase ประกอบด้วย Methanol และน้ำที่เติม 0.2% formic acid ในอัตราส่วน 40:60 (ปริมาตร/ปริมาตร)) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร/นาที ปริมาตรฉีดตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และกำหนดเวลาในการวิเคราะห์ 30 นาที เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ tryptanthrin, indirubin และ indigotin นอกจากนี้ วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Total carotenoid content) [15] รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณความชื้น [10] และปริมาณน้ำอิสระ (water activity; aw)

2.2.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

เตรียมสารสกัดตัวอย่างในความเข้มข้นที่เหมาะสมและทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH ในที่มืดตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV–Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นประมาณ 517 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายหรือสารละลายที่ไม่มีสารสกัดเป็น blank/control และใช้สารมาตรฐาน Trolox สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) ตามสมการ

$$\%\text{Inhibition} = \frac{A_{control} - A_{Sample}}{A_{control}} \times 100$$

โดย $A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

รายงานผลโดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน สามารถรายงานเป็น µmol Trolox equivalents per gram sample (ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัม) โดยคำนวณจากสมการมาตรฐานของ Trolox และปรับด้วย dilution factor และน้ำหนักตัวอย่าง

2.2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)

เตรียมสารละลาย ABTS radical cation และปรับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากนั้นเติมสารสกัดตัวอย่างและบ่มตามระยะเวลาที่กำหนด แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV–Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นประมาณ 734 นาโนเมตร ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน ให้สร้างกราฟมาตรฐานของ Trolox และรายงานผลเป็น ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัม คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งตามสมการ

$$\%\text{Inhibition} = \frac{A_{control} - A_{Sample}}{A_{control}} \times 100$$

โดย $A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณ malondialdehyde (MDA)

วิเคราะห์ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดการเกิด lipid peroxidation โดยใช้หลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง MDA กับ thiobarbituric acid (TBA) เกิดเป็นสารประกอบสีชมพู จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV–Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยใช้ชุดควบคุมและสารมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน ปริมาณ MDA คำนวณจากสมการของกราฟมาตรฐาน โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเข้าสมการเพื่อหาความเข้มข้นของ MDA และปรับค่าตาม dilution factor และน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด ผลการวิเคราะห์รายงานเป็น นาโนโมล MDA/กรัมตัวอย่าง ตามสมการ

$$\text{MDA (นาโนโมล/กรัม)} = \frac{C \times V \times DF}{W}$$

โดย C = ความเข้มข้นของ MDA ที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (นาโนโมล/มล.)

V = ปริมาตรสารสกัดทั้งหมด (มล.)

DF = dilution factor

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีววิทยา ประกอบด้วยการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา [10] รวมถึงการทดสอบความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด [16] ดำเนินการด้วยวิธี paper disc diffusion โดยใช้ Mueller-Hinton Agar (MHA) และเตรียมเชื้อทดสอบตามแนวทางของ CLSI M02 จากนั้นประเมินผลจากเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง (inhibition zone; mm) รอบแผ่นกระดาษที่บรรจุสารสกัด

3. การวิเคราะห์สถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics รุ่น 29.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ (n = 3)

ผลการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างสารละลายและทำให้เป็นผง

จากการนำพืชให้สีครามแต่ละชนิด นำมาสกัดน้ำจากใบและนำไปทำการพ่นฝอย (Spay drying) ผลิตเป็นผงพฤกษเคมีที่ระดับความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน ที่แตกต่างกัน พบว่า สามารถผลิตผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม 4 ชนิด ได้แก่ ผงพฤกษเคมีจากห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก คราม และเบิก ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผงสารพฤกษเคมีจาก *Strobilanthes cusia* (Sc), *Strobilanthes auriculata* (Sa), *Indigofera tinctoria* (It) และ *Marsdenia tinctoria* (Mt)

2. ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยา

2.1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

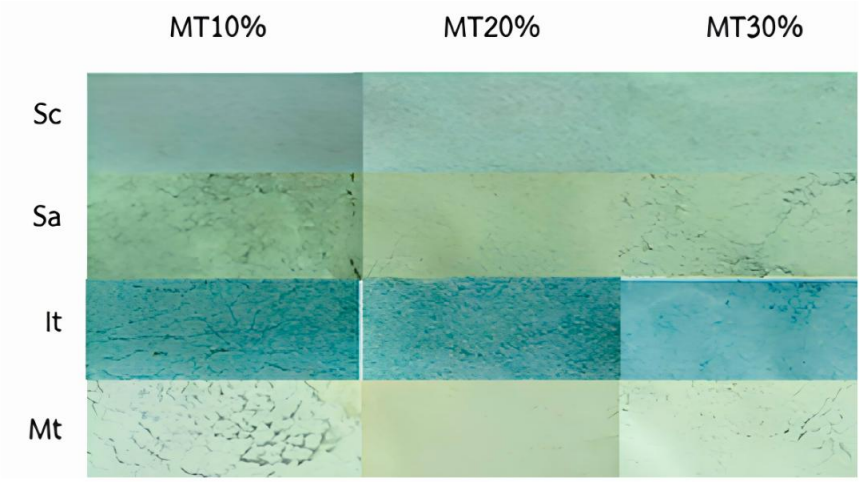
ทำการศึกษาทั้งสิ้น 4 ด้าน ได้แก่ การวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าสี Hunter Lab (L* a* และ b*) วิเคราะห์ความสามารถในการละลาย วิเคราะห์ความหนาแน่นโดยรวม และการวิเคราะห์ความหนืด (เซนติพอยส์) ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม

Phytochemical	Color quality by Hunter Lab			Solubility	Viscosity	Density
Powder	L*	a*	b*	(%)	(cP)	(g/cm^3)
Sc-MT10%	73.1967^{d}±1.3204	-2.8533^{e}±0.2463	8.4233^{e}±0.2871	99.97±0.00	2.91±0.01	1.49±0.01
Sc-MT20%	74.1308^{e}±0.9852	-2.6500^{e}±0.3458	8.1515^{e}±0.3740	99.96±0.00	2.98±0.00	1.50±0.01
Sc-MT30%	76.4578^{ef}±1.4560	-2.7100^{e}±0.2965	8.8200^{e}±0.2547	99.96±0.00	3.00±0.02	1.52±0.00
Sa-MT10%	70.0600^{cd}±1.2360	-5.9830^{b}±0.1245	3.7767^{d}±0.3541	99.97±0.00	2.92±0.00	1.50±0.01
Sa-MT20%	71.6001^{cd}±0.6571	-5.9830^{b}±0.5690	3.7767^{d}±0.3121	99.97±0.01	3.01±0.00	1.50±0.00
Sa-MT30%	72.5200^{cd}±0.2314	-5.9830^{b}±0.1245	3.7767^{d}±0.7200	99.96±0.00	3.00±0.01	1.53±0.00
It-MT10%	58.9400^{a}±0.2887	-6.9237^{a}±0.3250	-8.9800^{a}±0.004	99.96±0.00	3.00±0.01	1.50±0.01
It-MT20%	62.4113^{b}±0.2231	-7.3400^{a}±0.2147	-8.9800^{a}±0.5470	99.96±0.00	3.02±0.00	1.50±0.00
It-MT30%	68.9871^{c}±0.5478	-7.3367^{a}±0.1099	-8.9800^{a}±0.9548	99.96±0.00	3.12±0.00	1.51±0.01
Mt-MT10%	78.5800^{f}±0.2129	-3.0000^{d}±0.1126	-6.5804^{b}±0.2970	99.97±0.00	2.95±0.03	1.49±0.01
Mt-MT20%	79.8167^{fg}±0.2780	-1.2267^{f}±0.2645	-5.7900^{c}±0.2298	99.96±0.00	2.99±0.01	1.49±0.01
Mt-MT30%	81.1200^{g}±0.3188	2.6000^{g}±0.5461	-5.5667^{c}±0.3210	99.95±0.01	3.00±0.00	1.51±0.001
F-test	*	*	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ (n = 3) ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ส่วน ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) L* หมายถึง ค่าความสว่างของสี โดยค่าที่สูงแสดงถึงสีที่สว่างมากขึ้น a* หมายถึง ค่าบ่งชี้แนวโน้มของสีในแกนสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และ b* หมายถึง ค่าบ่งชี้แนวโน้มของสีในแกนสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+)

จากการทดสอบ F-testจากคุณภาพสีจากการวิเคราะห์ Hunter Lab (ตารางที่ 1) พบว่า ผงพฤกษเคมีของคราม (It-MT10%) ห้อมใบใหญ่ (Sc-MT10%) ห้อมใบเล็ก (Sa-MT10%) และเบิก (Mt-MT10%) ที่มีมอลโทเดกซ์ทริน ความเข้มข้น 10%จะมีสีเข้มกว่า ความเข้มข้นมอลโทเดกซ์ทริน 20 และ 30% วิเคราะห์ได้จากค่า L* ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกัน และค่า L* ของ It-MT10% ที่ต่ำที่สุด หมายความว่า ครามที่มีมอลโทเดกซ์ทริน ความเข้มข้น 10% สีเข้มที่สุดเมื่อเทียบกับพืชอีก 3 ชนิด และจากค่า a* และ b* แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างผงพฤกษเคมีของเบิกจะมีสีเขียว เนื่องจาก ค่า a* และค่า b* จะสูงกว่าผงพฤกษเคมีที่เป็นสีน้ำเงิน เช่น จากคราม และ ห้อม ที่มีค่า a* และค่า b* จะต่ำ สอดคล้องกับภาพผงพฤกษเคมีที่มองด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 2) ต่อมาด้านความสามารถในการละลาย ความหนืด และความหนาแน่น (ตารางที่1) พบว่า สามารถละลายในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 99.95 -99.97% และมีความหนืดอยู่ระหว่าง 2.91-3.12 และความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.49–1.53 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 2 คุณภาพสีของผงสารพฤกษเคมี

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

การหาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH ABTS และ MDA และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC เพื่อศึกษาการสกัดสารสำคัญทริปแทนตริน (Tryptanthrin) อินดิรูบิน (Indirubin) และอินดิโกติน (Indigotin) จากผงพฤกษเคมีพร้อมใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม

Phytochemical Powder	pH	Moisture (%)	Water activity (a_w)	Total Carotenoid (µg/g DW)
Sc-MT10%	6.75±0.00	10.00±0.00	0.3533^{b}±0.0125	5.1158^{aC}±0.00216
Sc-MT20%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.3133^{b}±0.0125	2.7284^{bC}±0.0014
Sc-MT30%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.2867±0.0047	2.0084^{cC}±0.0029
Sa-MT10%	7.00±0.01	10.00±0.00	0.3600^{ab}±0.0082	24.4421^{aB}±0.0022
Sa-MT20%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.3067^{bc}±0.0170	13.2252^{bA}±0.0201
Sa-MT30%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.2533±0.0249	8.7536^{cA}±0.0164
It-MT10%	6.50±0.05	10.00±0.00	0.3767^{a}±0.0170	30.1263^{aA}±0.0310
It-MT20%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.3300^{a}±0.0082	8.0336^{bB}±0.0017
It-MT30%	7.00±0.01	10.00±0.00	0.2900±0.0080	5.6273^{cB}±0.0065
Mt-MT10%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.3300^{c}±0.0082	5.2484^{aC}±0.0057
Mt-MT20%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.2900^{c}±0.0080	3.8463^{cC}±0.0069
Mt-MT30%	7.00±0.00	10.00±0.00	0.2567±0.0125	5.1916^{bB}±0.0004
F-Test	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ:*ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ (n = 3) ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และกำหนดระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ ส่วน ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากการทดสอบ F-test

จากคุณสมบัติทางเคมี (ตารางที่ 2) พบว่า มีคุณสมบัติเป็นกลางโดยมี pH อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ความชื้น 10% และมีปริมาณน้ำอิสระ 0.2533-0.3767 ผงพฤกษเคมีทั้งสี่ชนิดผงจากครามมีปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุดและลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นมอล

โทเดกซ์ทรินสูงขึ้น และเมื่อหาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณแคโรทีนอยด์จากผลพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามในจังหวัดแพร่ แสดงให้เห็นว่า ที่ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน 10% ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำที่สุด จะมีปริมาณสูงที่สุด โดยผงพฤกษเคมีจากห้อมใบใหญ่ เท่ากับ 5.1158 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ห้อมใบเล็ก เท่ากับ 24.4421 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง คราม เท่ากับ 30.1263 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้งและเบิก เท่ากับ 5.2484 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สภาวะพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลลิกรวมในผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (ตารางที่ 3) พบว่าความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 10% ให้ปริมาณสารฟีนอลลิกรวมสูงสุดในพืชทั้ง 4 ชนิด โดยครามมีปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ 13.9219 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา ได้แก่ ห้อมใบเล็ก ห้อมใบใหญ่ และเบิก เท่ากับ 8.8916, 4.4067 และ 3.2552 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินทั้ง 3 ระดับ พบว่าปริมาณสารฟีนอลลิกรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม

Phytochemical Powder	Total phenolic compounds (mg GAE/g DW)	Antioxidant activity		
		DPPH (μmol TE/g)	ABTS (μmol TE/g)	MDA (nmol MDA/g)
Sc-MT10%	4.4067^{aC}±0.0857	72.4376^{c}±5.9687	9.6454^{aB}±0.9929	4.6574^{cB}±1.8399
Sc-MT20%	3.9219^{bC}±0.1485	85.5297^{b}±4.8119	2.8329^{cC}±0.2833	8.1661^{aA}±3.6049
Sc-MT30%	3.3764^{cC}±0.01485	72.8108^{c}±6.0326	5.0426^{bB}±1.3494	6.9965^{bA}±2.4811
Sa-MT10%	8.8916^{aB}±0.8699	0.0861^{j}±3.0035	9.2593^{aC}±0.9972	2.9614^{bC}±0.6244
Sa-MT20%	6.9522^{bA}±0.6694	2.3830^{i}±1.2551	5.8699^{bA}±1.0608	3.7802^{aC}±1.0559
Sa-MT30%	6.4067^{cA}±0.9659	20.4996^{f}±3.8827	5.1209^{cA}±0.8535	3.6047^{aB}±1.2918
It-MT10%	13.9219^{aA}±0.5353	97.6744^{a}±4.6039	9.9003^{aA}±1.3533	12.2597^{aA}±2.4811
It-MT20%	6.7704^{bAB}±0.2268	54.8665^{d}±1.6613	4.1193^{bB}±0.8523	5.18367^{bB}±1.5046
It-MT30%	4.7098^{cB}±0.2268	12.02986^{h}±6.5088	2.4788^{cC}±0.0708	2.9614^{cC}±0.6564
Mt-MT10%	3.2552^{aD}±0.1714	16.5375^{g}±1.8088	2.2143^{aD}±0.0714	2.0258^{aD}±0.0827
Mt-MT20%	2.7098^{bD}±0.2268	16.2791^{g}±0.6503	1.3418^{bD}±0.0706	1.8503^{bD}±0.2188
Mt-MT30%	2.1643^{cD}±0.1714	36.7212^{e}±3.2598	1.8440^{bD}±0.4255	1.4410^{cD}±0.0827
F-Test	*	*	*	*

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ (n = 3) ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระดับความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน ส่วนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชนิดพืช ($p < 0.05$) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และการทดสอบ F-test ทั้งนี้ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกำหนดที่ $p < 0.05$ และ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม ด้วยวิธี DPPH (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่า ผงพฤกษเคมีจากห้อมใบใหญ่ที่ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 20% มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 85.5297 ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์/กรัม ห้อมใบเล็กที่ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 30% มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 20.4996 ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์/กรัม ครามที่ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 10% มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 97.6744 ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์/กรัม และเบิกความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 30% มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 36.7212 ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์/กรัม เมื่อเปรียบเทียบ

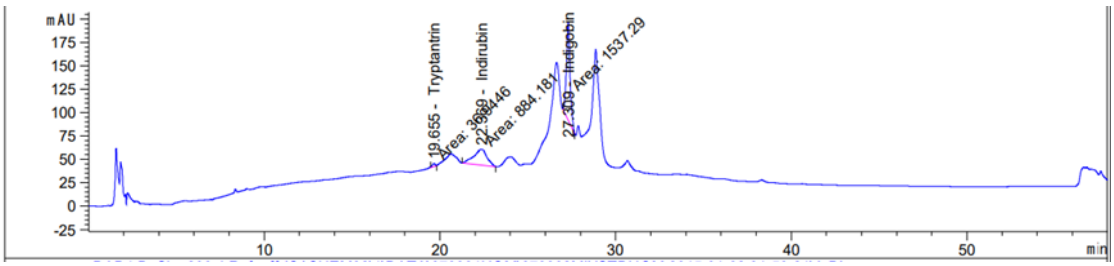
ความแตกต่างทางสถิติทั้ง 3 สภาวะ (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามต่างชนิดกัน พบว่า ที่สภาวะความเข้มข้นมอลโทเดกซ์ทริน 10% ผงพฤกษเคมีจากครามให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และที่สภาวะความเข้มข้นมอลโทเดกซ์ทริน 20 และ 30% ผงพฤกษเคมีจากห้อมใบใหญ่ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

ผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลพฤกษเคมีจากพืชให้สีคราม ด้วยวิธี ABTS (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่า ผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก คราม และเบิก ที่ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 10% ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำที่สุด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 9.6454, 9.2593, 9.9003 และ 2.2143 ไมโครโมลสมมูลโทรลอกซ์/กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติทั้ง 3 สภาวะ (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามต่างชนิดกัน

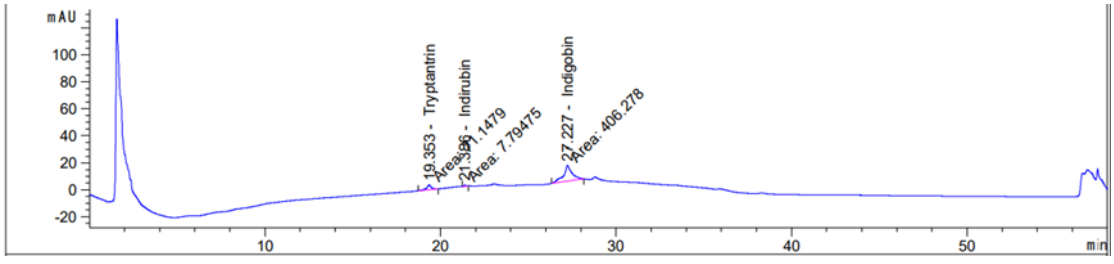
เมื่อเปรียบเทียบค่า MDA (ตารางที่ 3) ระหว่างผงพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามต่างชนิดกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน 10% ผงพฤกษเคมีจากเบิก ห้อมใบเล็ก ห้อมใบใหญ่ และคราม มีค่า MDA เท่ากับ 2.0258, 2.9614, 4.6574 และ 12.2597 นาโนโมล MDA/กรัม ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้น 20% มีค่า MDA เท่ากับ 1.8503, 3.7802, 8.1661 และ 5.1837 นาโนโมล MDA/กรัม ในผงพฤกษเคมีจากเบิก ห้อมใบเล็ก ห้อมใบใหญ่ และคราม ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้น 30% มีค่า MDA เท่ากับ 1.4410, 3.6047, 6.9965 และ 2.9614 นาโนโมล MDA/กรัม ในผงพฤกษเคมีจากเบิก ห้อมใบเล็ก ห้อมใบใหญ่ และคราม ตามลำดับ โดยผงพฤกษเคมีจากเบิกมีค่า MDA ต่ำที่สุดในทุกความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน แสดงถึงการเกิด lipid peroxidation หรือการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระดับต่ำที่สุด ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่า MDA ระหว่างความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินทั้ง 3 ระดับ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) โดยเมื่อพิจารณาค่า MDA โดยรวม พบว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 30% ให้ค่า MDA ในระดับต่ำกว่าหรือใกล้เคียงระดับต่ำในผงพฤกษเคมีจากพืชส่วนใหญ่ จึงเป็นระดับที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากการเกิด lipid peroxidation โดยเฉพาะในผงพฤกษเคมีจากเบิกและคราม ซึ่งมีค่า MDA เท่ากับ 1.4410 และ 2.9614 นาโนโมล MDA/กรัม ตามลำดับ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC

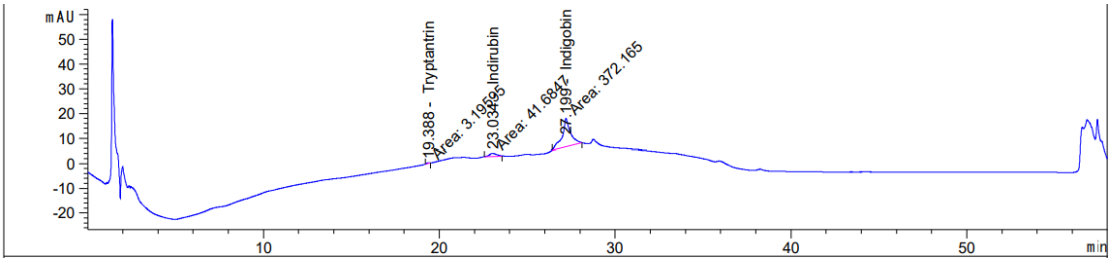
วิเคราะห์สารสำคัญ Tryptanthrin, Indirubin และ Indigotin ในผงพฤกษเคมีด้วยเทคนิค HPLC ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 3–6



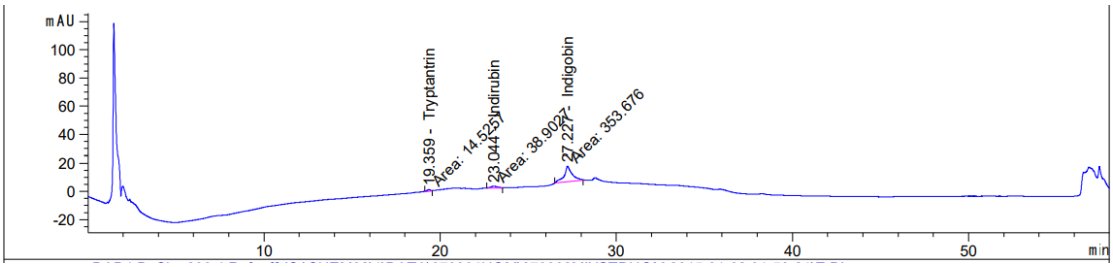
ภาพที่ 3 องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC ของห้อมใบใหญ่



ภาพที่ 4 องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC ของห้อมใบเล็ก



ภาพที่ 5 องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC ของคราม



ภาพที่ 6 องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี HPLC ของเบิก

ตารางที่ 4 ปริมาณทริปแทนทริน อินดิรูบิน และอินดิโกทินในผงพฤกษเคมีที่ห่อหุ้มด้วยมอลโทเดกซ์ทริน ความเข้มข้น 10% โดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC

Sample (mg/g crude)	*S. cusia* (Sc)	*S. auriculata* (Sa)	*I. tinctoria* (It)	*M. tinctoria* (Mt)
Trytanthrin	4.3317	2.5919	1.9333	2.4220
Indirubin	2.0380	1.4844	1.0099	1.5659
Indigotin	6.3479	4.9708	5.9946	3.5894

ปริมาณทริปแทนทรินในผงพฤกษเคมี พบว่า ตัวอย่างห้อมใบใหญ่สูงที่สุดเท่ากับ 4.3317 มก./ก. รองลงมาห้อมใบเล็กเท่ากับ 2.5919 มก./ก. เบิกเท่ากับ 2.4220 มก./ก. และครามเท่ากับ 1.9333 มก./ก. ตามลำดับ ปริมาณอินดิรูบิน พบว่า ตัวอย่างห้อมใบใหญ่สูงที่สุดเท่ากับ 2.0380 มก./ก. รองลงมา เบิกเท่ากับ 1.5659 มก./ก. ห้อมใบเล็กเท่ากับ 1.4844 มก./ก. และครามเท่ากับ 1.0099 มก./ก. ตามลำดับ และปริมาณอินดิโกตินสูงที่สุดคือห้อมใบใหญ่เท่ากับ 6.3479 มก./ก. ครามเท่ากับ 5.9946 มก./ก. ห้อมใบเล็กเท่ากับ 4.9708 มก./ก. และเบิกเท่ากับ 3.5894 มก./ก. ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีววิทยา

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชให้สีครามในจังหวัดแพร่ต่อการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบจุลินทรีย์จำนวน มากกว่า 100 หน่วยก่อโคโลนี/มิลลิลิตร เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราพบว่า ไม่พบว่าเป็นยีสต์และรา จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพของผงพฤกษเคมีในการต้านทานเชื้อก่อโรค ได้แก่ *E. coli, Staphylococcus* sp. และ *S. aureus* ด้วยวิธี Swab-paper disc ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชให้สีครามในจังหวัดแพร่ ด้วยวิธี Swab-paper disc

ผงพฤกษเคมี	*E. coli*	*Staphylococcus* sp.	*S. aureus*
DI Water (Negative Control)	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Tetracycline 30 µg (Positive Control)	24.30 ± 0.58^{a}	22.70 ± 0.58^{a}	26.20 ± 0.76^{a}
Sc-MT10%	14.20 ± 0.76^{b}	12.10 ± 0.58^{b}	15.30 ± 0.70^{b}
Sc-MT20%	12.30 ± 0.58^{bc}	0.00 ± 0.00^{c}	13.40 ± 0.76^{bc}
Sc-MT30%	10.90 ± 0.58^{c}	0.00 ± 0.00^{c}	12.10 ± 0.58^{c}
Sa-MT10%	9.80 ± 0.76^{c}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Sa-MT20%	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Sa-MT30%	8.70 ± 0.58^{c}	10.20 ± 0.76^{b}	0.00 ± 0.00^{c}
It-MT10%	8.90 ± 0.58^{c}	9.60 ± 0.58^{b}	0.00 ± 0.00^{c}
It-MT20%	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
It-MT30%	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Mt-MT10%	7.60 ± 0.58^{c}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Mt-MT20%	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}
Mt-MT30%	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{c}

หมายเหตุ ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD; n = 3) ของเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งการเจริญ (inhibition zone; mm) ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันแสดงกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ โดยกำหนดให้ a เป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ตามการทดสอบที่กำหนดไว้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *Staphylococcus* sp. และ *S. aureus* พบว่า ชุดควบคุมยาปฏิชีวนะให้บริเวณยับยั้ง 24.30 ± 0.58, 22.70 ± 0.58 และ 26.20 ± 0.76 มม. ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุมน้ำกลั่นไม่พบการยับยั้ง ในกลุ่มสารสกัดจากพืชให้สีคราม ห้อมใบใหญ่ผสมมอลโทเดกซ์ตริน 10% ให้บริเวณยับยั้งต่อจุลินทรีย์ทั้งสามชนิด เท่ากับ 14.20 ± 0.76, 12.10 ± 0.58 และ 15.30 ± 0.70 มม. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการยับยั้งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ห้อมใบใหญ่ที่ผสมมอลโทเดกซ์ตริน 20 และ 30% ยังคงยับยั้ง *E. coli* และ *S. aureus* แต่มีขนาดบริเวณยับยั้งลดลง ขณะที่ห้อมใบเล็ก คราม และเบิกให้ผลการยับยั้งเฉพาะบางสูตรและบางชนิดเชื้อ โดยสูตรที่มีมอลโทเดกซ์ทริน 20–30% หลายสูตรไม่พบการยับยั้ง

โดยรวม ชนิดของพืชให้สีคราม ระดับมอลโทเดกซ์ทริน และชนิดของจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ยับยั้งการเจริญ โดยห้อมใบใหญ่ผสมมอลโทเดกซ์ทริน 10% มีศักยภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ศึกษา ทั้งนี้ การคัดเลือกสูตรสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ควรพิจารณาร่วมกับปริมาณสารออกฤทธิ์ ความคงตัว ความปลอดภัย และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ไม่ควรพิจารณาจากขนาดบริเวณยับยั้งเพียงอย่างเดียว

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้า ทดลอง วิจัย และพัฒนาเป็นพฤกษเคมีพร้อมใช้จากพืชให้สีครามของจังหวัดแพร่ และพัฒนาเป็นพฤกษเคมีพร้อมใช้จากพืชให้สีครามของจังหวัดแพร่ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก คราม และเบิก พืชที่ศึกษามีผลการทดสอบเบื้องต้นที่น่าสนใจ และอาจมีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาต่อยอดเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็น

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบในกลุ่มอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เนื่องจากมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เหมาะสม โดยเฉพาะฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค

คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ผงพฤกษเคมีจากครามมีสีน้ำเงินเข้มที่สุด รองลงมา ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก และเบิก ตามลำดับ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินจาก 10 เป็น 30% ทำให้สีของผงอ่อนลง เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทริน มีสีขาวหรือไม่มีสีและทำหน้าที่เป็นสารพาหะและสารช่วยห่อหุ้ม เมื่อมีมอลโทเดกซ์ทรินในสัดส่วนสูงขึ้น ปริมาณสารให้สีต่อหน่วยมวลของผงจึงลดลง ส่งผลให้การดูดกลืนแสงของสารสีลดลงและการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความสว่าง (L*) สูงขึ้นและความเข้มของสีลดลง สอดคล้องกับ Tonon RV et al. [17] และ Ferrari CC et al. [18] ที่รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินสามารถเพิ่มค่าความสว่างและลดความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์ผงได้ ขณะที่ผงพฤกษเคมีมีความสามารถในการละลายสูง (99.96–99.97%) และมีความหนืด 2.71–2.95 เซนติพอยส์ ซึ่งสะท้อนถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ ทั้งนี้ มอลโทเดกซ์ทรินในระดับต่ำช่วยคงความเข้มของสีและสัดส่วนสารพฤกษเคมี ขณะที่ระดับสูงอาจช่วยเพิ่มการปกป้องสารออกฤทธิ์และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การเลือกระดับมอลโทเดกซ์ทรินควรพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติด้านสี ความคงตัว และการคงเหลือของสารออกฤทธิ์เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์

ด้านคุณสมบัติทางเคมี พบว่า ผงพฤกษเคมีมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5–7.0 และมีความชื้นประมาณ 10% โดยผงพฤกษเคมีจากครามมีค่า water activity สูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทริน เพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินสามารถจับและกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้น้ำที่พร้อมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการเสื่อมคุณภาพลดลง จึงช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ผง สอดคล้องกับ Tonon RV et al. [17] และ Mishra P et al. [19] นอกจากนี้ ครามมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ห้อมใบใหญ่ ห้อมใบเล็ก และเบิก ตามลำดับ โดยสูตรที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน 10% ซึ่งเป็นระดับต่ำสุด มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด โดยเฉพาะผงพฤกษเคมีจากครามที่มีปริมาณฟีนอลิกรวมและแคโรทีนอยด์รวมสูงที่สุด ซึ่งสารกลุ่มดังกล่าวมีส่วนสำคัญต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทริน ในระดับต่ำช่วยลดการเจือจางของสารพฤกษเคมีและสามารถคงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า ขณะที่การเพิ่มมอลโทเดกซ์ทริน มีแนวโน้มช่วยลด water activity และเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ระดับมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาให้สมดุลระหว่างการคงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกับการเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ผง

นอกจากนี้ ยังพบสารสำคัญ ได้แก่ ทริปแทนทริน (Tryptanthrin) อินดิรูบิน (Indirubin) และอินดิโกติน (Indigotin) ในปริมาณแตกต่างกัน โดยห้อมใบใหญ่มีปริมาณสารสำคัญทั้งสามชนิดสูงที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าห้อมใบใหญ่เป็นแหล่งสำคัญของสารพฤกษเคมีที่มีศักยภาพต่อการนำไปใช้ประโยชน์เชิงชีวภาพ โดยสารกลุ่มดังกล่าวมีรายงานเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายด้าน โดยเฉพาะฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านไวรัส สอดคล้องกับ Lee CL et al. [20] ที่รายงานว่าสาร indigodoles A–C จาก *S. cusia* มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และ Tsai YC et al. [6] พบว่าสารสกัดจากใบ *S. cusia* สามารถยับยั้งการเกิด cytopathic effect (CPE) และลดการเพิ่มจำนวนของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ NL63 โดยมีรายงานว่า Tryptanthrin และ Indigodole B มีส่วนเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ดังกล่าว นอกจากนี้ Ho YL et al. [21], Gu W et al. [22] และ Tanaka T et al. [23] รายงานฤทธิ์ต้านไวรัสและต้านการอักเสบของสารจากรากและใบห้อมต่อไวรัสหลายชนิด รวมถึง HSV-1 ผลการศึกษานี้จึงสนับสนุนศักยภาพของห้อมใบใหญ่ในฐานะแหล่งสารพฤกษเคมีที่สามารถนำไปต่อยอดเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าได้ อย่างไรก็ตาม ฤทธิ์ทางชีวภาพของผงพฤกษเคมีที่ได้จากการศึกษานี้ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมโดยตรงเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสำคัญกับฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

ด้านคุณสมบัติทางชีวภาพ พบว่า ผงพฤกษเคมีมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่า 100 หน่วยก่อโคโลนี/มิลลิลิตร แต่ไม่พบการปนเปื้อนของยีสต์และรา ขณะที่สารสกัดจากพืชให้สีครามแสดงแนวโน้มการเกิดบริเวณยับยั้งต่อ *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp. และ *Escherichia coli* จากการทดสอบเบื้องต้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสารพฤกษเคมีที่มีอยู่ในพืช

โดยเฉพาะ Indirubin และ Tryptanthrin ที่มีรายงานเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านจุลชีพและต้านการอักเสบ สอดคล้องกับ Sun XB et al. [24] และรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง [25–31] นอกจากนี้ การผลิตในรูปแบบผงด้วยเทคโนโลยี spray drying และการใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารพาหะอาจช่วยให้สารออกฤทธิ์คงอยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการนำไปใช้และช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ โดยชนิดและระดับของสารพาหะมีผลต่อการคงเหลือของสารออกฤทธิ์และคุณสมบัติของผง [32–35]

ผลการศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่าพืชให้สีครามที่ศึกษา โดยเฉพาะห้อมและคราม มีองค์ประกอบพฤกษเคมีและกิจกรรมทางชีวภาพที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาต่อยอด อย่างไรก็ตาม ผลการยับยั้งเชื้อในครั้งนี้เป็นการประเมินเบื้องต้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยกำหนดความเข้มข้นของสารทดสอบและประเมินค่าการยับยั้งเชื้ออย่างเป็นระบบ รวมถึงศึกษาความคงตัวและความปลอดภัยก่อนนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ยา หรือเครื่องสำอาง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

การศึกษานี้ประเมินคุณสมบัติของพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการเบื้องต้น จึงยังไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังไม่ได้ศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้ม การคงตัวของสารออกฤทธิ์ระหว่างการเก็บรักษา และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์จริง

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

ควรศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มเติม โดยประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดก่อนการทำแห้ง ผลได้ของผง (powder yield) ปริมาณความชื้น ค่า water activity และประสิทธิภาพการห่อหุ้มสารพฤกษเคมี (encapsulation efficiency) รวมทั้งศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ และประเมินความปลอดภัยหรือความเป็นพิษ นอกจากนี้ ควรศึกษาวัตถุดิบจากแหล่งผลิตและฤดูกาลที่หลากหลาย เพื่อประเมินความแปรปรวนของสารสำคัญ และควรทดสอบการนำผงพฤกษเคมีไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์จริง เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อยอดในระดับผลิตภัณฑ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนด้านงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปี 2567 ที่ให้การสนับสนุน โครงการการสกัดพฤกษเคมีจากพืชให้สีครามและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเป็นผงสำหรับใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นโครงการย่อยภายใต้แผนงาน : การพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีเพื่อสร้างมูลค่าทรัพยากร ธรรมชาติและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

1. Chanchay N. Commercial indigo-dyeing for sustainability. Chiang Mai: Smart Coating and Service Int.; 2021.
2. Honda G, Tabata M. Isolation of antifungal principle tryptanthrin from *Strobilanthes cusia* O. Kuntze. Planta Med 1979;36:85-90.
3. Hou JH, Fan JQ, Wang FW, Cai K, Kong WG. Preliminary analysis of cultivable bacteria diversity and Cd2+ resistance in burdock rhizosphere. Biotechnol Bull 2006;28:158-62.
4. Liau BC, Jong TT, Lee MR, Chen SS. LC-APCI-MS method for detection and analysis of tryptanthrin, indigo, and indirubin in daqingye and banlangen. J Pharm Biomed Anal 2007;43:346-51.
5. Li Q. Cultivation techniques of *Baphicacanthus cusia* (Nees) Bremek. China Agric Inf 1993;9:28-9.
6. Tsai YC, Lee CL, Yen HR, Chang YS, Lin YP, Huang SH, et al. Antiviral action of tryptanthrin isolated from *Strobilanthes cusia* leaf against human coronavirus NL63. Biomolecules 2020;10(3):366.

7. ณัฐพร จันทร์ฉาย, อัญศญา บุญประจวบ, รัฐพงศ์ เดชพรม. บทบาทของเชื้อจุลินทรีย์ คุณภาพของเถ้า และภาชนะที่ใช้ก่อหม้อห้อม ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกในระหว่างการผลิตสีย้อมห้อมแบบธรรมชาติ เพื่อการผลิตสีย้อมแบบยั่งยืน. วารสารผลิตกรรมการเกษตร 2567;6(2):52-62.
8. Cai YZ, Corke H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. J Food Sci 2000;65(7):1248-52.
9. Islam MZ, Kitamura Y, Kokawa M, Monalisa K, Tsai FH, Miyamura S. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. Food Bioprod Process 2017;101:132-44.
10. AOAC. Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists; 2000.
11. ทัตดาว ภาษีผล, ประภาพร เพียสังกะ, เทราตรี แจ้งสนาม. ผลของปริมาณสารตัวพาต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผงบีตาเลนจากผลผักปลังที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย. แก่นเกษตร 2562;47:1374-7.
12. Goula AM, Adamopoulos KG. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air. II. The effect on powder properties. J Food Eng 2005;66(1):35-42.
13. Grigelmo-Miguel N, Gorinstein S, Martín-Belloso O. Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. Food Chem 1999;65(2):175-81.
14. Foti MC, Daquino C, Geraci C. Electron-transfer reaction of cinnamic acids and their methyl esters with the DPPH radical in alcoholic solution. J Org Chem 2004;69:2309-14.
15. Zhao G, Li T, Qu X, Zhang N, Lu M, Wang J. Optimization of ultrasound-assisted extraction of indigo and indirubin from *Isatis indigotica* Fort. and their antioxidant capacities. Food Sci Biotechnol 2017;26(5):1313-23.
16. Marini E, Magi G, Mingoia M, Pugnaloni A, Facinelli B. Antimicrobial and anti-virulence activity of capsaicin against erythromycin-resistant, cell-invasive group A streptococci. Front Microbiol 2015;6:281.
17. Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. J Food Eng 2008;88(3):411-8.
18. Ferrari CC, Germer SPM, de Aguirre JM. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. Dry Technol 2012;30(2):154-63.
19. Mishra P, Mishra S, Mahanta CL. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. Food Bioprod Process 2014;92(3):252-8.
20. Lee CL, Wang CM, Hu HC, Yen HR, Song YC, Yu SJ, et al. Indole alkaloids indigodoles A-C from aerial parts of *Strobilanthes cusia* in the traditional Chinese medicine Qing Dai have anti-IL-17properties. Phytochemistry 2019;162:39-46.
21. Ho YL, Kao KC, Tsai HY, Chueh FY, Chang YS. Evaluation of antinociceptive, anti-inflammatory and antipyretic effects of *Strobilanthes cusia* leaf extract in male mice and rats. Am J Chin Med 2003;31:61-9.
22. Gu W, Zhang Y, Hao XJ, Yang FM, Sun QY, Morris-Natschke SL, et al. Indole alkaloid glycosides from the aerial parts of *Strobilanthes cusia*. J Nat Prod 2014;77(12):2590-4.
23. Tanaka T, Ikeda T, Kaku M, Zhu XH, Okawa M, Yokomizo K, et al. A new lignan glycoside and phenylethanoid glycosides from *Strobilanthes*. Chem Pharm Bull (Tokyo) 2004;52(10):1242-5
24. Sun XB, Sheng JR, Wang DP. Research progress of chemical constituents and pharmacological activities for *Baphacanthus cusia* (Nees) Bremek. Guangxi Shifan Xueyuan Xuebao 2008;25:66-9.

25. Zeng MJ, Diao Y. Secondary metabolites of *Baphacanthus cusia* (Nees) Bremek. Chin Agric Sci Bull 2016;32(20):30-4.
26. Ma CY, Zhang Y, Ma WB, Li JH, Yao T. Identification of plant growth promoting rhizobacteria of *Astragalus membranaceus* and their effects. Acta Prataculturae Sin 2012;26:149-59.
27. Yang Z, Wang Y, Zheng Z, Zhao S, Zhao J, Lin Q, et al. Antiviral activity of *Isatis indigotica* root-derived clemastanin B against human and avian influenza A and B viruses in vitro. J Mol Med 2013;31(4):867-73
28. Spink BC, Hussain MM, Katz BH, Eisele L, Spink DC. Transient induction of cytochromes P450 1A1 and 1B1 in MCF-7 human breast cancer cells by indirubin. Biochem Pharmacol 2003;66:2313-21.
29. Mak NK, Leung CY, Wei XY, Shen XL, Wong RN, Leung KN, et al. Inhibition of RANTES expression by indirubin in influenza virus-infected human bronchial epithelial cells. Biochem Pharmacol 2004;67:167-74.
30. Wu X, Chen X, Dan J, Cao Y, Gao S, Guo Z, et al. Characterization of anti-leukemia components from indigo naturalis using comprehensive two-dimensional K562/cell membrane chromatography and in silico target identification. Sci Rep 2016;6:25491.
31. Miao S, Shi X, Zhang H, Wang S, Sun J, Hua W, et al. Proliferation-attenuating and apoptosis-inducing effects of tryptanthrin on human chronic myeloid leukemia K562 cell line in vitro. Int J Mol Sci 2011;12(6):3831-45
32. Kandasamy S, Naveen R. A review on the encapsulation of bioactive components using spray-drying and freeze-drying techniques. J Food Process Eng 2022;45(8).
33. Mardani M, Siahtiri S, Besati M, Baghani M, Baniassadi M, Nejad AM. Microencapsulation of natural products using spray drying: an overview. J Microencapsul 2024;41(7):649-78.
34. Kalajahi SEM, Ghandiha S. Optimization of spray drying parameters for encapsulation of nettle (*Urtica dioica* L.) extract. LWT 2022;158:113149.
35. Nguyen MT, Van Chuyen H, Tran MD, Nguyen QV. Microencapsulation of *Syzygium zeylanicum* (L.) DC. extract using spray drying: effects of wall materials on physicochemical characteristics and biological activities of the microcapsules. J Food Process Preserv 2022;46:e16647.