การประเมินสารเคมีตกค้าง โลหะหนักและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในดอกดาวเรืองที่ปลูกในพื้นที่ อำเภอเบตง จังหวัดยะลาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากดอกดาวเรือง

Assessment of Chemical Residues, Heavy Metals, and Antioxidant Activity in Marigold Flowers Grown in Betong District, Yala Province, and Development of Cosmetic Products from Marigold Flowers

ลิขิต ลาเต๊ะ วรรณกัษมา ฮารน ลดาวัลย์ คงศรีจันทร์ สุรเดช มัจฉาเวช และนิสาพร มูหะมัด*
Likit Lateh, Wankassama Haron, Ladawan Khongsichan, Suradet Matchawet and Nisaporn Muhamad*

หลักสูตรวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง สุขภาพ และการชะลอวัย คณะสาธารณสุขศาสตร์และสหเวชศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
Department of Cosmetic Science Health and Anti-Aging, Faculty of Public Health and Allied Health Sciences,
Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000, Thailand
*Corresponding author, e-mail: nisaporn.m@yru.ac.th
(Received: Dec 6, 2024; Revised: Apr 14, 2025; Accepted: Apr 22, 2025)

บทคัดย่อ

ดอกดาวเรืองมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายโดยเฉพาะฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การนำดอกดาวเรืองที่ตกเกรดจากกระบวนการผลิต มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบในท้องถิ่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสารเคมีตกค้างและโลหะหนักทั้งในดินและดอก รวมถึงศึกษาปริมาณฟินอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกดาวเรืองคัดเกรดและตกเกรด ในพื้นที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จากการวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างและโลหะหนักในดินและดอกดาวเรืองพบว่า ไม่พบสารเคมีตกค้างทั้งในดินและดอกดาวเรือง อีกทั้งมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้น จึงได้ทำการสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและตกเกรด โดยการแช่หมักด้วยตัวทำละลายเอทานอล แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า สารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรดมีค่าสูงกว่าดอกดาวเรืองคัดเกรด คือ 4.521±0.064 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) เท่ากับ 0.819±0.042 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความแตกต่างจากดอกดาวเรืองคัดเกรดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวอาบน้ำและแชมพูสระผมที่มีส่วนผสมจากสารสกัดดอกดาวเรืองพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 5-6 มีความคงตัวดี ไม่แยกชั้น ไม่พบจุลินทรีย์และเชื้อรา มีการไหลได้ดี ดังนั้น ดอกดาวเรืองตกเกรดสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรได้ในอีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ : สารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดอกดาวเรือง โลหะหนัก เครื่องสำอาง

Abstract

The marigold flower contains a variety of bioactive compounds, particularly with antioxidant properties. Utilizing downgraded marigold flowers during the production process and converting them into cosmetic products is an interesting option for adding value to local raw materials. The aim of this research was to investigate the total phenolic content and antioxidant properties of graded and downgraded marigold flowers from Betong District, Yala Province, Thailand, for the development of cosmetic products. The analysis of residual chemicals and heavy metals in the soil and marigold flowers revealed that no residual chemicals were found in either the soil or the flowers. Additionally, the levels of heavy metals were within the standard limits. Subsequently, both the graded and downgraded marigold flowers were extracted by maceration with ethanol as the solvent. The total phenolic compounds and the antioxidant

activity were evaluated. The results showed that the total phenolic compounds in the crude marigold flower extract are higher than in the graded marigold flowers, with a value of 4.521±0.064 mg GAE/g extract, and an antioxidant activity (IC_{50}) of 0.819±0.042 mg/ml, which is significantly different from the graded marigold flowers. Furthermore, the basic properties of liquid body wash and shampoo products containing marigold flower extract were examined, revealing a pH value between 5 and 6, good stability, no separation, no microorganisms or fungi, and good flow ability. Therefore, it can be concluded that downgraded marigold flowers can be developed into cosmetic products, which adds value and provides an alternative source of income for farmers.

Keywords : Total phenolic contents, Antioxidant, Marigold flowers, Heavy metals, Cosmetic

บทนำ

โครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา เป็นโครงการที่ได้ตั้งขึ้นตามพระราชดำริของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อพัฒนาคุณภาพไม้ดอกให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยส่งเสริมองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการขยายพันธุ์ ดำเนินการทดสอบการปลูกพืชไม้ดอกเมืองหนาวและขยายผลให้แก่เกษตรกรหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่มีความสนใจ และยังส่งเสริมให้มีการปลูกไม้กระถางไม้ดอกเมืองหนาวชนิดใหม่ ๆ เพื่อพัฒนาสวนไม้ดอกเมืองหนาวให้สวยงามตลอดทั้งปี เพื่อพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ต่อไป ซึ่งผลจากการดำเนินงานโครงการนั้นก่อให้เกิดกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนที่สนใจขยายผล การปลูกไม้ดอกเมืองหนาว โดยเฉพาะการปลูกดอกดาวเรือง และดอกกุหลาบมอญ ในพื้นที่อำเภอเบตงในหลายชุมชน ได้แก่ กลุ่มหมู่บ้านจุฬาภรณ์พัฒนา 10 กลุ่มขยายบ้านยะรม และ กลุ่มไม้ดอกบ่อน้ำร้อน เป็นต้น โดยผลผลิตที่ได้จากโครงการไม้ดอกเมืองหนาวจะเน้นซื้อดาวเรืองตกเกรดนี้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จะสามารถตอบโจทย์ผู้บริโภครุ่นใหม่ ซึ่งนิยมใช้เครื่องสำอางจากวัตถุดิบธรรมชาติได้ (Chuenyen & Khanngern, 2023) ส่งผลให้เกิดการเพิ่มมูลค่าให้กับดอกดาวเรืองที่ถูกคัดทิ้งไปโดยไม่ใช้ประโยชน์ และเป็นทางเลือกในการเพิ่มรายได้ลดรายจ่ายให้แก่เกษตรกรผู้เพาะปลูก ในพื้นที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ได้

การวางแผนงานวิจัย ได้เริ่มต้นจากการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นด้านการเพาะปลูกของเกษตรกรผู้ผลิตในโครงการไม้ดอกเมืองหนาวฯ พบว่า ในปัจจุบันผู้ผลิตไม่มีการใช้สารเคมีใด ๆ ในการเพาะปลูกดาวเรืองของโครงการ แต่ในอดีตมีใช้สารเคมีเพื่อการเพาะปลูกบ้างในปริมาณน้อย เช่น สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และสารเคมีกำจัดวัชพืช นอกจากนี้ พบว่ายังไม่มีการศึกษาวิเคราะห์ดินปลูก ในส่วนของสารตกค้างในดิน ทั้งสารเคมีและโลหะหนัก รวมถึงไม่มีการศึกษาสารตกค้างในดอกดาวเรืองด้วย ซึ่งข้อมูลของสารตกค้างในดินและดอกดาวเรือง จัดเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อการพัฒนาหรือปรับปรุงการผลิต การแปรรูป และการจัดจำหน่ายได้ ตัวอย่างเช่น หากพบสารเคมีปนเปื้อนโลหะหนักในดิน จะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในดอกดาวเรืองด้วย ทำให้ไม่สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องสำอาง หรืออาหารประเภทเครื่องดื่มชาดอกดาวเรืองได้ ด้วยมีหลักฐานงานวิจัยก่อนหน้าพบว่า ต้นดาวเรืองมีความสามารถดูดซับโลหะหนักในดินได้ดี หากดินปลูกมีการปนเปื้อนสารเคมีที่มีโลหะเจือปน จะทำให้โลหะหนักจะปรากฏในส่วนต่าง ๆ ของต้นดาวเรือง เช่น ราก ใบ และดอกด้วย (Madanan *et al*; 2021) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงกำหนดให้มีการศึกษา การประเมินสารเคมีตกค้างและโลหะหนักในดิน และการศึกษาสารเคมีตกค้างและโลหะหนักในดอกดาวเรือง ก่อนนำไปศึกษาการสกัดดอกดาวเรืองเพื่อประโยชน์ด้านการพัฒนาเครื่องสำอาง โดยดอกดาวเรือง มีสารพฤกษเคมีที่สำคัญ คือ แอลคาลอยด์ กรดแอสคอบิก ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน และแทนนิน ซึ่งมีสรรพคุณให้ความชุ่มชื้น ปรับสมดุลผิว ต้านอนุมูลอิสระและชะลอวัย สารสกัดดอกดาวเรืองมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ดี (Chompoo, *et al*; 2021) สามารถนำไปพัฒนาเป็นวัตถุดิบสารสกัดในเครื่องสำอางประเภทชำระล้าง บำรุงผิวและหนังศีรษะ รวมถึงเครื่องสำอางเพื่อการฟื้นฟูผิวและชะลอวัยได้

งานวิจัยนี้ สนใจพัฒนาเครื่องสำอางโดยใช้วัตถุดิบดอกดาวเรืองตกเกรด ในโครงการดอกไม้เมืองหนาวอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้น คลอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์หาสารเคมีและโลหะหนักตกค้างในดิน ทำให้ทราบคุณภาพของดินปลูกด้านปริมาณการปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนัก เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวิธีการบำบัดสารเคมีและโลหะหนัก กรณีที่พบสารเคมีและโลหะหนักปนเปื้อนในปริมาณสูง การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะการตกค้างของสารเคมีและโลหะหนักในดินส่งผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบดาวเรืองด้วย (Thaysnit &

Wachirawongsakorn, 2021) การสกัดสารสกัดจากดอกดาวเรืองและวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากดอกดาวเรือง และการวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากดอกดาวเรือง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จึงเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ทางการเกษตร (ดาวเรืองตกเกรด) โดยเพิ่มมูลค่าให้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีคุณภาพและมีประโยชน์ต่อผิวพรรณ สามารถนำไปใช้ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายหรือสร้างอาชีพเสริมให้แก่เกษตรกรได้ในอีกทางหนึ่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสารเคมีตกค้างและโลหะหนักในดินปลูกและดอก โครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดดอกดาวเรืองและนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดดอกดาวเรืองและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของตำรับเบื้องต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์สารเคมีและโลหะตกค้างในดินปลูกและดอกดาวเรือง

1.1 การวิเคราะห์สารเคมีและโลหะหนักตกค้างในดิน

ตัวอย่างดินที่ศึกษา สุ่มสำรวจจากพื้นที่โครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยเก็บตัวอย่างดินจากกลุ่มหมู่บ้านจุฬาภรณ์พัฒนา 10 ตำบลอัยเยอเวง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ซึ่งเป็นแปลงปลูกขนาดใหญ่ ขนาดพื้นที่ปลูกไม้ดอกของกลุ่ม ประมาณ 1.5 ไร่ มีลักษณะดินเป็นดินร่วน และทำการเพาะปลูกดอกดาวเรืองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 โดยการเก็บตัวอย่างดินจะสุ่มเก็บตัวอย่างจากดินจำนวน 2 แปลง แต่ละแปลงอยู่ห่างกันประมาณ 1 เมตร การขุดตัวอย่างดินจะขุดหลุมเป็นรูปตัว V ความลึกในแนวดิ่ง 15 เซนติเมตร หรือ 6 นิ้ว โดยประมาณ นำตัวอย่างดินที่ได้ทั้งหมดจำนวน 20 จุด มารวมกันแล้วผึ่งในที่ร่มให้แห้ง จากนั้นจึงบดดินและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการแบ่งดินเป็น 4 ส่วน แล้วนำตัวอย่างดิน 1 ส่วน ไปทำการสกัดตัวอย่างด้วยวิธี In-house method based on QuEChERS method (Apilux *et al*., 2015)

การนำตัวอย่างดิน ไปทำการสกัดโดยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method สำหรับวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในดิน มีขั้นตอนโดยละเอียด คือ นำตัวอย่างดิน 10 กรัมใส่หลอดเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตไนไตรด์ (Acetonitrile) จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วย Vortex mixer ด้วยความเร็วรอบสูงสุด 1 นาที จากนั้นเติม NaCl 1 กรัม และ $MgSO_4$ 4 กรัม แล้วเขย่าอีกครั้งเป็นเวลา 1 นาที่ ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 4,000 rpm นาน 5 นาที เมื่อครบเวลาแล้วใช้ออโตปิเปต ดูดสารละลายส่วนบนปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์อีกหลอดหนึ่ง ที่ภายในหลอดบรรจุสาร PSA 0.025 กรัม และ MgSO 0.15 กรัมผสมอยู่ นำหลอดไปเขย่าเป็น 30 วินาที และปั่นเหวี่ยง ก่อนนำเพียงสารละลายส่วนบน ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไปลดปริมาตรด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง และทำการปรับปริมาตรเป็น 0.5 มิลลิลิตร ด้วยตัวทำละลายเอธิลอะซิเตท (Ethyl acetate) ก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างโดยใช้เครื่องมือ Liquid Chromatography-Mass Spectrometer (LC-MS), Gas chromatography – micro ECD (GC/u-ECD) และ Gas chromatography – FDD (GC-FDD) (Land Development Department, 1990)

ทำการวิเคราะห์หาสารตกค้างในกลุ่มคาร์บาเมต ออแกโนคลอรีน ออแกโนฟอสเฟต ไพรีทรอยด์ ดังนี้

สารประกอบกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate group) ศึกษาจำนวน 10 สารประกอบ ได้แก่ Aldicarb Sulfoxide, Aldicarb-sulfone, Oxamyl, Methomyl, Aldicarb, Carbofuran, Carbaryl, Isoprocarb, Methiocarb และ Fenobucarb โดยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method และใช้เครื่องมือ Liquid Chromatography-Mass Spectrometer (LC-MS) ตรวจวิเคราะห์

สารประกอบกลุ่มออแกโนคลอรีน (Organochlorine group) ศึกษาจำนวน 16 สารประกอบ ได้แก่ Alpha-BHC, Beta-BHC, Lindane (Gamma-BHC), Heptachlor, Aldrin, Heptachlor-endo-epoxide, O,p'-DDE, Alpha-Endosulfan, Dieldrin, O,p'-DDD, Endrin, Beta-Endosulfan, Endosulfan-sulfate, P,p'-DDT, Delta-BHC และ O,p'-DDT โดยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method และใช้เครื่องมือ Gas chromatography – micro ECD (GC/u-ECD) ตรวจวิเคราะห์

สารประกอบกลุ่มออแกโนฟอสเฟต (Organophosphate group) ศึกษาจำนวน 21 สารประกอบ ได้แก่ Methamidophos, Mevinphos, Diazinon, Dicrotophos, Monocrotophos, Dimethoate, Pirimiphos-methyl, Chlorpyriphos, Parathion-methyl, Malathion, Fenitrothion, Parathion-ethyl, Prothiophos, Profenophos,

Triazophos, Ethion, EPN, Dichlorvos, Chlorpyriphos-methyl และ Pirimiphos-ethyl โดยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method และใช้เครื่องมือ Gas chromatography – FDD (GC-FDD) ตรวจวิเคราะห์

สารประกอบกลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroid group) ศึกษาจำนวน 7 สารประกอบ ได้แก่ Bifenthrin, Lambda-cyhalothrin, Permethrin, Cyfluthrin, Cypermethrin, Fenvalerate และ Deltamethrin โดยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method และใช้เครื่องมือ Gas chromatography – micro ECD (GC/u-ECD) ตรวจวิเคราะห์

การวิเคราะห์โลหะหนักตกค้างในดิน นำตัวอย่างดิน 1 ส่วนไปทำการสกัด โดยการผสมกับกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาโลหะแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) โดยใช้เครื่องมือ Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) โดยรายงานผลในหน่วยโลหะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

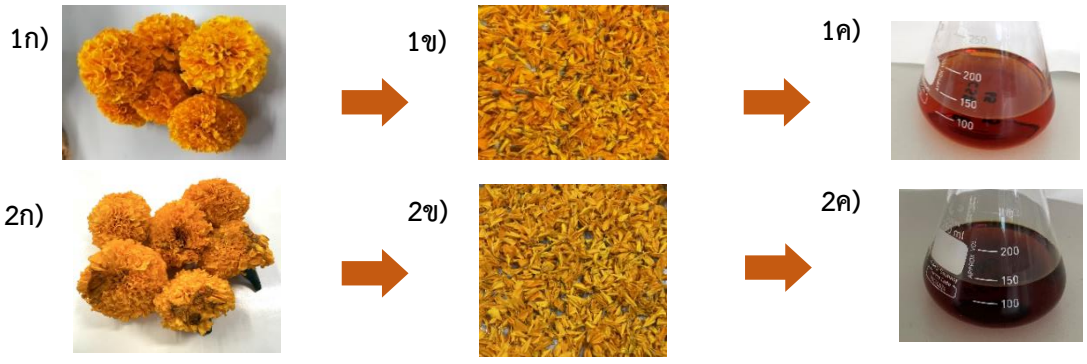
1.2 การวิเคราะห์สารเคมีและโลหะหนักตกค้างในดอกดาวเรือง

นำดอกดาวเรืองตกเกรด ที่ปลูกในตัวอย่างดินที่สุ่มศึกษาจากพื้นที่โครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา มาวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในกลุ่มคาร์บาเมต ออแกโนคลอรีน ออแกโนฟอสเฟต และกลุ่มไพรีทรอยด์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ In-house method based on QuEChERS method เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในดิน และวิเคราะห์หาโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) โดยใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Optical Emission spectrometer (ICP-OES) ดังหัวข้อที่ 1.1

2. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรด

2.1 การเตรียมตัวอย่างและสารสกัด

นำตัวอย่างดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรดมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดและนำมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 5 วัน บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำส่วนที่บดละเอียดมา 500 กรัม มาสกัดด้วยวิธีแช่หมัก (Maceration) ด้วยตัวทำละลายเอทานอล ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันในที่มืด เมื่อครบเวลาจึงนำสารละลายของแต่ละตัวอย่างมากรองด้วยกรวยแก้วและกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายที่กรองได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) จนแห้ง (Lateh & Muhamad, 2023) เก็บสารสกัดหยาบที่ได้เพื่อทำการทดสอบในขั้นต่อไป (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการสกัดสารจากดอกดาวเรือง 1ก) ดอกดาวเรืองคัดเกรด 2ก) ดอกดาวเรืองตกเกรด 1ข) ดอกดาวเรืองคัดเกรดหลังอบแห้ง 1ข) ดอกดาวเรืองตกเกรดหลังอบแห้ง 1ค) สารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรด 2ค) สารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรด

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds)

วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteau ตามวิธีของ (Muhamad *et al.*, 2024) โดยการนำสารตัวอย่าง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ 1N Folin-Ciocalteau's phenol reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2-5 นาที จากนั้นเติม 20% w/v Na_2CO_3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้น

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ความเข้มข้น 0 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งรายงานเป็นหน่วย มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

2.3 การทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ตามวิธีของ Muhamad *et al*. (2024) โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 2 มิลลิโมลาร์ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้พอดีด้วยเมทานอล จะได้ Metabolic DPPH จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรที่เวลา 5 20 30 40 และ 60 นาที และการทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เตรียมไว้มาตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร ลงในคิวเวต จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐาน DPPH 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วเติมเมทานอล 2.8 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรที่เวลา 30 นาที ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เมทานอลเป็น Blank คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (% Radical scavenging) ดังสมการ (1)

$$\% \text{ Radical scavenging} = \frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ $A_{control}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายควบคุที่เติมสารละลาย DPPH กับเมทานอลเท่านั้น
A_{sample} คือการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ ผสมกับสารละลาย DPPH

รายงานผลในรูป IC_{50} ที่ คำนวณได้จากการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง %Radical scavenging ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัดที่ทำให้ค่า % Radical scavenging ลดลงร้อยละ 50

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

การพัฒนาเครื่องสำอางจากสกัดดอกดาวเรืองตกเกรดมาพัฒนาเป็น 2 ผลิตภัณฑ์ คือ สบู่เหลวอาบน้ำสารสกัดดอกดาวเรือง และแชมพูสระผมสารสกัดดอกดาวเรือง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์แล้วจึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

3.1 การพัฒนาสบู่เหลวอาบน้ำจากสารสกัดดอกดาวเรือง

การพัฒนาสบู่เหลวอาบน้ำสารสกัดดอกดาวเรือง ตั้งตำรับโดยใช้สารตั้งต้นของ Water, Sodium laureth sulfate, Cocamidapropyl betain, Coconut diethanalamide, Sodium chloride, PEG-40 hydrogenated caster oil, Togetes eracta extract, Phenoxyethanol

3.2 การพัฒนาแชมพูสระผมจากสารสกัดดอกดาวเรือง

การพัฒนาแชมพูสระผมสารสกัดดอกดาวเรือง ตั้งตำรับโดยใช้สารตั้งต้นของ Deionized Water, Sodium Laureth Sulfate, Cocamidopropyl Betaine, Glycerin, Sodium Chloride, Polysorbate 20, Color, Tagefes erecta extract, Fragrance, Polyquaternium-10, Cocos Nucifera Oil, Glycol Distearate, Disodium EDTA, Phenoxyethanol

3.3 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ทำการทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated Storage test) ด้วยการเร่งด้วยอุณหภูมิ (Freeze and Thaw cycle) วิธีการดัดแปลงจาก Somkhow *et al*. (2022) โดยการนำสบู่เหลวและแชมพูสระผมที่เตรียมไว้ใส่ตู้เย็นที่ประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ตู้อบ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ โดยทำการทดสอบจำนวน 6 รอบ จากนั้นนำมาสังเกตลักษณะเนื้อสบู่เหลวและแชมพูสระผม (เนื้อละเอียด หยาบ มันวาว มีผลึกแห้ง มีหยดน้ำมัน (Oil droplet)) เปรียบเทียบสี กลิ่น วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การเจริญของจุลินทรีย์และเชื้อรา โดยสังเกตจากจุดดำหรือเส้นใย การเกิดการแยกชั้นน้ำและน้ำมัน (Cracking) โดยดูจากลักษณะการเกิดหลอมรวมเข้ากันเป็นหยด

ที่ใหญ่ขึ้น จนแยกออกเป็นชั้นน้ำและเนื้อสบู่หรือแชมพูอย่างชัดเจน โดยสังเกตจากลักษณะภายนอกเมื่อเตรียมเสร็จใหม่ ๆ แล้วเปรียบเทียบกับที่ทดสอบความคงตัวไว้ 6 รอบ โดย ทำการสุ่มตัวอย่างทดสอบ ที่ 2 4 และ 6 รอบ

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดดอกดาวเรืองทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยที่การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance; ANOVA) โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Turkey's ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการหาปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดดอกดาวเรืองใช้ T-test

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์สารเคมีและโลหะตกค้างในดินปลูกและดอกดาวเรือง

ผลการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในดินและดอกดาวเรือง จากโครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอเบตง จังหวัดยะลาพบว่า ดินปลูกและดอกดาวเรือง ไม่มีสารตกค้างในกลุ่มคาร์บาเมต ออแกโนคลอรีน ออแกโนฟอสเฟต ไพรีทรอยด์ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่า ดินปลูกอุดมสมบูรณ์ดี ไม่มีการสะสมของสารเคมีตกค้างกำจัดแมลงและศัตรูพืช มีผลทำให้ดอกดาวเรืองที่ได้ ไม่มีการตกค้างของสารเคมีในดอกไปด้วย ดังนั้น พื้นที่โครงการดอกไม้เมืองหนาว จึงเหมาะสมในการเพาะปลูกดอกดาวเรืองและไม้ดอกต่าง ๆ ผลผลิตที่ได้ก็เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นเครื่องสำอางเพื่อการบำรุงผิวพรรณ เช่น ดอกดาวเรือง มีความน่าสนใจในการพัฒนาเป็นสบู่เหลวอาบน้ำ แชมพูสระผม ครีมบำรุงผิว เป็นต้น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสารเคมีตกค้างในดินปลูกและดอกดาวเรือง

รายการทดสอบ	ปริมาณที่พบใน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ดิน	ดอกดาวเรือง
Carbamate group		
Aldicarb sulfoxide	Not Detected	Not Detected
Aldicarb-sulfone	Not Detected	Not Detected
Oxamyl	Not Detected	Not Detected
Methomyl	Not Detected	Not Detected
Aldicarb	Not Detected	Not Detected
Carbofuran	Not Detected	Not Detected
Carbaryl	Not Detected	Not Detected
Isoprocarb	Not Detected	Not Detected
Methiocarb	Not Detected	Not Detected
Fenobucarb	Not Detected	Not Detected
Organochlorine group		
Alpha-BHC	Not Detected	Not Detected
Beta-BHC	Not Detected	Not Detected
Lindane	Not Detected	Not Detected
Heptachlor	Not Detected	Not Detected
Aldrin (HHDN)	Not Detected	Not Detected
Heptachlor-endo-epoxide	Not Detected	Not Detected
O,p'-DDE	Not Detected	Not Detected
Alpha-Endosulfan	Not Detected	Not Detected
Dieldrin (HEOD)	Not Detected	Not Detected

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสารเคมีตกค้างในดินปลูกและดอกดาวเรือง (ต่อ)

รายการทดสอบ	ปริมาณที่พบใน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ดิน	ดอกดาวเรือง
O,p'-DDD	Not Detected	Not Detected
Endrin	Not Detected	Not Detected
Beta-Endosulfan	Not Detected	Not Detected
Endosulfan-sulfate	Not Detected	Not Detected
P,p'-DDT	Not Detected	Not Detected
Delta-BHC or delta-HCH	Not Detected	Not Detected
O,p'-DDT	Not Detected	Not Detected
Organophosphate group	Not Detected	Not Detected
Methamidophos	Not Detected	Not Detected
Mevinphos	Not Detected	Not Detected
Diazinon	Not Detected	Not Detected
Dicrotophos	Not Detected	Not Detected
Monocrotophos	Not Detected	Not Detected
Dimethoate	Not Detected	Not Detected
Pirimiphos-methyl	Not Detected	Not Detected
Chlorpyriphos	Not Detected	Not Detected
Parathion-methyl	Not Detected	Not Detected
Malathion	Not Detected	Not Detected
Fenitrothion	Not Detected	Not Detected
Parathion-ethyl	Not Detected	Not Detected
Prothiophos	Not Detected	Not Detected
Profenophos	Not Detected	Not Detected
Triazophos	Not Detected	Not Detected
Ethion	Not Detected	Not Detected
Organochlorine group		
EPN	Not Detected	Not Detected
Dichlorvos or DDVP	Not Detected	Not Detected
Chlorpyriphos-methyl	Not Detected	Not Detected
Pirimiphos-ethyl	Not Detected	Not Detected
Pyrethroid Group		
Bifenthrin	Not Detected	Not Detected
Lambda-cyhalothrin	Not Detected	Not Detected
Permethrin	Not Detected	Not Detected
Cyfluthrin	Not Detected	Not Detected
Cypermethrin	Not Detected	Not Detected
Fenvalerate	Not Detected	Not Detected
Deltamethrin	Not Detected	Not Detected

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตกค้างในดินและดอกดาวเรืองพบว่า มีผลแสดงดังตารางที่ 2 ในดินเพาะปลูกของโครงการไม้ดอกเมืองหนาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในปริมาณ 0.097 11.262 9.605 และ 22.798 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณโลหะที่พบไม่เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักในดิน ที่กำหนดให้ปริมาณโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ต้องมีปริมาณไม่เกิน 3 100 100 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Announcement of the national environmental board, 2021) แสดงให้เห็นว่า ดินเพาะปลูกมีมาตรฐานตามเกณฑ์ ไม่มีโลหะหนักสะสมในดินเกินกว่าค่าที่กำหนด เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเพื่อบริโภค

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในดอกดาวเรือง ไม่พบโลหะหนักแคดเมียม แต่พบโลหะทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในปริมาณ 4.565 0.198 22.798 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณที่พบน้อยกว่าในดิน ดังนั้นจึงนำดอกดาวเรืองตกเกรดไปทำการสกัดและศึกษาหาสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโลหะหนักในดินปลูกและดอกดาวเรือง

รายการทดสอบ	ปริมาณที่พบใน (mg/Kg)	
	ดิน	ดอกดาวเรือง
Cd	0.097	Not Detected
Cu	11.262	4.565
Pb	9.605	0.198
Zn	22.798	22.798

2. การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดดอกดาวเรือง

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล สามารถคำนวณได้จากสมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิคพบว่า สารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม เท่ากับ 3.709±0.081 และ 4.521±0.064 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ สารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากการตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรดโดยแสดงปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง 50% (IC_{50}, 50% of inhibitory concentration) ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ Trolox เป็น Positive control หรือตัวควบคุมเชิงบวกในการทดสอบใช้ DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น โดยผลการทดสอบแสดงสมบัติการยับยั้ง (IC_{50}) ที่เวลา 5 นาที โดยพบว่า สารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรด มีค่า IC_{50} อยู่ที่ 0.898±0.074 และ 0.819±0.042 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่สารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 3)

จากผลของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและการทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ของดอกดาวเรืองทั้ง 2 ชนิดพบว่า ผลการวิเคราะห์ของสารสกัดจากดอกดาวเรืองตกเกรดมีค่าที่ดีกว่าสารสกัดดาวเรืองคัดเกรด จึงเลือกนำสารสกัดจากดอกดาวเรืองตกเกรดมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่อไป

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ ; IC_{50} ของสารสกัดดอกดาวเรืองคัดเกรดและดอกดาวเรืองตกเกรด

สารตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE / g Extract)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ; IC_{50} (mg/ml)
ดอกดาวเรืองคัดเกรด	3.709 ± 0.081^{a}	0.898 ± 0.074^{a}
ดอกดาวเรืองตกเกรด	4.521 ± 0.064^{b}	0.819 ± 0.042^{b}
สารมาตรฐาน Trolox	-	1.420 ± 0.020^{c}

หมายเหตุ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± SD จำนวน 3 ซ้ำ
a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

การทดสอบคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรด ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ คือ สบู่เหลวสารสกัดดอกดาวเรืองและแชมพูสระผมสารสกัดดอกดาวเรือง แสดงผลในตารางที่ 4 พบว่า ลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์ สี กลิ่น ความเป็นกรดด่าง และการทดสอบการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางไม่แตกต่างกัน คือ เนื้อสบู่เหลวและแชมพูสระผมมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นของเหลวใสไม่มีสี ขณะที่แชมพูสระผมเป็นของเหลวสีขาวมุก ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีกลิ่นหอม รวมถึงมีค่าความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วงของกรดอ่อน คือ pH 5-6 และไม่พบการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ ทั้ง 2 สูตรตำรับ

การทดสอบการไหล การเกิดการแยกชั้นน้ำและน้ำมันของสบู่เหลวสารสกัดดอกดาวเรือง และแชมพูสระผมสารสกัดดอกพบว่า ผลิตภัณฑ์มีการไหลของสบู่เหลวและแชมพูได้ดี ไม่พบการเกิดการแยกชั้นน้ำและน้ำมันขึ้น รวมถึงไม่พบการเกิดจุลินทรีย์และเชื้อรา จากการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดดอกดาวเรือง ทำให้สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ก่อเกิดอันตรายต่อผิวพรรณ หากมีการจดแจ้งต่อองค์การเภสัชกรรมอาหารและยา (อย.) ก็สามารถนำไปจัดจำหน่ายเพื่อเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรผู้ผลิตได้

ตารางที่ 4 การทดสอบคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดดอกดาวเรือง

การทดสอบ	**สบู่เหลว**	**แชมพูสระผม**
ลักษณะเนื้อ	ของเหลวใส เป็นเนื้อเดียวกัน	ของเหลวมุก เป็นเนื้อเดียวกัน
สี	สีเหลืองอ่อน	สีเหลืองอ่อน
กลิ่น	หอม	หอม
pH	5-6	5-6
การแยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
การไหลของตำรับ	ไหลได้ดี	ไหลได้ดี
การเกิดจุลินทรีย์และเชื้อรา	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ
การเกิด Cracking	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ

อภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลการตรวจปริมาณสารเคมีตกค้างและโลหะหนักตกค้างในดินในตัวอย่างดอกดาวเรืองที่ปลูกในโครงการไม้ดอกเมืองหนาวอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ไม่พบสารเคมีตกค้างที่เป็นอันตราย อันเนื่องมาจากบริเวณพื้นที่ทำการเพาะปลูกนั้นมีการใช้สารเคมีในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งเกษตรกรมีการใช้สารเคมี (สารไดโนทีฟูแรน) ในระยะเริ่มการเพาะปลูกลงหลุมระยะต้นอ่อนและระยะก่อนดาวเรืองติดดอก สำหรับป้องกันแมลงเท่านั้น จึงทำให้สารเคมีตกค้างภายในดินนั้นน้อยมาก ซึ่งอาจเกิดการสลายตัว ซึ่งการตรวจไม่พบสารสารในกลุ่มออร์กาโนคอรินและไพเทรทรอยด์ ซึ่งจัดว่าเป็นสิ่งที่ดีในการปลูก (Wattanasunthorn & Amonsanguansin, 2016) เพราะสาร DDT, Endrin, Aldrin, Toxaphene มีความเป็นพิษสูง และสลายตัวช้า ทำให้สะสมในดินและสิ่งแวดล้อมนาน ซึ่งกระทรวงอุตสาหกรรมประกาศเป็นสารอันตรายห้ามใช้ สารกลุ่มไพเทรอยด์มีความเป็นพิษสูง และมีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้ สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน แต่สามารถสลายตัวได้รวดเร็ว ถึงแม้สารกลุ่มนี้จะสลายตัวเร็ว ความคงทนในสิ่งแวดล้อมต่ำ จึงทำให้ตรวจไม่พบสารกลุ่มดังกล่าวในตัวอย่างดินและดอกดาวเรืองที่ปลูก และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่เพาะปลูกดอกดาวเรืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครพบว่า จะมีการใช้สารป้องกันศัตรูพืชในช่วงเริ่มการเพาะปลูก และระยะต้นอ่อนเท่านั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าจากการปฏิบัติดังกล่าวเมื่อนำตัวอย่างดินดอกดาวเรืองไปวิเคราะห์จึงไม่พบสารตกค้าง (Chaowuttikul & Phoomphong, 2024) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษา (Sapkaew *et al.*, 2022) ในการศึกษาการปลูกบัวบกคุณภาพสูงเพื่อปลูกพืชสมุนไพรปลอดสารพิษและโลหะหนัก พบว่า เกษตรกรมีการใช้สารป้องกันโรคพืชปริมาณสูงในการปลูกพืชบัวบก

ในช่วงฤดูฝนและก่อนการเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เท่านั้น จึงทำให้ไม่สารมารถตรวจพบสารพิษตกค้าง และมีรายงานการศึกษาพบว่า ไม่พบสารเคมีกำจัดแมลงในไพล ขมิ้นอ้อย ขิง ที่ปลูกโดยกลุ่มเกษตรกรตำบลต้นผึงผึ้ง อำเภอพังโคนจังหวัดสกลนคร เนื่องจากมีการใช้การปลูกในรูปแบบอินทรีย์สลับกับการใช้สารเคมี อย่างไรก็ตามหากตรวจพบสารเคมีกำจัดแมลงในตัวอย่างนั้นอาจจะแสดงให้เห็นถึงมีการใช้หรือมีการสะสมอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกนั้น (Srithupthai, 2018) และหากมีการใช้ในปริมาณที่มากเกินความจำเป็นหรือระยะเวลาการเก็บเกี่ยวห่างจากการใช้สารเคมีไม่นานพอ ก็จะตรวจพบการปนเปื้อนของสารเคมีกลุ่มนี้ในผลิตผลทางการเกษตรได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณโลหะ แคดเมียม (Cu) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ในดินที่ใช้เพาะปลูกดาวเรืองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน (Thaysnit & Wachirawongsakorn, 2021) และในดอกดาวเรืองมีปริมาณโลหะหนักโดยเฉพาะ Cd และ Pb อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์สมุนไพรและวัตถุดิบสมุนไพรที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณ Cd ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Pb ไม่เกินไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Announcement the Ministry of Public Health, 2021) อย่างไรก็ตามหากมีการเพาะปลูกพืชในบริเวณที่มีปริมาณโลหะสูงควรมีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากพืชดอกนั้นมีคุณสมบัติเป็น พืชที่มีการดูดซึมโลหะและมีการลำเลียงไปสะสมไว้ส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้น การควบคุณคุณภาพและสารตกค้างในวัตถุดิบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนที่จะนำไปใช้ในการเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้ต่อไป

ผลวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดดาวเรืองคัดเกรดและสารสกัดดาวเรืองตกเกรดพบว่ามีค่าเท่ากับ 3.709±0.081 และ 4.521±0.064 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และการทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ของดอกดาวเรืองทั้ง 2 ชนิด มีค่า IC_{50} อยู่ที่ 0.898±0.074 และ 0.819±0.042 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ดอกดาวเรืองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ในระดับที่สูง ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้ดี (Youssef *et al*., 2020) และเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอกลิกในสารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรดมีปริมาณที่สูงกว่าสารสกัดจากดอกดาวเรืองคัดเกรดจึงส่งผลให้ฤทธิ์ต่อการยับยั้งอนุมูลอิสระมากขึ้นด้วย (Rahim *et al*., 2022) และมีรายงานการศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากดอกดาวเรืองพบว่าสารสกัดดอกดาวเรืองด้วยน้ำ มีสารฟลาโวนอยด์ ฟีนอล อัลคาลอยด์ และแทนนิน โดยสารสกัดในน้ำของดอกดาวเรืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH มีค่า IC_{50} ที่ 0.050 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Merdana *et al.,* 2024) และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Son *et al*. (2022) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณอัลคาลอยด์ทั้งหมดของสารสกัดดอกดาวเรืองด้วยเมทานอลพบว่า สารสกัดดอกดาวเรืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ IC_{50} เท่ากับ 74.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 10,350.68 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณอัลคาลอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 13.05 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่สารฟีนอลิกในพืชสมุนไพรและดอกไม้หลายชนิดมีบทบาทในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเซลล์และการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ (Manivannan *et al*., 2021) และผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity ที่ผ่านมา พบว่า ค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ 50%) เท่ากับ 22.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Youssef *et al*., 2020) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเครื่องสำอาง โดยมีคุณสมบัติในการป้องกันการทำลายของผิวจากอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ ฟื้นฟูผิว ปรับสภาพผิวให้ดูอ่อนเยาว์และกระจ่างใส รวมถึงช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและลดริ้วรอย ซึ่งทำให้สารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่ได้รับความนิยมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทั้งในด้านการบำรุงผิวและการป้องกันความเสียหายจากมลภาวะต่าง ๆ (Michalak, 2022) มีรายงานการศึกษาฤทธิ์ต้านอนมูลอิสระในสารสกัดดอกดาวเรือง พบว่า สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดดอกดาวเรือง ได้แก่ Xanthophyl, Quercetagetin, Quercetin, Patuletin และสารประกอบฟีนอลิก อื่นๆ (Singh *et al.,* 2020; Burlec *et al*., 2021; Rivas-García *et al*., 2023) ดังนั้น สารสกัดดอกดาวเรืองจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นสารออกฤทธิ์ (Active ingredient) ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้ จากการเตรียมตำรับสบู่เหลวและแชมพู ที่มีส่วนผสมของสารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรด 1% w/w สามารถเตรียมตำรับสบู่เหลว ลักษณะเนื้อตำรับที่มีความใส และตำรับแชมพู ลักษณะเนื้อตำรับที่มีลักษณะขาวขุ่น (ตารางที่ 4) และจากการทดสอบคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวและแชมพูที่มีส่วนผสมสารสกัดดอกดาวเรืองตกเกรด พบว่า ลักษณะเนื้อตำรับทั้งสองที่เตรียมได้ลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์ สี กลิ่น ความเป็นกรดด่าง และการทดสอบการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางไม่แตกต่างกัน มีค่าความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วงของกรดอ่อน คือ pH 5-6 และไม่พบการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ ทั้ง 2 สูตรตำรับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาการพัฒนาสบู่เหลวจากสารกัดพืชได้แก่ หอมหัวใหญ่ หมาก

(Tubtim *et al.,* 2018; Wisungre *et al.,* 2023) และการพัฒนาแชมพูจาก สารสกัดน้ำมันเมล็ดเงาะ (Saenprakob *et al.,* 2023) พบว่า ตำรับที่เตรียมได้นั้นมีความคงตัวดี และจากสูตรตำรับที่ได้นั้นมีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางในชุมชน ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของทรัพยากรชีวภาพที่มีอยู่ในท้องถิ่น โดยการนำดอกดาวเรืองที่ตกเกรดที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มาเพิ่มมูลค่าให้กับชุมชนได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตกค้างในดินและดอกดาวเรืองจากโครงการไม้ดอกเมืองหนาว อำเภอเบตง จังหวัดยะลาพบว่า ไม่มีสารตกค้างที่เป็นอันตราย สามารถนำดอกดาวเรืองตกเกรดมาสกัดด้วยเอทานอลได้สารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าดอกดาวเรืองคัดเกรด จึงสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากของเหลือทิ้งเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเกษตรกรได้ ควรมีการวิเคราะห์โลหะหนักเพิ่มเติมและทดสอบประสิทธิภาพ เช่น การทดสอบสารกันเสีย (Preservative efficacy test) และการทดสอบการระคายเคืองผิวหนังผิวหนัง (Irritation test) เพื่อความปลอดภัย พร้อมทั้งการขอเลขจดแจ้งผลิตภัณฑ์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประจำปี 2566 และได้รับสนับสนุนสถานที่สำหรับการปฏิบัติการดำเนินการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตรและศูนย์การเรียนรู้แม่ลาน มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

Anastassiade, M., Lehotay, S. J., Stajbaher, D. & Schenck, F. J. (2003) Fast and easy multiresidues employing actonitrile extraction/Paritioning and "dispersive solid-Phase extraction" for determination of pesticide residues in produce. *J. AOAC, Int., 86*, 412-431.

Announcement of the Ministry of Public Health. (2021). Standard, purity value or other characteristics important to the quality of registered herbal product formulas, notify details or register. *Rachakitcha*, *138*(294)F, 6-7.

Announcement of the National Environmental Board. (2021). Determine soil quality standards. *Rachakitcha*, *138*(54)F, 20-24.

Apilux, A., Isarankura-Na-Ayudthaya, C., Tantimongcolwat, T. & Prachayasittikul, V.. (2015). Paper-based acetylcholinesterase inhibition assay combining a wetsystem for organophsphate and carbamate pesticides detection. *EXCLI Journal*, *14*, 307-319.

Burlec, A. F., Pecio, Ł., Kozachok, S., Mircea, C., Corciovă, A., VereStiuc, L. *et al*. (2021). Phytochemical profile, antioxidant activity, and cytotoxicity assessment of *Tagetes erecta* L. flowers. *Molecules*, *26*(5), 1201.

Chaowuttikul, C. & Phoomphong, C. (2024). The content of to the ash, acid-insoluble ash and pesticide residue detection contained of *Zingiberaceae* crude drugs in Bangkok. *Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology*, *19*(1), 29-40. (in Thai)

Chompoo, J., Songklang, W., Ariyamongkonchai, N. & Boonruangrod, R. (2021). Performance of ethanolic extracts from *Tagetes patula* flowers on antioxidants and against skin aging-related enzymes. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, *8*(1), 50-58. (in Thai)

Chuenyen, B., Ratee, U., Polsri, C. K. P. & Khanngern, N. (2023). Factor analysis for cause related marketing, value creation and consumers decision on natural cosmetic products. *Journal of Management and Development Ubon Ratchathani Rajabhat University*, *10*(1), 67-85. (in Thai)

Land Development Department. (1990). *Soil chemical analysis process* (1st ed.). Work Manual. (in Thai)

Lateh, L. & Muhamad, N. (2023). Effect of microwave-assisted extraction of β-carotene from *Borassus flabellifer* Fruit in different solvents for cosmetic application. *Health Science, Science and Technology Reviews*, *16*(3), 40–52. (in Thai)

Madanan, M. T., Shah, I. K., Varghese, G. K. & Kaushal, R. K. (2021). Application of Aztec Marigold (*Tagetes erecta* L.) for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *3*, 17-22.

Manivannan, A., Narasegowda, S. & Prakash, T. (2021). Comparative study on color coordinates, phenolics, flavonoids, carotenoids, and antioxidant potential of marigold (*Tagetes* sp.) with diverse colored petals. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 4343-4353.

Merdana, I. M., Nandita, I. L., Elia, P., Apsari, I. A. P., Gorda, I. W. & Sudimartini, L. M. (2024). Phytochemical test and antioxidant activity of aqueous extract of Marigold flower. *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences, 8*(2), 101–107.

Michalak, M. (2022). Plant-derived antioxidants: Significance in skin health and the ageing process. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(2), 585.

Muhamad, N., Soontornnon S. P., Tansom, U., Haron, W., Lateh, L., Kongsrichan, L., *et al*. (2024). Phytochemical compounds and antioxidant activities of *Parkia speciosa* Hassk. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, *14*(39), 132–140. (in Thai)

Office of Royal Development Projects Board (RDPB). (2021). Projects initiated by royal initiative [Online]. Retrieved November 16, 2024, from: https://projects.rdpb.go.th/projects/5974753735081984/-. (in Thai)

Rahim, N. A., Roslan, M. N. F., Muhamad, M. & Seeni, A. (2022). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content and LC–MS profiling of leaves extracts of *Alstonia angustiloba*. *Separations, 9*(9),234.

Rivas-García, L., Crespo-Antolín, L., Forbes-Hernández, T. Y., Romero-Márquez, J. M., Navarro-Hortal, M. D., Arredondo, M., *et al.* (2023). Bioactive properties of *Tagetes erecta* edible flowers: Polyphenol and antioxidant characterization and therapeutic activity against ovarian tumoral cells and caenorhabditis elegans tauopathy. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(1), 280.

Saenprakob, P., Wiangkaew, C. & Intana, P. (2023). Shampoo and lotion development containg rambutan seed oil. *Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology*, *18*(1), 84-93. (in Thai)

Sapkaew, U., Namwong, P., Suthanukool, P. & Choodee, K. (2023). Capability enhancement in the production of high-quality Gotu Kola for medicinal plants with nontoxic and heavy metal contamination. *Journal of Agricultural Science and Management*, *6*(1), 69-78. (in Thai)

Singh, Y., Gupta, A. & Kannojia, P. (2020). *Tagetes erecta* (Marigold)-A review on its phytochemical and medicinal properties. *Current Medical and Drug Research*, *4*(1), 1-6.

Somkhow, P., Junlatat, J., Chalomphong, N., Prasert, T. & Mulateeka, P. (2022). The efficacy of acne gel containing *Allium ascalonicum* L. extracts. *Journal of Traditional Thai Medical Research*, *8*(2), 99–110. (in Thai)

Son, H. T. & Limanan, D. (2022). Antioxidant capacity test, total phenolic, total alkaloid, and toxicity of marigold flower (*Tagetes Erecta* L.). *Devotion, 4*(1), 88–95.

Srithupthai, K. (2018). Detection of pesticide residues in herbal: A case study of farmers group in Ton Phueng sub-district, Phang Khon district, Sakon Nakhon province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *46*(Suppl.1), 841-846. (in Thai)

Thaysnit, N. & Wachirawongsakorn, P. (2021). Assessment of some heavy metal contamination in paddy soils of Sukhothai province. *PSRU Journal of Science and Technology*, *6*(1), 99-108. (in Thai)

Tubtim, P., Chanapaitoon, N. P. & Boonyuen, S. (2018). Development of liquid soap containing the extract of *Alium cepa* Linn. *Thai Science and Technology Journal*, *26*(4), 545-550.

Wattanasoontorn, P. & Amornsahguansin, J. (2017). Detections of pesticide and herbicides residues in soils samples from paddy fields in Chainat province. *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University*, *11*(2), 245–258. (in Thai)

Wisungre, S., Chumanee, S., Duenngai, K., Deechan, S., Paratang, P., Mechai, N., *et al*. (2023). Development of herbal liquid soap from *Areca catechu* L. extract toward the community product standard. *Journal of Science and Technology Buriram Rajabhat University*, *7*(1), 47–58. (in Thai)

Yotsawate, S., Phuekvilai, P. & Yookongkaew, N. (2017). Potential of heavy metal uptake and accumulation in dominant herbaceous plants around gold mine areas in Pichit Province. *Science and Technology*, *25*(1), 110-123. (in Thai)

Youssef, H. A., Ali, S. M., Sanad, M. I. & Dawood, D. H. (2020). Chemical investigation of flavonoid, phenolic acids composition and antioxidant activity of *Tagetes erecta* flowers. *Egyptian Journal of Chemistry, 63*(7), 2605-2615.