

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์แบบแห้ง

Development of Ready-made Mor Hom Natural Dyes Using Pure Microbial Inoculum Powder

ณัฐพร จันทรฉาย* กรณ์ เย็นอารมย์ ลักษิกา สังศิริ และอัญศญา บุญประจวบ

Nuttaporn Chanchay*, Korn Yenarom, Luksiga Sungsiri and Ansaya Boonpajaub

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: nuttapornchanchay@gmail.com

Received: September 23, 2023

Revised: December 19, 2024

Accepted: January 15, 2025

Abstract

In this work a commercial ready-made Mor Hom natural dyes was developed using pure dried materials obtained from natural dyeing water, Hom powder from indigo paste, acid powder from tamarind and lye powder from various wood ashes. It was found that a bacterial strain of *Bacillus cereus* isolated from natural dyeing factories in the area of Phrae province provided the best color quality. Meanwhile, Hom powder and acid powder should be dried at 60 °C for 72 and 10 hrs, respectively. In addition, lye powder from wood ash lye, which can improve fabric dyeing efficiency (136.42) and deep blue quality (L^* 0.26, a^* -0.07 and b^* 0.67). Furthermore, it could reduce dyeing fermentation time without polluting the environment. Moreover, the fabric product obtained showed good natural color.

Keywords: bioinnovation, Assam indigo, indigo paste, leuco indigo, Mor Hom natural dyes

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ด้วยชีววัตถุธรรมชาติจากจุลินทรีย์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการย้อมหม้อห้อมธรรมชาติ โดยการศึกษาการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก่หม้อห้อมธรรมชาติ ห้อมผงจากห้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และผงด่างจากน้ำด่างของซีเถ้าไม้ต่าง ๆ พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ให้คุณภาพสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

ย้อมสีธรรมชาติที่ดีที่สุด คือ สายพันธุ์ *Bacillus cereus* จากโรงย้อมผ้าธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแพร่ ในขณะที่ห้อมผงและผงกรดนั้นควรอบที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 72 และ 10 ชม. ตามลำดับ และผงด่างจากน้ำด่างของซีเถ้าไม้รวมซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมติดสีผ้าดีขึ้น (136.42) และคุณภาพสีน้ำเงินเข้ม (L^* 0.26, a^* -0.07 และ b^* 0.67) มากไปกว่านั้นยังช่วยลดระยะเวลาของการหมักน้ำย้อมโดยไม่มีสารมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังได้ผลผลิตผ้าที่มีสีเป็นธรรมชาติ

คำสำคัญ: ชีวนวัตกรรม ห้อม ห้อมเปียก ลิวโคอินดิโก
หม้อห้อมย้อมธรรมชาติ

คำนำ

การส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากทรัพยากรชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นของชุมชน มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ เพื่อให้ชุมชนมีแนวคิด และแนวทางในการนำทรัพยากรชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นในชุมชนมาใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ในการพัฒนาเศรษฐกิจระดับประเทศ ภายใต้แนวคิด “เศรษฐกิจสร้างสรรค์” หรือกระบวนการสร้างสรรค์สินค้าให้เป็นจุดขายที่แตกต่าง มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีมูลค่าเพิ่ม สร้างรายได้ มีการนำชีวนวัตกรรมมาใช้ และเชื่อมโยงภาคธุรกิจอื่น ๆ เช่น ธุรกิจท่องเที่ยว ธุรกิจโรงแรม และธุรกิจอาหารและภัตตาคาร เป็นต้น ในจังหวัดแพร่ ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่ดำรงเอกลักษณ์ในรูปแบบและสีสันทัน ซึ่งผ้าย้อมสีธรรมชาติที่นิยมกันมากในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ คือ การย้อมสีจากครามและห้อม ที่เรียกว่า อินดิโก (indigo) จนมีคำกล่าวว่า “ใครมาเมืองแพร่ต้องซื้อหม้อห้อม” (Chanchay, 2021) ดังนั้น จึงมีแนวคิดการพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปขึ้น เพื่อพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่มีส่วนประกอบ คือ หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้ง ห้อมผง ผงกรด และผงด่าง เพื่อสะดวกต่อการก่อหม้อของผู้สนใจในการย้อมผ้าหม้อห้อมสามารถทำได้ง่ายด้วยตัวเอง

การศึกษาการคัดเลือกและการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปสู่เป็นลิวโคอินดิโก จึงยังเป็นที่สนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม (Chanchay, 2021) นอกจากนี้ในน้ำย้อมห้อมแบบธรรมชาติมีเชื้อจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนสีอินดิโกไปสู่เป็นลิวโคอินดิโก โดยส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* sp. มีรายงานว่า *Clostridium isatidis* สามารถเปลี่ยนสีอินดิโกไปสู่เป็นลิวโคอินดิโกได้จากการเข้าไปจับกับอนุภาคของอินดิโกแล้วทำการย่อย

ไปเป็นลิวโคอินดิโก (Compton et al., 2005; Li et al., 2015) และ Sukka et al. (2019) พบว่า *Bacillus kochii* SKTU 5 สามารถเปลี่ยนรูปอินดิแคนเป็นอินดอกซิลและกลูโคส และจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถนำไปผลิตเป็นหัวเชื้อสำหรับประยุกต์ใช้ในกระบวนการย้อมสีห้อมแบบธรรมชาติทดแทนการใช้สารเคมีในอนาคต ซึ่งอาจช่วยลดระยะเวลาของการหมักน้ำย้อม อาจช่วยให้กระบวนการย้อมผ้าให้สีลง สามารถควบคุมคุณภาพของสีย้อมที่ได้ อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผ้าหม้อห้อมได้

ในประเทศไทยพบว่าการเตรียมสีในการย้อมผ้าคราม โดยนำใบคราม (*Polygonum tinctorium* Lour.) มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วจึงพรมน้ำให้เปียกเพื่อให้เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (Aerobic microbial oxidation) สำหรับการผลิตสีอินดิโกโดยการหมักในสภาวะที่เป็นด่างสูง (pH>10) ซึ่งในสภาพเช่นนี้สีอินดิโกจะถูกเปลี่ยนเป็นลิวโคอินดิโก ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปในผ้าได้ โดย Yumoto et al. (2004) ได้คัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากหม้อครามที่บริเวณเกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น พบว่ามีแบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ ที่ชื่อ *Alkalibacterium psychrotolerans* sp. nov. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างเป็นแท่ง เจริญได้ดีในที่ที่มีอากาศและไม่มีอากาศ (facultative anaerobe) สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง (NaCl 0-17% w/v) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 9-12 มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโกได้ Aino et al. (2010) แยกและศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์ที่สามารถรีดิวซ์สีครามจากหม้อย้อมครามในประเทศญี่ปุ่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ O-Thong and Buakhun (2013) ซึ่งแยกจุลินทรีย์จากหม้อย้อมครามที่ได้จากพืช *Indigofera indica* โดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electro-phoresis (DGGE) พบจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ *Bacillus* sp., *Atopostipes* sp, *Clostridiales* bacterium, *Sporomusa acidovorans*, *Amphibacillus* sp, *Alkalibacterium* sp., *Lactobacillus* sp. และ *Actinomycetales* sp.

นอกจากนี้สารพวกลิวโคอินดิโก (leuco indigo) ที่ไม่มีสีแต่ละลายน้ำได้ สารไม่มีสีละลายน้ำได้นี้สามารถแทรกซึมในเนื้อผ้าและเกาะติดเนื้อผ้าได้ในขณะย้อม ภายหลังจากการย้อมเสร็จแล้วจะทำการคลี่เนื้อผ้าออกให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ สารลิวโคจะถูกออกซิไดซ์กลับไปเป็นสีน้ำเงินที่ไม่ละลายน้ำ และจะเกาะจับกับเนื้อผ้า โดยปกติการล้างจะไม่ทำให้สีตก แต่เนื่องจากสีอินดิโกนี้จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปเป็น Reduced form ในระหว่างการย้อม ดังนั้น การย้อมเพียงครั้งเดียวอาจทำให้สีไม่ติด เนื้อผ้าจึงต้องทำการย้อมหลาย ๆ ครั้ง ดังนั้น ปริมาณของลิวโคอินดิโกจึงเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพการติดสี (Chanchay, 2021) และการศึกษาค่าการบอกประสิทธิภาพการให้สีตามมาตรฐาน CIELAB L^* , a^* และ b^* คือ สีที่ถูกระบุออกมาเป็นค่าตัวเลข โดยมี 3 ตัวแปล ดังนี้ แกน L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0–100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a^* บรรยายแกนสี จากสีเขียว ($-a^*$) จนถึง สีแดง ($+a^*$) แกน b^* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$) องค์การสำคัญที่กำหนดหน่วยการวัดสีให้เป็นมาตรฐาน คือ International Commission on Illumination (CIE) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสีเนื่องจากสายตาและแหล่งกำเนิดแสง และ Chanchay and Boonpajaub (2021) รายงานการย้อมผ้าหม้อห้อม โดยมีค่า L^* เท่ากับ 21.38, a^* เท่ากับ -3.18 และ b^* เท่ากับ -5.93 โดยค่า L^* บ่งบอกว่า เป็นสีเข้ม เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 ค่า $-a^*$ บ่งบอกว่า เป็นสีเขียว และค่า $-b^*$ บ่งบอกว่า เป็นสีน้ำเงิน และพบปริมาณลิวโคอินดิโก เท่ากับ 0.08853 ไมโครลิตร

การศึกษาและพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติ สำเร็จรูปโดยชีวนวัตกรรม โดยศึกษาการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก๋อหม้อห้อมย้อมธรรมชาติในรูปแบบแห้ง ห้อมผงจากห้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และ ผงต่างจากน้ำต่างของขี้เถ้าจากไม้ชนิดต่าง ๆ พร้อมประกอบเป็นชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน (Geographical Indications: GI) “ผลิตภัณฑ์ผ้าหม้อห้อมแพร่” โดยศึกษาถึงคุณภาพสีโดย Hunter Lab และ

ประสิทธิภาพการติดสีโดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก ด้วยวิธีทางเคมี เพื่อพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติ สำเร็จรูปในเชิงพาณิชย์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาและพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์

ทำการคัดแยกหัวจุลินทรีย์จากน้ำก๋อหม้อบนอาหาร PDA ด้วยวิธีเกลี่ย (spread) จากน้ำก๋อหม้อ นำมาทดสอบการสร้างวงใส ด้วยวิธี agar well บนอาหารที่มีอินดิแคน เมื่อได้เชื้อที่มีคุณภาพสูงที่สุดในการกระตุ้นกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ จึงนำเชื้อที่ได้ 0.1 มล. มาทำการศึกษาคุณภาพการเปลี่ยนสีอินดิโก โดยนำมาเติมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวอินดิแคน 1 มล. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 48 ชม. และเติมสารละลายอิมตัวโซเดียมไดไทโอไนท์ (Sodium dithionite) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ลงไป 1 มล. แล้วจึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

เมื่อได้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอินดิโกเป็นลิวโคอินดิโก ทำการระบุสายพันธุ์ โดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA ด้วยเทคนิคอณูชีววิทยา นำหัวเชื้อมาทำให้แห้ง โดยทำการเก็บรักษาเชื้อในกระดาศกรองขนาด 2x2 ซม. โดยเลี้ยงเชื้อในอาหาร นำเชื้อปริมาตร 1 มล. หยดลงกระดาศกรอง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 30–35°ซ เป็นเวลา 48 ชม. จากนั้นนำไปก๋อหม้อ โดยการทดสอบคุณภาพการให้สีและการติดสี เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่มีหัวเชื้อ

การศึกษาและพัฒนาห้อมผง

นำห้อมเปียกจากห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*) (Chanchay, 2021) มาทำการศึกษาความชื้นเริ่มต้นของห้อมเปียก โดยชั่งตัวอย่างห้อมเปียกใส่ถ้วย

อะลูมิเนียมที่อบแล้ว 70 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4–5 ชม. ซึ่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ จากนั้นนำผลมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น ดังสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

นำตัวอย่างห่อเปียกมาผลิตเป็นห่อผง โดยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1,000 วัตต์ ศึกษาประสิทธิภาพการให้สีของผงห่อที่ช่วงโมเมนต์ต่าง ๆ โดยชั่งตัวอย่างห่อเปียกใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแล้ว 70 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ชม. หลังจากได้ห่อผงแล้ว จึงนำมาบดด้วยเครื่องบดขนาด 1 กก. จนละเอียด จากนั้นนำห่อผงแต่ละช่วงมาห่อหุ้ม และนำมาศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การศึกษาและพัฒนาผงต่างจากน้ำต่าง

นำน้ำต่าง (ถ้า 1 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน) ที่มาจากไม้หลายชนิด ได้แก่ ไม้มะม่วง ต้นมะละกอ เหง้ากล้วย ใบกล้วย ก้านกล้วย ใบมะขาม ต้นมะขาม กาบมะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส และเปลือกเพกา ทำการวัดและบันทึก pH เริ่มต้นของน้ำต่างแต่ละชนิด และ pH หลังจากการก่อกำหม้อ และทำการศึกษาคุณภาพสีที่ย้อมที่ได้โดยการวิเคราะห์ค่า L^* a^* b^* และการสร้างสีลิวโคอินดิโกด้วยวิธีทางเคมี จากนั้นนำน้ำต่างคุณภาพสูงมาทำแห้งโดยวิธีพ่นฝอย (spray dry)

การศึกษาและพัฒนาผงกรด

นำมะขามเปียกแฉะเม็ด 1 กก. มาอบด้วยตู้อบลมร้อน ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1,000 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 72 ชม. จนมีลักษณะแห้งแข็ง นำมาบดจนละเอียดเป็นผง ด้วยเครื่องบดสมุนไพร ขนาด 1 กก. โดยมะขามเปียก 1 กก. จะได้ผงกรดเท่ากับ 750–800 กรัม วัด pH เริ่มต้น เปรียบเทียบกับน้ำมะขามแช่น้ำในอัตราส่วน 1:2 โดยนำมาห่อหุ้มและนำมาศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป (ชุด Kit)

หลังจากได้ส่วนประกอบของชุดสำเร็จรูป ได้แก่ หัวเชื้อจุลินทรีย์ ผงต่าง และผงกรด ทำการทดสอบการก่อกำหม้อร่วมกันโดยมีอัตราส่วนสำหรับชุดสำเร็จรูปดังต่อไปนี้ ผงห่อ 40 กรัม ผงต่าง 5 กรัม ผงกรด 5 กรัม เชื้อจุลินทรีย์ 10% น้ำ 600 มล. จากนั้นนำน้ำก่อกำหม้อไปศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การวิเคราะห์และทดสอบ

การก่อกำหม้อเพื่อทดสอบ โดยผสมผงห่อ 15 กรัม น้ำต่างจากพืชไร่รวม 100 มล. น้ำมะขามเปียก 10 มล. หัวเชื้อที่คัดแยกได้ 10% โดยการบีบผสมผงห่อและน้ำต่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงเติมน้ำมะขามเปียก และหัวเชื้อลงไป และตีให้เกิดฟองอากาศทิ้งไว้ 1 คืน และตักน้ำก่อกำหม้อดังกล่าวเทกลับไปที่เดิม (การโจก) เข้า-เย็น เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งการโจกจะทำให้น้ำก่อกำหม้อไม่เน่าเสียและเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab ตวงสีจากน้ำก่อกำหม้อย้อมผ้าที่ได้จากการก่อกำหม้อห่อผง

แต่ละชั่วโมงมา 3 กรัม ใช้ฟุ้งกระบายสีของน้ำก่อนหม้อ
ย้อมผ้า ลงบนกระดาษพิมพ์เขียนสีหาคุณภาพกระดาษ
ขนาด 80 แกรม ในพื้นที่ 20×209 ตร.ซม. ผึ่งทิ้งไว้ให้แห้ง
นำกระดาษที่ได้ไปวัดคุณภาพสีโดยวัดจากค่าความสว่าง
 L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่อง Hunter Lab

การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีโดยการ
วิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโกด้วยวิธีทางเคมี การวัด
ปริมาณสีอินดิโกด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ด้วยวิธี
ethyl acetate method นำตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์
หาปริมาณลิวโคอินดิโกที่สร้างขึ้น วิเคราะห์จากค่าดูดกลืน
แสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยนำตัวอย่างหรือน้ำ
ก่อนหม้อจากผงห้อมแต่ละชั่วโมงมาอย่างละ 1 มล. และ
เติมสารละลายอิมิตัวโซเดียมไดไทโอไนท์ในสารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ลงไป 1
มล. เพื่อรีดิวซ์อินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโก จากนั้นจึง
นำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณความ
เข้มข้นของลิวโคอินดิโก

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการศึกษาและพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 17 ไอโซเลท ได้แก่ TC213, TC224, TC225, TC228, TC233, TC234, TC236, TC241, TC242, HH314, HH321, HH341, HH342, HH344, PL412, PG537 และ PG544 ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้นั้น จากการสร้างวงใสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Table 1) ถูกนำมาทดสอบหาปริมาณการสร้างลิวโคอินดิโกจากการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีการเติมอินดิแคน พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกมากที่สุด คือ TC228 รองลงมา คือ TC236 และ TC213 มีค่าเท่ากับ 9.5688, 6.2740 และ 5.7343 ไมโครกรัม/มล. ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Concentration in the production of leuco indigo related to the natural dyeing process

Isolate	Ratio	Leuco-indigo contents ($\mu\text{g/mL}$)
TC213	2.067	5.7343 ^c ±0.2183
TC224	2.750	4.9068 ^{ef} ±0.1124
TC225	2.100	5.4196 ^d ±0.1850
TC228	2.000	9.5688 ^a ±0.3249
TC233	2.909	3.8228 ⁱ ±0.1577
TC234	1.800	5.1981 ^d ±0.1324
TC236	1.655	6.2704 ^b ±0.2275
TC241	1.875	5.2797 ^d ±0.2098
TC242	2.917	3.5664 ^k ±0.1398
HH314	1.440	5.2564 ^d ±0.1068
HH321	1.682	4.4755 ^{hi} ±0.1049
HH341	1.475	3.3100 ^l ±0.2826

Table 1 (Continued)

Isolate	Ratio	Leuco-indigo contents (µg/mL)
HH342	2.110	4.9883 ^e ±0.0534
HH344	1.615	4.1725 ⁱ ±0.0202
PL412	2.000	5.1282 ^{de} ±0.0880
PG537	2.368	4.6737 ^{gh} ±0.1413
PG544	3.167	4.7436 ^{fg} ±0.1068
F-test		*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.

นำเชื้อไอโซเลทที่ TC228 ไปทำการระบุสายพันธุ์ เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโก ไปเป็นลิวโคอินดิโกโดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rDNA จากการเปรียบเทียบลำดับเบสของยีน 16S rRNA ของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลทที่เปลี่ยนสีอินดิโก ไปเป็นลิวโคอินดิโกได้ดีที่สุด คือ TC228 ซึ่งเป็นไอโซเลท

ที่พบจากน้ำหมักในหม้อที่ก่อของร้านผ้าธรรมชาติ (TC) กับลำดับเบสของยีน 16S rRNA ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลที่มีความเหมือนมากที่สุด พบว่าไอโซเลท TC228 มีความเหมือนกับ *Bacillus cereus* NR_113266 ที่ Length 1535 bp. ซึ่งมีค่า identity เท่ากับ 99% (Figure 1)

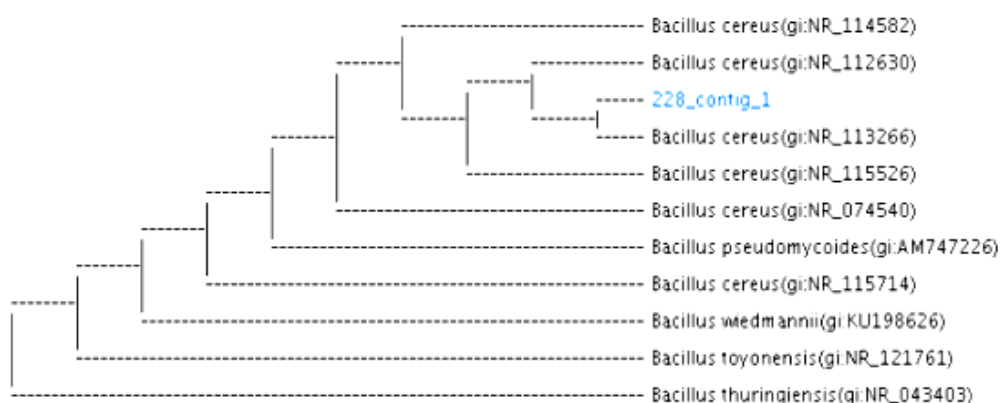


Figure 1 Phylogenetic tree of isolate TC228

Table 2 Dye quality, color fixing efficiency and pH

Sample	pH	Leuco-indigo ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*
Control (with out bacteria)	10.835 $\pm$ 0.215	93.680 ^b $\pm$ 0.968	23.453 ^b $\pm$ 0.466	-4.603 ^a $\pm$ 0.693	-6.310 ^a $\pm$ 0.236
Bacteria	10.593 $\pm$ 0.299	157.080 ^a $\pm$ 0.842	1.030 ^a $\pm$ 0.513	-0.023 ^b $\pm$ 0.701	0.367 ^b $\pm$ 0.984
F-test	ns	*	*	*	*

Mean $\pm$ SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.

ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 2 การใส่หัวเชื้อเพื่อกระตุ้นกระบวนการก่อหม้อมีผลต่อการสร้างลิวโคอินดิโกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมธรรมชาติ และเนื่องจากในชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อมีค่าลิวโคอินดิโก เท่ากับ 93.680 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่ใส่หัวเชื้อที่ให้ปริมาณความเข้มข้นในการสร้างลิวโคอินดิโก เท่ากับ 157.080 ไมโครกรัม/มล. โดยค่าลิวโคอินดิโกจะบอกลถึงการติดสีของผ้าในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ ยิ่งค่าความเข้มข้นของลิวโคอินดิโกมากการติดสีก็จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Nakajima *et al.* (2005) สามารถทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ คือ *Alkalibacterium iburiense* sp. nov. ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้ โดยแบคทีเรียดังกล่าวมีลักษณะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็น *Bacillus* sp. และ *Clostridium isatidis* สามารถเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้จากการเข้าไปจับกับอนุภาคของสีอินดิโกแล้วทำการย่อยไปเป็นลิวโคอินดิโก (Compton *et al.*, 2005)

ผลการศึกษาและพัฒนาห้อมผงจากห้อมเปียก

จากการศึกษาและพัฒนาห้อมผง (Table 3) พบว่าห้อมผงที่อุณหภูมิ 60°C ชั่วโมงที่ 10 เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบห้อมเพื่อนำมาก่อหม้อมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 77.4165% และมีคุณภาพสีน้ำเงินทึบ เนื่องจากมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 27.560, -4.490 และ -7.130 ตามลำดับ และมีปริมาณลิวโคอินดิโกสูงที่สุด เท่ากับ 167.74 สอดคล้องกับค่าสีมาตรฐาน CIELAB และ Li *et al.* (2015) รายงานว่า โดยปกติในห้อมมีสารอินดิแคนซึ่งจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นอินดิโก และไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่งผลให้เม็ดสีไม่แตกตัวและเส้นใยไม่สามารถดูดซึมได้ แต่สามารถรีดิวซ์ให้เป็นลิวโคอินดิโกซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ส่งผลให้เม็ดสีแตกตัวและเข้าไปยึดติดในเส้นใยได้ ดังนั้น ปริมาณลิวโคอินดิโกจึงบ่งบอกถึงคุณภาพการติดสี และ Chanchay and Boonpajaub (2021) มีรายงานการย้อมผ้าหม้อห้อม โดยมีค่า L* เท่ากับ 21.38 a* เท่ากับ -3.18 และ b* เท่ากับ -5.93 โดยค่า L* บ่งบอกว่าเป็นสีเข้ม เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 ค่า -a* บ่งบอกว่าเป็นสีเขียว และค่า -b* บ่งบอกว่าเป็นสีน้ำเงิน และพบปริมาณลิวโคอินดิโกเท่ากับ 0.08853 ไมโครลิตร

Table 3 Dye quality, color fixing efficiency and pH of indigo powder

Time (hr)	Leuco-indigo ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*
0	93.683 ^j $\pm$ 0.102	23.453 ^c $\pm$ 0.051	-4.603 ^c $\pm$ 0.056	-6.310 ^c $\pm$ 0.099
1	85.723 ^j $\pm$ 0.230	34.060 ^e $\pm$ 0.033	-6.190 ^a $\pm$ 0.352	-6.747 ^c $\pm$ 0.136
2	120.991 ^e $\pm$ 0.09	14.150 ^b $\pm$ 0.002	-3.187 ^d $\pm$ 0.659	-7.813 ^b $\pm$ 0.025
3	76.678 ^j $\pm$ 0.191	17.700 ^b $\pm$ 0.03	-5.550 ^b $\pm$ 0.598	-6.540 ^c $\pm$ 0.030
4	116.946 ^f $\pm$ 0.328	30.310 ^d $\pm$ 0.010	-6.017 ^a $\pm$ 0.056	-7.690 ^b $\pm$ 0.156
5	137.762 ^c $\pm$ 0.394	23.607 ^c $\pm$ 0.021	-4.830 ^c $\pm$ 0.666	-8.327 ^a $\pm$ 0.078
6	125.862 ^d $\pm$ 0.010	24.697 ^c $\pm$ 0.047	-5.790 ^b $\pm$ 0.289	-5.667 ^d $\pm$ 0.956
7	126.434 ^d $\pm$ 0.029	19.583 ^b $\pm$ 0.002	-3.787 ^d $\pm$ 0.017	-7.227 ^b $\pm$ 0.125
8	125.489 ^d $\pm$ 0.302	8.970 ^a $\pm$ 0.009	-5.597 ^a $\pm$ 0.069	-9.577 ^a $\pm$ 0.099
9	147.692 ^b $\pm$ 0.877	24.180 ^c $\pm$ 0.051	-4.333 ^c $\pm$ 0.047	-8.930 ^a $\pm$ 0.078
10	167.739 ^a $\pm$ 0.398	27.560 ^c $\pm$ 0.062	-4.490 ^c $\pm$ 0.677	-7.130 ^b $\pm$ 0.256
11	111.061 ^f $\pm$ 0.257	27.923 ^c $\pm$ 0.083	-4.360 ^c $\pm$ 0.298	-5.500 ^d $\pm$ 0.688
12	124.289 ^d $\pm$ 0.569	14.707 ^b $\pm$ 0.105	-5.797 ^a $\pm$ 0.364	-9.460 ^a $\pm$ 0.874
F-test	*	*	*	*

Mean $\pm$ SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.

ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

การศึกษาและพัฒนาผงต่างจากน้ำต่างจากขี้เถ้า

จากการศึกษาและพัฒนาผงต่างจากน้ำต่างจากขี้เถ้า (Table 4) โดยศึกษา pH เริ่มต้น และ pH เมื่อทำ

การก่อก้อนหรือระบายที่เหมาะสม และประสิทธิภาพการติดสีโดยวิเคราะห์ปริมาณลิควิโคอินดิโกโดยวิธีเคมี และคุณภาพสีจากวิธี Hunter Lab ได้ผลดัง Table 4

Table 4 Dye quality, color fixing efficiency and pH of lye

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*
Mixed wood	8.48 ^b	10.59	157.08 ^a	1.03 ^d	-0.02 ^b	0.37 ^g
Banana rhizomes	9.84 ^b	11.49	149.54 ^b	14.16 ^e	-1.64 ^a	-2.15 ^b
Banana stem	10.04 ^a	11.77	142.86 ^b	0.78 ^c	0.45 ^d	0.01 ^e

Table 4 (Continued)

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo ($\mu\text{g/ml}$)	L*	a*	b*
Banana leaves	8.60 ^b	11.09	134.98 ^c	0.60 ^b	0.99 ^f	-1.01 ^c
Broken Bones bark	8.94 ^b	10.65	121.00 ^d	0.45 ^a	0.73 ^d	0.28 ^g
Tamarind	11.04 ^a	11.16	140.02 ^c	0.51 ^b	0.23 ^c	-1.24 ^c
Tamarind leaves	6.15 ^d	10.57	107.69 ^e	0.97 ^b	0.39 ^c	0.14 ^f
Bamboo scraps	7.70 ^c	10.86	105.87 ^e	1.80 ^d	0.41 ^c	-3.84 ^a
Coconut husk	9.64 ^b	11.03	142.00 ^b	1.06 ^d	-0.99 ^b	0.47 ^g
Papaya	11.06 ^a	11.00	136.34 ^c	0.80 ^c	0.69 ^d	-0.75 ^d
Eucalyptus wood	8.46 ^b	10.77	139.45 ^c	0.30 ^a	0.99 ^f	-0.66 ^d
F-test	*	ns	*	*	*	*

Mean $\pm$ SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.

ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไม้ชนิดต่าง ๆ pH ในช่วงที่เหมาะสมต่อการก่อกำหม้อต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10–13 แสดงว่าน้ำต่างจากขี้เถ้าที่เหมาะสมต่อการนำมาก่อกำหม้อ ได้แก่ น้ำต่างจากขี้เถ้ามะละกอ ต้นมะขาม ก้านกล้วย ตามลำดับ และเมื่อทำการก่อกำหม้อเรียบร้อยแล้วทำการวัดค่า pH พบว่าค่า pH ยังคงมีความเหมาะสมตามมาตรฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10–12 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบน้ำต่างจากขี้เถ้าไม้รวมเป็นน้ำต่างที่เหมาะสมต่อการก่อกำหม้อมากที่สุด เนื่องจากค่าการสร้างลิวโคอินดิโกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมธรรมชาติและการติดสี เท่ากับ 157.08 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำต่างชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพของสี L*, a* และ b* พบว่าน้ำต่างจากขี้เถ้ารวมมีความเหมาะสมต่อการก่อกำหม้อที่สุด ซึ่งเป็นค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 1.03, -0.233 และ 0.367 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเป็นสีย้อมที่เป็นสีน้ำเงินเข้ม ตรงตามมาตรฐานของสีผ้าหม้อห้อม สอดคล้องกับในประเทศญี่ปุ่น ที่พบว่าเพื่อให้เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับการผลิตสีอินดิโก

โดยการหมักในสภาวะที่เป็นด่างสูง คือ มีค่า pH>10 ซึ่งในสภาพเช่นนี้ สีอินดิโกจะถูกเปลี่ยนเป็นลิวโคอินดิโก ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปในผ้าได้ นอกจากนี้ Yumoto *et al.* (2004) รายงานว่า pH 9–12 มีความสามารถในการรีดิวซ์อินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโกได้ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าปริมาณลิวโคอินดิโกนั้นมีผลต่อการย้อมผ้าหม้อห้อมอย่างยิ่ง

ผลการศึกษาและพัฒนาผงกรด

จากการศึกษาการพัฒนาผงกรด พบว่าน้ำมะขามเปียก ผงกรด มี pH อยู่ระหว่าง 1–4 ตามค่าความเป็นกรดที่เหมาะสม และผงกรดนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นส่วนผสมในชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป เนื่องจากสามารถทำให้เกิดลิวโคอินดิโกได้ สอดคล้องกับรายงานของ Nicholson and John (2005) รายงานว่าน้ำกรดหรือน้ำส้มมีคุณสมบัติเป็นสารรีดิวซ์อย่างอ่อน ซึ่งสารดังกล่าวจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นอินดิโกที่อยู่ในรูปสารออกซิไดซ์ (ไม่ละลายน้ำ) ซึ่งเป็นสารพวกลิวโคอินดิโกสามารถแทรกซึมในเนื้อผ้าและเกาะติดเนื้อผ้าได้ในขณะย้อม โดยปกติการล้างจะไม่ทำให้สีตก (Table 5)

Table 5 Dye quality, color fixing efficiency and pH of acid powder

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*
Tamarind juice	3.04 $\pm$ 0.16	10.67 $\pm$ 0.06	121.59 ^b $\pm$ 0.92	4.01 ^a $\pm$ 0.14	0.95 ^b $\pm$ 0.09	0.48 $\pm$ 0.01
Acid powder	3.16 $\pm$ 0.11	10.88 $\pm$ 0.02	138.03 ^a $\pm$ 0.87	4.48 ^b $\pm$ 0.02	0.13 ^a $\pm$ 0.00	0.51 $\pm$ 0.00
F-test	ns	ns	*	*	*	ns

Mean $\pm$ SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p\leq 0.05$.

ns mean was non-significant differences at $p\leq 0.05$.

Table 6 Dye quality, color fixing efficiency and pH

Sample	pH	Leuco-indigo ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*
Set kit	10.61 $\pm$ 0.19	136.42 ^b $\pm$ 0.41	0.26 ^a $\pm$ 0.01	-0.07 ^b $\pm$ 0.02	0.67 ^b $\pm$ 0.00
Indigo paste form indigo	10.59 $\pm$ 0.22	157.08 ^a $\pm$ 0.83	1.03 ^c $\pm$ 0.01	-0.02 ^c $\pm$ 0.01	-0.37 ^c $\pm$ 0.02
Indigo paste form Hom	10.73 $\pm$ 0.20	142.32 ^a $\pm$ 0.09	0.80 ^b $\pm$ 0.02	-0.69 ^a $\pm$ 0.00	-0.75 ^a $\pm$ 0.02
F-test	ns	*	*	*	*

Mean $\pm$ SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p\leq 0.05$.

ns mean was non-significant differences at $p\leq 0.05$.

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป (ชุด Kit)

โดยหลังจากได้ส่วนประกอบของชุดสำเร็จรูป ได้แก่ หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้ง ผงต่าง และผงกรด

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกของแบคทีเรีย *B. cereus* พบว่า มีการสร้างลิวโคอินดิโกได้สูงถึง 157.08 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีหัวเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ดังกล่าว แม้ในสภาวะที่ค่า pH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของคุณภาพสี โดยตัวอย่างน้ำก่หม้อที่มีหัวเชื้อฯ ให้ค่า L*, a* และ b* ที่ต่ำที่สุด คือ 1.03, -0.02 และ 0.36 ตามลำดับ แสดงถึงคุณภาพสีที่มีความเข้ม รวมถึงความเป็นสีน้ำเงินและสีเขียวที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อฯ ในการก่หม้อห้อม สอดคล้องกับการศึกษา

ของ Chanchay (2021) เพราะจะทำให้เส้นฝ้ายสามารถดูดน้ำสีย้อมได้ดี และทำให้ติดสีที่เส้นใยได้ง่าย แล้วนำไปขยักกับสีอินดิโกในหม้ออินดิโกครั้งละประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปบิดให้หมาด ฝ้ายหรือไหมนั้นจะมีสีเขียวอมเหลืองเพราะอินดิโกยังอยู่ในรูป reduced form เมื่อนำฝ้ายหรือไหมนั้นผึ่งแดดสีอินดิโกจะถูกอากาศซึ่งมีออกซิเจน และจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารออกซิไดซ์ (oxidized form) ซึ่งมีสีน้ำเงินภายในเวลา 2-3 นาที หากสียังไม่เข้มให้นำไปขยักในหม้ออินดิโกซ้ำประมาณ 6-10 ครั้ง เพราะสีอินดิโกจะค่อย ๆ แทรกซึมเข้าไปในเนื้อฝ้ายหรือไหมแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูป oxidized form จนได้สีน้ำเงินเข้มที่สุด จากนั้นจึงนำมาซักด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส บิดให้หมาด กระตุ้นเส้นฝ้ายหรือไหมให้ตั้งเพื่อเป็นการคลี่เส้นใย และนำไปผึ่งในร่มหรือผึ่งแดด

จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมสีน้ำเงินตามต้องการ โดยชุดสำเร็จรูปประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโก ทำให้เม็ดสีอินดิโกมีขนาดเล็กลงทำให้เหมาะต่อการย้อมหม้อ (Nicholson and John, 2005; Compton *et al.*, 2005) สอดคล้องกับรายงานของ Herbst and Hunger (2000) ได้ศึกษาปฏิกิริยาเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่ของน้ำตาลกลูโคสจาก uridine diphosphate glucose ในอินดอกซิลไปเป็นอินดิแคนที่ผลิตจาก *Baphicacanthus cusia* Bremek (Acanthaceae) Indoxyl-uridine diphosphate glucose (UDPG)-Glucosyltransferase พบว่า ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ คือ 8.5 และ pH 6.5 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุดย้อมหม้อหม้อธรรมชาติสำเร็จรูปโดยการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก่อกหม้อธรรมชาติหม้อมผงจากหม้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และผงต่างจากน้ำต่างของซีเถ้าไม้ต่าง ๆ พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus cereus* ที่ให้คุณภาพสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมสีธรรมชาติที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากน้ำก่อกหม้อย้อมผ้าจากโรงย้อมผ้าธรรมชาติ ในพื้นที่จังหวัดแพร่ และทำการเก็บรักษาเชื้อให้แห้งในกระดาษกรองขนาด 2x2 ซม. พบว่าหม้อมผง 40 กรัม ควรอบที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 10 ชม. และผงกรด 5 กรัม จากมะขามเปียก ที่อบด้วยอุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 72 ชม. และผงต่าง 5 กรัม จากน้ำต่างของซีเถ้าไม้รวม จะเป็นส่วนประกอบในชุดสำเร็จรูปที่เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมติดสีผ้าดีขึ้น สีเข้มขึ้น และสามารถควบคุมคุณภาพของเฉดสีได้ในแต่ละกระบวนการย้อม ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาของการหมักน้ำย้อมทำให้ขั้นตอนกระบวนการย้อมผ้าลดลง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผ้าหม้อหม้อโดยไม่มีสารมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้ผ้าที่มีสี

เป็นธรรมชาติ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์การเรียนรู้ธรรมชาติบำบัด ได้ซื้อสิทธิบัตร เรื่อง ผลิตภัณฑ์ชุดมัดย้อมหม้อหม้อมและกรรมวิธีการผลิต เลขที่คำขอ 2103001572 วันที่ขอ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2564 ร่วมกับสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ “สีผงสำเร็จรูปจากหม้อมสำหรับงานย้อมสีผ้าธรรมชาติ” ภายใต้การรับทุนสนับสนุนจากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ภายใต้โครงการทุนเครือข่ายวิสาหกิจนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- Aino, K., T. Narihiro, K. Minamida, Y. Kamagata, K. Yoshimune and I. Yumoto. 2010. Bacterial community characterization and dynamics of indigo fermentation. **FEMS Microbiology Ecology** 74: 174–183.
- Chanchay, N. 2021. **Mor-Hom Phare by Dying Natural Process for Commercial.** Chiang Mail: Smart Coating and Services. 202 p. [in Thai]
- Chanchay, N. and A. Boonpajaub. 2021. Effect of pH on growth and indigo coloring quality of Hom (*Baphicacanthus cusia* (Nees.) Bremek.) at Phrae province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 5(1): 91–104. [in Thai]

- Compton, R.G. Welch, C.M. C.E. Bank and A.O. Sim. 2005. Silver nanoparticle assemblies supported on glassy-carbon electrodes for the electro-analytical detection of hydrogen peroxide. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 1: 12–21.
- Herbst, W. and K. Hunger. 2000. **Industrial Organic Pigment: Production, Properties**. Weinheim: Application VCH Verlagsgesellschaft. 660 p.
- Li, H.X., B. Xu, L.Tang, J.H. Zhang and Z.G. Mao. 2015. Reductive decolorization of indigo carmine dye with *Bacillus* sp. MZS10. **International Biodeterioration & Biodegradation** 103: 30–37.
- Nakajima, K., K. Hirota, Y. Nodasaka and I. Yumoto. 2005. *Alkalibacterium iburiense* sp. Nov., and obligate alkaliphile that reduce an indigo dye. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 55(4): 1525–1530.
- Nicholson, S.K. and P. John. 2005. The mechanism of bacterial indigo reduction. **APPL MICROBIOL BIOT Journal** 68(1): 117–123.
- O-Thong, S. and B. Buakhun. 2013. **Local Wisdom Innovation in Cultural Heritage of Development of Starter Culture for Fermenting Indigo Blue: *Indigofera tinctoria* and Indigo Dye Storage for Dying Process**. Songkhla: Thaksin University. 65 p. [in Thai]
- Sukka, K., C. Sompark, T. Thanananta and N. Sakkayawong. 2019. Isolation of bacteria from the indigo dyeing water in the dyed pot and indigo dyeing area soil for the application of dyeing process and wastewater treatment. **Thai Journal of Science and Technology** 8(5): 552–564. [in Thai]
- Yumoto, I., K. Hirota, Y. Nodasaka, Y. Yokota, T. Hoshino and K. Nakajima. 2004. *Alkalibacterium psychrotolerans* sp. Nov., a psychrotolerant obligate alkaliphile that reduces an indigo dye. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 54: 2379–2583.