



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขต ภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)

"Development of Natural Dyes in Upper
North Region (phase 2)"

สัญญาเลขที่ RDG4420026

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 2

โดยคณะผู้วิจัย

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. รศ.ดร.สุรีย์ พุดระกุล | หัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ.สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ | รองหัวหน้าโครงการ |
| 3. อ.สุปราณี เสียงใส | นักวิจัย |
| 4. อ. อนงค์ จีระโสติดิกุล | นักวิจัย |
| 5. นางสาวสุภาวดี ศรีแย้ม | นักวิจัย (ลูกจ้างโครงการ) |
| 6. นายไพฑูรย์ อบเชย | เจ้าหน้าที่ธุรการ (ลูกจ้างโครงการ) |

มิถุนายน พ.ศ. 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

“การพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)”

“Development of Natural Dyes in Upper North Region (Phase 2)”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. รศ.ดร.สุรีย์ พุดระกุล | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. รศ.ดร.สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์ | ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3. อ. สุปราณี เสียงใส | ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 4. อ. อนงค์ จิระโสติดิกุล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพ |
| 5. นางสาวสุภาวดี ศรีแย้ม | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 6. นายไพฑูรย์ ออบเซย | สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติ

Executive Summary

ชื่อโครงการ “การพัฒนาสื่อย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)”

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุตระกูล

ปัญหาและความสำคัญ

สีมีอิทธิพลต่อชีวิตมนุษย์มาช้านาน สีสันมีอิทธิพลต่ออารมณ์ความรู้สึกของมนุษย์อย่างสำคัญในเกือบทุกแง่มุม รวมไปถึงการใช้สีในการบำบัดโรค การเติมสีลงไปในข้าวของเครื่องใช้ เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มและอาหาร แต่เดิมมนุษย์เราเลือกสรรสีจากธรรมชาติมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นสีจากต้นไม้ สัตว์ ดิน หิน แร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีที่นำมาใช้เติมในอาหารมักใช้สีจากต้นไม้เป็นหลัก ต่อมา วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเจริญก้าวหน้ามากขึ้น สีสังเคราะห์จากสารเคมีเข้ามามีบทบาทแทนที่สีจากธรรมชาติ จนกระทั่งปัจจุบันสีที่ใช้ผสมอาหาร เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ก็เป็นสีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ทำให้สีสังเคราะห์ทางเคมีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นและก่อให้เกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้สีสังเคราะห์ดังกล่าวซึ่งเป็นผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมนอกเหนือจากมลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆ ที่เพิ่มพูนขึ้นทุกนาทีในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเรา ดังนั้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามนุษย์ได้ตระหนักถึงภัยอันเกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษกันมากขึ้น และได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาและลดมลภาวะจากสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตสีสังเคราะห์เพื่อเป็นสีย้อมสิ่งทอ สีทาสีต่างๆ และสีผสมพลาสติก เป็นต้น ได้พัฒนาไปจนถึงจุดสูงสุดและมีสีสังเคราะห์คุณภาพต่ำ ราคาถูกหลายชนิดที่ใช้เป็นสีย้อมที่ไม่ปลอดภัย สีเหล่านี้จำนวนมากเป็นสีที่มีโครงสร้างเป็นสารก่อมะเร็งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และเป็นมลภาวะอันเกิดจากน้ำทิ้งสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีสีที่หายากซึ่งพบได้ในสีจากธรรมชาติที่ก่อให้เกิดมลภาวะน้อยมากในการใช้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการตื่นตัวกลับมาใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น อุตสาหกรรมผลิตสีย้อมเองก็เริ่มแสวงหาสีย้อมจากธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ควบคู่กับหลักการใช้ได้ดีกับสีสังเคราะห์ กล่าวคือใช้ควบคู่กับสารช่วยติดสีและสารที่ทำให้สีติดทนต่อการซักล้างและขัดถูซึ่งเหมาะกับหมู่ไฮดรอกซีของสารประกอบฟีนอลซึ่งพบอยู่ในสารสีธรรมชาติส่วนใหญ่และเพื่อเพิ่มความคงทนของการติดสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปรับปรุงทางเคมีของสีธรรมชาติเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก็เป็นอีกแนวโน้มหนึ่งซึ่งเป็นที่สนใจในระดับอุตสาหกรรม และภาคอุตสาหกรรมเองก็เริ่มแสวงหาสารให้สีธรรมชาติในแนวทางนี้เพื่อให้ได้สีที่หายากและไม่สามารถสังเคราะห์ได้มาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่ากับการใช้สีสังเคราะห์เพื่อให้ประเทศไทยก้าวทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต การส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติและ การทอผ้าด้วยมือควบคู่ไปกับการเพาะปลูกขยายพันธุ์พืชให้สีธรรมชาติจึงน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้เกิดการอนุรักษ์ธรรมชาติและฟื้นฟูศิลปวัฒนธรรมโบราณอันเป็นเอกลักษณ์ของไทย กองอุตสาหกรรมในครอบครัว กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมจึงได้เริ่ม

โครงการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยได้ทำการทดลองค้นคว้าและจัดการฝึกอบรมให้แก่ราษฎรในหลักสูตรเบื้องต้นไปแล้ว ซึ่งได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการในระดับหนึ่งและยังพบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ในด้านความคงทนของสี ข้อจำกัดด้านเจดสี และความสดใสของสี วัตถุดิบสารให้สีหายากและมีเป็นฤดูกาล การเตรียมน้ำย้อมและการย้อมใช้เวลา นานและมีขั้นตอนซับซ้อนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่เป็นที่นิยม ขายไม่ได้ราคา ส่งผลให้เกิดปัญหา เรื่องการตลาดตามมา

สืบเนื่องมาจากปัญหาดังกล่าวประกอบกับการที่รัฐบาลไทยได้กำหนดนโยบายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพชาวชนบทด้านอาชีพสิ่งทอทุกสาขาในแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 3-8 เป็นต้นมาและได้พบปัญหาอุปสรรคต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.ฝ่าย 2) จึงได้สนับสนุนเครือข่ายการวิจัยในระบบสหสาขาวิชาภายใต้กลุ่มโครงการฟอกย้อมสีธรรมชาติเมื่อต้นปี พ.ศ. 2538 โดยจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง " การประเมินความต้องการ การแก้ปัญหา และการวิจัย เพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ" เพื่อเป็นเวทีให้ผู้สนใจและเกี่ยวข้องในระดับต่างๆ เช่น ผู้ทอผ้า นักวิจัยและนักส่งเสริม/องค์กรเอกชน ได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนข้อมูลข้อคิดเห็นและการค้นหาภาพรวมของปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการย้อมสีธรรมชาติ รวมทั้งการเสริมสร้างความชัดเจนในหัวข้อวิจัยและประเด็นวิจัย ผลการสัมมนาพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้า ย้อมสีธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคต่างๆ ของประเทศ ดังนั้นเพื่อสร้างฐานข้อมูลให้แก่นักวิจัยทางสกว.ฝ่าย 2 จึงสนับสนุนการสำรวจภาคสนามกลุ่มทอผ้าใช้สีธรรมชาติใน 4 ภาคของประเทศในปี พ.ศ. 2539 และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันในปี พ.ศ. 2540 เพื่อแสวงหาเป้าหมายร่วมและหัวข้อวิจัยซึ่งสามารถพัฒนาแนวทางในการพัฒนาและแก้ปัญหาการฟอกย้อมสีธรรมชาติในระดับชุมชนได้ในที่สุด ประเด็นสำคัญที่พบหลายประเด็นเป็นประเด็นร่วมในหมู่ทอผ้าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้โดยเฉพาะวิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุให้สีเป็นสีหลักและเคยใช้มาในอดีต จากประเด็นที่พบเหล่านี้ นักวิจัยกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากภาคต่างๆ ได้ร่วมการวางแผนงานวิจัยโดยมีเป้าหมายร่วมกันคือ "พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ ยอมรับของตลาดและรักษาสีสิ่งแวดล้อม" มีหัวข้อวิจัยหลักครอบคลุมสิ่งต่อไปนี้คือ การค้นหาเพื่อให้ได้ วัตถุดิบสารให้สี (เน้นแมส) สารช่วยติดสี สารดูดสี กระบวนการย้อมสี คุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์โดยรวมและการแปรรูปสารให้สี สารช่วยติดสี การรักษาสิ่งแวดล้อม จากข้อสรุปดังกล่าวจึงมี โครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนให้มีการวางแผนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้ครอบคลุมปัญหาลักษณะต่างๆและมีโครงการต่างๆ เกิดขึ้นหลายโครงการเกี่ยวกับการ พัฒนาวิธีการย้อมในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงโครงการพัฒนาสารสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือในช่วงปี พ.ศ. 2540-2543 ซึ่งสามารถพัฒนาได้วิธีการย้อมและการผลิตสารสี ธรรมชาติแปรรูปให้เหมาะแก่การใช้งานได้ระดับหนึ่งซึ่งยังต้องมีการพัฒนาต่อไป

จากข้อสรุปดังกล่าวโครงการวิจัย “การพัฒนาสาขาย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน” ได้รับการสนับสนุนจากสกว. ฝ่าย 2 ให้ดำเนินการวิจัยเป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2541 ถึงเดือน กันยายน 2543 ให้ทำการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีให้ครอบคลุม ปัญหาหลักต่างๆ ในขอบข่ายที่สามารถจะทำได้และพัฒนาส่งเสริมแบบครบวงจร โดยได้ทำการสำรวจและรวบรวมองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของผู้ทอผ้าย้อมสีธรรมชาติเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมและวัตถุดิบที่ใช้ในการย้อมสีธรรมชาติของชุมชนในแถบภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด คือ เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุตรดิตถ์ และได้ข้อมูลทางภาคอีสานเหนือ อีกหลายจังหวัดมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมเพื่อการส่งเสริมต่อไป ดังนั้นงานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นมุ่งประเด็นหลักที่ (1) การค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบ สารให้สี สารช่วยติดสีจากธรรมชาติเพิ่มขึ้นในฤดูกาลต่างๆ โดยเน้นสีหลักสามสีคือ สีแดง น้ำเงิน และเหลือง ส่วนสีอื่นๆ เช่น สีเปลือกไม้ สีดำเป็นผลพลอยได้ (2) ศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของสารให้สีและสารติดสีจากแหล่งวัตถุดิบที่ค้นพบโดยสืบค้นจากฐานข้อมูลและวิเคราะห์เพิ่มเติม ศึกษาหากรรมวิธีการใช้วัตถุดิบให้สีอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพตลอดจนการแปรรูปวัตถุให้สีได้อยู่ในรูปที่ใช้ได้ง่าย สะดวกและมีมาตรฐานโดยกำหนดวิธีการทดสอบความเข้มข้นของน้ำย้อมอย่างง่าย และพัฒนากรรมวิธีมาตรฐานสำหรับวิธีการย้อมสำหรับแต่ละสี ตลอดจนการศึกษาวิธีการจัดการน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมโดยพยายามใช้น้ำสีให้ได้คุ้มค่า ทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสีธรรมชาติโดยกรรมวิธีดั้งเดิม วิเคราะห์ผลการวิจัยและพัฒนาที่ได้เพื่อการเผยแพร่และส่งเสริมต่อไป

ผลงานวิจัยในระยะแรกซึ่งใช้เวลาสองปีครึ่งที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้ผลเป็นที่น่าพอใจและเป็นไปตามแผนที่วางไว้ทุกประการ กล่าวคือ

(1) ได้ทำการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมผ้าโดยเน้นเฉพาะสีหลักสามสี คือ สีแดงจากรากขมิ้น สีเหลืองจากขมิ้น สีน้ำเงินจากครามและย้อม ผลการสำรวจพบว่าวิธีการย้อมแต่ละท้องถิ่นสำหรับวัตถุดิบให้สีชนิดเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันเป็นหลักใหญ่ๆ แต่จะมีรายละเอียดบางอย่างแตกต่างกันไป รวมทั้งการใช้สารช่วยติดสีและการเตรียมผ้ายกก่อนย้อม คณะผู้วิจัยได้เก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการย้อมแต่ละวิธีมาเพื่อตรวจสอบคุณภาพสำหรับเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับการทดลองการย้อมในกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม ตรวจสอบคุณภาพ และรวบรวมข้อมูลสำหรับการพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีแปรรูปและสีธรรมชาติที่สกัดสดต่อไป ข้อมูลที่ได้นี้ทำให้คณะผู้วิจัยประสบความสำเร็จอย่างดีเยี่ยมในการพัฒนาวิธีการย้อมเส้นใยผ้าให้ติดสีเข้มและคงทนและใช้เวลาในการย้อมไม่นาน กล่าวคือ การต้มผ้าที่ล้างไขมันออกแล้วกับน้ำถั่วเหลืองหรือโปรตีนอื่นๆ ก่อนนำมาใช้ย้อมสีจะติดผ้าเข้มกว่าปกติ การใส่

กรดซิดริกในการย้อมสีครามและครั้งทำให้สีเข้าฝ้ายดีและใช้ Wetting agent ในน้ำย้อมทำให้โมเลกุลของสีกระจายดีในน้ำย้อมทำให้สีซึมเข้าเนื้อฝ้ายได้ดีโดยเฉพาะสีจากรากยอป่าและสีพวก azo dye ทำให้ฝ้ายที่ย้อมได้มีสีสม่ำเสมอไม่ต่าง ผลการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกมาอยู่ในระดับดี

(2) ได้ทำการสำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบให้สีหลักทั้ง 3 สี สารช่วยให้ติดสีและเลือกพันธุ์พืชที่ปลูกง่าย พบมากทั่วไปในภาคเหนือ และภาคอื่นๆ ของประเทศ และส่วนที่ให้สีไม่ไช้แก่นไม้หรือเปลือกไม้ เพื่อป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า เช่น สารสีแดงจากรากยอป่า ได้เลือกพันธุ์ยอป่าที่เป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็กและมีมากในภาคเหนือ คือ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. สีเหลืองเลือกขมิ้นเพราะปลูกง่าย พบทั่วไปและใช้ส่วนเหง้า สีน้ำเงินจากใบและต้นครามและย้อมเพราะมีปลูกทั่วไปใช้เวลาปลูกไม่นานก็เก็บเกี่ยวได้เหมาะที่จะพัฒนาเพื่อส่งเสริมการปลูก นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองแปรรูปสีจากน้ำล้างครั่งซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานครั่งเมิดที่มีหลายโรงในจังหวัดลำปางและแพร่

(3) ได้ทำการสกัดและแปรรูปสารให้สีจากวัตถุดิบที่เลือกไว้ได้แก่ รากยอป่า ครั่ง ซึ่งย้อมได้เฉดสีแดงส้มถึงม่วงแดง ครามและย้อมย้อมได้สีฟ้า ฟ้าอมเขียวและน้ำเงิน และเหง้าขมิ้นซึ่งย้อมได้สีเหลืองทำการแยกบริสุทธิ์สารหลักที่ให้สีวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ไม่ก่ออันตรายได้ข้อมูลประกอบในการพัฒนาการย้อมให้ได้เฉดสีที่ต้องการ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารหลักจากวัตถุดิบดังกล่าว พบว่า สารให้สีหลักในรากยอป่าคือสารกลุ่ม anthraquinone ที่มีโครงสร้างเคมีเป็น moridone สารให้สีในครั่งคือ Laccaic acid A ซึ่งเป็นสารกลุ่ม anthraquinone เช่นเดียวกับรากยอป่า สารให้สีหลักในครามและย้อมมีสองสีคือ สารสีน้ำเงิน เป็น indigo และสารสีแดง ซึ่งมีปริมาณมากกว่า เป็น indirubin ซึ่งน่าจะพัฒนาวิธีการแยกออกมาแปรรูปเป็นสีย้อมได้อีกสีหนึ่ง

สำหรับการแปรรูปสารให้สีนั้นทำเป็น 3 รูปแบบคือ ผงพืชบด ผงสกัดด้วยน้ำฉีดพ่นแห้ง สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ แล้วทั้งสามแบบนี้มาอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาและการใช้ย้อมสำหรับสีจากครามและย้อมนั้นใช้วิธีการหมักด้วยน้ำและพบวิธีการหมักที่จะได้อินดิโกออกมามากโดยไม่เกิดกลิ่นเหม็นและใช้เวลาในการสกัดสั้นแต่ได้ปริมาณอินดิโกมากในรูป indigo paste อบให้แห้งและบดเป็นผงแล้วอัดเป็นแกรนูล จากการวิจัยพบว่าสีแปรรูปที่ผลิตได้โดยวิธีต่างๆ นั้นถ้าอยู่ในลักษณะผงโดยเฉพาะจากการทำ spray dry จะเก็บไว้ได้ไม่นานเมื่อมีความชื้นจะเกาะเป็นก้อนแข็ง การสกัดด้วยน้ำผสมน้ำต่างจากปูนขาวจะได้ผงสีผสม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเก็บได้นานขึ้นและใช้งานได้เลยในการย้อมฝ้าย อย่างไรก็ตามการอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจะเก็บไว้ได้นานที่สุดและเมื่อนำมาย้อมก็จะละลายน้ำได้ดี

สีแปรรูปที่ได้เมื่อนำไปทดลองย้อมตามกรรมวิธีที่ได้พัฒนาไว้แล้วดังข้อ (1) พบว่า ได้ผลเช่นเดียวกับการสกัดสด คุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงอยู่ในระดับดี ยกเว้นสารที่ให้สีเหลืองจากขมิ้นจะมีความคงทนต่อแสงต่ำเนื่องจากเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารสีเหลืองส่วนใหญ่ ซึ่งแก้ได้ยากนอกจากจะลองหาสารสีเหลืองจากแหล่งใหม่ที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างออกไป นอกจากนี้การใช้สีแปรรูปในการย้อมมีข้อดีเหนือการสกัดสดคือการทราบปริมาณเนื้อสีในสีแปรรูปที่เตรียมเมื่อนำไปใช้เตรียมน้ำย้อมสามารถควบคุมความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นได้ทำให้ได้สีเหมือนเดิมทุกครั้งเมื่อเตรียมน้ำย้อมด้วยสีแปรรูปปริมาณที่เท่ากัน

(4) ได้ทำการทดลองเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากรากปลอดเชื้อซึ่งนำเมล็ดรากยอป่ามาเพาะให้เกิดรากในภาวะปลอดเชื้อ แล้วนำเซลล์รากมาเลี้ยงในอาหารวันจนเกิดกลุ่มเซลล์ จากนั้นแยกเซลล์รากไปเพาะต่อในอาหารที่มีสารตั้งต้นสำหรับการสร้างสารให้สีของรากยอป่าในอาหารเหลว และอาหารวันพบว่า เซลล์รากเจริญได้ดีและสร้างสีในอาหารวันเมื่อเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน และสีจะสร้างเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพาะเลี้ยงจนอาหารหมดประมาณ 28-30 วัน จากนั้นได้ทดลองสกัดสารให้สีจากเซลล์รากที่เพาะได้มาวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบางเทียบกับสารสกัดจากรากยอป่าสายพันธุ์เดียวกันพบว่าเป็นสารให้สีชนิดเดียวกัน จากผลการทดลองดังกล่าวพบแนวโน้มในการที่จะพัฒนาการเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากให้มีปริมาณมากขึ้นและอาจจะเพาะเลี้ยงเซลล์รากให้เจริญเป็นต้นเพื่อส่งเสริมการปลูกอีกทางหนึ่งด้วย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดลองศึกษาการเพิ่มผลผลิตของสารให้สีธรรมชาติจากจุลินทรีย์โดยได้แยก จุลินทรีย์สร้างสีจากธรรมชาติได้แก่ ดิน ใบไม้ เปลือกไม้ ผลไม้ อาหารหมัก และเห็ด และได้จุลินทรีย์สร้างสีหลายสายพันธุ์ ทั้งยีสต์ แบคทีเรีย และรา ซึ่งให้สารสีชมพูอมส้ม สีแดงม่วง สีเหลือง สีดำ สีเขียว ตรวจหาชนิดของ pigments สีต่างๆ พบว่า ยีสต์ให้สีกลุ่ม Carotenoid และ Anthraquinone และยีสต์ให้สีดำของกลุ่ม Melanin สำหรับแบคทีเรียที่ให้สีแดงอมม่วงเป็นสารกลุ่ม Prodigiosin ซึ่งเป็นสาร antibiotic ด้วย ราที่ให้สีเขียวเป็นพวก Naphthoquinone และสีแดงเป็น

Anthraquinone คณะผู้วิจัยได้เลือกทดลองเลี้ยงแบคทีเรียที่ผลิตสีแดงอมม่วงพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้จัดอยู่ใน Genus *Serratia* ซึ่งไม่เป็นอันตราย ทำการเลี้ยงปรับสูตรอาหารเพื่อให้สร้าง pigment สีแดงอมม่วงได้ปริมาณมากต่อไป

(5) ในแง่สารช่วยติดสีซึ่งใช้มากจากสารธรรมชาตินั้นได้สำรวจพบว่ามีการใช้ใบไม้ชนิดต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงทำการสกัดสารช่วยติดสีจากใบไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแทนนิน เปรียบเทียบปริมาณและตกตะกอนแทนนิน ออกมาเพื่อใช้ผสมสำหรับการปรุงแต่งสีแปรรูปที่ผลิตขึ้นให้ย้อมได้สีคงทนมากขึ้นต่อไป

(6) ในแง่การใช้สอยอย่างมีประสิทธิภาพนั้นอาจทำได้โดยน้ำที่ข้มครั้งหนึ่งแล้วอาจจะข้มอีกครั้งได้ผลิตภัณฑ์สีอ่อนลงหรือให้ข้มเยือกกระดาศา ใบไม้ที่ลอกเนื้อใบออกแล้วเหลือแต่ก้านและแขนงของก้านใบสิ่งเหล่านี้จะซึมซับน้ำสีไว้ได้ดีก่อนทิ้งลงสู่บ่อน้ำทั้งเป็นการลดมลภาวะทางหนึ่งด้วย สิ่งเหล่านี้น่าจะเผยแพร่พร้อมกับการออกไปแนะนำส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสีข้มทดลองใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น

ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ในระยะเวลาวิจัยสองปีครึ่งที่ผ่านมาเป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการแต่มีแนวโน้มสูงในการพัฒนาขยายขนาดการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้ผลเช่นนี้ได้และทำให้ผลงานวิจัยที่ได้มานำไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมได้นั้นจะต้องมีการแนะนำให้ผู้ประกอบการรู้จักและหันมาใช้สีธรรมชาติแปรรูปในการข้มผลิตภัณฑ์กันมากขึ้นอย่างกว้างขวางซึ่งจะเป็นการเปิดตลาดให้กับอุตสาหกรรมที่สนใจจะลงทุนผลิตสารให้สีธรรมชาติแปรรูป ดังนั้นควรต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สีแปรรูปที่สกัดจากวัตถุดิบอื่นๆ ให้ได้เจดสีเพิ่มเติมและขยายการผลิตสีแปรรูปให้อยู่ในระดับที่เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการได้ทดลองใช้และพอที่จะทดลองใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในการปรับสูตรสีแปรรูปพร้อมข้มให้ได้เจดสีต่างๆ โดยการผสมสีที่สกัดได้ เขียนคู่มือการข้มสีธรรมชาติแปรรูปที่พัฒนาวิธีการข้มแล้วเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของตลาด แนะนำส่งเสริมการปลูกวัตถุดิบสารให้สีที่จะนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม จากเหตุผลและความจำเป็นข้างต้นตลอดจนความประสงค์ที่จะให้ผลงานวิจัยที่ได้มีผู้นำไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม คณะผู้วิจัยจึงขอเสนอโครงการวิจัยต่อเนื่องระยะที่สองเป็นเวลา 2 ปี ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2544 ถึง 3 กรกฎาคม 2546 เพื่อดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาสารข้มสีธรรมชาติและการข้ม เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สีข้มที่ข้มด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมและเพื่อส่งเสริมและจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ใช้สีธรรมชาติมากขึ้น

งานวิจัยในระยะที่สองนั้นมุ่งประเด็นไปที่ (1) การขยายขนาดการผลิตสีแปรรูปจากรากยอป่าครั้ง ครามและข้อม เพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในแหล่งต่างๆ ในภาคเหนือและอีสาน (2) การแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่ให้สีธรรมชาติในเจดสีอื่นโดยเฉพาะสีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสง โดยเน้นการใช้พืชที่ส่งเสริมการปลูกง่ายและส่วนของพืชให้สีที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่าเช่น ใบ เปลือก เหง้า หัว และราก (3) การเพิ่มเจดสีของสีธรรมชาติแปรรูปโดยการผสมสารให้สีที่สกัดได้และแปรรูปตลอดจนการปรุงแต่งสีแปรรูปด้วยสารสกัดจากธรรมชาติให้อยู่ในลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมข้มที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด (4) การหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บสีแปรรูปที่ผลิตได้ให้คงทนและสะดวกแก่การนำไปใช้ (5) การออกไปแนะนำส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำสีแปรรูปไปทดลองข้มผลิตภัณฑ์และติดตามผล และ (6)

การทำคู่มือการย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ตลอดจนการใช้สีอย่างคุ้มค่าจากน้ำทิ้งหลังการย้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อขยายการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ครามและย้อมให้เพียงพอต่อการนำไปให้ผู้ประกอบการทดลองใช้เพื่อเปิดตลาดให้กับอุตสาหกรรมที่จะลงทุนผลิตสีธรรมชาติแปรรูป
2. เพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่ให้สีธรรมชาติเพิ่มเติมทั้งที่ให้สีหลักสามสีและเจดสีอื่นโดยเน้นการไม่ตัดไม้ทำลายป่าและศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์
3. เพื่อเพิ่มเจดสีของสีธรรมชาติแปรรูปให้มากขึ้นโดยการผสมสารสีที่สกัดได้และปรับสูตรให้เก็บและใช้งานได้สะดวกและผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้เป็นที่ยอมรับของตลาด
4. เพื่อหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมพร้อมวิธีการย้อมสำหรับสูตรผสมแต่ละสูตร
5. เพื่อออกไปแนะนำส่งเสริมย้อมธรรมชาติแปรรูปให้แก่ผู้ประกอบการในแหล่งต่างๆ ได้ทดลองใช้พร้อมทั้งการติดตามผล
6. เพื่อทำคู่มือการย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ตลอดจนการใช้สีอย่างคุ้มค่าจากน้ำทิ้งหลังการย้อม

การดำเนินงานและผลวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นไปตามกิจกรรมหลัก 4 กิจกรรมตามวัตถุประสงค์ข้างต้นคือ การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปให้เพียงพอแก่การทดลองใช้ในภาคอุตสาหกรรมขนาดย่อม การเพิ่มเจดสีโดยการผสมผสานสารให้สีที่สกัดได้และแปรรูปตลอดจนการปรับปรุงสูตรของสีสำเร็จรูปพร้อมย้อมและภาชนะบรรจุที่เหมาะสม การแสวงหาแหล่งวัตถุดิบเพิ่มเติมทั้งวัตถุดิบที่ให้สีหลักสามสี แดง เหลือง น้ำเงินและสีอื่นๆ และหาข้อมูลเพื่อส่งเสริมการปลูกและการศึกษาเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพิ่มเติม การนำสีแปรรูปที่ผลิตได้แนะนำส่งเสริมให้ชุมชนผู้ย้อมสีได้ทดลองใช้และติดตามผลและการเขียนคู่มือการย้อมเส้นใยด้วยสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ครอบคลุมถึงการใช้สีย้อมอย่างคุ้มค่าและลดมลภาวะโดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ได้ทำการขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ขมิ้น ครามและย้อมให้เพียงพอต่อการนำไปส่งเสริมให้ชุมชนผู้ย้อมสีธรรมชาติทดลองใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม รวมทั้งสีอื่นๆ ที่ได้จากการวิจัยระยะที่สองนี้โดยเน้นหนักการสกัดด้วยน้ำและฉีดพ่นแห้งซึ่งจะต้องสกัดเป็นปริมาณมากเครื่องฉีดพ่นแห้งต้องใช้ขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งคณะผู้วิจัยได้ติดต่อขอเช่าเครื่องจากคณะอุตสาหกรรม

กรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในอัตราชั่วโมงละ 250 บาท ซึ่งจะทำการฉีดพ่นแห้งได้ชั่วโมงละ 4-5 ลิตร หากผงพืชบดที่เหลือจะทำการสกัดด้วยอัลกอฮอล์แบบแช่ ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ แล้วนำมาระเหยแห้งเป็นสารสกัดเข้มข้น จากนั้นนำมาอัดเป็นแกรนูลขนาดเล็กเก็บและละลายง่ายเมื่อใช้ สำหรับสีจากครามและฮ่อมได้ทำการหมักได้ indigo paste แล้วอบแห้งบดเป็นผง แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเม็ดเล็ก ทั้งนี้ยังได้ทำการศึกษาสัดส่วนปริมาณสารผสมที่ใช้อัดเม็ดแกรนูลและปริมาณต่างเคลือบไฮดรอกไซด์หรือน้ำปูนใสที่ใช้สกัด ปริมาณสารสีที่สกัดได้เพื่อให้ทราบปริมาณเนื้อสีที่อยู่ในเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปสำหรับเป็นข้อมูลในการเตรียมน้ำย้อมพัฒนาและปรับปรุงสูตรผสมของสีแปรรูปให้ย้อมได้ง่ายและผลิตภัณฑ์ย้อมได้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดรวมทั้งได้ประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้วย

ผลการวิจัยในช่วงแรกนั้นได้ทำการขยายการผลิตสีธรรมชาติจากรากยอป่า ครั่ง ขมิ้น คราม และฮ่อมได้ปริมาณหนึ่งซึ่งยังไม่เพียงพอแก่การนำไปเผยแพร่ให้ทดลองใช้เนื่องจากเกิดปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dry เสีย และทางคณะอุตสาหกรรมเกษตรไม่มีงบประมาณซ่อม อย่างไรก็ตามได้ทดลองใช้ผงสีแห้งที่สกัดได้มาทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมเพื่อเป็นสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปและอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยใช้สิ่งจำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมแต่ละชนิดและสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดการจับตัวของส่วนผสมเป็นเม็ดแกรนูลได้ จากนั้นนำมาเตรียมน้ำย้อมทดลองย้อมผ้าฝ้ายพบว่า การใช้น้ำตาลแลคโตสเป็นส่วนผสมนั้นเม็ดแกรนูลละลายได้ดีแต่ปริมาณสีต่อกรัมเม็ดแกรนูลจะต่ำย้อมได้สีอ่อนสม่ำเสมอ เมื่อใช้แป้งมันแทนแลคโตสพบว่าปริมาณสีต่อกรัมแกรนูลเพิ่มขึ้นแต่ย้อมฝ้ายแล้วสีต่างเพราะแป้งเกาะตัวเหนียวเมื่อต้มในขั้นตอนการย้อม การเติม wetting agent ทำให้การเกาะตัวของส่วนผสมดีขึ้นและมีประโยชน์ในการทำให้เกิดการกระจายของสีในน้ำย้อมได้ดี จากข้อมูลเบื้องต้นได้แนวทางที่จะปรับปรุงสูตรผสมสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

ผลการทดลองในช่วงที่ 2 ถึงช่วงที่ 4 นั้นคณะผู้วิจัยแก้ปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dryer ซึ่งเสียหันมาทำการทำแห้งโดยใช้เครื่องมือทำแห้งแบบลูกกลิ้งแทน (drum dryer) การทำแห้งแบบนี้มีข้อดีคือสามารถผสมสูตรสำเร็จรูปได้เลยจากน้ำสีสกัดแล้วทำแห้งทีเดียวไม่ต้องทำแห้งผงสีก่อนแล้วผสม วิธีนี้จะทำให้ส่วนผสมทุกอย่างคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าและต้นทุนการทำแห้งถูกลง การผลิตสีย้อมธรรมชาติที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเริ่มจากการนำผงสีครั้ง รากยอป่า ที่ทำแห้งไว้ด้วย spray dry และการสกัดด้วยอัลกอฮอล์ ทดลองปรุงสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปทดลองย้อมตรวจสอบคุณภาพ ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งแล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูล ทดสอบการละลายและฟิเชอร์ของสารละลายและคัดเลือกสูตรที่ใช้ได้สำหรับการขยายการผลิตในการวิจัยช่วงต่อไป ซึ่งได้ทำการศึกษารายละเอียดของสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ เพื่อประเมินข้อดีข้อด้อยของแต่ละสูตรเพื่อคัดเลือกและพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไป เริ่มจากสูตรน้ำย้อมจากน้ำล้างครั้งที่ผลิตได้สูตรต่างๆ ตั้งแต่

L1, L2 ซึ่งเป็นสีครั้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่อง Spray dryer ซึ่งปัจจุบันไม่ใช่เครื่องดังกล่าวจึงไม่พัฒนาต่อ เริ่มทำแห้งใหม่จากน้ำล้างครั้งสดจากโรงงานครั้งเม็ดแล้วปรุงสูตรสำเร็จ 2 สูตร คือ สูตร L3 และ สูตร L4 พบว่าสูตร L3 กากมากไม่ละลายสีออกมาเวลาใช้ เนื่องจากขาดการเติมโซดาแอช จึงปรับใหม่เป็น สูตร L4 สีม่วงแดง ที่เติมโซดาแอช 0.5% น้ำหนักต่อปริมาตรและปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วงพีเอช 10.4-10.5 ก่อนทำแห้ง พบว่าผงละลายดีมากกรองกากทิ้งน้อยย้อมฝ้าย ใหม่ และเส้นใยอื่นๆ ได้ดีจึงเลือกมาเป็นสูตรสำเร็จรูปที่สามารถขยายขนาดการผลิตได้ต่อไป ส่วนสีรากยอบาก็เช่นเดียวกันปรับปรุงเป็นสูตรที่สกัดสดจากผงรากยอบาปรุงสูตรและปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วงพีเอช 10-11 ก่อนทำแห้ง คัดเลือกเป็นสูตร M1 สีแดงอ่อนอมส้ม นอกจากนี้ยังผสมน้ำย้อมสูตร L4 และ M1 เป็นสูตร ML14 แล้วทำแห้ง เพื่อให้ได้สีแดงสด ทำการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำย้อมในการย้อมด้วยฝ้าย พบว่าปริมาณผงสี 50 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นปริมาณที่ทำให้ติดสีเข้มและประหยัดผงสีมากที่สุด ถ้าใช้มากกว่านี้สีก็ติดด้วยฝ้ายเข้มเท่าเดิม

สำหรับสูตรน้ำย้อมสีครามธรรมชาตินั้นสูตรน้ำย้อม I1, I2 และ I3 เป็นสูตรที่ใช้ได้ ทั้งสามสูตรมีเจดสีต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการหมัก แต่พีเอชที่ได้สูงเกินไปคือ 12.1 ซึ่งจะทำให้ไหมเปื่อย และมีผู้ทดลองพบว่าพีเอชน้ำย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีครามธรรมชาติอยู่ในช่วง 10.5 จึงปรับสูตรใหม่ โดยทำการปรับพีเอชของแต่ละสูตรให้ได้ประมาณ 10.5 ก่อนทำแห้ง คราม paste ที่ได้จากภาคอีสานมีปูนขาวปนมากพีเอชน้ำย้อมสูง พยายามกรองส่วนที่ไม่ละลายออกก่อนแล้วจึงปรับพีเอชด้วยการเติมกรดซิตริก(กรดมะนาว) หรือกรดทาร์ทาริก(กรดมะขาม) ลงไปเพื่อช่วยให้สีอินดิโกอยู่ในรูปรีดิวซ์ตามธรรมชาติได้ดีขึ้น

ส่วนสูตรน้ำย้อมสีเหลืองจากขมิ้นนั้นต้องใช้สารสกัดจากขมิ้นที่กลั่นไล่น้ำมันออกแล้วและปรับสูตรให้มีพีเอช 8 ขึ้นไปก่อนทำแห้ง ได้สูตรสีเหลืองจากผักเชียงดา ผีวมะกรูด (กลั่นน้ำมันออก) และผิวส้ม(กลั่นน้ำมันออกก่อน) ได้ผลดีโดยปรับพีเอชของส่วนผสมก่อนย้อมเป็นพีเอช 10-11 อย่างไรก็ตามสีเหลืองจากวัตถุดิบดังกล่าวยังทนแสงได้น้อยยังต้องหาทางพัฒนาแก้ไขปรับปรุงในโครงการระยะต่อไป

2. ทำการแสวงหาวัตถุดิบทั้งชนิดและแหล่งที่ให้สีธรรมชาติทั้งที่เป็นสีหลักสามสีคือ สีแดง เหลือง น้ำเงิน เพิ่มเติมโดยเฉพาะที่ให้สีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสงดีขึ้นและสีอื่นๆ เช่น น้ำตาล เขียว ดำ โดยเน้น การใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่การตัดไม้ทำลายป่า เลือกใช้ส่วนใบ ดอก ผล ราก เมล็ดหรือเปลือกต้น และพืช ที่ส่งเสริมการปลูกได้ง่ายและโตเร็ว รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชื่อทางพฤกษศาสตร์และชื่อท้องถิ่นและชื่อสามัญ ตลอดจนหาวิธีสกัดและวิเคราะห์สารให้สีจากแหล่งใหม่พร้อมทั้งการทดลองย้อมและประเมินเพื่อทำการผลิตเป็นสีธรรมชาติแปรรูปต่อไป

ได้ทำการหาวัตถุดิบให้สีอื่นๆ เพิ่มเติมพบว่าสารสีเหลืองจากผักเชียงดาก็สามารถนำมาทำแห้งย้อมฝ้ายได้สีเหลืองส่วนน้ำสกัดครั้งแรกที่ยังไม่เติมด่างปูนขาวจะได้สีเขียวออกเหลืองเมื่อเติมด่าง

ปูนขาวก็จะเป็นสีเหลืองสวยแต่สีไม่คงทนและในเชิงพาณิชย์ไม่เหมาะจะนำมาย้อมผ้าเพราะผักเชียงดา มีสารแอนติออกซิเจนที่สูงน่าจะใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารมากกว่า สำหรับสารสีเหลืองนั้นคณะผู้วิจัยยังได้จากเปลือกส้มเขียวหวานและผิวมะกรูดที่กลั่นน้ำมันออกแล้วนำน้ำสีมาเติมต่างปูนขาวได้น้ำย้อมสีเหลืองเข้มขึ้นเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างพบว่าเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และมีโครงสร้างเป็นฟลาโวนินที่มีชื่อว่า Hesperidin และได้เลือกไว้สำหรับการสกัดปรุงสูตรสีเหลืองและทำแห้งต่อไป ส่วนสารสีแดงส้มอมน้ำตาลนั้นได้จากเปลือกไม้สนนอยหรือไก่แดง ทดลองสกัดด้วยอัลกอฮอล์แล้วแยกด้วยโครมาโทกราฟีผิวบางพบสารประกอบหลัก 2 ชนิด ซึ่งเมื่อแยกบริสุทธิ์และศึกษาโครงสร้างพบว่าเป็นสารหลักตัวแรกเป็นผลึกรูปเข็มสีขาวจำพวก triterpenoid ชนิด Lupane-type triterpene ส่วนสารหลักอีกชนิดหนึ่งเป็นผลึกสีแดงเป็นสารประกอบแทนนินชนิด condensed tannin ซึ่งเป็นสารช่วยติดสีด้วยย้อมผ้าได้สีน้ำตาลแดงหรือน้ำตาล ช็อคโกแลต หรือ ใช้เป็นมอร์แดนต์ผสมน้ำย้อมสูตรต่างๆ สารสกัดจากใบยูคาลิปตัส(กลั่นน้ำมันออกก่อน) ก็ใช้ย้อมได้สีครีมออกน้ำตาลและเป็นมอร์แดนต์ด้วยให้ผสมกับสูตรน้ำย้อมอื่นได้เพราะมีแทนนิน นอกจากนี้ก็มีใบขี้เหล็กและใบเหมือดโอดที่มีปริมาณแทนนินสูงที่สามารถนำมาสกัดและทำแห้งได้ ได้ทดลองสกัดสารสีจากดอกทองกวาวพบว่าเป็นสารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์และฟลาโวนอยด์ให้น้ำสีส้มเมื่อเติมต่างให้สีส้มแดงย้อมผ้าได้สีส้มหรือส้มแดงแล้วแต่ที่เอชแต่สีที่ได้มีความคงทนต่อแสงต่ำต้องการหาทางปรับปรุงต่อไป

3. ทำการเพิ่มเจดสีโดยการผสมสารให้สีที่สกัดได้และทดลองย้อม ตรวจสอบคุณภาพในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงและผลิตเป็นสีแปรรูปให้เก็บและใช้ได้ง่ายในสเกลที่มากพอที่จะไปเผยแพร่และส่งเสริมให้ทดลองใช้รวมทั้งหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บและสะดวกต่อการใช้พัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสัดส่วนโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำ premordanting

ผลการทดลองสูตรผสมอื่นๆ และเจดต่างๆ เช่น สีเขียวจากน้ำสกัดผิวมะกรูดผสมคราม สีแดงจากครั่งผสมครามเป็นสีม่วงเป็นสูตรที่ใช้ได้ผลละลายดีแต่ที่เอชสูงเกินไปคือ 12.8 จึงปรับใหม่โดยปรับที่เอชอยู่ในช่วง 10-11 ก่อนทำแห้ง

ได้ทำการสกัดสารสีดำจากมะเกลือปรุงสูตรทำแห้งได้ผงสีเทาและถ้ามีเนื้อปูนมากจะเป็นผงสีดำเกาะเป็นก้อนแข็งผู้วิจัยกำลังหาวิธีบดเป็นผงเพื่อทำเม็ดแกรนูลต่อไป

ได้ทดลองสกัดสารสีจากดอกทองกวาว พบว่าเป็นสีกลุ่มคาโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ ปรุงน้ำย้อมได้สีส้มแดง ปรับที่เอชในช่วง 10-11 ทำแห้งทดลองย้อมได้สีเหลืองส้ม ไม่ทนแสง จึงผสมกับสารสีเหลืองที่สกัดจากเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อและรากยอป่า พบว่าได้สีส้มแดง ย้อมผ้าไหม ได้สีส้มเข้ม ทนแสงได้ดีกว่าไม่ผสม

ได้ทำการหาวิธีวัดปริมาณสีในผงสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆ โดยนำผงสีเหล่านั้นมาสกัดด้วยเมทานอล กรองกากทิ้งแล้วระเหยแห้ง นำผงที่แห้งมาละลายในน้ำปริมาณต่างๆ กันแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

ที่ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสีดังกล่าว นำข้อมูลมาเขียนกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณจากนั้นนำผงสีสูตรสำเร็จรูปมา 1 กรัม ละลายน้ำแล้วกรองกากที่ไม่ละลายทิ้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันเทียบหาปริมาณเป็นเนื้อสีในผงสีย้อมสำเร็จรูป 1 กรัม

ได้ศึกษาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมในการต้มกับฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วก่อนย้อมโดยแปรปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันและทดลองย้อมสีจากรากยอป่าและครั้งพบว่าปริมาณโปรตีนจากทั้งสองแหล่งที่ความเข้มข้น 1 มก./มล. -20 มก./มล. ช่วยให้ฝ้ายติดสีเข้มข้นตามลำดับเหมือนกันเมื่อย้อมด้วยสีจากทั้งสองแหล่ง และการทำความสะอาดด้วยฝ้ายด้วยน้ำเปล่าและโซดาแอซ+สบู่ก่อนต้มกับน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันให้ผลเหมือนกัน ผลการทดลองสรุปได้กว้างๆ ว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายก่อนย้อมที่ทำให้ติดสีเข้มอยู่ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นต้นไปขึ้นอยู่กับแหล่งของโปรตีนที่ใช้และการวิเคราะห์ปริมาณ แหล่งของโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายอาจใช้การเตรียมน้ำเต้าหู้จากถั่วเหลืองเอง ผงถั่วเหลืองที่มีขายในท้องตลาดเช่น ผงถั่วเหลืองจากดอยคำ น้ำมันสดจากฟาร์มโคนม (อาจใช้น้ำมันที่ไม่ผ่านการตรวจสำหรับใช้ดื่มแต่ยังไม่เสีย) นมผงพร้อมมันเนยเป็นต้น นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดลองเตรียมน้ำเต้าหู้จากถั่วเหลืองแล้วทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกของผู้ใช้ ต้นทุนจะสูงกว่าซื้อถั่วเหลืองมาเตรียมน้ำเต้าหู้ใช้เองประมาณ 2.5 เท่า และปริมาณโปรตีนของน้ำถั่วเหลืองจะต่ำกว่าที่เตรียมน้ำเต้าหู้สด การทำน้ำถั่วเหลืองแห้งแบบใช้ลูกกลิ้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลเมื่อใช้ควบคู่กับสีย้อมสำเร็จรูปอยู่ในวิสัยที่จะกระทำได้ถึงแม้ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่าที่เตรียมเองประมาณ 2 เท่า แต่ถ้าเทียบกับความสะดวกและความคล่องตัวในการใช้แล้ว ต้นทุนที่ว่านี้ น่าจะอยู่ในวิสัยที่ยอมรับได้ เพียงแต่ต้องการปริมาณโปรตีนและสัดส่วนที่แน่นอนในการละลายน้ำที่อุณหภูมิที่ใช้ต้มกับฝ้ายซึ่งสามารถศึกษาปรับปรุงได้ในโอกาสต่อไป

4. ทำการออกไปแนะนำและส่งเสริมชุมชนผู้ย้อมสีธรรมชาติในแหล่งต่างๆ ให้ทดลองใช้สีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตขึ้นในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมและติดตามประเมินผลและการศึกษาเพิ่มปริมาณการผลิตสีธรรมชาติจาก จุลินทรีย์ได้เลือกแบคทีเรีย *Serratia* มาทำการปรับสูตรอาหารและทำการกลายพันธุ์เพื่อให้ผลิตสีได้มากขึ้นและขยายการศึกษาไปศึกษาสีจากราและยีสต์ต่อไป

ได้ทำการประชาสัมพันธ์การใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปและการย้อมแก่กลุ่มผู้ใช้สีย้อมและสิ่งทอในงานแสดงต่างๆ ในจังหวัดเชียงใหม่และนิทรรศการวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติรวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำวิธีการผลิตและใช้สีย้อมธรรมชาติแก่โครงการ "บ้านทอฝัน" ที่ อ.สังขละบุรี จ.กาญจนบุรีได้เผยแพร่การเพิ่มความเข้มของการติดสีบนฝ้ายโดยต้มฝ้ายด้วยน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันแก่ผู้ประกอบการในงานแสดงสินค้าหัตถกรรมต่างๆ ในภาคเหนือได้ร่วมประชุมกลุ่มผู้ย้อมสีครามธรรมชาติที่สวทช. และสัมมนาการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติที่รัฐสภาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2545

ในด้านการประชาสัมพันธ์สีย้อมผงสูตรสำเร็จรูปนั้นเดินทางไป 7 จังหวัดภาคอีสานและภาคเหนือได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ ร่วมแสดงนิทรรศการงานครบรอบ 10 ปี สกว. ที่ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ได้รับการขานรับจากกลุ่มผู้ผลิตและผู้บริโภคสีย้อมธรรมชาติอย่างดีเยี่ยม และจุดประกายให้มีแนวทางในการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปเพื่อใช้ในด้านอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้ฝ่ายชาวสถานีโทรทัศน์ช่อง 7 สี ได้มาสัมภาษณ์และถ่ายทำขั้นตอนการผลิตออกอากาศรายการคนไทยวันนี้เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ให้ผู้สนใจมาติดต่อขอทราบรายละเอียดในการลงทุนผลิตขายหลายราย หลังจากนั้นได้แสดงนิทรรศการในงานวันวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2546 และร่วมกับงานนิทรรศการ 10 ปี สกว. สัณฐารภาคเหนือเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546 ที่เชียงใหม่ คณะผู้วิจัยได้แบ่งสีย้อมสำเร็จรูปออกจำหน่ายในราคาต่ำกว่าต้นทุนและแจกให้ผู้ประกอบการได้นำไปทดลองใช้โดยเขียนวิธีใช้กำกับไว้ด้วย ปรากฏว่าได้รับความสนใจมากมีผู้ประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติมานำไปลองใช้หลายรายทั้งจากกรุงเทพฯ เชียงใหม่ และจังหวัดข้างเคียง และมีผู้ประกอบการร้านผ้าไหมที่เป็นชาวลาวจากเวียงจันทน์นำไปทดลองด้วย แต่ยังไม่ได้รับข้อมูลตอบกลับถึงผลการนำไปใช้ ล่าสุดมีกลุ่มพัฒนาชุมชนจังหวัดขอนแก่น ผู้ประกอบการสิ่งทอฝ่ายและไหมมาขอนำไปทดลองใช้แต่ยังไม่มีข้อมูลส่งกลับมาเพียงแต่บอกว่าหากได้มีการปรับปรุงและผลิตสีได้เพิ่มขอให้แจ้งให้ทราบด้วยจะนำไปทดลอง นอกจากนี้กลุ่มทำผ้าบาติคจังหวัดภูเก็ตได้ขอแบ่งสีไปทดลองทำบาติคด้วย

จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยได้รับความสนใจมาก สำหรับคู่มือการเตรียมสีและการย้อมที่จะเขียนนั้นยังต้องรอไว้ก่อนเนื่องจากต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้มีการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะการละลายเม็ดสีย้อมให้เหลือกากน้อยที่สุด การกระจายตัวของน้ำย้อมหลังละลายความสม่ำเสมอของสีหลังการย้อมและความคงทนต่อแสงของสารสีบางสีโดยเฉพาะสีเหลือง การผสมสูตรน้ำย้อมจากวัตถุดิบให้สีต่างๆ เพื่อให้ได้สีตามความนิยมและความต้องการของตลาดในแต่ละปีซึ่งหากมีโอกาสคณะผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยต่อไป

ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีย้อมธรรมชาติโดยส่งเสริมการปลูกครามในภาคเหนือโดยแจกเมล็ดครามที่ได้จากภาคอีสาน ที่จังหวัดแพร่เองก็ขยายเขตการปลูกครามมากขึ้นในปี 2546 นี้ การเพาะกลุ่มเซลล์พืชให้สีก็ดำเนินการอย่างต่อเนื่องหาวิธีการตรวจหาปริมาณสารสีที่ได้จากการปรับสภาวะการเลี้ยงให้เหมาะสม และเลือกเซลล์พืชให้สีที่เหมาะสมจะนำมาศึกษาการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์เพื่อผลิตสีต่อไป ส่วนการศึกษาสารสีจากจุลินทรีย์ ได้ทดสอบสารสีจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Serratia* ซึ่งแยกได้และปรับปรุงการเลี้ยงให้ผลิตได้มากแล้วนำมาสกัดสีและทดลองย้อมด้วยผ้าฝ้ายที่แช่มอร์แดงที่คือแทนนิน และสารส้ม เทียบกับที่ไม่แช่ พบว่าได้เจดสีม่วงน้ำเงินโดยผ้าฝ้ายที่แช่มอร์แดงที่เจดสีเข้มกว่าไม่แช่มอร์แดงได้ทนแสงดีพอสมควรแต่ยังไม่ได้ทดลองซัก ขึ้นต่อไปจะนำมาทดลองเตรียมน้ำย้อมและย้อมผ้าไหม และทดสอบคุณภาพตามวิธีที่ใช้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมต่อไป

ผลสรุปทั้งหมดในโครงการวิจัยระยะที่ 2 ในช่วง 2 ปี ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมในการขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้อยู่ในระดับที่เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้และเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่สกัดจากวัตถุดิบอื่นๆ ให้ได้เจดสีเพิ่มเติมนำมาทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ควบคู่กับการประเมินความยากง่ายของการผลิตการใช้และการเก็บรักษาสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมแก่การผลิตและการใช้ ผลการวิจัยได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสูตรต่างๆ ที่ใช้ได้ดีหลายสูตรและหลายเจดสีทั้งที่เป็นสีหลัก 3 สี คือสีแดง เหลือง น้ำเงิน และ สีอื่นๆ เช่นเขียว ส้ม ม่วง น้ำตาล สีเบส และสีดำ โดยการผสมสีหลักและสกัดจากพืชที่ให้เจดสีนั้นโดยตรง ทดสอบการนำมาย้อมและตรวจสอบคุณภาพความคงทนต่อการซักและแสงพบว่าอยู่ในระดับดี ทำการหาปริมาณเนื้อสีในผงสีสูตรต่างๆ และปริมาณสีที่เหมาะสมในการใช้สีย้อมสูตรต่างๆ ทำการคัดเลือกวัตถุดิบสารให้สีที่มีปริมาณมากและถ้าเป็นพืชก็เป็นชนิดที่ส่งเสริมการปลูกง่ายเพื่อแนะนำส่งเสริมการปลูกวัตถุดิบสารให้สีที่จะนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างพอเพียงโดยไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า อย่างไรก็ตามยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้มีชนิดและเจดสีมากขึ้นตามความต้องการของตลาด วิธีการผลิตที่ง่ายขึ้นมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยลง แต่ให้ได้ผงสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ใช้ได้ง่ายขึ้นและเหมาะกับการใช้ย้อมเส้นใยชนิดต่างๆ นอกเหนือจากผ้าฝ้ายและไหม นอกจากนี้การเผยแพร่ผลงานวิจัยของโครงการวิจัยระยะที่ 2 ในงานครบรอบ 10 ปี สกว. ระหว่างวันที่ 19-23 กุมภาพันธ์ 2546 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานครและออกรายการโทรทัศน์ "คนไทยวันนี้" ของช่อง 7 สี เมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2546 ได้รับการชมรับชมอย่างมากมาจากทั้งภาครัฐและเอกชน มีผู้แสดงความสนใจที่จะลงทุนผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป มีผู้สนใจจะใช้สีผงสำเร็จรูปในการย้อมสิ่งทอ (ผ้าฝ้าย ผ้าไหมและเส้นใยอื่นๆ) โครงโบไม้ กระดาษสา เขียนผ้าบาติก เขียนรูปบนกระดาษ เครื่องไม้ มีผู้ต้องการใช้สีธรรมชาติเป็นสีผสมอาหารและเครื่องสำอาง ภาชนะพลาสติกใส่อาหาร รวมทั้งผู้ที่สนใจจะซื้อผลิตภัณฑ์สีย้อมดังกล่าวไปใช้และจำหน่ายอีกด้วย การเปิดตัวผลงานวิจัยชิ้นนี้จุดประกายให้เกิดความคิดสร้างสรรค์หลากหลายทั้งผู้ประกอบการนักวิชาการ และคณะผู้วิจัยเองก็เกิดแนวความคิดในการพัฒนาสารสีธรรมชาติให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากเป็นสีย้อม ดังนั้นงานวิจัยขั้นต่อไปทางด้านสีธรรมชาตินี้จึงน่าจะทำการปรับปรุงสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและมีราคาต้นทุนถูกลงสามารถแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์และให้มีความพร้อมที่จะผสมสูตรสำเร็จจากวัตถุดิบต่างๆ ให้ได้สีและเจดสีต่างๆ ตามความนิยมและความต้องการของตลาด ควรดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการพัฒนาสารสีธรรมชาติให้ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งที่เป็นสีย้อม สีผสมอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง ยารักษาโรค เครื่องเขียน สีวาดรูปและอื่นๆ โดยให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมและเพื่อส่งเสริมและจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากองค์กรและบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ตลอดจนคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและบุคคลากรสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและความสะดวกในการติดต่อประสานงานด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความสนับสนุน ทุกๆ ด้าน ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและทีมงานการพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัวที่ใช้ความสะดวกเรื่องสถานที่การประชุมแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น ขอขอบคุณภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพที่อนุญาตให้บุคคลากรเข้ามาร่วมงานตลอดจนสถานที่และเครื่องมือในการทดลองบางส่วน ขอขอบคุณกลุ่มหอผ้าทุกกลุ่มในภาคเหนือและภาคอีสานที่ได้ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติตลอดจนวัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสีและแหล่งของวัตถุดิบดังกล่าว

ขอขอบคุณ Prof. Sui – Tein Chen และ ดร.ศุภโชค สิ้นไชยกุล จาก Department of Biological Chemistry, Academia Sinica, Taiwan, Professor Dr. Kazuo Yamasaki และ Assoc. Prof. Dr.Ryuji Kasai จาก Department of Medicinal Chemistry of Natural Product, Institute of Pharmaceutical Sciences, School of Medicine, Hiroshima University, Hiroshima และ Dr. Emi Okuyama, laboratory of Natural Product Chemistry, Chiba, University Chiba, Japan ที่ช่วยตรวจวัดสารให้สีจากวัตถุดิบที่ใช่ทดลองด้วย Mass spectrometry และ H^1 , C^{13} -NMR spectrometry เพื่อหาโครงสร้างเคมีของสารให้สี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ใกล้ชิดของทีมงาน ที่เป็นกำลังใจให้แก่ทุกคนในทีมงานตลอดเวลา 2 ปีที่ผ่านมา ท้ายสุดนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ประกอบการและผู้นิยมใช้สีย้อมธรรมชาติที่ช่วยให้แนวความคิดและสร้างแรงบันดาลใจให้กับคณะผู้วิจัยในการค้นคว้าพัฒนาสารสีธรรมชาติให้บรรลุวัตถุประสงค์ตรงตามเป้าหมายตามความต้องการของตลาด

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2547

บทคัดย่อ

ในการวิจัยเพื่อขยายขนาดการผลิตสีแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ชม้น ครามและฮ่อม เพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้เชิงพาณิชย์นั้นเริ่มจากการสกัดสารสีจากวัตถุดิบธรรมชาติตั้งต้นในปริมาณมากเพื่อให้ได้น้ำสีปริมาณมากแล้วทำแห้งเป็นผงสีจากนั้นทดลองหาสูตรผสมผงสีโดยใส่สารที่ช่วยให้เม็ดสีเกาะตัวเป็นแกรนูลเช่น แลคโตส แป้งมัน อบแห้งแล้วนำเม็ดแกรนูลมาทดสอบการละลายคำนวณปริมาณเนื้อสีต่อกรัมเม็ดสี ทำการทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสี สำหรับการหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับทำผงสีสำเร็จรูปเป็นเม็ดแกรนูลใช้ผงสีจากครามและฮ่อมทดสอบโดยใช้น้ำตาลแลคโตส หรือแป้งมันเป็นส่วนผสมพบว่าเม็ดแกรนูลที่ได้กระจายตัวในน้ำได้ยาก เมื่อเติมสารที่ช่วยในการย้อมสีพวกกรดซิตริก สารส้ม น้ำปูนใส และ wetting agent แล้วอัดเม็ดแกรนูลพบว่าเม็ดแกรนูลที่ได้กระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น เม็ดแกรนูลของสีทุกสูตรที่ทำสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดที่ 60°C แต่ก็ยังละลายไม่หมดถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีกก็ตามต้องการทั้งก่อนนำไปย้อม ผ้ายที่ย้อมด้วยสีแกรนูลที่มีแลคโตสผสมจะย้อมติดสีอ่อนสม่ำเสมอเพราะมีปริมาณเนื้อสีต่อกรัมน้อย แต่ที่ผสมด้วยแป้งมันสีจะต่างเพราะความร้อนที่ย้อมทำให้แป้งกลายเป็นแป้งเปียกเกาะติดผ้ายทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ ส่วนวิธีหาปริมาณสารสีในสีแปรรูปนั้นจากการวิเคราะห์สารสีสกัดจากครามและฮ่อมพบว่ามียอดประกอบหลัก 2 ชนิด คือสารสีน้ำเงินเป็นอินดิโกและสารสีแดงเป็นอินดิโรบิน อินดิโกดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 611 นาโนเมตรจึงหาปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิโก ผลการหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลของสีย้อมสำเร็จรูปพบว่า เม็ดแกรนูล 1 กรัมจะมีอินดิโกอยู่ 2.8 มิลลิกรัม ถ้าตั้งต้นจากตะกอนเปียกของสารสีสกัด แต่ถ้าเริ่มจากผงสีแห้งปริมาณอินดิโกต่อกรัมเม็ดแกรนูลเท่ากับ 66.8 มิลลิกรัม ดังนั้นน่าจะเตรียมเม็ดแกรนูลจากผงสีแห้งที่ทำแห้งด้วยเครื่อง spray dryer อย่างไรก็ตามการขยายการผลิตสีธรรมชาติจากรากยอป่า ครั่ง และฮ่อมนั้นยังมีปริมาณไม่เพียงพอแก่การนำไปเผยแพร่เนื่องจากมีปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dryer เสียอย่างถาวร คณะผู้วิจัยต้องเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) แทน แต่ก็ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงน้ำย้อมสำเร็จรูปให้เหมาะสมต่อไป

ในการทดสอบการย้อมผ้ายด้วยสีธรรมชาตินั้นเท่าที่ผ่านมาพบว่าผ้ายจะติดสีอ่อนและผลการทดลองในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้พบว่าการทำ premordant ผ้ายด้วยโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองก่อนย้อมจะทำให้ผ้ายย้อมสีติดเข้มและมีความคงทนต่อการซักขัดถูและแสงอยู่ในระดับดี ดังนั้นก่อนจะทำการขยายการผลิตสีแปรรูปสูตรต่างๆ คณะผู้วิจัยได้ทดลองหาปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองหรือจากน้ำมันที่เหมาะสมในการทำ premordant ผ้ายที่ทำความสะอาดแล้วก่อนนำมาย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติให้ติดสีเข้มขึ้นพบว่าปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปก็เพียงพอที่จะนำไปต้มกับผ้ายในอัตราส่วน 1: 20 (น้ำหนักผ้ายต่อปริมาณน้ำโปรตีน) แล้วทำให้ผ้ายติดสีย้อมเข้ม

ขึ้น ถ้าเริ่มจากแบ่งผิวเปลือกหรือบนผิวด้านหนึ่งของผิวด้านที่ใช้น้ำที่ละลายมีผลต่อการละลายของปริมาณโปรตีนและอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ต้มจะทำให้โปรตีนละลายออกมาได้มากขึ้นด้วย ถ้าใช้ผิวด้านเปลือกหรือบนผิวด้านที่ใช้น้ำที่ละลายมีผลทำให้แบ่งที่ปนอยู่เกาะฝ่าย ทำให้ฝ่ายแข็งและน้ำสีเข้าฝ่ายได้ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังได้เตรียมน้ำสกัดจากผิวเปลือกแล้วทำแห้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลและหาปริมาณโปรตีนต่อกรัมของเม็ดแกรนูลต่อน้ำในสัดส่วนที่ทำให้โปรตีนละลายออกมามากที่สุดที่อุณหภูมิห้องเพื่อเตรียมไว้เผยแพร่พร้อมกับสีย้อมสำเร็จรูปที่เตรียมขึ้น

ได้ทำการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวด้านที่สกัดและรากยอป่า ที่ทำแห้งด้วยเครื่อง spray dryer และจากการสกัดด้วยอัลกอฮอล์แล้วทำเป็นผงสกัดเข้มข้น นำมาทดลองปรงสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปแล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลทดสอบการละลาย สีของสารละลาย การย้อมและความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีแล้วทำการคัดเลือกสูตรที่ใช้ได้ดีที่สุดมาทำการขยายขนาดการผลิต สำหรับสีจากรากยอป่าได้สูตร M1 สีจากครั้งได้สูตร L4 และยังได้ทดลองผสมน้ำย้อมสูตร M1 และ L4 เพื่อให้ได้เฉดสีออกสีแดงส้ม ทำแห้งเป็นสูตร ML14 การสกัดและปรงสูตรน้ำย้อมสีเหลืองจากขมิ้นนั้น พบว่าขมิ้นมีน้ำมันมากเวลาสกัดนำมาทำแห้งสีเกาะเป็นก้อนแข็ง เข้าเครื่องทำแห้งจะทำได้ยากมากจึงได้สกัดน้ำมันออกก่อนด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำแล้วนำน้ำสีที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาปรงสูตรทำแห้งแล้วอัดเม็ดแกรนูลพบว่าสามารถทำได้จึงเลือกเป็นวิธีไว้ขยายขนาดการผลิตต่อไป สีจากครามและฮ้อมเริ่มจากการหมักเป็น paste แล้วนำ paste มาผสมสูตรโดยใช้กรดซิตริกหรือกรดทาร์ทาริก หรือครีมออฟทาทาร์มาช่วยปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วง 10-10.5 ก่อนทำแห้ง ได้เลือกสูตร I₂ สำหรับขยายขนาดการผลิต ผงใบยูคาลิปตัส นำมาสกัดน้ำมันออกแล้วทำแห้งได้น้ำย้อมสีน้ำตาลออกครีมติดทนและยังใช้เป็นมอร์แดนทีในการผสมน้ำสีสูตรอื่นๆ ได้ด้วย

ได้นำวัตถุดิบที่ให้สารสีชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมพบว่า สารสีเหลืองจากผักเชียงดาก็สามารถนำมาทำแห้งและย้อมฝ้ายได้สีเหลืองสวย น้ำสกัดครั้งแรกสีเขียวออกเหลืองเมื่อต้มต่างปูนขาวได้สีเหลืองแต่สีติดฝ้ายไม่ทนแสงไม่เหมาะใช้ย้อมผ้าอีกทั้งผักเชียงดามีสารต้านอนุมูลอิสระมากเหมาะจะใช้ผสมอาหารมากกว่า สำหรับสารสีเหลืองนั้นยังได้จากเปลือกหอมหัวใหญ่ เปลือกส้มเขียวหวานและผิวเปลือกผลมะกรูดโดยต้องสกัดน้ำมันออกก่อนแล้วจึงนำน้ำสกัดที่เหลือมาต้มต่างผสมสูตรสำหรับทำแห้งเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป สีจากผิวเปลือกผลมะกรูดยังให้น้ำย้อมที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวด้วยมะกรูด (*Citrus hystrix* Linn.) ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae เมื่อนำผิวเปลือกผลมาสกัดสีออกแล้วแยกบริสุทธิ์หาโครงสร้างพบว่า เป็นสารประกอบ Flavanone ที่มีชื่อว่า Hesperidin สีเหลืองจากมะกรูดนี้ได้ทดลองผสมกับสีอินดิโกจากครามและฮ้อมได้เป็นสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสีเขียวอ่อนถึงแก่ขึ้นกับสัดส่วนการผสมระหว่างสองสีนี้ สูตรที่ใช้ได้ดีที่เหมาะสมสำหรับการขยายขนาดการผลิตคือ สูตร GIF1 นอกจากนี้ยังมีสีจากเปลือกไม้สะนอยหรือไก่แดง (*Terstraenia gymnanthera* Bedd.) ถูกจัดอยู่ในวงศ์

Theraceae เมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำต่างได้น้ำย้อมสีน้ำตาลแดงเข้มเติมสารส้มได้น้ำย้อมสีส้ม เมื่อแยกสกัดสารสีจากเปลือกไม้สะนอยพบองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นสารประกอบ Triterpenoid ชนิด Lupane-type triterpene และอีกชนิดหนึ่งเป็นสารประกอบจำพวกแทนนินชนิด Condensed tannin ทำการสกัดและผสมสูตรทำแห้งไว้เป็นสีย้อมสูตร B3 และ B4 และไว้เป็นมอร์แดนท์สำหรับสูตรผสมอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังได้ศึกษาสีจากดอกทองกวาว (*Butea monosperma* Lamk.) เป็นสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ให้สีส้มในน้ำต่างปูนใสผสมเป็นสูตรสีย้อมสำเร็จรูปและทำแห้งทดลองย้อมได้สีส้มไม่ใคร่ทนแสง สีส้มระหว่างสีแดงของครั่งหรือเปลือกสะนอยกับอินดิโกจากครามหรือย้อมให้สีย้อมสำเร็จรูปที่เป็นสีม่วงสูตร V1B1, V1B2 และ LI42 ซึ่งเป็นโทนสีม่วงต่างๆ กันตั้งแต่ม่วงน้ำตาล ม่วงแดง และม่วงน้ำเงิน

ได้ทำการทดสอบการใช้สีผสมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ ในการย้อมผ้าฝ้าย ไหม บานปอ ไยกันขง และเยื่อกระดาษพบว่า การละลายของสียังไม่ดีเท่าที่ควรสีบางสีมีตะกอนมาก สีบางสีที่ผสมกับสีน้ำเงินของอินดิโกจะย้อมไม่ติดสีอินดิโกและได้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายของสีย้อมสูตรสำเร็จรูปจากครั้งพบว่า ผงสี 35 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ติดสีเข้มและใช้ผงสีอย่างประหยัด

ได้ประชาสัมพันธ์สีผสมสูตรสำเร็จรูปแก่ผู้ประกอบการใน 7 จังหวัด ภาคอีสาน และภาคเหนือ ร่วมแสดงนิทรรศการผสมสีย้อมสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ย้อมสี ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ในงานครบรอบ 10 ปี สกว. เมื่อปลายเดือนกุมภาพันธ์ 2546 และออกรายการคนไทยวันนี้ทางสถานีโทรทัศน์ช่อง 7 สี เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 นิทรรศการวันวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2546 และนิทรรศการ 10 ปี สกว. สัญจรภาคเหนือที่จังหวัดเชียงใหม่ในเดือนธันวาคม 2546 และให้คำปรึกษาเรื่องการผลิตและใช้สีย้อมธรรมชาติแก่โครงการ “บ้านทอฝัน” ที่อ.สังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และผู้ผลิตและผู้ใช้สีธรรมชาติที่สนใจทั่วไป

ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติโดยการส่งเสริมการปลูกไม้ให้สีที่ใช้มากคือฮ่อมและคราม การเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี เช่นรากยอป่าที่สามารถได้กลุ่มเซลล์ที่ผลิตสารสีเช่นเดียวกับรากของต้นยอป่าและกำลังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงให้เซลล์ผลิตสารสีได้มากขึ้นโดยใช้เวลาน้อยลงโดยปรับปรุงอาหารและภาวะการเลี้ยงเช่นการให้แสงและการเพาะในที่มืด เป็นต้น ส่วนการศึกษาสารให้สีจากจุลินทรีย์นั้นได้ศึกษาการผลิต pigment สีแดงจากแบคทีเรีย *Serratia* sp. PB ที่สกัดได้จากเห็ดน้ำหมากปรับปรุงภาวะการเลี้ยงและอาหารและพยายามใช้อาหารที่มีราคาถูกลงและเลี้ยงเซลล์ในถังหมักโดยการตรึงเซลล์ไว้บนฟองน้ำ และวัสดุตรึงเซลล์ต่างๆ พบว่าสามารถผลิตสีได้มากขึ้นกว่าเดิมและแยกเซลล์ออกจากน้ำเลี้ยงง่าย สีที่ได้สกัดออกจากเซลล์ได้ง่ายด้วย acidic ethanol ได้ทดลองนำมา

เตรียมน้ำย้อมและย้อมผ้าได้สีม่วงที่มีความคงทนขึ้นต่อไปจะทำการผลิตให้มากขึ้นและนำมาแยก
บริสุทธิ์ ศึกษาสมบัติและโครงสร้างทางเคมีต่อไป

Abstract

Expanding the production of ready-to-use natural dyes from morinda root, lac dye, *Curcuma longa* Linn., kram (*Indigofera tinctoria* Linn.) and hom (*Baphicacanthus cusia* Brem.) to get enough products for promotion was started by extracting pigments from large amount of natural raw materials to yield large amount of pigmented solution and dried to powder followed by mixing the dye stuff with lactose or tapioca starch for granulation. The amount of pigment per gram of granulated dye was determined. The granulated dyes were tested for dyeing and the quality of the dyed products were determined. The powder of the indigo dye from Kram and Hom was used to find the proper condition for the preparation of ready-to-use dye in granulated form. Using only lactose or starch powder to mix with the dye power, the granulated dye was difficult to disperse in water. The dispersion of the granulated dye was improved by mixing of some materials that always used in the dye bath namely, the potassalum, citric acid, calcium hydroxide and wetting agent with the dye powder before granulation. All granulated dyes dissolved well in water at 60°C but still some residue was left even at higher temperature which had to be filtered out before dyeing. The cotton dyed with the granulated dye containing lactose yielded smoothly pale colour due to low amount of pigment per gram of granulated dye while the granulated dye containing starch gave unevenly dyed product since the heat in the dyeing process led to sticky starch on the surface of the material to be dyed. Two major components were found in the extracted pigment from Kram and Hom, the blue pigment was indigo and the red pigment was indirubin. Indigo had maximum absorption at 611 nm and the amount of indigo in the granulated dye was then determined by uv-visible spectroscopic method using standard indigo as reference. It was found that granulation of indigo dye from indigo paste yielded 2.8 mg of indigo per gram of granules whereas granulated indigo dye from indigo powder gave 66.8 mg of indigo/ g of granule. Therefore, the dry powder of dye stuff should be used for preparation of granulated dye. Unfortunately, the spray dryer was permanently out of order and the amount of granulated dyes prepared by this method were still not enough for distribution to the user. However, we had got useful information to modify the proper formula for preparation of ready-to-use dyes using drum dryer instead.

Normally, cotton dyed with natural dyes gave low intensity of the color and the result obtained from phase 2 of our research project revealed that premordanting of cotton by

protein from soya bean milk before dyeing gave higher color intensity on the cotton. So, we varied the amount of soya bean or milk protein for premordanting cotton and found that the concentration of protein solution from 1 mg/ml for boiling cotton in a ratio of 1:20 (cotton wt/ volume of protein solution) was enough to obtain higher color intensity with good wash and light fastness. If soya bean starch or milk powder was used, the ratio of the powder to dissolving water effected the amount of the solubilized protein and at higher temperature with longer boiling period, more protein could be solubilized. If too high concentration of soya bean or milk was used, the starch would coat the cotton and the dye could not bind evenly to the cotton. Moreover, We also prepared the granulated soya bean milk and determined the amount of protein per gram of granule including the amount of soya bean milk granules in proper volume of water that highest amount of protein could solubilize at room temperature. This granulated soya bean milk was plan to promote the same time as the prepared ready-to-use dyes.

Production of ready-to-use natural dye started by using the lac dye and morinda root dye powder obtained from spray dry and from concentrated alcoholic extract. We prepared the dye solution in various formula which ready-to-use in the dye bath dried on drum dryer and granulated in the granulator. The water solubility of the granulated dye and pH of the dye solution were tested. The dye solution was used for dyeing cotton and the fastness of the dyed products were measured. The good formula were selected for the production of the ready-to-use dye in large quantity. The formula M1, L4 and ML14 were good formula from morinda root dye, lac dye and the mixture of the dye formula M1 and L4 in a ratio of 1:1 by volume, respectively. The dye extract from curcumin could not get powder on drying due to too much volatile oil in the extract. The volatile oil could be separated out by steam distillation before formulating the dye solution and drum drying. The granulated dye preparation from kram and hom started with indigo paste. The indigo paste was formulated with citric or tartaric acid or cream of tarta and the pH of the dye solution was adjusted to 10-10.5 before drying. In this case, the formula I2 was selected for large quantity production. The granulated dye from Eucalyptus leaves was also prepared after removing the volatile oil by steam-distillation which gave bage color on dyeing. This dye could also be used as mordant for dyeing and preparing other dye formula.

Some more other raw materials for natural dyes were also explored. It was found that yellow pigment from Pak Chiangda (*Gymnema inodorum* on *S. typhi*), a kind of vegetable could be used for dyeing in alkali condition but the dye gave poor light fastness. This vegetable contained a lot of antioxidant compounds which would be more useful in food than for dyeing. The yellow pigment could be also found in the peels of onion, orange and leech lime (*Citrus hystrix* Linn.) in Rutaceae family. These fruits contained a lot of volatile oils which had to be removed before preparation of the ready-to-use dye. The major component of the dye from *Citrus hystrix* Linn. was flavanone compounds called hesperidin which gave yellow color in alkali solution. This yellow pigment could be mixed with the blue color of indigo extract and gave yellowish green to bluish green dye solution depending on the ratio of these two pigments. The best formulae was GIF1. Another ready-to-use dye was prepared from the tree's bark called Snai or Kaidang (*Ternstroemia gymnanthera* Bedd.) in Theaceae family. This formulae gave redish-brown on dyeing cotton. Two major components could be found in the extract, one was Lupane-type triterpene and the other was condensed tannin. The best formula were B3 and B4 and these could also be used as mordants in natural dye dyeing. Moreover, the orange dye could be prepared from Tongkaow flower (*Butea monosperma* Lamk.), the pigment was flavonoid which gave orange-red color on dyed cotton but it had poor light fastness. The mixture between red color of lac dye or Kaidang bark and blue color of indigo gave various purple color tones from brownish-purple, redish-purple and bluish purple of the dye formula V1B1, V1B2 and LI42, respectively.

The prepared ready-to-use dyes were used in dyeing cotton, silk and other natural fibres. It was found that solubility of the dyes were not good enough, some dyes left too much residues. Indigo in some mixed dye formula had poor penetration into the fiber and lost of the blue color in the dyed product. The suitable amount of ready-to-use lac dye was 35 g of granulated dye per 1 liter of water for dyeing cotton in a ratio of 1:10 (weight of cotton : volume of dye solution).

The ready-to-use dyes had been promoted to the user at 7 provinces in the north and northeast region of Thailand. We had also joined the 10th Anniversary of Thailand Research Fund(TRF) exhibition at Sirikit National Meeting Center in February and at Chiang

Mai in December, 2003. The promotion was also in television channel 7 program "Thai people today " in May, 2003. Finally, we gave some advise on preparation of natural dye and dyeing process to the producers and users who showed their interest.

To obtain enough raw material for the production of the modified natural dyes, the common use pigmented plants such as Kram, Hom, Morinda, Curcuma longa etc. should be more cultivated. Another alternatives to increase the pigment productivity were to culture the pigmented plant cells and studied the pigmented microorganisms. We could culture the morinda root cells to produce the same pigments as the morinda plant. We also studied the pigmented bacteria *Serratia* sp. RB isolated from red mushroom and increased production by immobilized cells in polyethylene sheets. The red pigment was easily extracted by acidic ethanol and show the potential of using as natural dye.

สารบัญ

	หน้า
Excutive summary	A1
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ฉ
สารบัญ	ญ
บทที่ 1 บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.1 สีธรรมชาติและแหล่งของสารสี	1
1.2 เคมีของสารสีและสีย้อม	8
1.3 สารเคมีในสีธรรมชาติ	10
1.4 การวิเคราะห์สารสีธรรมชาติ	15
1.4.1 การแยกบริสุทธิ์	15
1.4.2 การวิเคราะห์	16
1.5 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ	18
1.5.1 ชนิดของเส้นใย	18
1.5.2 กรรมวิธีการย้อม	20
1.5.3 ความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ	22
1.5.4 คุณค่าของสีย้อมธรรมชาติและข้อจำกัดของการย้อม	25
1.6 การวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติและ การย้อม	26
1.6.1 ประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัยและพัฒนาการ	“
ย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทย	27
1.6.2 พลิกฟื้นภูมิปัญญาไทยด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	28
1.6.3 กรอบวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติ	34
บทที่ 2 การพัฒนาการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มคงทน	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1 ผลการวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติ	36
2.2 การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มและคงทน	38
2.3 การทดลองทำ premordant ผ้าด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองและน้ำมัน และการใช้สีย้อมอย่างมีประสิทธิภาพ	39
2.4 การศึกษาหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันใน การต้มผ้าที่ทำความสะอาดแล้วก่อนย้อม	42
2.4.1 การเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเม็ด	
2.4.2 การหาปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งต่างๆ ที่สามารถ นำมาต้มกับผ้าให้ติดสีย้อมดีขึ้น	44
2.4.3 หลักการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีการจับสี Coomassie brilliant blue	45
2.4.4 วิธีการ treat ผ้าด้วยโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ด้วยความเข้มข้นต่างๆกันก่อนนำผ้าไปย้อมสีธรรมชาติ	49
2.4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโปรตีน จากน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)	51
2.4.6 การทดลองย้อมผ้าที่ต้มกับน้ำโปรตีนปริมาณต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ	52
2.4.6.1 การ treat ผ้าด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง คอยคำและนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ โดยแปรปริมาณจาก 0-1.8 และ 0-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ	53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.6.2 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากผงน้ำถั่วเหลืองสกัด และทำแห้งแบบลูกกลิ้งโดยแปรปริมาณจาก < 0.04-0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	54
2.4.6.3 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้ว โดยแปรปริมาณจาก 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร	56
2.5 สรุปผลการทดลองทั้งหมด	59
บทที่ 3 การพัฒนาการผลิตสึครามธรรมชาติสำเร็จรูป	60
3.1 ความเป็นมาของการย้อมสึครามจากธรรมชาติ	60
3.1.1 พันธุ์ไม้ที่ให้สึคราม	61
3.1.2 ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ว่าด้วยสึครามและการย้อม	63
3.1.3 ภูมิปัญญาดั้งเดิมในการเตรียมสึครามและ การย้อมครามจากธรรมชาติ	65
3.1.3.1 การผลิตเนื้อสึคราม	66
3.1.3.2 การก่อก้อนครามหรือการเตรียม น้ำย้อมคราม	67
3.1.3.3 การชุบสึครามหรือการย้อมสึคราม	68
3.2 การวิจัยเพื่อเตรียมสึครามจากธรรมชาติและพัฒนาเป็น สีย้อมสำเร็จรูปจากพื้นฐานภูมิปัญญาดั้งเดิม	69
3.2.1 ผลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีน้ำเงิน จากครามและย้อมจากการวิจัยระยะที่ 1	69
3.2.2 รายละเอียดผลงานวิจัยการผลิตสึครามธรรมชาติ สำเร็จรูปจากโครงการพัฒนาสารสีธรรมชาติระยะที่ 2	73

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.2.1 การหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับ	
ผงสีสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูล	73
3.2.2.2 การทำเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ จาก	
ผงสีครามและฮ่อม การหาปริมาณ	
เนื้อสีและทดสอบการละลาย	74
3.2.2.3 ผลการศึกษาการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป	79
3.2.2.4 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากฮ่อม	
สีสำเร็จรูปจากครามธรรมชาติ	81
3.3 สรุปผลการวิจัยเพื่อการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูป	
และแนวทางการพัฒนาปรับปรุง	89
บทที่ 4 การเตรียมสีแดงจากธรรมชาติเป็นสีย้อมสำเร็จรูป	92
4.1 สารให้สีแดงในธรรมชาติ	92
4.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า	93
4.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยอป่าที่คัดเลือกมาศึกษา	93
4.2.2 การย้อมสีจากรากยอป่า	94
4.2.2.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมฝ้ายด้วยรากยอ	94
4.2.2.2 การสำรวจเอกสารกระบวนการย้อมสีจากรากยอ	95
4.2.3 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์สารสีจากรากยอ	96
4.2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดและแปรรูปจากรากยอป่า	97
4.2.5 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติแปรรูปจาก	
รากยอป่า	97
4.2.5.1 การสกัดสีจากรากยอป่าบดแห้ง	98

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.5.2 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิต เม็ดแกลนูลของสารสีสกัดจากรากยอป่าและ ทดสอบสมบัติการละลายน้ำ	99
4.2.5.3 การทดลองย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีจากรากยอ ป่าแปรรูปสูตรต่าง	101
4.2.6 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าสูตรต่างๆ	102
4.2.6.1 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M1	102
4.2.6.2 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M2, M3,M4และ M5	105
4.2.6.3 การเตรียมน้ำย้อมสีรากยอป่าสูตร M6	106
4.2.7 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า	108
4.2.7.1 การพัฒนาสูตรสำเร็จสีย้อมรากยอป่าสูตร M1	109
4.2.7.2 การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสีย้อมสำเร็จรูป	109
4.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้ง	110
4.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับครั้งและสีครั้ง	110
4.3.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมสีครั้ง	111
4.3.3 การสกัด วิเคราะห์องค์ประกอบหลักและศึกษาสมบัติ ของสารสีจากครั้ง	111
4.3.4 การศึกษาการแปรรูปสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1	112
4.3.5 การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากครั้ง	112
4.3.5.1 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิต เม็ดแกลนูลของสารสีสกัดจากครั้ง	113

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.5.2 การเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากครั่ง	115
4.3.5.3 การทดลองผสมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั่ง	117
4.3.6 การปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั่ง	118
4.3.6.1 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L1	119
4.3.6.2 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L2	119
4.3.7 การเตรียมสูตรสีย้อมจากครั่งโดยเริ่มจากน้ำล้างครั่งจาก โรงงานครั่งเม็ด	120
4.3.7.1 สูตรน้ำย้อมสีครั่งสูตร L3	120
4.3.7.2 สูตรน้ำย้อมสีครั่งสูตร L4	121
4.3.8 การหาความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อม	121
4.3.9 การหาปริมาณเนื้อสีจากครั่งในสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูป	123
4.3.10 การย้อมไหมและเส้นใยอื่นๆ ด้วยสีครั่งผงสำเร็จรูป	124
4.3.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตสีผงครั่งสูตร L4	124
4.3.12 สูตรสีย้อมสำเร็จรูปผสมระหว่างสีครั่งและรากยอป่า	125
4.4 สรุปผลการพัฒนาการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากรากยอป่าและครั่ง	126
4.5 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป	127
บทที่ 5 การผลิตสีย้อมธรรมชาติสีเหลืองสำเร็จรูป	128
5.1 วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองและการย้อม	128
5.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น	128
5.2.1 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้น	128
5.2.2 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น	129
5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C1	130
5.2.2.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C2	130

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2.2.3 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสุตร C3	131
5.2.2.4 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสุตร C4	131
5.2.2.5 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสุตร C5	132
5.2.2.6 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสุตร C6	132
5.2.2.7 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสุตร C7	132
5.2.3 การปรับปรุงสูตรสีเหลืองสำเร็จรูปจากขมิ้น	134
5.2.3.1 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสุตร C6	135
5.2.3.2 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสุตร C7	135
5.3 การหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองเพิ่มเติมจากขมิ้น	136
5.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผักเชียงดา	136
5.3.1.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G1	136
5.3.1.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G2	136
5.3.1.3 การตรวจสอบสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา	138
5.3.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	138
5.3.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมะกรูด	138
5.3.2.2 การสกัดสีเหลืองออกจากผิวเปลือกผลของมะกรูด	139
5.3.2.3 การแยกหาสารประกอบหลักสีเหลืองจากน้ำยาสกัด	
เอทานอลของผิวเปลือกผลมะกรูด	139
5.3.2.4 การแยกสารประกอบหลักสีเหลืองให้มีความบริสุทธิ์	140
5.3.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลัก	
สีเหลือง	140
5.3.2.6 สรุปผลการศึกษาสารประกอบหลักสีเหลือง	144
5.3.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	144

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.2.8 การปรับปรุงสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	147
5.3.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกส้มเขียวหวาน	149
5.4 สรุปผลการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีเหลืองจากธรรมชาติ	149
บทที่ 6 การผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสีอื่นๆ	151
6.1 วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีอื่นๆ นอกเหนือจากสีหลัก 3 สี	151
6.2 การค้นหาวัตถุดิบสารให้สีเพิ่มเติม สกัด วิเคราะห์ทางเคมี เตรียมน้ำย้อม และทดลองย้อมพร้อมกับการตรวจสอบคุณภาพ	151
6.2.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัส	153
6.2.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย(ไก่แดง)	154
6.2.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นสะนอย	154
6.2.2.2 การศึกษาทางพิษวิทยาของเปลือกต้นสะนอย	155
6.2.2.3 การสกัดและแยกหาองค์ประกอบหลักในน้ำยาสกัด เข้มข้นเอทานอลของเปลือกต้นสะนอย	156
6.2.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้	157
6.2.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารผลึกสีขาว ที่แยกได้จากน้ำยาสกัดเอทานอลของเปลือกต้นสะนอย	157
6.2.2.6 การแยกหาองค์ประกอบหลักที่ให้สีแดงในน้ำยา สกัดเข้มข้นเอทานอลของเปลือกสะนอย	159
6.2.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย	161
6.2.2.8 การตรวจสอบสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย	163
6.2.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากดอกทองกวาวและ เปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม	165

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.2.3.1 สีจากดอกทองกวาว	165
6.2.3.2 สีจากเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม	166
6.2.3.3 การหาปริมาณสารสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป	167
6.3 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปโดยการผสมสีหลัก 3 สีจากธรรมชาติ	168
6.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสม	
6.3.1.1 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและครั่งสูตร ML1	169
6.3.1.2 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C2	169
6.3.1.3 การเตรียมสีผสมจากไพล(Y1) เพกา (Y2) แก่นขนุน (Y3)	
สีขมิ้นผสมรากยอป่า (C3) เป็นสูตร Ymix	170
6.3.1.4 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C7	170
6.3.1.5 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่า ขมิ้นและอินดิโก	
จากฮ่อมสูตร G3	170
6.3.1.6 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและ paste	
จากฮ่อมสูตร G4	171
6.3.1.7 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและอินดิโก	
จากฮ่อมสูตร V1	171
6.3.1.8 การเตรียมสูตรสีผสมขมิ้นสูตร C5 และอินดิโกจาก	
ฮ่อมสีผสมสูตร G5	171
- 6.3.1.9 การเตรียมสูตรผสมสีขมิ้นกลั่นน้ำมันออกแล้วกับ	
อินดิโกจากฮ่อมสูตร C8	171
6.3.1.10 สีผสมจากผิวมะกรูด(Y4) และอินดิโกจากฮ่อม(I2)	
เป็นสีผสมสูตร G6	172

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.3.1.11 สูตรผสมสีจากย้อมสูตร I3 และผิวมะกรูด (Y4) เป็น G7	172
6.3.1.12 การเตรียมสูตรผสมสีเปลือกไม้ตะนอย(B4) และสี จากใบยูคาลิปตัส(E1) เป็นสูตร B4.1	172
6.3.2 การประเมินผลการเตรียมเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆ	174
6.3.3 การปรับปรุงและเพิ่มเติมการเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสม	176
6.3.3.1 สูตรสีเขียว	177
6.3.3.2 สูตรสีม่วง	178
6.4 การทดลองย้อมสีสูตรสำเร็จบนวัสดุอื่นนอกจากผ้าฝ้ายและไหม	180
6.4.1 การย้อมสีเชือกจากป่านและปอ	180
6.4.2 การย้อมสีโครงใบไม้	180
6.4.3 การย้อมสีรังบวบ	180
6.4.4 การย้อมสีเยื่อกระดาษ	181
6.5 สรุปผลการวิจัยการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ และข้อเสนอแนะ	181
บทที่ 7 การส่งเสริมการผลิตและการใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป	183
7.1 การประชาสัมพันธ์การผลิตและการย้อมสีธรรมชาติสำเร็จรูป	184
7.2 การแนะนำส่งเสริมให้ชุมชนทดลองใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น	188
บทที่ 8 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติ	191
8.1 การส่งเสริมการปลูกพืชให้สีและสารช่วยติดสี	192
8.2 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี	193
8.3 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์	198
8.3.1 การผลิตสารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์	199
8.3.2 การผลิตสารเมลานิน	199

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
8.3.3 การผลิตสารสีจากเชื้อรา	199
8.3.4 การผลิตสารสีจากแบคทีเรีย	201
8.4 สรุปผลการศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติ	205
เอกสารอ้างอิง	206
ภาคผนวก การทดสอบความคงทนของสีย้อม	216

บทที่ 1

บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนุษย์รู้จักการใช้สีจากวัสดุธรรมชาติคือ พืช สัตว์ ดิน หิน แร่ธาตุต่างๆ มาช้านาน โดยนำมาตกแต่งสีของอาหาร เครื่องแต่งกาย เครื่องมือเครื่องใช้ ที่อยู่อาศัยและในบางครั้งใช้เป็นยารักษาโรค การรู้จักใช้วัสดุจากธรรมชาติมาแต่งแต้มสีสันให้กับชีวิตในแง่มุมต่างๆ จึงเป็นความรู้อีกแขนงหนึ่งที่มีการพัฒนาการสืบทอดกันต่อมา แต่การถ่ายทอดจะมีกันเฉพาะภายในแต่ละครอบครัวหรือชนกลุ่มเดียวกันไม่เป็นที่แพร่หลายและไม่มีการบันทึกไว้เป็นหลักฐานประจวบกับการที่สังคมได้พัฒนาขึ้นไปสู่ยุคของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้ชนรุ่นหลังไม่สนใจที่จะศึกษาและสืบทอด ภูมิความรู้เหล่านี้จึงค่อยๆ สูญหายไปกับกาลเวลา นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการผลิตสีสังเคราะห์ขึ้นมากมายหลายสีหลายเฉดให้เลือก เป็นสีที่ย่อมง่ายมีความคงทนและราคาถูกทำให้มีผู้นิยมใช้สีสังเคราะห์กันมากขึ้น แต่สีเหล่านี้มักจะมีโครงสร้างเคมีเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นพิษต่อเยื่อผิวหนัง สมอง ระบบประสาท หัวใจและเลือด และยังทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ด้วยสาเหตุเหล่านี้ทำให้มีการหันกลับมาหาสีย้อมธรรมชาติกันมากขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษแต่ปัญหาของการใช้สีย้อมจากธรรมชาติก็มีมาก เช่น การเตรียมสีทำได้ยาก สีที่ได้แต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม กรรมวิธียุ่งยากซับซ้อนและมีความแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น สีไม่คงคน เป็นต้น ต้องมีการวิจัยและพัฒนาโดยอาศัยภูมิปัญญาดั้งเดิมประกอบกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเข้ามาประกอบเพื่อฟื้นฟูการกลับมาของความนิยมในการใช้สีธรรมชาติ

ชุมชนชาวไทยเองมีการใช้สีธรรมชาติมากกว่า 3000 ปีแล้วโดยการคาดคะเนจากหลักฐานภาพเขียนสีก่อนประวัติศาสตร์ที่ผาแต้ม จังหวัดอุบลราชธานี และงานหัตถกรรมสิ่งทออันเป็นมรดกทางวัฒนธรรมไทยก็เป็นอีกหลักฐานหนึ่งที่บ่งชี้ว่า ภูมิปัญญาการย้อมสีธรรมชาติบนเส้นใยธรรมชาติในผ้าโบราณอายุหลายร้อยปี หลังจากที่มีการผลิตสีสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2399 สีสังเคราะห์ก็เข้ามามีบทบาทแทนที่สีย้อมธรรมชาติมากขึ้นตามลำดับ เพราะใช้สะดวกกว่า มีคุณภาพดีกว่าและมีหลากหลายสีและหลายเฉดให้เลือกมากกว่า ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา กระแสเกี่ยวกับอันตรายจากสีสังเคราะห์บางกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็งประกอบกับกระแสต่อต้านมลพิษสิ่งแวดล้อมเป็นแรงผลักดันให้สีย้อมธรรมชาติกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้งหนึ่ง และการกลับมาใหม่ของสีธรรมชาตินี้มีปัญหาที่ท้าทายให้มีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยด้วย

1.1 สีธรรมชาติและแหล่งของสารสี

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ สีที่ได้จากพืชมักเป็นสารอินทรีย์ได้จากส่วนต่างๆ ของพืชตั้งแต่ราก เปลือก ราก ลำต้น เปลือกต้น แก่นไม้ ใบ ดอก ผลและเมล็ด สีจาก

สัตว์มักเป็นสีที่ได้จากแมลง เช่น ครั่งซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้นเป็นสีในกลุ่มสีแดงที่ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifera lacca* นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีย้อมอาหาร สีจากจุลินทรีย์พบมากในรา ยีสต์และแบคทีเรีย

ความรู้เกี่ยวกับต้นไม้อะและสัตว์ที่นำมาใช้ย้อมสีได้ถูกบันทึกไว้ตามเอกสารต่างๆ รวมทั้งถ่ายทอดด้วยปากเปล่าสืบมาจนถึงปัจจุบัน เช่น บันทึกของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติเกี่ยวกับสีที่ใช้ย้อมผ้า ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 สีย้อมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ

ย้อมด้วย	สี
ขมิ้นชัน ใบสักและเปลือกไม้	1. สีกาบ
แก่นขนุน	2. สีกาบแก่นหรือสีกลัก
ใบสมอป่า แก่นขนุน เปลือกเพกา	3. สีกาบสีเข้มเขียวหรือเขียวแก่
ใบแค	4. สีเขียวอ่อน
เปลือกสมอกับใบสมอ	5. สีเขียวแก่
ใบสับปะรดอ่อนกับน้ำมะนาวหรือน้ำมะกรูด	6. สีเขียวทองอ่อน
ขมิ้น แก่นไม้แกลแล แก่นขนุน ลูกมะกาย	7. สีเหลือง
แก่นแกลแล รากยอป่ากับผิวมะกรูด	8. สีเหลืองอ่อน
แก่นขนุน	9. สีเหลืองแก่
ดอกคำแสด	10. สีจำปา
แก่นยอป่า	11. สีไพร
รากยอป่า	12. สีนวล
ผลและใบแสด	13. สีแสด
เปลือกสมอ	14. สีแดงยอ
รากยอป่า ต่างไม้เหมือด ผลคำแสด	15. สีแดง
ใบครามและใบย้อม	16. สีน้าเงิน
สมอ มะเกลือ	17. สีดำ

นอกจากนี้กรมป่าไม้โดย วนิดา สุปรรณเสณีได้รวบรวมไว้ในหนังสือของป่าในประเทศไทยซึ่งแสดงไว้ใน ตาราง 1.2

ตาราง 1.2 สัตว์ธรรมชาติจากพืชและสัตว์

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้	สี
1	กรรณิการ์	<i>Nyctanthes arbor-tristis</i> Linn.	ผลสดดอก	เหลืองทอง
2	ก่อ	<i>Quercus</i> spp.	เปลือก	เหลืองเข้ม
3	ก้านเหลือง	<i>Nauclea orientalis</i> Linn.	แก่น	เหลือง
4	กระเจาย	<i>Caesalpinia sepiaria</i> Roxb	ลูก	ดำ
5	แกแล	<i>Maclura cochinchinensis</i> Corner.	แก่น	น้ำตาล
6	โงกทางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	เปลือก	น้ำตาล
7	โงกทางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	เปลือก	น้ำตาลแกมเหลือง
8	ขนุน	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamk.	แก่น ราก	เหลือง
9	ขนุนป่า	<i>Artocarpus lanceifolius</i> Roxb.	แก่น	เหลือง
10	ขมิ้นชัน	<i>Curcuma domestica</i> Valetton.	หัว	เหลือง
11	ขี้กา	<i>Adeia penangiana</i> Wilde.	เปลือก	เขียว
12	ขี้เหล็ก	<i>Cassia siamea</i> Britt.	แก่น	เหลือง
13	คนทา	<i>Harrisonia perforata</i> Merr.	ผล	ดำ
14	คราม	<i>Indigofera tinctoria</i> Linn.	ต้น	น้ำเงิน
15	คาง	<i>Albizia odoratissima</i> Benth.	เปลือก	น้ำตาล
16	แคขาว	<i>Dolichandrome rheedii</i> Seem.	ใบ	เขียว
17	เคี่ยม	<i>Cotylelobium melanoxylon</i> Pierre.	เปลือก	น้ำตาลดำ
18	คำป่า	<i>Mallotus philippinensis</i> Muell Arg.	ราก ดอก	แดง
19	คำฝอย	<i>Carthamus tinctorius</i> Linn.	ดอก	แดง
20	คำแสด	<i>Bixa orellana</i> Linn.	เมล็ด	แสด
21	แฉลบแดง	<i>Acacia leucophloea</i> Willd.	เนื้อไม้	แดงน้ำตาล
22	ตะขบไทย	<i>Flacourtia cataphracta</i> Roxb.	ใบ	เขียวขี้ม้า
23	ตะโกนา	<i>Diospyros retrofracta</i> Bakh.	ลูก	น้ำตาล

ตาราง 1.2 สัตว์รวมชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้	สี
24	ต้นเต้าตัน	<i>Diospyros ebertioides</i> wa.; Ex. G. Don.	ผล	ดำ
25	ดีวชน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Byer.	เปลือก	น้ำตาลเข้ม
26	ทองกวาว	<i>Butea monosperma</i> O.Ktze.	ดอก	เหลือง
27	ทับทิม	<i>Punica granatum</i> Linn.	เปลือกผล	เขียว
28	เทียนกิ่ง	<i>Lawsonia inermis</i> Linn.	ใบ	ส้มแดง
29	นนทรี	<i>Peltophorum pterocarpum</i> Back.ex Heyme.	เปลือก	น้ำตาลเหลือง
30	นมแมว	<i>Uvaria kurzii</i> King	เปลือก	น้ำตาล
31	ประดู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	แก่น	แดง
32	ประสัก	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> Lamk.	เปลือก	น้ำตาลแดง
33	โปรงขาว	<i>Ceriops decandra</i> Ding Hou.	เปลือก	น้ำตาล
34	ฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i> Linn.	แก่น	แดง
35	ฝาดแดง	<i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt.	เปลือก	สีอิฐ
36	พะยอม	<i>Shorea roxburghii</i> G. Don.	เปลือก	น้ำตาลส้ม
37	พุด	<i>Gardenia cikkubae</i> Craib.	เนื้อไม้	เหลือง
38	พุดซ้อน	<i>Ervatamia coronaria</i> Shapf	เมล็ด	แดง
39	เพกา	<i>Oroxylum indicum</i> Vent.	เปลือก	กาบิ
40	มะกล่ำต้น	<i>Adenanthera pavonina</i> Linn.	เนื้อไม้	แดง
41	มะกั้ม	<i>Canarium kerrii</i> Craib.	ผล	ดำ
42	มะเกลือ	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	ผล	ดำ
43	มะขามไทย	<i>Tamarindus indica</i> Linn.	ใบ	เหลือง
44	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> .	เปลือกใบ	น้ำตาลเหลือง
45	มะเดื่อหนอง	<i>Garcinia thorelii</i> Pierre.	ยาง	เหลือง
46	มะตูม	<i>Aegle marmelos</i> Corr.	เปลือกผลดิบ	เหลือง

ตาราง 1.2 สีสรรษชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้สี	สี
47	มะพลับ	<i>Dispyros embryopteris</i>	ลูก	น้ำตาล
48	มะทุค	<i>Garcinia vilersiana</i> Pierre.	เปลือก	เหลือง
49	มะยมป่า	<i>Ailanthus triphysa</i> Alston.	ใบ	ดำ
50	มะหาด	<i>Artocarpus lakoocha</i> Roxb.	เปลือก	น้ำตาลเหลือง
51	มังคุด	<i>Garcinia mangostana</i> Linn.	เปลือกผล	เหลือง
52	เม็ก	<i>Macranga tanarius</i> Mrell.Arg.	ใบ	น้ำเงิน
53	ยมหอม	<i>Toona ciliata</i> Roxb.	ดอก	สีแดง
54	ชอบ้าน	<i>Morinda citrifolia</i> Linn.	ราก เปลือก เนื้อไม้	เหลือง
55	ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Ram.	ราก เปลือก เนื้อไม้	แดง
56	ยูคาลิปตัส	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Behnh.	ใบ	เหลือง
57	รง	<i>Garcinia hanburyi</i> Hook. F.	ยาง	เหลือง
58	รกฟ้า	<i>Terminatia alata</i> Heyne ex Roth.	เปลือก	ดำ
59	เล็บรอก	<i>Toddalia asiatica</i> Lamk.	ราก	เหลือง
60	เลี่ยน	<i>Melia azedarach</i> Linn.	ใบ	เขียว
61	สนทะเล	<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst.	เปลือก	น้ำตาลแดง
62	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	เปลือก ผล	ดำ
63	สมอพิณ	<i>Terminalia bellerica</i> Roxb.	เปลือก ผล	เขียวขี้ม้า
64	สมอหิน	<i>Vitex pubescens</i> Vahl.	ลูก	ดำ
65	สะเดา	<i>Azadirachta indica</i> Juss. Var. <i>Siamenis valeaton</i>	เปลือก	แดง
66	สัก	<i>Tectona grandis</i> Linn.f.	ใบอ่อน แก่น	แดง
67	สับปะรด	<i>Ananas bracteatus</i> Schult.F.	ใบอ่อน	เขียว
68	สีฟัน	<i>Carallia lucida</i> Roseb	ลูก	ดำ

ตาราง 1.2 สีสรรพชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้สี	สี
69	สีเสียด	<i>Acacia catechu</i> Willd.	เนื้อไม้	น้ำตาล
70	สุพรรณิการ์	<i>Cochlospermum religiosum</i> (L.) Alston	แก่น	เหลือง
71	แสมดำ	<i>Avicennia officinalis</i> Linn.	เปลือก	น้ำตาลแดง
72	เสนียด	<i>Adhatoda vasica</i> (L.) Nees	ใบ	เหลือง
73	หม่อน	<i>Morus alba</i> Linn.	แก่น	เหลือง
74	หมาก	<i>Areca catechu</i> Linn.	ลูก	น้ำตาล
75	หว่า	<i>Eugenia cumini</i> (L.) Druce	ลูก	ม่วงอ่อน
76	ห้อม	<i>Strobilanthes fleccidifolia</i> Nees	ใบ	น้ำเงิน
77	หูกวาง	<i>Terminalia catappa</i> Linn.	ใบแก่	เขียวขี้ม้า
78	ช้อยช้าง	<i>Lannea coromandelica</i> Merr.	เปลือก	น้ำตาล
79	ช่อม	<i>Baphicacanthus cusia</i> Brem	ใบ	น้ำเงิน
80	ครั่ง	<i>Laccifer lacca</i> Kerr.	ตัวแมลง	แดง

จากต้นไม้ 80 ชนิดที่มีการนำมาใช้ย้อมสีในตารางที่ 2 ยังมีการนำต้นไม้อื่นๆมาผสมกันเพื่อให้เกิดเฉดสีเพิ่มมากขึ้น เช่น แก่นแกลกับต้นครามให้สีเขียว ใบแคสดกับขมิ้นผงให้สีทองอ่อน ผลหมากสุกกับแก่นแกลให้สีกากีแกมเหลือง ใบส้มป่อยกับขมิ้นให้สีเขียว เป็นต้น

ดังนั้นสีธรรมชาติจึงหมายถึง รงควัตถุหรือสารสีที่สังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะสะสมอยู่ในเซลล์หรือปลดปล่อยออกมานอกเซลล์โดยสารสีที่พบในพืชทั่วๆ ไป ประกอบด้วย เบต้าลาโนน เมลานิน แอนทราควิโนน และแนพทราควิโนน และสารสีที่พบในพืชบางสกุล เช่น คาโรทีนอยด์ แซนโทฟิลล์ และฟลาโวนอยด์ ส่วนแอนทราควิโนนเป็นสารสีที่พืชจะสังเคราะห์ในบางสภาวะเท่านั้น เช่น ในผลไม้สุก การนำสารสีจากพืชมาใช้เป็นสีย้อมธรรมชาตินั้นพบว่ามีการใช้สีแดงจากรากยอป่า ซึ่งเป็นสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนน นอกจากนี้ยังได้จากส่วนอื่นๆ ของพืช เช่น สีเหลืองจากขมิ้น แกล สีน้ำเงินจากครามและช่อม เป็นต้น สีย้อมจากพืชเหล่านี้จะต้องใช้พื้นที่ในการปลูกและระยะเวลาในการปลูกและการเก็บเกี่ยวนานซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันต้องมีการส่งเสริมการปลูกไม้ให้สีหลักให้มากขึ้นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นการเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติเสริมจากการส่งเสริมการปลูกคือการศึกษากายภาพและเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีที่สามารถให้สีได้มากในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่สั้นลง หากทำได้จะประหยัดพื้นที่และเวลาและสามารถสกัดสารสีให้บริสุทธิ์ได้ง่ายขึ้น สำหรับ

สารสีจากสัตว์โดยทั่วไปจะพบเมลา닌 และคาโรทีนอยด์ และยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ด้วย เช่น ในแมลงบางชนิดสามารถสร้างสารสีในกลุ่มฟลาโวนอยด์และควิโนน การนำรงควัตถุจากสัตว์มาเป็นสีย้อมในประเทศไทยมีเพียงครั้งชนิดเดียวเท่านั้น แต่ปัจจุบันคนไม่นิยมเลี้ยงครั้งเนื่องจากหันไปใช้สีสังเคราะห์สะดวกกว่าจึงทำให้ครั้งหาได้ยากมาก มีเพียงบางจังหวัดเช่น แพร่ ลำปาง ที่ยังมีผู้ปล่อยครั้งส่งโรงงานทำครั้งเม็ดซึ่งก็น้อยลงทุกทีเพราะขาดต้นไม้เช่น ต้นจำจาเพื่อปล่อยครั้งจึงควรส่งเสริมการปลูกต้นจำจาเพื่อการปล่อยครั้งให้มากขึ้นด้วย

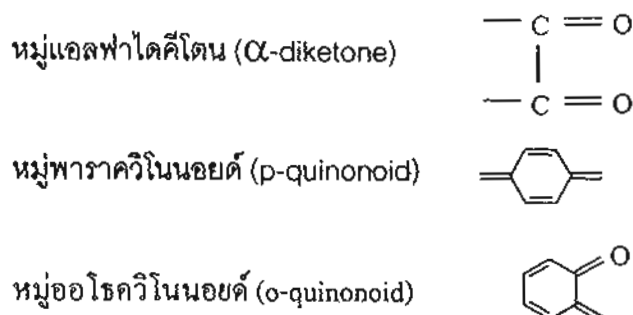
ในสิ่งมีชีวิตเช่น ไคเคนส์ ซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันของเชื้อรากับสาหร่าย หรือรากกับไซยาโนแบคทีเรีย พบว่าสามารถผลิตสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนนได้หลากหลายสี ได้แก่ สีเหลือง สีแดง จนถึงสีม่วงและเคยนิยมใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติในประเทศแถบสก็อตแลนด์และนอร์เวย์ โดยเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนในราวคริสต์ศตวรรษที่ 19 แต่ปัจจุบันไม่ได้มีการสืบทอดไว้การใช้สีย้อมจากไคเคนส์จึงหมดไป ที่ยังมีอยู่ก็คือการใช้เป็นสารสีในการย้อมสีทางชีววิทยาและใช้เป็นตัวชี้พีเอชของสารละลาย ดังนั้นการใช้สีย้อมธรรมชาติจากไคเคนส์จึงเป็นสีย้อมที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง ส่วนการสร้างรงควัตถุจากยีสต์และรา นั้นพบว่าเชื้อส่วนใหญ่สร้างรงควัตถุในกลุ่มควิโนน เช่น เชื้อรา *Furarium* และ *Nectria* สร้างแอนทราควิโนน ส่วน *Penicillium* และ *Aspergillus* สร้างแนพทราควิโนน นอกจากนั้นในเชื้อราชั้นสูงพบว่าการสร้าง คาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับในยีสต์ที่สร้างรงควัตถุหรือสารสีทั้งที่อยู่ในเซลล์และปล่อยออกมานอกเซลล์ มีทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ โดยสารสีที่ปล่อยออกมานอกเซลล์เป็นสารสีที่ละลายน้ำได้ ทั้งนี้สารสีจากเชื้อราสามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร เช่น สารสีจากเชื้อรา โมแนลคัส ที่เพาะเลี้ยงในข้าวแดง สารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์นั้นใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและทางการแพทย์เนื่องจากสารเคมีบางตัวมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสารสีบางชนิดในกลุ่มแอนทราควิโนนมีสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะ จะเห็นได้ว่าสารสีจากจุลินทรีย์ได้แก่เชื้อราเป็นสารสีอีกกลุ่มหนึ่งที่น่าสนใจโดยเฉพาะสารสีที่เชื้อราผลิตและปล่อยออกมานอกเซลล์ สามารถสกัดและนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายการเพาะเลี้ยงเชื้อราทำได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ เนื่องจากต้องการอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ซับซ้อนและการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงเพื่อผลิตสารสีก็ทำได้ไม่ยากนักสำหรับสารสีกลุ่มสุดท้ายเป็นสารสีที่ได้จากแบคทีเรีย พบว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ทั้งที่เป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงและไม่สังเคราะห์แสงสามารถผลิตคาโรทีนอยด์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเบต้าคาโรทีน แต่ไม่พบว่าแบคทีเรียผลิตควิโนนและเมลา닌 แบคทีเรียบางกลุ่มเช่น *Pseudomonas* sp. สามารถสร้างสารสีในกลุ่ม ฟีนานทีนซึ่งเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้และมีประโยชน์ในทางการค้าโดยการใช้เป็นสารปฏิชีวนะ นอกจากนี้ยังมีสารสีอีกกลุ่มหนึ่งที่แบคทีเรีย *Serratia* sp. สร้างขึ้นมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไตรไพโรล (tripyrrole) ให้สีแดงเข้มจนถึงม่วงมีชื่อเรียกว่า โปรดิโกอิน (prodigiosin) เป็นสารที่สกัดได้ง่ายและคงทนต่อแสง ออกซิเจนและความร้อนจึงเป็นสารสีอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาไปเป็นสีย้อมธรรมชาติ นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียในบางสปีชีส์ของ *Pseudomonas* ที่

สามารถสร้างสารสีน้ำเงินซึ่งเรียกว่าเป็น bacterial indigo เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายอินดิโกในพืช จึงน่าจะนำมาพัฒนาเป็นสีย้อมเสริมจากสีอินดิโกที่ได้จากครามและฮ้อม ดังนั้นการใช้สีย้อมธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพื่อทดแทนสีสังเคราะห์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถให้ผลผลิตสูงควบคุมสภาวะการผลิตได้ง่าย และจุลินทรีย์สามารถให้สีหลัก 3 สี คือ สีแดง เหลือง และน้ำเงิน ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ดังกล่าวจึงน่าจะเป็นอีกทางหนึ่งซึ่งเสริมจากการส่งเสริมการปลูกพืชให้สี

1.2 เคมีของสารให้สีและสีย้อม

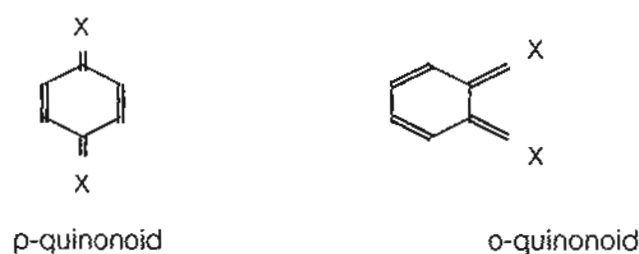
สารให้สีนั้นมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้สีมักจะเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะ หรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่นออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น สีประเภทนี้เคยใช้เป็นสีย้อมในอดีตโดยที่สารให้สีเหล่านี้จะเกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่มีความคงทนต่อแสงมาก ในประเทศไทยมีการย้อมสีในกลุ่มนี้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยการหมักโคลนและดินแดงซึ่งมีสารพวกอะลูมิเนียมซิลิเกตและส่วนให้สีเป็นออกไซด์ของโลหะที่มีอยู่ในโครงสร้างของดินส่วนมากโลหะที่ใช้ได้แก่ เหล็ก ตะกั่ว นิเกิล ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์และโครเมียม ตัวอย่างเช่น สีเหลืองจากตะกั่วโครเมต สีฟ้าที่ใช้ย้อมฝ้ายในอดีตได้จากออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียมเป็นต้นจะเห็นได้ว่าสีจากแร่โลหะดังกล่าวเป็นโลหะหนักซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในปัจจุบันจึงหมดความนิยมไป ส่วนสารให้สีในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์นั้นมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยธาตุคาร์บอนต่ออยู่กับอะตอมของธาตุอื่นๆซึ่งส่วนมากเป็นไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงเบนซีน (benzene ring) หรือเบนโซควิโนอยด์ (benzoquinoid) ตามปกติเบนซีนไม่มีสีแต่หากมีกลุ่มของอะตอมอื่นๆที่เหมาะสมมาแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมใดอะตอมหนึ่งหรือหลายอะตอมในเบนซีนจะได้สารประกอบที่มีสี สารให้สีอาจจะประกอบด้วยวงเบนซีนวงเดียวหรือมากกว่า ลักษณะและสมบัติของสารให้สีขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งที่กลุ่มของอะตอมอื่นๆมาเกาะติดอยู่บนตำแหน่งต่างๆของโครงสร้างนั้นๆการที่สารประกอบดังกล่าวให้สีได้เนื่องจากมีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีมีการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างกลุ่มของอะตอมเหล่านี้เรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophors) ได้แก่

หมู่ไนโตร (nitro) ซึ่งมีสูตรเคมี	NO_2
หมู่ไนโตรโซ (nitroso)	$-\text{N}=\text{O}$
หมู่เอโซ (azo)	$-\text{N}=\text{N}$



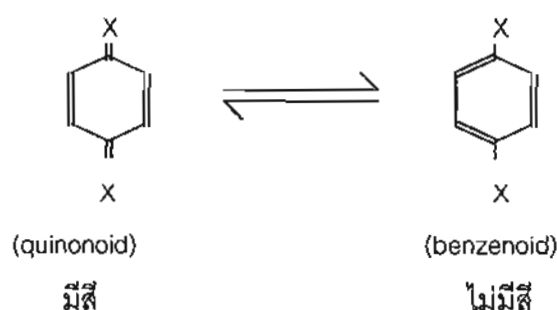
สารประกอบที่มีกลุ่มเหล่านี้เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) ซึ่งจะใช้เป็นสีย้อมได้ยังต้องมีกลุ่มของอะตอมอีกจำพวกหนึ่งเรียกว่า อ็อกโซโครม (auxochrome) ซึ่งจะช่วยให้สีเข้มขึ้นและมีสมบัติเป็นกรดหรือด่างเมื่อที่จะได้เกาะติดแน่นบนวัสดุที่ใช้ย้อมหมู่ อ็อกโซโครมที่สำคัญได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) หมู่อัลคิลอะมิโน (alkyl amino $-\text{NHR}$, $-\text{NR}_2$) หมู่ซัลโฟนิค ($-\text{SO}_3\text{H}$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) เป็นต้น หมู่ซัลโฟนิคมีความสำคัญมากในการช่วยให้สีย้อมละลายในน้ำได้

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการที่สารประกอบบางชนิดมีสีเนื่องจากมีโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) ซึ่งอยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัว (unsaturated condition) คล้ายกับโครงสร้างของควิโนน (quinone) โดยอาจเป็นพาราควิโนนอยด์ (p-quinonoid) หรือ ออร์โทควิโนนอยด์ (o-quinonoid) ดังโครงสร้างข้างล่าง



X คือ กลุ่มของอะตอม

สีย้อมหลายชนิดสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในลักษณะควิโนนอยด์และเบนซีนอยด์และจะสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป เช่น ตัวทำละลาย ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ว่า ไอโซเมอริกเชน (isomeric chain) แสดงได้ด้วยปฏิกิริยาต่อไปนี้



ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการที่สีย้อมตกสี หรือซีดจางเมื่อได้รับแสง สบู่ ผงซักฟอก และสาเหตุอื่นๆ

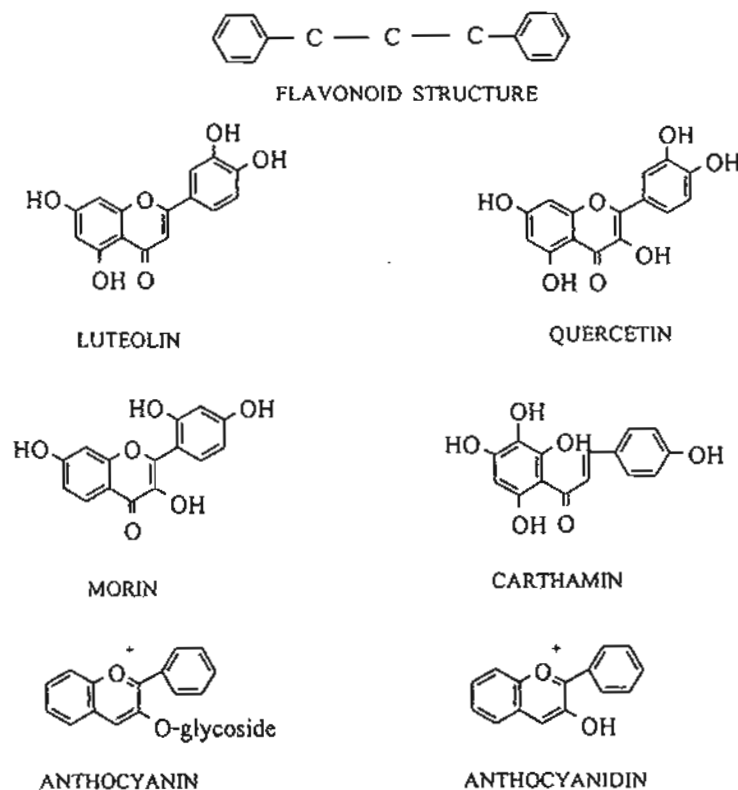
สีย้อมหลายชนิดเมื่อได้รับไฮโดรเจนเข้ามาเติมที่โมเลกุล จะได้สารเคมีที่ไม่มีสีเรียกว่าสารประกอบลิวโก (leuco compound) ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ (oxidize) จะได้สารเคมีที่มีสี เช่น สีอินดิโก (indigo) ขณะย้อมตอนแรกจะยังไม่มีสีแต่เมื่อนำขึ้นมาจากภาชนะที่ย้อมจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศได้เป็นสารสีน้ำเงิน เพราะฉะนั้นโครงสร้างของโมเลกุลของสีย้อมมีความสำคัญต่อการเกิดสี ส่วนคุณสมบัติเฉพาะของสีย้อม เช่น ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม การตกสีหรือซีดจาง การเกาะติดบนเส้นใยชนิดต่างๆ และปฏิกิริยาต่อสารเคมีอื่นๆ ขึ้นอยู่กับกลุ่มของอะตอมที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างหลักของโมเลกุล

1.3 สารเคมีในสีธรรมชาติ

สารสีจากธรรมชาติจัดประเภทตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีดังนี้

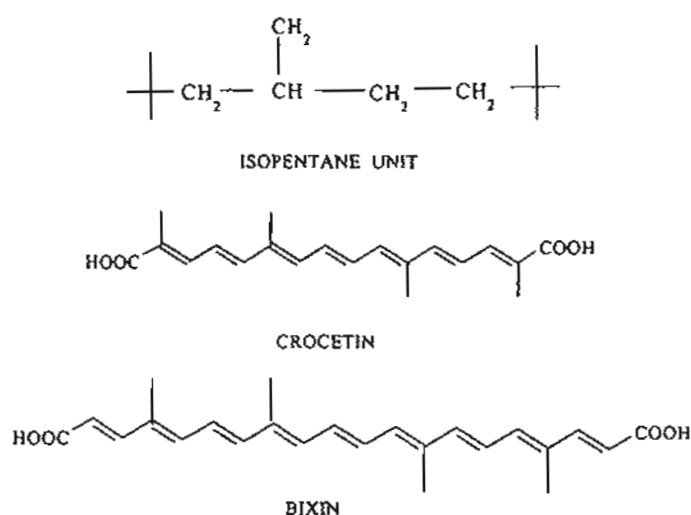
ก. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นกลุ่มสารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมกันมาก มักมีสีเหลืองถึงส้มเหลือง มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $C_6-C_3-C_6$ ตัวอย่างเช่น Rutin Quercetin Luteolin ซึ่งให้สีเหลือง (รูปที่ 1.1) ส่วนที่เป็น C_6 ส่วนมากเป็นวงเบนซีนและ C_3 จะต่อกับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นวงวิวิธพันธ์ (heterocyclic ring) ถ้ามีหมู่คาร์บอนิลอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวน (flavone) และถ้ามีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวนอล (flavonol) สารในกลุ่มนี้จะละลายได้ดีในน้ำมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันมากมาย ทำให้เห็นเป็นทุกสี ยกเว้นสีเขียว เช่นสารพวกแอนโทไซยานินจะให้สีม่วง สีน้ำเงินและสีแดง มักพบในพืชชั้นสูง ในรูปของสารประกอบกลัยโคไซด์ (glycoside) เมื่อสลายตัวด้วยน้ำจะให้น้ำตาล และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลเรียกว่าแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ในธรรมชาติมักพบในรูปกลัยโคไซด์ซึ่งมีน้ำตาลมาเกาะที่ตำแหน่ง C_3 หรือ C_5 และยังพบเป็นจำนวนมากที่น้ำตาลมาเกาะทั้งสองตำแหน่งได้เป็น 3,5-diglucosides ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่พบในฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นๆ สีแดงในดอกไม้บางชนิดไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน แต่เป็นเบต้าไซยานิน (betacyanins) เช่น สีแดงของดอกเฟื่องฟ้า หนอนไก่ บานเย็น และหัวบีทรูต ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Nyctaginaceae, Amaranthaceae และ Centrospermae เป็นต้น สีแดงของแอนโทไซยานินจะมีคุณสมบัติเป็น indicator ในตัวเอง ทั้งนี้เพราะแอนโทไซยานินมีลักษณะเป็นประจุ (ionic) สีที่เกิดขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นกรดแอนโทไซยานินจะให้สีแดงปนส้ม ในสารละลายที่เป็นกลางจะอยู่ในสภาพ pseudobase ซึ่งไม่มีสี ในด่างจะอยู่ในสภาพ anhydrobase ซึ่งให้สีม่วง-น้ำเงิน เมื่อ pH เปลี่ยนปฏิกิริยาเหล่านี้จะเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ แต่ถ้า pH สูงมากๆ ปฏิกิริยาก็จะไม่เปลี่ยนกลับมา แอนโทไซยานินในสารละลายที่เป็นด่างจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยอากาศและถูกทำลาย จึงมักทำให้สารละลายอยู่ในภาวะที่เป็นกรด แอนโทไซยานินชนิดต่างๆ จะต่างกันที่กลุ่ม OH บน ring B ทำให้สีแดงแตกต่างกันที่สำคัญแอนโทไซยานินอาจถูก methylated ที่ตำแหน่ง 3' และ 5' มีผล

ทำให้ความแดงของสีเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามการเติมกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) จะเพิ่มความเป็นสีน้ำเงินมากยิ่งขึ้น ส่วนสารพวกฟลาโวนและฟลาโวนอล จะให้สีเหลืองมักพบในพืชบางชนิดและในกลีบของดอกไม้



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิด

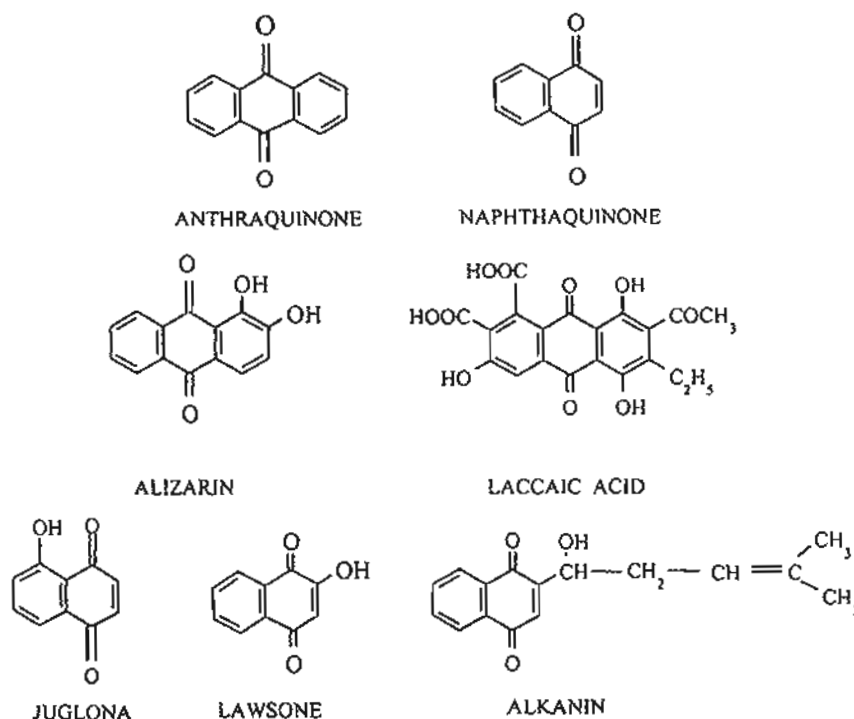
ข. คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นสารประกอบลิพิดชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เทอร์ปีน (terpene) เมื่อมีออกซิเจนในโมเลกุลด้วยเรียก เทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) หรือ ไอโซปีนอยด์ (isopenoid) สารในกลุ่มนี้มีชีวสังเคราะห์มาจากหน่วยไอโซเพนเทน (isopentane unit, C_5) เช่น crocetin จากหญ้า ฝักรัน (saffron) มีสีเหลือง บิกซิน (Bixin) จากเมล็ดคำแสดให้สีส้ม-แดง สารในกลุ่มนี้จะมีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวมาก (รูปที่ 1.2) บิกซินเป็นผลึกสีน้ำตาลแดง ค่อนข้างคงตัวต่อแสง ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ต่อกกรดและด่างรวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ สารประกอบคาโรทีนอยด์อีกชนิดหนึ่งคือ β -carotene ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้เป็นครั้งแรกในระดับอุตสาหกรรมเป็นสารที่มีคุณค่าทางอาหารเนื่องจากเอนไซม์ในตับจะเปลี่ยนเบต้า-คาโรทีนเป็นวิตามินเอ เบต้า-คาโรทีนเป็นสารที่มีผลึกสีม่วงปนแดงไม่ละลายน้ำ เอทานอล กลีเซอริน ละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่คงตัวต่อแสง อากาศ แสง และอนุมูลอิสระสูงๆ ประมาณ 45°C จะถูกทำลายภายใน 6 สัปดาห์ ส่วน lycopene เป็น เตตระเทอร์ปีน (tetraterpene) ที่มีสีแดง



รูปที่ 1.2 โครงสร้างสารให้สีกลุ่มคาโรทีนอยด์บางชนิด

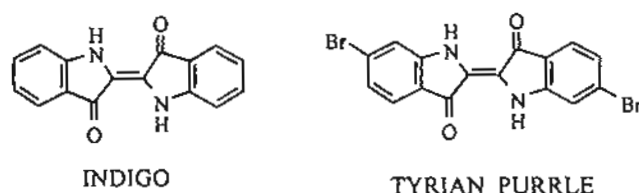
ค. แอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน (Anthraquinones and Naphthraquinones)

สร้างพื้นฐานประกอบด้วย 3-ring system เป็นสารที่มีสีแดง-ส้ม แต่อาจพบสารในกลุ่มนี้มักจะทำให้สีแดง ในกลุ่มสารพวกแอนทราควิโนนที่นำมาใช้เป็นสีย้อม ได้แก่ alizarin จากรากต้นไม้จำพวกเข็ม (madder) และจากแก่นของต้นยอ กรดแลคเคอิก (Laccaic acid) ได้จากครั่ง ส่วนพวกแนพทราควิโนนจากเปลือกมันฮ่อให้สีเขียวถึงน้ำตาล Lawsone จากใบเทียนกิ่งให้สีน้ำตาลปนแดงและ Alkanin จากต้น alkanet ให้สีแดง (รูปที่ 1.3) สารกลุ่มแอนทราควิโนนมีสูตรโครงสร้างได้ตั้งแต่สี่เหลี่ยม - น้ำตาล แอนทราควิโนนละลายได้ดีในน้ำด่างให้สีชมพู-แดง ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล เบนซีน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม สารแอนทราควิโนนเกือบทุกตัวมีจุดหลอมเหลวสูง ที่พบในพืชชั้นสูงส่วนใหญ่จะถูก hydroxylate ที่ C-1 และ C-2 ในธรรมชาติจะพบแอนทราควิโนนในรูปของ กลัยโคไซด์เป็นส่วนใหญ่และมักพบเป็นชนิด O-glycoside ส่วนน้อยที่พบเป็น C-glycoside เช่น aloin (barbaloin) น้ำตาลที่พบส่วนมากเป็น glucose, primeverose อาจพบ rhamnose ได้บ้าง แอนทราควิโนนกลัยโคไซด์ที่พบอาจจะมี aglycone เป็น reduced form ของแอนทราควิโนนได้อนุพันธ์ของแอนทราควิโนน ซึ่งพบได้หลายแบบทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับอายุของพืชเช่นใน common rhubarb ในใบอ่อนจะพบ anthranol glycoside เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่เป็นราพวก *Monascus purpureus* สามารถผลิตสารสีแดงในกลุ่มแอนทราควิโนนได้และใช้เป็นสีย้อมอาหาร เช่น หมูแดง เต้าหู้ยี้ เหล้าไวน์ เป็นต้น



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสารให้สีพวกแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน

ง. อัลคาลอยด์ (Alkaloids) อัลคาลอยด์เป็นสารกลุ่มที่พบในพืชชั้นสูง พบบ้างในพืชชั้นต่ำ ในสัตว์และในจุลินทรีย์ เป็นกลุ่มสารที่นำมาใช้มากเพื่อเป็นยารักษาโรคและมีจำนวนไม่น้อยที่เป็นสารพิษ ปัจจุบันพบอัลคาลอยด์มากกว่า 5,000 ชนิด ตามปกติในโมเลกุลของอัลคาลอยด์จะพบไนโตรเจนอยู่ 1 ตัว แม้นไนโตรเจนจะอยู่ใน heterocyclic ring หรืออยู่ใน side chain ก็ตาม จะทำให้อัลคาลอยด์มีคุณสมบัติเป็นด่าง ไนโตรเจนดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปของ primary amine ($R_3N^+X^-$), amine oxide และยังอาจพบอยู่ในรูปของ amide และ imide อีกด้วย อัลคาลอยด์แต่ละชนิดจะมีความเป็นกรดต่างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของไนโตรเจนในโมเลกุล ประเภทของ amine group ตลอดจน ชนิดและจำนวนของ functional group ที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้น สารกลุ่มอัลคาลอยด์ที่ใช้เป็นสีย้อมได้แก่ Indigo สีย้อมสีน้ำเงิน สีย้อมให้สีน้ำเงิน Tyrian เป็นสีที่สกัดได้จากหอยสังข์หนาม (shellfish) อยู่ตามแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนจะให้สีม่วงแดง (รูปที่ 1.4)

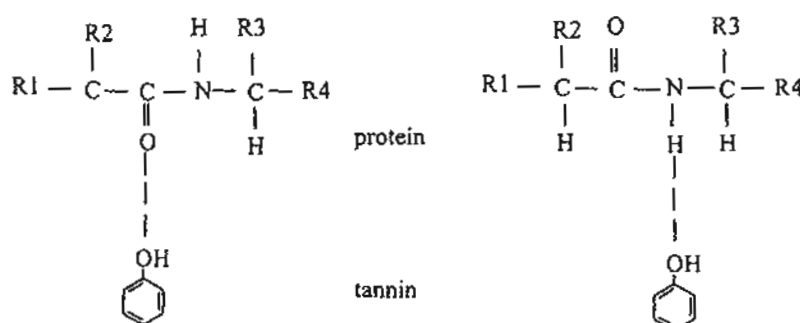


รูปที่ 1.4 โครงสร้างของสารให้สีในกลุ่มอัลคาลอยด์บางชนิด

จ. แทนนิน (Tannin) เป็นสารให้สีธรรมชาติที่นิยมใช้เป็นสารช่วยติดสีอื่นๆ ด้วยในการย้อมสีธรรมชาติโดยเฉพาะการย้อมผ้า แทนนินเป็นสารจำพวกสารประกอบพอลิฟีนอลิกและเป็นกลุ่มสารที่พบได้ทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3,000 และมีหมู่ฟีนอลิกที่อิสระอยู่จำพวกหนึ่งซึ่งสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้กับพวกโปรตีน (รูปที่ 1.5) และพวกโพลิเมอร์ ทางชีวภาพ (biopolymer) เช่น เซลลูโลสได้อย่างคงตัวจะเห็นได้ว่าแทนนินมีโครงสร้างซับซ้อนและมีโมเลกุลใหญ่จึงแยกได้ยากเนื่องจากไม่แตกผลึกส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของกลัยโคไซด์ (glycoside) แทนนินละลายได้ในน้ำ สารละลายต่างเจือจาง แอลกอฮอล์ อะซีโตน สารละลายของแทนนินสามารถตกตะกอนโลหะหนัก อัลคาลอยด์ กลัยโคไซด์ โปรตีนและเจลลาตินได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือของเหล็ก เช่น เฟอริกคลอไรด์ แทนนินชนิดสลายตัวได้จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ ส่วนแทนนินชนิดรวมตัวแน่นจะให้ตะกอนสีน้ำตาลเขียวจึงใช้ปฏิกิริยานี้ตรวจสอบชนิดของแทนนินในสารสกัดจากพืชได้ จากลักษณะโครงสร้างทางเคมีสามารถแบ่งแทนนินได้ 2 ประเภทคือ

จ1. Hydorlysable tannin เป็นกลุ่มสารประกอบ polyester ซึ่งเกิดจาก polyphenol กับน้ำตาลกลูโคสซึ่งแทนนินประเภทนี้สามารถถูกเอนไซม์และกรดไฮโดรไลซ์ออกเป็นโมเลกุลได้ gallic acid, digallic acid, ellagic acid เช่น Gallotannin และ Ellagitannin เป็นต้น

จ2. Condensed tannin เป็นกลุ่มสารประกอบที่เมื่อถูกกรดหรือเอนไซม์แล้วไม่สลายตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ แต่กลับรวมตัวเป็นโพลีเมอร์เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำไม่มีรูปร่างแน่นอนและมีสีแดงซึ่งจะประกอบไปด้วยโพลีเมอร์ของ flavan-3-ol และ flavan-3,4-diols



รูปที่ 1.5 การเชื่อมโยงระหว่างโปรตีนกับแทนนิน

นอกจากจะแบ่งแทนนินตามลักษณะโครงสร้างแล้วยังสามารถแบ่งตามน้ำหนักโมเลกุลของแทนนินซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ True tannin มีน้ำหนักโมเลกุล 1,000-5,000 และ Pseudo tannin มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า True tannin แต่เป็นสารที่ให้คุณสมบัติคล้าย True tannin ได้แก่ catechin, chlorogenic acid เป็นต้น

1.4 การวิเคราะห์สารสีธรรมชาติ

1.4.1 การแยกบริสุทธิ์

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีตรวจสอบปริมาณสารให้สีแต่ละชนิดที่มีในพืชแต่ละชนิดตลอดจนสมบัติของสารให้สีดังกล่าวจำเป็นต้องทำการแยกให้บริสุทธิ์เสียก่อน สำหรับสารให้สีธรรมชาติขั้นตอนการแยกบริสุทธิ์ไม่ยุ่งยากและวิธีที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

1.4.1.1 โครมาโทกราฟีผิบบาง (Thin-layer Chromatography, TLC)

เป็นการแยกสารโดยใช้ stationary phase ซึ่งแผ่นเป็นแผ่นเคลือบบน support ซึ่งอาจเป็นแก้ว aluminium หรือ polyethylene เมื่อหยดสารผสมลงบน stationary phase ซึ่งเรียกว่า development ขณะที่เกิด development สารก็จะแยกออกจากกัน กลวิธีในการแยกจะมีทั้ง adsorption และ partition แต่จะมีวิธีใดมากกว่าขึ้นกับว่าแผ่น TLC ที่เตรียมขึ้นนั้นถูกนำไป activate หรือไม่ การ activate แผ่น TLC โดยอบที่ 110°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จะทำให้น้ำระเหยออกไปจาก particle ของ adsorbent ทำให้กลวิธีเป็น adsorption มากกว่า partition แต่ถ้าไม่ได้นำไป activate น้ำที่จับอยู่ที่ particle จะทำหน้าที่เป็น liquid stationary phase จะมี partition mechanism เกิดมากกว่าเดิม น้ำที่เคลือบอยู่นี้มาจากความชื้นในอากาศนั่นเอง TLC ที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่

ก. Microscopic slide TLC เป็น TLC ขนาดเล็กใช้แผ่น microscopic slide ใช้แยกสารโดยใช้เวลาสั้น เช่น แยกสาร 4 ชนิด ในเวลา 5 นาที เตรียมง่าย ไม่ต้อง activate โดยมากใช้ทาง qualitative เช่น ตรวจ synthetic reaction หรือตรวจ fraction ของ column chromatography ที่มีสารไม่มากชนิดนัก

ข. Macro-layer TLC เป็น TLC ที่ใช้ทั่วไปและมีขายสำเร็จรูป มีขนาด 5×20 , 10×20 , 20×20 เซนติเมตร ความหนาของ adsorbent = 0.25 มิลลิเมตร ใช้ทั้ง qualitative และ quantitative

ค. Preparative TLC เป็น TLC ที่มี adsorbent หนาขึ้นถึง 2 มิลลิเมตร ใช้เมื่อแยกสารปริมาณมากขึ้น เช่นเดียวกับ Macro-layer TLC

1.4.1.2 คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column Chromatography)

เทคนิคของโครมาโทกราฟีชนิดนี้ก็คือ ใส่ตัวทำละลายลงในหลอดรูปทรงกระบอกโดยปกติจะทำด้วยแก้วมีปลายด้านล่างเปิดและปิดได้ สารที่ใช้เป็นวัฏภาคคงที่อาจเป็นตัวดูดซับ (ในกรณีของโครมาโทกราฟีแบบดูดซับ) หรือเป็นของเหลวแผ่นบางๆ ที่เคลือบอยู่บนสารเฉื่อย (ในกรณีของโครมาโทกราฟีแบบแบ่งแยก) สำหรับการเตรียมคอลัมน์นั้นทำได้โดยการกรอกสารที่ใช้เป็นตัวดูดซับแห้ง ๆ ลงไปเลย หรือจะเตรียมโดยเอาตัวดูดซับนี้ผสมกับตัวทำละลายก่อน แล้วจึงใส่ลงในหลอดรูปทรงกระบอก ถ้าหากทำโดยวิธีแรกจะต้องเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ลงไปและจะต้องให้ตัวทำละลายนี้สัมผัสกับตัวดูดซับอย่างทั่วถึง นั่นคือจะต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ระหว่างตัวดูดซับและปรับระดับของตัวทำละลายให้อยู่เหนือตัวดูดซับเล็กน้อย แล้วจึงค่อยๆ เติมสารผสมที่ต้องการแยกลง

ไป (สารผสมนี้จะต้องละลายในตัวทำละลายที่ปริมาณน้อยที่สุด) หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ละน้อยของเหลวนี้จะไหลผ่านคอลัมน์และรองรับที่ปลายล่างของคอลัมน์ โดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายที่มีโพลาไรตี (polarity) สูงขึ้น ถ้าหากเลือกสารตัวดูดซับและตัวทำละลายได้เหมาะสมก็จะสามารถแยกสารแต่ละชนิดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันถ้าหากสารนั้นมีสีก็จะปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีและเมื่อเติมตัวทำละลายไปเรื่อยๆ สารแต่ละชนิดก็จะผ่านออกจากคอลัมน์ ในเวลาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมให้สารต่างๆ แยกกันอยู่ในคอลัมน์แล้วหยุดเติมตัวทำละลายปล่อยให้ตัวทำละลายนี้ผ่านคอลัมน์จนหมด แล้วตัดคอลัมน์เป็นส่วนๆ ตามแถบของสารแต่ละชนิด ดันเอาตัวดูดซับออกจากคอลัมน์แล้วสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากนั้นจึงระเหยเอาตัวทำละลายออกไป ก็จะได้สารแต่ละชนิด ตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการทำให้ TLC ที่ใช้ตัวชะแตกต่างกันหลายๆ ตัวชะ ถ้าสารบริสุทธิ์จะไม่มีตัวชะแบบใดแยกสารออกจากกันได้อีก หากยังไม่บริสุทธิ์จะทำการแยกซ้ำในคอลัมน์เดิมหรือทำการตกผลึกช่วย

1.4.2 การวิเคราะห์

1.4.2.1 การวิเคราะห์กลุ่มสารให้สีโดยปฏิกิริยาเคมี

การศึกษาโดยอาศัยการตรวจสอบสารเคมี วิธีนี้อาศัยข้อมูลเบื้องต้นเพื่อจัดกลุ่มสารให้สีที่มีโครงสร้างหลักแบบเดียวกัน ซึ่งได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน เป็นต้น นำพืชต่างๆ มาตรวจสอบว่าสารให้สีจัดอยู่ในกลุ่มใดดังกล่าวข้างต้น พืชใดที่มีสารให้สีกลุ่มที่ตรวจสอบมากก็จัดเป็นพืชที่ควรนำมาสกัดแยกต่อจนได้สารบริสุทธิ์ แล้วจึงนำไปตรวจสอบสมบัติและโครงสร้างทางเคมี วิธีการตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดในพืช อาจทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีง่ายๆ ซึ่งจะให้ผลเป็นสีต่างๆ หรือการเกิดตะกอนต่างๆ ได้มีผู้ใช้น้ำยาเคมีต่างๆ โดยเฉพาะกรดเข้มข้นในการทำปฏิกิริยากับสารสกัด

1.4.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีทางสเปกโตรสโคปี (spectroscopy)

เป็นวิธีหาสูตรโครงสร้างโดยอาศัยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งถูกสารดูดกลืน (absorb) หรือ เปล่ง (emit) ออกจากสาร โดยอาศัยเครื่องมือต่างๆ ที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แยกวัดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็นช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กัน วัดการดูดกลืนรังสีในช่วงเหล่านี้โดยสาร และบันทึกข้อมูลออกมาเป็น spectrum ซึ่งสารจากธรรมชาติแต่ละชนิดมี spectrum ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารซึ่งมีผู้ศึกษาสูตรโครงสร้างแล้วอาจทำได้โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่รู้โครงสร้าง (authentic sample) หรือเปรียบเทียบกับ spectrum ที่รายงานไว้ในเอกสารต่างๆ สำหรับสารใหม่ต้องอาศัย spectrum มาประกอบกันจึงจะสามารถบอกสูตรโครงสร้างได้

n. Ultraviolet and visible Spectroscopy

เป็นวิธีการวัดการดูดกลืนแสงของสารในสารละลายที่เจือจาง ที่ช่วงความยาวคลื่น 200- 700 นาโนเมตร สำหรับสารที่มีสีวัดที่ 200-700 นาโนเมตร ส่วนสารที่ไม่มีสีวัดที่ 200-400

นาโนเมตร สิ่งสำคัญในการตรวจเอกลักษณ์คือ ความยาวคลื่น (wave length) ที่มีการดูดกลืนสูงสุด หรือต่ำสุดของสารและความเข้มข้นของการดูดกลืน นอกจากวัดการดูดกลืนในสารละลายที่เป็นกลางแล้ว ยังดูผลการเปลี่ยนแปลง pH ต่อการดูดกลืนแสงของสารว่าจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เช่น phenolic compound เมื่อใส่ด่าง ความยาวคลื่นที่สารดูดกลืนแสงจะเคลื่อนไปอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Bathochromic shift ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ถ้าเป็นลักษณะการเปลี่ยนไปดูดกลืนสารในช่วงความยาวคลื่นสั้นลงเรียกว่า hypochromic shift สารบางชนิดจะไม่ดูดกลืนแสงเลย

ข. Infrared Spectroscopy

เป็นการวัดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล พันธะ หรือ functional group ช่วงที่วัดมีความถี่ $4,000-677\text{ cm}^{-1}$ หรือช่วงคลื่น $2.5-15\text{ nm}$ เราใช้ตำแหน่งของ spectrum และความเข้มข้นของ peak ว่ามากน้อยหรือปานกลางเทียบกับ spectrum ของสารที่รู้สูตรโครงสร้างจาก IR spectrum จะช่วยบอก functional group และประเภทของสารได้ บริเวณเหนือ $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น band หรือ peak ที่เกิดจากการสั่นของ individual bonds หรือ functional groups เช่น aromatic พบที่ $3,050\text{ (W-M)}$, $2,100\text{ (W)}$, $1,700\text{ (W)}$, $1,600\text{ (W)}$, $1,580\text{ (W)}$, $1,600\text{ (W-M)}$ ส่วนบริเวณที่ต่ำกว่า $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น fingerprint region เกิดจากการสั่นของทั้งโมเลกุล เป็น spectrum ที่ซับซ้อนสารที่จะนำไปทำการ IR spectrum จะต้องเป็นสารที่บริสุทธิ์ อาจใช้สารละลาย $0.1-5\%$ โดยมากใช้คลอโรฟอร์ม หรือใช้ของแข็งผสมกับ KBr แล้วอัดเป็นแผ่นใส หรือ ใช้ Nujol ทำให้เป็น suspension หรือ mull

ค. Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

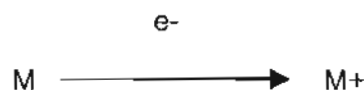
เป็น spectrum ที่ได้จากการวัด magnetic moment ของ H-atom เนื่องจาก H-atom ที่ติดอยู่กับ functional group แต่ละอันจะมีค่า magnetic moment แตกต่างกัน เช่น CH_2 , CH_3 , $-\text{CHO}$, $-\text{NH}_2$ เป็นต้น จาก spectrum ของ NMR จะได้ค่าของจำนวน H และชนิดของ carbon skeleton ที่ H จับอยู่ ตำแหน่งของ spectrum ใช้ค่า δ (delta) หรือ τ (tau)

$$\tau = 10\delta$$

ตัวทำละลายที่ใช้ละลาย sample ได้ CCl_4 , deuterium chloroform (CDCl_3), deuterium oxide (D_2O), deuterium acetone (CD_3COCD_3) สารที่มีตัวให้ trimethylsilylene, เป็นตัวทำละลายพวกสารที่เป็น saturated compound จะมีค่าน้อยส่วนพวกที่มี unsaturation, O, N, S จะมีค่าสูง Chemical shifts (δ) จะมีค่า $= \Delta\nu \times 10^6 / \text{radian frequency}$, $\Delta\nu$ = difference in absorption frequency ของ sample และ reference compound คือ TMS มีหน่วยเป็น Hertz หน่วยของ chemical shift ส่วนมากใช้ p.p.m. spectrum ของ NMR อาจซับซ้อนเนื่องจาก interaction กับ atom ข้างเคียงแทนที่จะได้ peak เดียว อาจจะได้ 2 หรือ 3 หรือ มากกว่า

ง. Mass spectroscopy (MS)

เป็น spectrum ที่ได้จากการระเหย sample เข้าไปใน low pressure system ของ MS ซึ่งสารจะถูก ionized เกิดการแตกตัวของพันธะได้ไอออนที่มีประจุบวก (positively charged ion) ซึ่งจะถูกร่ง (accelerated) ในสนามแม่เหล็กและการกระจายตัว (disperse) ทำให้สามารถวัดปริมาณ ion สัมพัทธ์ (Relative abundance) ได้เป็น mass/charge MS จะช่วยในการหาน้ำหนักโมเลกุล โดยที่ใช้ค่า molecular ion ซึ่งเป็น ion ที่เกิดจาก ionize ทำให้ electron หลุดไป 1 ตัว



ในการหาสูตรโครงสร้างอาศัย fragment ที่ได้จากการแตกตัวว่ามีที่ m/e เท่าไหร่ แล้วนำแต่ละ fragment มาต่อกันและอาศัย spectroscopy อื่น ก็ช่วยให้หาสูตรโครงสร้างได้ สารบางชนิดไม่ระเหย จำเป็นต้องทำ trimethylsilyl ethers หรือ methyl ester derivatives ก่อน

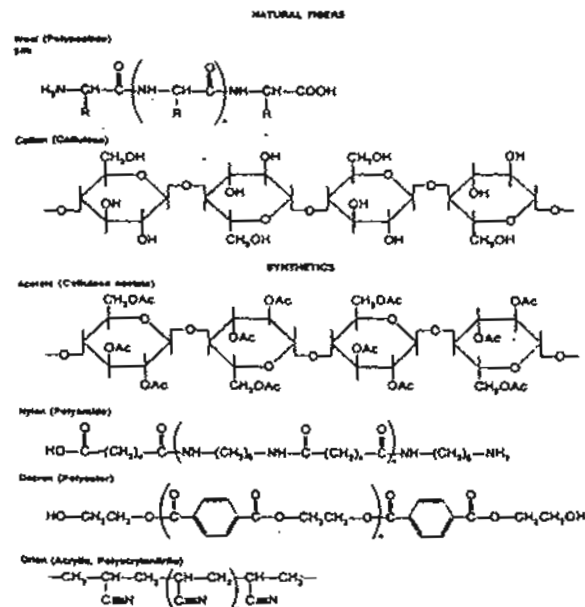
1.5 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ

องค์ประกอบสำคัญของการย้อมสีธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไป คือ ชนิดของเส้นใยที่จะย้อม สารสีที่ใช้เป็นสีย้อมและกรรมวิธีในการย้อม ซึ่งทั้งสามส่วนนี้ได้มีการพัฒนามาตลอดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีคุณภาพดี มีสีสม่ำเสมอและมีความคงทน มีการค้นพบสีใหม่ๆ และเทคนิคการย้อมใหม่ๆ อยู่เสมอโดยเฉพาะการย้อมด้วยสีธรรมชาติในปัจจุบันได้ถูกดัดแปลงและพัฒนามากขึ้นโดยใช้เทคนิคใหม่ๆ อย่างไรก็ตามคุณภาพในด้านความคงทนต่อการซัก แสง ความเสถียรของสียังด้อยกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังขาดเทคนิคที่แน่นอนในการสกัดสารสีและการย้อมสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการย้อมมากกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังต้องมีการพัฒนาทางด้านนี้อย่างต่อเนื่องโดยพิจารณาจากสิ่งสำคัญของกระบวนการย้อมตามลำดับคือ

1.5.1 ชนิดของเส้นใย เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกของการย้อมสีเพราะการที่จะเข้าใจถึงกลไกการยึดติดระหว่างโมเลกุลของสีกับเส้นใยได้นั้นจะต้องทราบถึงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยด้วยนอกเหนือจากการทราบโครงสร้างของสารสีที่ใช้ย้อม เส้นใยอาจจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 1.6)

1.5.1.1 เส้นใยธรรมชาติ ได้จากแหล่งธรรมชาติโดยตรงได้แก่ เส้นใยจากสัตว์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นพอลิเปปไทด์ (polypeptide) เช่น ไหมและขนสัตว์ต่างๆ เส้นใยจากพืช ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช มีลักษณะโครงสร้างเป็นเซลลูโลส เช่น ฝ้าย ลินิน ป่านและปอ นอกจากนี้ยังมี เส้นใยจากสินแร่ หรือสารประกอบอนินทรีย์ได้แก่ โยแก้ว เส้นใยจากธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือเส้นใยจากสัตว์และพืช

1.5.1.2 เส้นใยสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์หรือนำเส้นใยธรรมชาติมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อให้มีสมบัติแตกต่างออกไปเส้นใยสังเคราะห์มีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิก เป็นต้น



รูปที่ 1.6 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดสามารถย่อยสลายธรรมชาติได้แต่เปอร์เซ็นต์การดูดติดจะแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้เส้นใยประเภทไหม ขนสัตว์ และฝ้ายในการย้อมสีธรรมชาติและมีการศึกษาสมบัติของเส้นใยต่างๆอย่างละเอียด เช่น เส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวเซลลูโลสจากพืชแต่ละชนิดจะมีความยาวของสายกลูโคสไม่เท่ากันซึ่งความยาวของเส้นใยเซลลูโลสนี้เป็นปัจจัยของความแข็งแรงของเส้นใย ความยาวของเซลลูโลสจากต้น Pine มีความยาว 700-800 หน่วยกลูโคส สมบัติโดยทั่วไปสำหรับเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิดคือ ดูดซับได้ดีเมื่อใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มเหมาะสำหรับซับเหงื่อในฤดูร้อนและเหมาะสำหรับทำเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า และผ้าสำหรับใช้ในการดูดซับอื่นๆ นำความร้อนได้ดีเมื่อใช้เป็นผ้าสวมใส่ในฤดูร้อนจะเย็นสบาย นอกจากนี้ ยังคงทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆทำให้ความสามารถนำผ้าฝ้ายไปต้มหรือหนึ่งฆ่าเชื้อและไม่ต้องการความระมัดระวังเป็นพิเศษในการรีด ข้อด้อยของผ้าฝ้ายอันเนื่องมาจากสมบัติของใยเซลลูโลสคือ ยับง่าย มีความหนาแน่นสูงทำให้ผ้าฝ้ายมีน้ำหนักมากกว่าผ้าชนิดอื่นๆไม่ทนกรด เมื่อขึ้นเชือร่าขึ้นง่าย เซลลูโลสเป็นสารติดไฟได้ผ้าฝ้ายเมื่อถูกเปลวไฟจะติดไฟได้ง่ายเป็นต้น

การเตรียมเส้นใยหรือสิ่งทอสำหรับการย้อมสีนั้นเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการย้อมสีเป็นการนำด้ายหรือผ้าดิบที่ออกจากโรงปั่นหรือโรงทอมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมด้ายหรือผ้าให้อยู่ในสภาพที่นำไปย้อมสี จุดประสงค์ของการเตรียมดังกล่าวเพื่อขจัดสิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใยตามธรรมชาติเช่น สารขี้ผึ้งในฝ้าย กาวในไหมดิบหรือเศษไม้ในปอ เป็นต้น หรืออาจติดตามในขั้นตอนการปั่นทอหรือถัก เช่น แป้งและสิ่งเจือปนอื่นๆเมื่อถูกขจัดออกไปหมดก่อนการย้อมจะมีการดูดติดสีย้อมได้

อย่างสม่ำเสมอนอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดีทำให้กระบวนการย้อมมีประสิทธิภาพสูง
 สุด ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมในการทำความสะดวกสิ่งทอก่อนย้อมมีความจำเป็นเป็นอันดับแรก
 และเพื่อให้เส้นใยมีการดูดติดสีย้อมได้มากขึ้น เช่น ในกรณีของผ้าฝ้ายอาจจะต้องมีวิธีการชุบมันซึ่ง
 นอกจากจะทำให้ติดสีได้มากขึ้นแล้วยังได้ผ้าฝ้ายที่มีความเงามันเพิ่มขึ้นจากเดิมและสีที่ติดเข้มข้นขึ้นนั้นม
 ความสว่างสดใสด้วย

1.5.2 กรรมวิธีในการย้อม

การย้อมด้วยสีธรรมชาติเปรียบเทียบกับการย้อมสีสังเคราะห์นั้นสามารถแบ่งกรรมวิธีในการ
 ย้อมได้ 3 แบบคือ

1.5.2.1 แบบโดยตรง (Direct dyeing) สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำ
 และมีสมบัติพิเศษในการติดเส้นใยได้เอง โดยเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยได้โดยตรง กรณีที่เส้นใยเป็น
 เซลลูโลสเช่น ฝ้าย จะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก (hydroxyl groups, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะ
 ไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนไหมและขนสัตว์เป็นเส้นใยที่เป็นพวกพอลิเปปไทด์จะมีหมู่
 กรด (acidic group, -COOH) และหมู่เบส (basic groups, -NH₂) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาของส่วนที่
 เป็นหมู่เบสและหมู่กรดในโมเลกุลของสีตามลำดับเกิดเป็นเกลือขึ้นทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออน
 นิก การยึดเหนี่ยวแบบนี้ไม่แข็งแรงดังนั้นการย้อมแบบโดยตรงเป็นวิธีที่ติดสีง่ายแต่ก็หลุดง่ายเช่นเดียว
 กัน ความคงทนต่ำและได้สีที่ไม่สดใส ตัวอย่างคือ สีจากขมิ้น ดอกคำฝอย เป็นต้น

1.5.2.2 แบบแวต (Vat dyeing) สารให้สีที่ย้อมวิธีนี้มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ
 ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมแบบนี้ต้องทำให้สีนั้นละลายน้ำเสียก่อน ตัวอย่างการย้อมแบบนี้คือ สีอินดิโก
 จากครามและย้อมเป็นสารสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในรูปออกซิไดซ์และไม่ละลายน้ำแต่เมื่อถูกรีดิวซ์จะละลาย
 น้ำได้และเป็นสารละลายไม่มีสีเป็นลิวโคอินดิโก (leucoindigo) ดังนั้นก่อนการย้อมนำสีอินดิโกมา
 รีดิวซ์ก่อนเพื่อให้เป็นสารละลายน้ำได้โดยใช้สารรีดิวซ์แล้วจึงนำเส้นใยลงย้อมแล้วนำขึ้นไปผึ่งแดด
 ออกซิเจนในอากาศจะทำให้โมเลกุลของสีเกิดการออกซิไดซ์กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุล
 ของสีจึงถูกกักขังอยู่ในเส้นใยและเนื่องจากอินดิโกนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การติดสีมีความคงทน ซึ่ง
 นิยมใช้ย้อมผ้าฝ้ายและผ้ายืนส์ ในการย้อมสีธรรมชาตินี้สารธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในสารละลาย
 สีย้อมมีหลายชนิดเช่น กรดมะนาว กรดน้ำส้ม หรืออาคัยจุลินทรีย์ การย้อมในลักษณะนี้สีจะถูก
 เปลี่ยนเป็นรูปรีดิวซ์และละลายน้ำย้อมติดบนเส้นใยได้ทีละน้อยซึ่งต้องทำการย้อมหลายๆครั้งจนกว่า
 จะได้สีเข้มตามต้องการ สารที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ย้อมอินดิโกสังเคราะห์มักเป็นสารที่
 เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การใช้สารธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์จึงเป็นที่นิยมในการย้อมสีธรรมชาติและม
 การศึกษาพัฒนาวิธีการมาโดยตลอด ชาวอินเดียสกัดอินดิโกจากครามโดยการหมักน้ำที่อุณหภูมิห้อง
 อาคัยเอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์อินดิแคน น้ำสกัดที่ได้นำมาออกซิไดซ์ในบรรยากาศโดยใช้กรรกวานให้
 อากาศ น้ำสกัดจะเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นตะกอนสีน้ำเงิน การเติมน้ำต่างในช่วงออกซิเดชัน

จะเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น แยกตะกอนมาต้มกับกรดซัลฟริกเจือจางตามด้วยน้ำแล้วกรองตะกอนทิ้งลงให้แห้งต้นครามที่ใช้สูงประมาณ 3 ฟุตเมื่อนำมาสกัดจะมีปริมาณสารให้สีสูงสุด 0.4 % ของน้ำหนักต้นครามที่ใช้ การย้อมสารสีที่สกัดจากต้นครามสด โดยการต้มกับน้ำจะได้น้ำย้อมสีเขียวอมฟ้าซึ่งเมื่อย้อมจะได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมเป็นสีเขียวอมฟ้า

1.5.2.3 แบบใช้มอร์แดนท์ (Mordant dyeing) การย้อมแบบนี้ต้องใช้สารช่วยติดสีหรือที่เรียกว่า มอร์แดนท์ เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น ทำให้สีที่ได้จากการย้อมโดยวิธีนี้มีความคงทน ไม่ตกสีหรือซีดง่าย การย้อมวิธีนี้ใช้วิธีการย้อมที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากสีธรรมชาติจะติดสีได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60-100°C และระหว่างการย้อมต้องคนบ่อยๆเพื่อป้องกันการติดสีไม่สม่ำเสมอ สารมอร์แดนท์ที่นิยมใช้คือสารละลายเกลือโลหะและสารประกอบแทนนินจากพืชหลายชนิด เกลือของโลหะที่ใช้กันมาก คือ Alum (Potassium aluminium sulfate, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) หรือสารส้ม Crome (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) ดีบุก (Tin, Stannous chloride, $SnCl_2$) คอปเปอร์รัส (Copperas, Ferrous sulphate, $FeSO_4$), Blue Viriol (Copper sulfate, $CuSO_4$) สีที่ย้อมโดยวิธีนี้เรียกสีมอร์แดนท์ได้แก่ สีจากรากไม้ เปลือกไม้ แก่นไม้ ใบ ดอก ผล เมล็ด เป็นต้น ตัวอย่างเช่นสีจากรากยอป่า เปลือกไม้ฝาง แก่นขนุน ใบยูคาลิปตัส ใบต้วแดง ดอกดาวเรือง เมล็ดคำเงาะหรือคำเสด การย้อมโดยวิธีนี้อาจทำได้ใน 3 ลักษณะคือ

ก. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สารละลายมอร์แดนท์ก่อนแล้วจึงทำการย้อมสี

(Premordanting)

ข. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาย้อมในสารละลายสีที่ใส่มอร์แดนท์ด้วย

ค. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สีก่อนแล้วจึงย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนท์

(After mordanting)

การย้อมทั้ง 3 ลักษณะนี้ได้มีผู้ศึกษาและทดลองย้อมแบบทั้ง ก และ ข ข และ ค ก และ ค ก และ ข และ ค รวมกันโดยใช้มอร์แดนท์ดังกล่าวข้างต้นผลที่ได้ยังไม่พบความแตกต่างในแง่การติดสีเข้มและความคงทนอย่างเด่นชัดมีการทดลองพบว่า การต้มเส้นใยเซลลูโลสในสารละลายมอร์แดนท์ที่ประกอบด้วย สารส้มและโซดาแอชในอัตราส่วน 7 : 1 โดยน้ำหนักเตรียมโดยการค่อยๆเติมสารส้มลงในสารละลายโซดาแอชคนให้เข้ากันแล้วต้มที่ 150°C จะได้เป็นสารละลายมอร์แดนท์ที่มีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แขวนลอยอยู่ในรูปคอลลอยด์ จากนั้นนำเส้นใยมาใส่และปรับอุณหภูมิเป็น 40 °C ประมาณ 5 นาทีแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60°C พร้อมกับคน จากนั้นต้มในสารละลายกรดแทนนิกก่อนนำไปย้อมผ้าจะทำให้สีติดทนไม่ตกสี มีข้อดีคือไม่ต้องใช้มอร์แดนท์ที่เป็นเกลือโลหะหนัก ในแง่การติดสีเข้มมีผู้ศึกษาการใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยเส้นใยเซลลูโลส ย่อยแบ่งโดยแอลฟาอะมิเลสและโปรตีนโดยทริปซินก่อนนำไปย้อมพบว่า เส้นใยติดสีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวข้างต้นโดยไม่มีผลกระทบต่อความคงทนของสีและเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสที่

ทำ premordanting ด้วยเกลือของโลหะ นักวิจัยชาวญี่ปุ่นทดลองใช้กรดแทนนิกความเข้มข้นต่างๆ ช่วง 0.05-1.0 % เป็นมอร์แดนต์สำหรับเส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ ไหม ไนลอน ฝ้าย และขนสัตว์ พบว่ากรดแทนนิกจะติดกับผ้าไหมและไนลอนได้มากกว่าติดกับผ้าฝ้ายและขนสัตว์

เส้นใยที่เป็นโปรตีนเช่น ขนสัตว์ ไหม จะจับสีจากโคชินีล (Cochineal) ซึ่งเป็นสีแดงส้มจากตัวแมลงตากแห้ง *Coccus cacti* จากแมกซิโกได้ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นจึงจำเป็นนอกเหนือจากการทำ mordanting ฝ้ายก่อนย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อม คือการเตรียมฝ้ายให้มีความชอบจับกับสีย้อมได้ดี มีการทดลองเตรียมผ้าฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยการดัดแปรโปรตีน 3 ชนิดคือ เจลาติน โปรตีนจากถั่วเหลือง และอีโมโกลบินจากวัว และกรดอะมิโน 5 ชนิด ได้แก่ L-asparagine, L-glutamic acid, L-proline, L-arginine และ L-lysine พบว่า เส้นใยเซลลูโลสจะสามารถจับกับสีมากขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้อย่างเจลาตินแต่เส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมโดยใช้กรดอะมิโนจะมีความชอบจับกับสีย้อมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองสรุปได้ว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใย ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ที่จะนำไปพัฒนาการย้อมเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยสีธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ ให้ติดสีเข้มและมีความคงทน

1.5.3 ความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ

ความคงทนของสีย้อมต่อการซักและต่อแสงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นเครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะต้องผ่านการซักล้างบ่อยครั้ง ถ้าเลือกสีย้อมและกรรมวิธีการย้อมไม่เหมาะสมมีความคงทนต่อการซักไม่ดีพอจะทำให้สีเปลี่ยนไป ตกซีดจางและเปื้อนติดสีบนผ้าอื่นก่อนที่จะหมดอายุการใช้งานของผ้าเป็นการสร้างปัญหาให้แก่ผู้ใช้สำหรับความคงทนต่อแสงนั้น แสงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับสีย้อมได้และโอกาสที่เครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะถูกกับแสงแดดแรงๆจะมีมากโดยเฉพาะประเทศเมืองร้อน ดังนั้นถ้าเลือกใช้สีย้อมที่มีความคงทนต่อแสงไม่ดีพอก็จะทำให้สีของผ้าซีดจางหรือเปลี่ยนสีเร็วก่อนหมดอายุการใช้งานของเนื้อผ้า ดังนั้นการที่จะเลือกสีย้อมและพัฒนาการย้อมให้เหมาะสมผู้ย้อมจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนต่อการซักและแสงของสีย้อมตลอดจนวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้

1.5.3.1 ความคงทนของสีย้อมต่อการซัก

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความคงทนของสีย้อมต่อการซักได้แก่ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใย กรรมวิธีการย้อม ขั้นตอนการซักล้างและการย้อมทับภายหลังการย้อม

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลายประเภททั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมีความแตกต่างกันภายในโครงสร้างของเส้นใยและสีย้อมมีการเกาะติดในเส้นใยอย่างดียากแก่การ

หลุดออกมาในระหว่างการชักล้าง ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใยอาจเกิดได้ใน 3 ลักษณะ คือ อาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ อาศัยการเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยและการเกาะติดด้วยการกักขังสีย้อมในเส้นใย

การเกาะติดของสีย้อมโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ 2 ประเภท คือ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มเคมีที่มีประจุต่างกันเกิดกับเส้นใยประเภทโปรตีน ในลอนที่ย้อมด้วยสีแอซิดและเบสิก แรงดึงดูดประเภทที่สองคือ แรงวันเดอร์วาล (Van der Waals forces) ซึ่งเกิดขึ้นได้กับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใยเข้ามาอยู่ใกล้กันมาก กำลังแรงดึงดูดจะขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่สัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลใหญ่กำลังแรงดึงดูดประเภทนี้จะมามาก นอกจากนี้การกระจายของอิเล็กตรอนที่ไม่สมดุลจะเกิดแหล่งประจุบวกและลบที่ถาวรบนโมเลกุลของสารที่สามารถเกิดแรงดึงดูดกับประจุใกล้เคียงได้ แรงดึงดูดอีกแบบที่เกิดกับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทคือ การเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นกับสารที่มีไฮโดรเจนอะตอมอยู่ติดกับอะตอมที่มี electronegativity สูงเช่น O, N และ halogen ในลักษณะเช่นนี้ไฮโดรเจนจะมีประจุบวกที่ถาวรและมีกำลังค่อนข้างแรงมากเกิดแรงดึงดูดกับแหล่งประจุลบของโมเลกุลข้างเคียงได้และมีกำลังแรงกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพข้างต้น สีย้อมที่มีลักษณะการเกาะติดในเส้นใยโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพดังกล่าวเป็นสำคัญได้แก่ สีแอซิด สีเบสิกและสีไดเร็กต์ จะมีความคงทนต่อการซักในช่วงต่ำมากถึงดีพอใช้เพราะแรงดึงดูดทางกายภาพมีไม่มากและเป็นแรงที่อ่อนสามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเบสของสารละลาย

การเกาะติดโดยอาศัยการเกิดพันธะเคมีแบบโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสีย้อมกับเส้นใย เช่นในกรณีที่ย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟโดยโมเลกุลของสีย้อมจะประกอบด้วยกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใย และพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นเป็นพันธะที่มีพลังงานสูงแข็งแรงทำให้ยากต่อการถูกทำลายดังนั้นสีย้อมจะมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

การเกาะติดโดยการกักขังสีย้อมภายในเส้นใยเพื่อให้มีความคงทนต่อการซักสูงทำได้ 2 วิธี คือ ในระหว่างการย้อมจะเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลในเส้นใยให้ใหญ่เป็นพิเศษซึ่งส่วนมากจะใช้ความร้อน จากนั้นจะให้สีย้อมแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างดังกล่าว ภายหลังการย้อมจะปิดช่องว่างนั้นลงทำให้สีย้อมถูกขังในเส้นใย การเกาะติดเกิดขึ้นกับเส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิด อีกวิธีหนึ่งคือการสังเคราะห์สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ภายในเส้นใย เช่นการย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีแวตเช่นอินดิโกโดยเมื่อเริ่มย้อมจะทำการเปลี่ยนสีย้อมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนเมื่อย้อมเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนสีย้อมให้กลับมามีอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งอยู่ภายในเส้นใย

กรรมวิธีการย้อม ก็มีความสำคัญในการทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักเช่น สีรีแอคทีฟมีความคงทนต่อการซักสูงเพราะเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเมื่อเติมต่างลงไปถ้าย้อมไม่ถูกวิธีก็จะ

ทำให้ความคงทนต่อการชักไม่เท่าที่ควร นอกจากนี้ในการย้อมถ้าใช้เวลาในการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปในเส้นใยไม่เพียงพอแล้วจะทำให้สีย้อมอยู่ในบริเวณพื้นผิวของเส้นใยเท่านั้น ความคงทนต่อการชักก็จะลดลงด้วย

ขั้นตอนการชักล้าง ภายหลังจากการย้อมจำเป็นต้องมีการชักล้างเพื่อกำจัดโมเลกุลของสีย้อมส่วนเกินที่ติดอยู่อย่างหลวมๆ ให้ออกไป ถ้าชักออกไม่หมดเมื่อนำไปทดสอบคุณภาพความคงทนของสีหรือผู้ใช้นำไปชักล้างจะทำให้สีหลุดออกมาได้อีกทำให้เสียความรู้สึกของผู้ใช้

1.5.3.2 ความคงทนของสีย้อมต่อแสง

สีย้อมทุกชนิดเมื่อโดนแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เนื่องจากแสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งเมื่อตกกระทบบนสีย้อมสามารถกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของสีย้อมหรือทำให้สีย้อมเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นที่อยู่ใกล้และเปลี่ยนรูปได้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีย้อมเมื่อโดนแสงเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ที่พบมากที่สุดคือ การซีดจางของสี การเปลี่ยนสีหรือทำให้ความสดใสของลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด หรือรูปแบบใดขึ้นกับองค์ประกอบรวมๆ กันหลายอย่าง ที่สำคัญคือ (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม ซึ่งมีมากมายหลายชนิดที่มีความคงทนต่อแสงต่างกัน เช่น สีเบสิกที่มีกลุ่มแอมโมเนียม ออกซิเนียมหรือซัลโฟเนียมอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจะมีความคงทนต่อแสงต่ำมาก ในขณะที่สีแควที่เป็นสารประกอบของแอนทราควิโนนมักจะมีมีความคงทนต่อแสงสูง และสีที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะก็มักจะทนแสงดีเช่นกัน (ข) องค์ประกอบของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น ก็มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง เช่น ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมเมื่อโดนแสงทำให้สีซีดจางเร็วขึ้น แต่คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนไม่มีผลต่อสีย้อม ความร้อนและความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อม เมื่อโดนแสงเช่นกัน สูตรโครงสร้างทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใย โครงสร้างที่แน่น เช่นเส้นใยสังเคราะห์จะทนแสงดีกว่าเส้นใยธรรมชาติเพราะโอกาสที่สารต่างๆ ในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยามีน้อยเส้นใยสังเคราะห์ดูดความชื้นได้น้อยกว่าเส้นใยธรรมชาติ จึงมีความคงทนต่อแสงสูงกว่าด้วย เพราะความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อมดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้การซีดจางของสีย้อมขึ้นกับ (ค) ส่วนประกอบของแสงที่มาตกกระทบบว่า มีรังสีแสงที่ทำให้เกิดการซีดจางมากน้อยเพียงใด โดยปกติแสงอุลตราไวโอเลตและรังสีแสงที่มีความยาวคลื่นถึงประมาณ 580 นาโนเมตร จะทำให้เกิดการซีดจางของสีย้อมได้มากกว่ารังสีในช่วงตั้งแต่ 580 นาโนเมตร ขึ้นไป (ง) ปริมาณของสีย้อมที่อยู่บนเส้นใย มีผลต่อความคงทนแสงเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าย้อมสีเข้มจะทนแสงได้ดีกว่าย้อมสีอ่อน เพราะสีย้อมจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากกว่าสีอ่อน ดังนั้นการอ้างถึงความคงทนต่อแสงของสีย้อม จึงควรระบุความเข้มข้นของสีบนชิ้นทดสอบด้วย ปริมาณสารแปลกปลอมอื่นๆ ในเส้นใยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทนแสงของสีย้อม เช่น สารที่ใส่ลงไป在线ใยเพื่อลดความเงามันของเส้นใยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทนแสงของสีย้อม เช่น สารที่ใส่ลงไป在线ใยเพื่อลดความเงามันของเส้นใยจะ

เร่งการเกิดการสลายของสีย้อมเมื่อโดนแสงเช่นเดียวกับสารที่ช่วยติดสีบนเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ถ้ากำจัดไม่หมดหลังการย้อมจะมีผลทำให้ความคงทนต่อแสงลดลงถึง 2 ระดับ นอกจากนี้สารตกค้างนุ่ม หรือสารที่เหลือตกค้างอยู่บนเส้นใย เช่น กรด ต่าง จะทำให้ความคงทนของสีย้อมต่อแสงลดลงเช่นกัน

ในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น การขยายตัวด้านธุรกิจท่องเที่ยวและด้านอุตสาหกรรมต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็วมนุษย์มีความสะดวกสบายกับการใช้เครื่องอุปโภคบริโภคและเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆมากขึ้นในขณะเดียวกันสิ่งเหล่านี้มากมายหลายชนิดก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการรณรงค์เพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในทุกด้าน ในแง่ของสีย้อมพบว่ามีสีสังเคราะห์หลายชนิดที่มีโครงสร้างเคมีเป็นอันตรายต่อสุขภาพและในกระบวนการย้อมที่ใช้สารช่วยติดสีที่เป็นเกลือโลหะหนักก็เป็นอันตรายเช่นกัน น้ำทิ้งจากการย้อมทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ปัจจุบันมีการตื่นตัวเกี่ยวกับการใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อฟื้นฟูภูมิปัญญาดั้งเดิมเกี่ยวกับสีธรรมชาติและกระบวนการย้อมเพื่อให้คุณภาพเทียบเท่าสีสังเคราะห์ สำนวญความต้องการและส่งเสริมการตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ มีการรวบรวมแหล่งและชนิดของสารให้สีธรรมชาติตลอดจนวิธีการสกัดและการใช้ กลุ่มคนจำนวนไม่น้อยในยุโรป อเมริกาและญี่ปุ่นได้ตระหนักถึงพิษภัยจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วที่ปราศจากการคำนึงถึงผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและได้สร้างพลังแห่งการบริโภคสินค้าปลอดสารพิษ ซึ่งพลังแห่งการบริโภคนี้อาจช่วยกระตุ้นให้การพัฒนาและค้นคว้าเรื่องสีธรรมชาติอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามสถานะภาพของสีย้อมธรรมชาติในปัจจุบันยังด้อยกว่าสีสังเคราะห์ในด้านปริมาณจากแหล่งธรรมชาติ กรรมวิธีการย้อม ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและความหลากหลายและถ้ามองในแง่ความปลอดภัยต่อสุขภาพและระบบนิเวศวิทยาของสีธรรมชาติก็ยังไม่เหนือกว่าสีสังเคราะห์ที่คัดเลือกแล้วว่าปลอดภัย ด้วยเหตุนี้สีธรรมชาติจึงยังไม่สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับวิกฤตการณ์ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศอันเกิดจากสิ่งทอได้ในระยะเวลานี้ แต่ในระยะยาวสีธรรมชาติจะมีโอกาสอย่างมากในการนำมาใช้ในปริมาณที่มากขึ้นหลังจากที่ได้มีการวิจัยทั้งทางด้านพื้นฐานและประยุกต์ของสีย้อมและเคมีของสิ่งทออย่างกว้างขวางแล้ว

1.5.4 คุณค่าของสีย้อมธรรมชาติและข้อจำกัดของการย้อม

โดยทั่วไปคุณประโยชน์ในการย้อมสีธรรมชาติที่สำคัญประกอบด้วย

ก. ปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคเพราะสีธรรมชาติไม่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพไม่มีอะไรจะเหยาะกระดากผิวหนังให้ระคายเคืองหรืออักเสบนอกจากนั้นสีธรรมชาติบางชนิดยังเป็นยาสมุนไพรที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น มะเกลือ สะเดา ฝางและดินฟ้า เป็นต้น

ข. ประหยัดการใช้สีจากต่างประเทศ ช่วยลดการขาดดุลการค้าของต่างประเทศ

ค. สามารถใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นให้เป็นประโยชน์

ง. สร้างความตระหนักในการอนุรักษ์ต้นไม้และสิ่งแวดล้อมกล่าวคือทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคจะเห็นคุณค่าของต้นไม้เพิ่มมากขึ้นเพราะต้นไม้ นอกจากนำมาทำเป็นอาหาร ยารักษาโรคที่อยู่อาศัยและเชื้อเพลิงแล้วต้นไม้ยังนำมาใช้ย้อมสีได้อีกด้วย

จ. พื้นฟูและอนุรักษ์ความรู้อันเป็นมรดกของประชาคมโลกมิให้สูญหายไป

ข้อจำกัดของสีธรรมชาติ

ในการย้อมสีธรรมชาตินี้ยังมีข้อจำกัดที่ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงอยู่อาทิเช่น

ก. วัตถุดิบในการย้อมสีธรรมชาตินั้นนับวันจะมีจำนวนน้อยลงยิ่งถ้าผู้ผลิตไม่ปลูกทดแทนก็จะหมดไปในที่สุดและถึงแม้จะมีการปลูกทดแทนก็จำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งไม่น้อยกว่า 4-5 ปี ดังนั้น การจัดหาวัตถุดิบจำนวนมากๆ มาใช้ในการย้อมสีธรรมชาติจึงทำได้ยาก

ข. คุณภาพของสีเช่น ค่าความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อการซัก การช้ดุนั้นอยู่ระหว่างขั้นต่ำถึงดี

ค. การย้อมซ้ำให้ได้สีเหมือนเดิมของสีธรรมชาติบางครั้งกระทำได้ยากเพราะวัตถุดิบที่นำมาใช้ย้อมนั้นสามารถควบคุมได้ยากเนื่องจากวัตถุดิบขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ต้นไม้ต้นเดียวกัน ในฤดูร้อนและฤดูฝนจะให้สีที่แตกต่างกัน หรือต้นไม้ประเภทเดียวกันอายุไร่เดียวกันแต่ขึ้นอยู่คนละพื้นที่ก็อาจจะมีสีต่างกัน เป็นต้น

ง. วัตถุดิบในการย้อมสีบางสีหายากหรือเทคนิคการย้อมสีบางสีนั้นยากเช่น สีดำจากมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นครามและสีแดงจากครั่ง ผู้ผลิตต้องมีความรู้และความชำนาญเฉพาะสีนั้นๆ ซึ่งผู้ผลิตทั่วไปไม่สามารถทำได้ ในกรณีเช่นนี้ผู้ผลิตบางรายก็จะหันไปใช้สีสังเคราะห์ที่ให้ผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อย (Low impact chemical dyes) ซึ่งปัจจุบันได้มีการผลิตและจำหน่ายกันแพร่หลายกันมากขึ้น สีสังเคราะห์ดังกล่าวไม่มีสาร azo ที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งจึงเป็นสีสังเคราะห์ที่ปลอดภัยแต่การใช้สีสังเคราะห์ที่ให้ผลกระทบน้อยนี้จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียอย่างถูกวิธีด้วยเช่นกัน

จ. การย้อมสีธรรมชาติมีหลายขั้นตอนและต้องใช้เวลาจากผู้ผลิตจึงต้องเป็นผู้ที่มีความอดทน ปรารถนาและละเอียดถี่ถ้วน และประเด็นสำคัญคือการย้อมสีธรรมชาติต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงจำนวนมากจำเป็นต้องมีการศึกษาและค้นคว้าการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1.6 การวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติและ การย้อม

ในประเทศอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาสูงที่สุดแล้ว สารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมสิ่งซักทอ สีย้อมสำหรับการเขียนภาพและทาสีวัสดุและสีในพลาสติกต่างๆ เป็นต้น ได้ผ่านการพัฒนามาถึงจุดสูงสุดแล้ว กล่าวคือ ได้ผ่านจุดสุดยอดของการวิวัฒนาการทางเคมีและเทคโนโลยีแล้ว เมื่อพิจารณาเฉพาะเคมีและเทคโนโลยีของสีสังเคราะห์แต่ถ้ารวมสีธรรมชาติเข้าไปด้วย พบว่ายังต้องมีการมองเคมีและ

เทคโนโลยีของสีย้อมออกไปอีกอย่างกว้างขวางแนวโน้มใหม่ของการวิจัยที่เป็นไปได้ทางด้านนี้มีได้หลายแนวทางคือ (ก) การใช้สีธรรมชาติร่วมกับสีสังเคราะห์โดยใช้หลักการร่วมกัน (ข) การใช้สารช่วยติดสีและสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อการซักกับสีธรรมชาติที่มีขายในท้องตลาด (ค) การใช้สารช่วยติดสี เช่น Triacylhexahydrotriazine, Methacrylamido glycolatemethylether และ carbodiimides ซึ่งช่วยปรับแต่งหมู่ไฮดรอกซิลของสารฟีนอลซึ่งพบมากในสีธรรมชาติส่วนใหญ่ (ง) เพื่อเพิ่มความคงทนของสีย้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการย้อมบนเส้นใยเซลลูโลสอาจต้องทดลองปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยโปรตีน และ (จ) ทักษะเฉพาะสำหรับเคมีของการย้อม คือ การพยายามใช้วิธีทางเคมีปรับปรุงคุณภาพของสีธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติให้คุณภาพที่เหนือกว่าคุณภาพที่พบในสีธรรมชาติส่วนใหญ่อาศัยหลักชีวสังเคราะห์ของโครงสร้างที่เป็นแกนหลักของสารให้สีผสมกับการปรับแต่งโครงสร้าง โดยการเตรียมทางเคมีอินทรีย์(แบบกึ่งสังเคราะห์) อาจจะให้ได้สีย้อมที่มีความหลากหลายยิ่งขึ้น ตัวอย่างของสีธรรมชาติที่มีการศึกษาทางด้านนี้โดยเริ่มจากสารสกัดจากธรรมชาติ คือ สารสีในกลุ่มแอนทราควิโนน และสีอินดิโก กลุ่มเส้นใยที่ใช้กันหลากหลายทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยได้แก่ ฝ้าย พอลิเอสเตอร์ ไหม ขนสัตว์ และไนลอน ซึ่งใช้สีสังเคราะห์ย้อม ได้ดีอยู่แล้วอาจใช้สีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วย้อมได้ดีเช่นกัน

1.6.1 ประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยเองนั้นการย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ส่งต่อกันมาหลายชั่วอายุคนและกำลังจะค่อยๆ สูญหายไปตามความทันสมัยของโลกปัจจุบัน อย่างไรก็ตามในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการตื่นตัวหันกลับมาใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น รัฐบาลไทยได้กำหนดนโยบายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพชาวชนบทด้านอาชีพสิ่งทอทุกสาขา ทำการค้นคว้าหาข้อมูลทดลองและฝึกอบรมในด้านการย้อมสีธรรมชาติให้แก่ราษฎรในหลักสูตรเบื้องต้นและพบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ในด้านความคงทนของสี ข้อจำกัดของเจดสีและความสดใสของสี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่เป็นที่นิยม ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) ได้สนับสนุนการจัดสัมมนาเรื่อง " การประเมินความต้องการแก้ปัญหาและการวิจัยเพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ" ผลการสัมมนพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคต่างๆ ของประเทศและเพื่อสร้างฐานข้อมูลให้แก่ักวิจัยทางสกว.ฝ่าย 2 ได้สนับสนุนการสำรวจกลุ่มทอผ้าใน 4 ภาคของประเทศในปี 2539 และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันในปี พ.ศ. 2540 เพื่อแสวงหาเป้าหมายร่วมและโจทย์วิจัยซึ่งสามารถพัฒนาเป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ปัญหาการฟอกย้อมสีธรรมชาติในระดับชุมชนได้ ปัญหาสำคัญที่พบและท้าทายให้มีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยมีหลายประการด้วยกัน อาทิ

1.6.1.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสีย้อมธรรมชาติ สุนัขหายหรือเลือนลางไปตามกาลเวลา เนื่องจากขาดผู้สืบทอดในหัวเวลาหนึ่ง ผู้ที่รู้วิธีย้อมและรู้จักวัสดุให้สีส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุที่มีวัยตั้งแต่ 60-80 ปีขึ้นไป บางคนเลิกทำไปแล้วเหลืออยู่แต่ความทรงจำเก่าๆ

1.6.1.2 กระบวนการย้อมสีธรรมชาติเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเส้นใยมีขั้นตอนยุ่งยาก ใช้เวลานาน อาทิ การย้อมสีด้วยรากยอป่าตามกรรมวิธีของชาวเขาเผ่ากระเหรี่ยงมีการนำฝ้ายมาย้อมรองพื้นด้วยน้ำมันหมูหรือน้ำมันพืชแล้วซ้ำอีกเป็นเวลาแรมเดือนแล้วจึงจะนำมาย้อมด้วยสีย้อมสกัดจากรากยอป่าในขั้นตอนสุดท้าย

การย้อมสีครามธรรมชาติมีขั้นตอนซับซ้อน ทั้งขั้นตอนเตรียมสีย้อมและขั้นตอนการย้อมเป็นเทคนิคที่ปกปิดและมีการถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่สู่ลูก จากยายไปสู่หลาน มีความเชื่อมากมายเกี่ยวกับสีคราม เช่น กล่าวว่ามีชีวิตบ้าง ถ้าผู้ย้อมครามประพฤติดนนอกหล่นนอกทางจะทำให้หม้อครามไม่พอใจการย้อมสีครามก็จะไม่สำเร็จ ต้องมีการเซ่นไหว้ขอมาด้วยเหล้าขาว เป็นต้น

1.6.1.3 ความรู้ทางด้านวิชาการและทางเทคนิคที่จำกัดของผู้ย้อมสีธรรมชาติเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของสีย้อมที่ได้

1.6.1.4 สีย้อมธรรมชาติมีเฉดสีที่จำกัด ไม่คงทนต่อการซักต่อแสงและต่อการขัดถู

1.6.1.5 สีที่ได้จากพืชมีเฉดสีที่แตกต่างกันตามอายุของพืช สายพันธุ์และฤดูกาล เก็บเกี่ยว ความไม่สม่ำเสมอของสีที่ได้นี้เป็นปัญหาต่อการประกอบธุรกิจสีย้อม ที่ไม่สามารถทำสีตามที่ลูกค้าต้องการได้ และไม่สามารถทำซ้ำได้

1.6.1.6 ข้อจำกัดในด้านความรู้เกี่ยวกับความหลากหลายของวัตถุดิบที่ให้สีย้อมธรรมชาติ

1.6.1.7 สีย้อมธรรมชาติหลายชนิดได้มาจากพืช ทั้งที่เป็นเปลือกไม้ แก่นไม้ รากไม้ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติดังกล่าวปริมาณมากๆ หากไม่มีการจัดการที่ดี จะทำให้ทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้นสูญสิ้นไปอย่างรวดเร็ว

1.6.2 พลิกฟื้นภูมิปัญญาไทยด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประเด็นสำคัญที่พบข้างต้นหลายประเด็นที่เป็นประเด็นร่วมที่พบในหมู่ผู้ทอดผ้าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยเฉพาะวิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุดิบให้สีที่เป็นสีหลักและเคยใช้มาในอดีต จากประเด็นที่พบเหล่านี้นักวิจัยกลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีจากภาคต่างๆ ได้ร่วมกันวางแผนงานวิจัยโดยมีเป้าหมายร่วมคือ "พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสิ่งแวดล้อม" และมีหัวข้อวิจัยหลักครอบคลุมสิ่งต่อไปนี้คือ การค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสี การปลูกและขยายพันธุ์ การศึกษา

องค์ประกอบของสารคดีสารช่วยติดสี การเตรียมวัตถุดิบให้สี (เน้นแม่สี) สารช่วยติดสี สารดูดสี กระบวนการย้อมสี คุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์โดยรวมและการแปรรูปสารให้สี สารช่วยติดสี การรักษาสิ่งแวดล้อม

จากข้อสรุปดังกล่าวโครงการวิจัยนี้ได้วางแผนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีให้ครอบคลุมปัญหาหลักต่างๆ ในขอบข่ายที่สามารถจะทำได้และพัฒนาส่งเสริมแบบครบวงจรโดยการวิจัยจะเป็นลักษณะสหสาขาวิชาระหว่างนักวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์และสาขาวิทยาศาสตร์ โดยเน้นการสำรวจและรวบรวมองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของผู้ทอผ้าสีธรรมชาติเกี่ยวกับการกรรมวิธีการย้อมและวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติของชุมชนในแถบภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด คือ เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุตรดิตถ์ โดยรวบรวมเป็นฐานข้อมูลอย่างมีระบบเพื่อการอนุรักษ์ และเพื่อให้กลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อการส่งเสริมต่อไป

เพื่อแก้ปัญหาในประเด็นต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นและทำให้สีย้อมธรรมชาติกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้งหนึ่ง สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.ฝ่าย 2) จึงให้ทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติหลายโครงการในภาคเหนือและภาคอีสาน โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน” เป็นหนึ่งในโครงการวิจัยที่ร่วมอยู่ในชุดโครงการนี้โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุดทะกุล อาจารย์จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย โครงการวิจัยนี้ได้วางแผนการวิจัยและพัฒนาโดยใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือภายใต้ขอบข่ายดังนี้

1.6.2.1 สำรวจ รวบรวม ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมผ้าฝ้ายและไหมด้วยสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนและอีสานเหนือโดยเน้น 3 สีหลักคือ แดง เหลือง และน้ำเงิน

1.6.2.2 สกัดสารสีหลักจากวัสดุธรรมชาติ ศึกษาองค์ประกอบ สมบัติและโครงสร้างทางเคมี

1.6.2.3 การแปรรูปสารสีที่สกัดได้จากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่ใช้งานและสะดวกต่อการเก็บรักษาและการพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูป

1.6.2.4 พัฒนาวิธีการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีความคงทน มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด ตลอดจนวิธีการใช้สีอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดมลภาวะจากน้ำทิ้ง

1.6.2.5 การเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติ นอกเหนือจากวิธีการส่งเสริมการปลูก เช่น การเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี การศึกษาสารสีจากจุลินทรีย์เพื่อให้มีวัตถุดิบเพียงพอในการผลิตเชิงพาณิชย์

1.6.2.6 การแสวงหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งใหม่เพิ่มเติม

1.6.2.7 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม

1.6.2.8 การแนะนำเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้สีย้อมสำเร็จรูป

ระยะเวลาในการทำโครงการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2541- กันยายน พ.ศ. 2543 รวม 2 ปี 6 เดือน เป็นระยะที่มีการดำเนินงานสำรวจ รวบรวมข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน การปรับปรุงกระบวนการย้อม สกัดแยกองค์ประกอบหลักของสีย้อม ศึกษาสมบัติ โครงสร้างขององค์ประกอบหลักที่แยกได้ การทดลองแปรรูปสีย้อมในระดับห้องปฏิบัติการ การเพิ่มผลผลิตสีย้อมจากพืช โดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีและการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้จุลินทรีย์เป็นแหล่งให้สีย้อมธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่ง

ระยะที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2544-กรกฎาคม พ.ศ. 2546 รวม 2 ปี เป็นช่วงที่มุ่งเน้นการขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม การแนะนำให้ผู้ประกอบการรู้จักและใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปในการย้อมผลิตภัณฑ์ให้กว้างขวางขึ้นและการสำรวจแหล่งสีย้อมธรรมชาติเพิ่มเติมรวมทั้งการผสมสารสีหลัก 3 สี เป็นสีอื่นๆ อาทิ สีแดงจากครั่ง ผสมสีครามเป็นสีย้อมที่มีสีม่วง สีเหลืองผสมสีน้ำเงินจากครามเป็นสีย้อมที่เป็นสีเขียว เป็นต้น

จากการดำเนินโครงการวิจัยใน ระยะเวลาที่ผ่านมา มีข้อสรุปวิธีดำเนินการและผลที่ได้รับพอสังเขปดังนี้

ก. การสำรวจองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของการย้อมสีธรรมชาติ ในพื้นที่ 10 จังหวัด ภาคเหนือตอนบน อันประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุดรดิตถ์ โดยเน้นที่การย้อมฝ้ายด้วยสีหลัก 3 สีคือ แดง เหลือง น้ำเงิน ในประเด็นวัตถุดิบให้สี กรรมวิธีการย้อมและสารช่วยติดสี พร้อมๆกับการสำรวจแหล่งและปริมาณของวัตถุดิบให้สีและสารช่วยติดสี โดยการออกไปยังพื้นที่ สัมภาษณ์ผู้ที่เคยย้อมในพื้นที่ จากข้อมูลที่ได้นำมาแยกประเภทของแหล่งให้สีว่า เป็นสัตว์ หรือพืช หรือแร่ธาตุ ถ้าเป็นพืชจะจำแนกตามส่วนที่ให้สี เช่น ใบ ดอก ผล กิ่งก้าน เปลือกลำต้น ราก หรือแก่น ทำการเปรียบเทียบวิธีย้อมด้วยวัตถุดิบให้สีชนิดเดียวกันในแต่ละท้องถิ่น ประเมินคุณภาพสีย้อมที่ได้โดยการตรวจสอบความคงทนต่อการซัก ความคงทนต่อแสง โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. เพื่อพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีที่ได้คุณภาพต่อไป

คณะผู้วิจัยได้เลือกวัตถุดิบที่ให้สีโดยใช้เกณฑ์ว่าเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ถ้าเป็นพืชจะต้องไม่ใช่ส่วนของแก่นไม้หรือเปลือกลำต้นและมีปริมาณมากพอ ทั้งมีแนวโน้มในการส่งเสริมการปลูกและเป็นไม้โตเร็วเพื่อการพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูปในขั้นตอนต่อไป

สำหรับวัตถุดิบที่ให้สีแดง ได้เลือกใช้รากยอป่าและครั่ง ยอป่าเป็นไม้ที่มีรากแตกแขนงในดินมากมาย ภายหลังการตัดรากบางส่วนไปใช้ ส่วนที่เหลือก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้อีก รากยอป่าเป็น

วัตถุดิบที่นิยมใช้ย้อมฝ้ายให้มีสีแดงในกลุ่มชาวเขาเผ่ากระเหรี่ยงมาแต่ครั้งโบราณ และยังเป็นมรดกตกทอดทางวัฒนธรรมจนถึงปัจจุบัน ส่วนครั้งมีการเลี้ยงมากในจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และแพร่ น้ำสีจากครั้งเป็นของเหลือทิ้งจากการนำครั้งไปบด ล้างเป็นครั้งเม็ดเพื่อนำไปผลิตเซลล์ วัตถุดิบให้สีเหลืองเลือกใช้น้ำมันเพราะมีอยู่ทั่วไปและปลูกง่ายใช้เวลาปลูกสั้น วัตถุดิบให้สีน้ำเงิน เลือกใช้ครามและย้อมเพราะปลูกได้ดีในภาคเหนือ สามารถหมักและเก็บไว้เพื่อแปรรูปต่อไปในช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยวได้

ข. ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ให้สี เพราะวัตถุดิบที่ทำให้สีติดตลอดจนวัตถุดิบอื่นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีทุกขั้นตอน โดยสืบค้นจากฐานข้อมูลและทำการทดลองพิสูจน์ยืนยัน หรือวิเคราะห์เพิ่มเติมถ้าเป็นแหล่งวัตถุดิบใหม่ที่ไม่มีข้อมูลรองรับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารให้สีได้แก่ สารละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆ เช่นอัลกอฮอล์ สีของสารสีที่เปลี่ยนแปลงในสภาพกรดและเบส องค์ความรู้เหล่านี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการย้อมสี และเป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีรวมถึงการแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

จากการศึกษาพบว่าสารสีแดงจากรากยอป่าเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนน มีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือ มอริโนน (morindone) และ อะลิซาริน-1-เมทิลอีเทอร์ (Alizarin-1-methyl ether) มีมวลโมเลกุลเป็น 270 และสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{10}O_5$ มีการเปลี่ยนสีตามสภาพกรดเบสของสารละลาย ในภาวะที่เป็นกรดจะให้สีเหลืองและในภาวะที่เป็นเบสจะให้สีแดง นอกจากนี้การเติมเกลือโลหะบางชนิดลงไปยังทำให้สีแตกต่างกันออกไปและทำให้สีติดแน่นคงทนอีกด้วย เช่น กับเกลือของแมกนีเซียมได้สีม่วงแดง กับเกลือของอะลูมิเนียมได้สีแดงส้ม กับเกลือของเหล็กได้สีม่วงแดงคล้ำ กับเกลือของโครเมียมได้สีน้ำตาล ส่วนสารสีแดงจากครั้งเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนนที่มีสารสีหลักเป็นกรดแลคเคอิก (laccic acid) มีการเปลี่ยนสีตามสภาพกรดเบสของสารละลายกล่าวคือ ในสภาพกรดตั้งแต่พีเอช 2.5 ลงไปมีสีแดงส้มถึงสีแดง ที่พีเอช ตั้งแต่ 3.4 ขึ้นไปให้สีแดงและสีแดงจะเพิ่มขึ้นตามพีเอชที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พีเอชของสารละลายยังส่งผลต่อการละลายของกรดแลคเคอิกด้วยคือ ที่พีเอชต่ำกว่า 7.2 กรดแลคเคอิกละลายน้ำได้ไม่ดีเกิดตะกอน กรดแลคเคอิกมีการเปลี่ยนแปลงสีตามชนิดของเกลือโลหะทำนองเดียวกันกับมอริโนนในรากยอป่า

สารให้สีหลักในขมิ้นคือ คอร์คูมิน (curcumin) มีมวลโมเลกุล 368 มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{21}H_{20}O_6$ ละลายน้ำได้บ้างและให้สีเหลืองอ่อน สีจะเข้มข้นเล็กน้อยเมื่อสารละลายมีสภาพเป็นกรด เมื่ออยู่ในสารละลายเบสจะมีการละลายดีขึ้น ได้สารละลายสีเหลืองส้ม สีจากขมิ้นไม่คงทนต่อแสง สีซีดจางเร็วมากเมื่อถูกแสงแดด สำหรับสีเหลืองนี้ยังต้องแสวงหาสารสีเหลืองจากวัตถุดิบชนิดอื่นที่ทนแสงมากกว่านี้

สารสีหลักที่พบในต้นครามหรือฮ่อม เป็นสารอินดิโก (indigo) ซึ่งแยกออกมาจากครามหรือฮ่อมโดยการนำต้นและใบครามหรือฮ่อมมาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สารสีที่อยู่ในพืชเหล่านี้ในธรรมชาติจะจับอยู่กับน้ำตาลกลูโคสในรูปของสารประกอบอินดิแคน (indican) ซึ่งจะถูกสลายด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในธรรมชาติและจากต้นพืชเองขณะที่นำพืชไปแช่น้ำให้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคสกับสารอินโดกซิล(indoseyl) แยกออกจากกัน และเมื่อนำน้ำสกัดมาเติมสารละลายเบสให้มีพีเอชประมาณ 11.0 ขึ้นไปแล้วให้อากาศโดยการตีฟองหรือปั๊มอากาศผ่านเข้าไปในสารละลาย อินโดกซิลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นอินดิโกทินหรือ อินดิโกสีน้ำเงิน (indigotin or indigo blue) ที่ไม่ละลายน้ำ และตะกอนอินดิโกสีน้ำเงินนี้เองที่จะใช้เป็นสีย้อมวัสดุและแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป ในการวิเคราะห์สารสีที่แยกได้จากครามและฮ่อมจากวิธีการเตรียมสารสีตามกระบวนการข้างต้นพบว่านอกจากจะได้อินดิโกสีน้ำเงินแล้วยังพบสารสีแดงชื่อ อินดิรูบิน (indirubin) ผสมอยู่ด้วยโดยมีสัดส่วนของปริมาณอินดิโกสีน้ำเงิน : อินดิรูบิน เท่ากับ 2:5 มีรายงานว่า อินดิรูบินนี้เป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสรรพคุณเป็นยาซึ่งชาวจีนใช้ในสมัยโบราณและชาวเขาเผ่าต่างๆ ในประเทศไทยก็ใช้กล่าวคือ ใช้เป็นสารลดไข้และมีฤทธิ์ต้านมะเร็งเม็ดเลือดซึ่งน่าสนใจที่จะศึกษาเพื่อใช้เป็นยาต่อไป

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ตรวจหาสารแทนนิน (tannin) ซึ่งเป็นสารช่วยติดสีหรือมอร์แดนต์ (mordant) ในพืชหลายชนิดพบว่าใบยูคาลิปตัสและใบเหมือดโอดมีปริมาณแทนนินสูงจึงนำใบพืชเหล่านี้มาอบแห้งบดเป็นผงแล้วต้มกับน้ำสกัดแทนนินออกโดยการต้มเกลือแกงเพื่อตกตะกอนแทนนิน กรองตะกอนที่ได้ทำให้แห้งแล้วเก็บไว้เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสีย้อมต่อไป

ค. การศึกษาการสกัดสารสีจากวัตถุดิบ ผลจากการทดลองสกัดสารสีจากรากยอป่าและขมิ้นเพื่อให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงพบว่าควรใช้ผงพืชอบแห้งและบด สกัดด้วยน้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิหรือแช่ใน 0.5% โดยน้ำหนักโซดาแอชอย่างน้อย 24 ชั่วโมงแยกน้ำสกัดออกแล้วแช่ใหม่อีก 24 ชั่วโมงจะได้น้ำสกัด 2 ครั้ง ครั้งแรกจะมีสารสีเข้มข้นกว่าครั้งที่สอง

ส่วนครามและฮ่อมใช้วิธีหั่นใบและต้นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถุงผ้ามัดปากแล้วแช่น้ำ 1 คืบ ถายน้ำหมักออกเก็บไว้และแช่น้ำใหม่อีก 1 คืบ นำน้ำสกัดที่ได้มาเติมน้ำด่างปูนไฮดรอกไซด์ 2 ส่วนต่อน้ำสกัด 1 ส่วน แล้วให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศที่ใช้ในอ่างเลี้ยงปลาประมาณ 30 นาที จนฟองสีน้ำเงินขึ้นเต็ม ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนจนตะกอนอินดิโกตกลงด้านล่าง ดูดน้ำด้านบนทิ้งไปล้างตะกอนโดยการเติมน้ำด่างลงไปจนให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 1 คืบ ถายน้ำด้านบนทิ้งไป เหลือแต่ตะกอนสีน้ำเงินเข้มข้นลักษณะเหมือนโคลน (indigo paste) เก็บไว้ใช้ต่อไป

จ. การเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากปลอดเชื้อ โดยนำเซลล์รากมาเลี้ยงบนอาหารวุ้นจนเกิดกลุ่มเซลล์ขนาดใหญ่มีสีน้ำตาลแดงผสมสีเหลือง นำเซลล์รากที่เพาะเลี้ยงได้มาสกัดสีและวิเคราะห์พบว่าสามารถผลิตสารสีได้เช่นเดียวกับรากของต้นยอป่ากล่าวคือมีสารสีมอร์อินโดนและอะลิซาลิน-1-เมทิลอีเทอร์ เช่นเดียวกัน ผลจากการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มสูงใน

การนำมาพัฒนาการเพิ่มผลผลิตสารสีจากรากยอป่าโดยการเพาะกลุ่มเซลล์รากยอป่าในปริมาณมากขึ้นในเวลาสั้นลง และอาจเพาะเลี้ยงเซลล์รากให้เจริญเป็นต้นเพื่อการส่งเสริมการปลูกอีกทางหนึ่งด้วย

คณะผู้วิจัยได้ทดลองศึกษาการเพิ่มผลผลิตของสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ที่แยกได้จากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ใบไม้ เปลือกไม้ ผลไม้ ดอกไม้ เห็ดและได้กรอกพบว่าจุลินทรีย์ที่ให้สีมีทั้งยีสต์ รา และแบคทีเรียโดยพบยีสต์ 81 สายพันธุ์ ให้สารสีชมพูซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ซึ่งมีสารหลักเป็นเบต้าแคโรทีน (β -carotene) และแอสทาแซนทิน (astaxanthin) สารสีชนิดนี้ยังไม่มีศักยภาพในการเป็นสีย้อมสิ่งทอเนื่องจากถูกออกซิไดส์ในอากาศได้ง่ายต้องเก็บไว้ในที่เย็นสภาพไร้ออกซิเจน แต่เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในอาหารเสริม นอกจากนี้ยังพบยีสต์อีก 11 สายพันธุ์ให้สารสีดำซึ่งเป็นสารเมลานิน (melanin) สำหรับราให้สารสีเขียวและแดงซึ่งปล่อยออกนอกเซลล์โดยสารสีแดงเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนนและสารสีเขียวเป็นสารในกลุ่มแนพทฮาควิโนน (naphthaquinone) สำหรับแบคทีเรียที่แยกได้ 1 สายพันธุ์จากเห็ดน้ำหมากอยู่ใน genus *Serratia* ให้สารสีแดงอมม่วงชื่อโพรดิจีโอซิน (prodigiosin) ที่มีศักยภาพสูงในการย้อมเส้นใย และสารสีชนิดนี้ยังเคยใช้เป็นสารปฏิชีวนะอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ามีความโน้มสูงในการเป็นสารต้านเซลล์มะเร็งซึ่งควรต้องมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดนี้ให้ผลผลิตสีในปริมาณมากในอาหารราคาถูก โดยการปรับสูตรอาหารและทดลองตรึงแบคทีเรียบนแผ่นโพลีเอสเตอร์แล้วเลี้ยงในอาหารดังกล่าวพบว่าสามารถผลิตเซลล์และสารสีได้มากขึ้นแยกและสกัดสารสีออกได้ง่าย มีความโน้มสูงที่จะพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

จ. การแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูป มีการทดลองนำสีผงที่เตรียมได้หรือสารสีสกัดเข้มข้นมาปรุงด้วยส่วนผสมต่างๆ ตามสูตรที่ทดลองย้อมผ้าและไหมแล้วว่าติดทนดี มาผสมเป็นสูตรน้ำย้อมแล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) และอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อให้ละลายกลับได้ง่ายและเก็บได้นานโดยไม่ขึ้นง่าย ทำการทดลองละลายและย้อม ประเมินคุณภาพสีที่ย้อมได้โดยตรวจสอบความสดใสของสี ความสม่ำเสมอ ความคงทนต่อการซักและแสง สำหรับรายละเอียดของสูตรผสมสีย้อมสำเร็จรูปที่ศึกษานี้มีอยู่ในบทถัดไป (ตั้งแต่บทที่ 2 เป็นต้นไป)

ข. การทดลองปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยโปรตีน ความพึงพิถันในการเตรียมเส้นใยเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดความสำเร็จของการย้อมสีเส้นใย โดยทั่วไปแล้วเส้นใยผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่ผึ้งหรือไขมันโดยดัดกับสารละลายที่มีส่วนผสมของโซดาแอช (โซเดียมคาร์บอเนต) โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) และสบู่เทียม ตามกระบวนการที่แนะนำโดยกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ฝ่ายที่ผ่านการทำความสะอาดแบบนี้จะมีสภาพพร้อมที่จะดูดซับสีได้ดีในระดับหนึ่ง แต่จากการสังเกตว่าเส้นใยไหมและขนสัตว์ซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนสามารถย้อมติดสีได้ดีกว่าเส้นใยฝ้าย ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส คณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะดัดแปลงเส้นใยฝ้ายโดยนำโปรตีนมาเคลือบ

บนเส้นใยฝ้ายก่อนการย้อมสี สำหรับโปรตีนที่นำมาเคลือบเส้นใยฝ้ายได้มาจากถั่วเหลืองและน้ำมัน โดยนำฝ้ายมาต้มในน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมัน และจากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปจะช่วยให้สีย้อมติดเส้นใยฝ้ายได้สีเข้มกว่าฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีน

ข. ประชาสัมพันธ์การใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปและวิธีการย้อมแก่กลุ่มผู้ผลิตสิ่งทอย้อมสีธรรมชาติในโอกาสที่ไปจัดนิทรรศการตามงานต่างๆ

1.6.3 กรอบวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติในประเทศไทย

สืบเนื่องมาจากการที่สีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เช่น การย้อมผ้า การเพิ่มสีสันของอาหาร เครื่องดื่มและยาให้มีความน่ารับประทาน หรือแม้แต่ในการผลิตทางการเกษตรก็ยังคงมีการใช้สี เช่น การแยกสีระหว่างเมล็ดบริโภค (Grain) และเมล็ดพันธุ์ (seed) เป็นต้น การใช้สีส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้สีสังเคราะห์ทางเคมีซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทำให้ประชาชนชาวโลกเริ่มหันมาให้ความสนใจที่ได้จากธรรมชาติมากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาผลกระทบที่กล่าวมาแล้ว ประกอบกับที่ในประเทศไทยมีพืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ จำนวนมากที่ให้สีตามธรรมชาติได้และสีที่ได้นั้นมีควมงามมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวและที่สำคัญเป็นภูมิปัญญาของท้องถิ่นซึ่งถ่ายทอดกันมาหลายชั่วอายุคนและควรมีการอนุรักษ์ไว้

การรวบรวม ศึกษาวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติได้ดำเนินการกันมาบ้างแล้วจนกระทั่งสามารถทราบว่ามีพืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ใดให้สารสีในและมีกรรมวิธีในการสกัดสีรวมทั้งย้อมสีให้ติดคงทนได้อย่างไร จึงนับได้ว่ามีข้อมูลจากการรวบรวม ศึกษาวิจัยและพัฒนาข้างต้นเป็นพื้นฐานที่ดียิ่งต่อการพัฒนาสารสีจากธรรมชาติให้สามารถเข้าสู่ระบบการผลิตเชิงพาณิชย์หรือเชิงอุตสาหกรรมได้ต่อไป ทั้งนี้สารสีธรรมชาติดังกล่าว จะต้องมีความสามารถแข่งขันได้กับสารสีที่สังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ไม่ทำลายพันธุ์พืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ในธรรมชาติ มีความสะดวกในการใช้เช่นเกี่ยวกับสารสีวิทยาศาสตร์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การ ศึกษาวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) จึงได้พิจารณาว่างกรอบวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติซึ่งเป็นผลจากการประชุม เรื่องสารสีธรรมชาติเมื่อ วันที่ 17 พฤศจิกายน 2546 ณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ที่จังหวัดนครราชสีมาไว้ดังนี้

1.6.3.1 เพื่อให้มีองค์ความรู้หรือภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสารสีธรรมชาติทั้งระบบซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาสารสีธรรมชาติและให้อนุชนรุ่นหลังได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.6.3.2 เพื่อให้มีการรวบรวมอนุรักษ์และขยายพันธุ์พืชที่เป็นวัตถุให้สืบทอดให้สูญหายไป และมีเพิ่มขึ้น

1.6.3.3 เพื่อให้มีข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการผลิตสารสีธรรมชาติบางชนิดที่มีศักยภาพในการแข่งขัน

1.6.3.4 เพื่อขยายสู่ทางในการใช้ประโยชน์สารสีธรรมชาติให้มากขึ้น เช่น การผลิตอาหาร เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอางและสิ่งของเครื่องใช้อื่นๆ เป็นต้น

ดังนั้นในระยะเวลา 3 ปี จาก พ.ศ. 2547-พ.ศ. 2549 จึงมุ่งดำเนินการวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติได้กรอบแนวต่อไปนี้

ก. ประมวลองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสารสีธรรมชาติทั้งระบบ เช่น วัสดุให้สี ส่วนที่ใช้สี สีที่ได้ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้เพื่อให้ได้สารให้สีต่อหน่วย กรรมวิธีการสกัดสี คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของสีและการนำสีไปใช้ประโยชน์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาสารให้สีและให้อนุชนรุ่นหลังได้สืบค้นและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข. ศึกษาวิจัย รวบรวม อนุรักษ์และขยายพันธุ์พืชที่เป็นวัตถุให้สี

ค. วิจัยและพัฒนาให้ได้ข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการผลิตสารสีจากธรรมชาติบางชนิดที่มีศักยภาพในการแข่งขันและมีการนำมาใช้งานจำนวนมากพอในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างรูปแบบการบริหารจัดการการผลิตสารสีธรรมชาติแบบ cluster ซึ่งมุ่งให้ชุมชนผลิตสินค้าตามวัตถุดิบและความถนัดของชุมชน

ง. วิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของสารสีให้กว้างขวางขึ้น เช่น ใช้ในการผลิตอาหาร เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอาง รวมทั้งสิ่งของและเครื่องใช้อื่นๆ

สำหรับแนวทางตามข้อ (ก) นั้นน่าจะทำได้ง่ายจากผลงานวิจัยต่างๆ ที่มีผู้ทำไว้แล้วแต่นำมา รวบรวมให้เป็นระบบและเพิ่มเติมเสริมจุดที่ขาดไป ส่วนข้อ (ข) นั้นทางโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชก็ได้รวบรวมไว้บ้างแล้วน่าจะดำเนินการวิจัยพัฒนาตามแนวทางนี้ได้เป็นอย่างดี สำหรับแนวทางตามข้อ (ค) นั้น คณะผู้วิจัยซึ่งมี รศ.ดร.สุรีย์ พุตระกูล ได้ดำเนินการมามากพอสมควรในด้านการผลิตสารสีธรรมชาติสำเร็จรูปบางสีที่มีข้อมูลเชิงพาณิชย์และความหลากหลายของสีตามความต้องการของตลาด และในข้อ(ง) นั้น คณะผู้วิจัยนี้ได้เสนอขอต่อโครงการการพัฒนาสารสีธรรมชาติในระยะที่ 3 ตามแนวทางที่ระบุไว้รวมทั้งการปรับปรุงคุณภาพการผลิตสารสีย้อมสำเร็จรูปตามแนวทางข้อ (ค) ไว้ด้วยเพื่อความครบสมบูรณ์ของวัตถุประสงค์และการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

บทที่ 2

การพัฒนาการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มคงทน

2.1 ผลการวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติ

วัตถุดิบสำคัญในการย้อมสีทอผ้าพื้นบ้านที่หาได้ในท้องถิ่นนิยมใช้ส่วนต่างๆ ของพืชและสัตว์ ทั้งที่เป็นความรู้สืบทอดกันมาแต่ดั้งเดิมและพัฒนาขึ้นมาใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) ได้ตระหนักถึงความสำคัญของผ้าทอไทยทั้งที่เป็นผ้าทอมือหรือผ้าทอพื้นบ้านและผ้าทอในระบบอุตสาหกรรมจึงสนับสนุนให้เกิดการศึกษาค้นคว้าวิจัยที่เป็นการศึกษาและพัฒนาการทอผ้าทั้งสองประเภทซึ่งมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันโดยชี้ให้เห็นว่าการผลิตผ้าทอของไทยหากได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างมีระบบและเต็มรูปแบบก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนภายใต้การสร้างและใช้ทรัพยากรอย่างสมดุล

ในการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคต่างๆ ของประเทศไทยโดย ดร. นภัส ศิริสัมพันธ์ กอรัณ และคณะจากสถาบันวิจัยสังคมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยรวมทั้งสิ้นกว่า 143 กลุ่ม มีสมาชิกกว่า 5.2 พันคน ส่วนใหญ่อยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีการพัฒนารูปแบบการผลิตและการจัดการกลุ่มไปสู่เครือข่าย เพื่อจำหน่ายแก่ตลาดหลักใน 3 ระดับ ที่ต้องการผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นบ้านในรูปแบบแตกต่างกัน คือ ตลาดท้องถิ่น (ตลาดใน) ตลาดภายนอกและตลาดชาจร และได้ภาพรวมปัญหาและความต้องการของกลุ่มทอผ้าด้านวัตถุดิบ(สีย้อม) วัตถุดิบ (เส้นใยไหมและผ้า) การทอและกระบวนการย้อมและการจัดการสำหรับปัญหาด้านการย้อมสีธรรมชาติในกลุ่มทอผ้ามีความต้องการความรู้ในการปลูกพืชที่ให้สีย้อมทดแทนวิธีการสกัดสีเพื่อเก็บไว้ใช้ เทคนิคการย้อมและกระบวนการใช้สารติดสีเพื่อปรับปรุงคุณภาพและความคงทนของสี อุปกรณ์การย้อม การเพิ่มเจดสี จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดฐานข้อมูลสำคัญของกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในแง่ของจำนวน ที่ตั้งขนาดของกลุ่มประเภทของสิ่งทอ สีที่ใช้ย้อม ตลอดจนปัญหาอุปสรรคต่างๆ ที่กลุ่มประสบอยู่ในกิจกรรมการทอผ้าและสะดวกต่อการศึกษาค้นคว้าพัฒนาในด้านต่างๆ ต่อไป

จากฐานข้อมูลดังกล่าวทางสกว. ได้สนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนาการย้อมด้วยสีธรรมชาติทั้งทางด้านสังคมและวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี อาทิ งานวิจัยโครงการประมวลสถานการณ์ วิสัยทัศน์ และกลยุทธ์การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อยกระดับผ้าทอพื้นบ้านไทยโดย รศ. บัณฑิต ศรีนิล คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี ม.ธรรมศาสตร์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผ้าทอพื้นบ้านยังคงมีการใช้สีย้อมธรรมชาติแบบดั้งเดิมและสีย้อมธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ แต่สีย้อมธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ยังคงต้องปรับปรุงด้านเทคนิควิธีย้อมเพื่อให้สีติดทนทานได้ดี

งานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาเทคนิคการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจากครามและครั่ง" โดย ผศ.ดร.ไพศาล คงคาอุยชัย และคณะจากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า การย้อมสีครามนั้นทำได้ยาก มีปัญหาทางด้านเทคนิคมากที่สุดเนื่องจากกรรมวิธีในการหมักครามเพื่อให้ได้เนื้อครามมาทำสีย้อมนั้นต้องใช้เวลาเอาใจใส่ดูแลอย่างมากตั้งแต่ภาชนะที่ใช้หมัก อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม จึงไม่นิยมย้อมเส้นไหมด้วยสีคราม อย่างไรก็ตามสามารถย้อมเส้นไหมสีครามที่มีคุณภาพดีได้หากทำการย้อมในภาวะที่เหมาะสมคือ การย้อมที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสนาน 15 นาทีและทำซ้ำ 6 ครั้ง จึงจะได้ผ้าสีเข้มชดสีไม่ตกและทนต่อแสงได้ดี ส่วนการย้อมเส้นไหมด้วยสีครั่งนั้นเป็นกระบวนการคายความร้อนจึงควรย้อมที่อุณหภูมิสูงหากต้องการให้สีติดเส้นไหมได้เร็วในช่วงเวลาสั้น หากต้องการให้เส้นไหมมีความคงทนต่อสี การตกสี การเปลี่ยนสี ควรใช้น้ำหมักเป็นสารช่วยติดสี หลังการย้อม การใช้สารช่วยติดสีต่างๆ ชนิดจะทำให้ได้เส้นไหมที่มีเฉดสีต่างๆ กัน ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีครั่งคือ การย้อมที่ใช้ใบหมักผสมน้ำมะขามเป็นสารช่วยติดสีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 30-40 นาที

สำหรับงานวิจัย "การพัฒนาระบบการย้อมสีธรรมชาติเพื่ออุตสาหกรรมครอบครัว" โดย ผศ.ดร.อนันต์เสวก เหวซึ่งเจริญและคณะ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ ม.เชียงใหม่ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำความสะดวกด้วยฝ้ายก่อนการย้อม คือการทำความสะดวกด้วยเบส พร้อมการฟอกขาว แต่สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนจะใช้วิธีการทำความสะอาดด้วยสบู่และโซดาแอช แม้ไม่ได้เส้นด้ายที่ขาวเท่าวิธีแรกแต่สะดวกในการปฏิบัติ ในกระบวนการย้อมด้วยน้ำย้อมทุกชนิดที่ศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส ส่วนมากใช้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีคือ 60 นาทีโดยน้ำย้อมหญ้าหวาน ใบสะเดา และเปลือกต้นสมอไทยสามารถดูดซึมได้สูงถึง 70-80% ขณะที่น้ำย้อมสีธรรมชาติอื่นๆ ส่วนมากดูดซับสีได้ไม่ดีนัก (ไม่เกิน 40%)

นอกจากนี้งานวิจัยเรื่อง " การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน" โดย รศ.ดร.สุรีย์ พุตระกูลและคณะ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบุว่าจากการสำรวจองค์ความรู้ดั้งเดิมของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน สุโขทัย อุตรดิตถ์ และแม่ฮ่องสอน พบว่าสีย้อมธรรมชาติ 3 สีหลักที่ชาวบ้านนิยมใช้ คือ สีแดงจากรากยอป่าและครั่ง สีเหลืองจากขมิ้นและสีน้ำเงินจากครามและฮ่อม พบได้ทั่วไปในภาคเหนือ ส่วนพืชที่ใช้ช่วยให้ติดสีหรือเป็นมอร์แดนต์ส่วนใหญ่เป็นพืชที่รู้จักดี มีอยู่ทั่วไป เช่น ใบฝรั่ง ยูคาลิปตัส ใบมะไฟ ใบสาบเสือ ใบเหมือนโลด ใบขี้เหล็ก ผลหมาก ต้นและใบโสมหนาม แก่นสีเสียดเทศ เป็นต้น โดยได้ทำการรวบรวมจะจัดทำเป็นหมวดหมู่ไว้แล้ว และยังพบว่าสีย้อมธรรมชาติที่นิยมใช้ 3 สีหลักนั้นสามารถนำมาสกัดและแปรรูปให้สะดวกต่อการใช้งานและเก็บรักษาโดยแปรรูปเป็นสีผง

แห้งและอัดเป็นเม็ดแกรนูลซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปได้ และในการแปรรูปนี้ต้องทำการทดสอบวิธีการย้อมและคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีด้วยซึ่งทำให้พบแนวทางในการแก้ปัญหาเรื่องการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติซึ่งมักจะติดสีอ่อนหลังจากผ่านการซักด้วยสบู่หรือผงซักฟอกแล้วและบางสีก็ไม่ติดทนมักจะหม่นและซีดจางตามจำนวนครั้งของการซัก อีกประการหนึ่งคือไม่สามารถย้อมให้ฝ้ายติดสีเข้มได้ตามความต้องการเมื่อย้อมเพียง 1-2 ครั้ง และบางสีเช่นสีแดงย้อมแล้วได้เพียงสีชมพูเข้มออกแดงเท่านั้น

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา มา ได้มีการพัฒนาวิธีการย้อมสีธรรมชาติ และพัฒนาสารสีที่สกัดได้จากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่ใช้งานและสะดวกในการเก็บรักษาได้ผลงานวิจัยที่ระดับหนึ่ง และมีแนวโน้มสูงที่จะขยายเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรมหรือระดับหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการที่จะให้สิ่งทอย้อมสีธรรมชาติมีความคงทนและมีคุณภาพน่าใช้เพียงพอที่จะแข่งขันกับต่างประเทศได้นั้น ยังต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวิธีตรึงสีธรรมชาติบนผลิตภัณฑ์สิ่งทออย่างถาวรและมีผิวสัมผัสที่น่าใช้ ซึ่งจุดสำคัญของกระบวนการนี้น่าจะอยู่ในขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่ 2 ของกรรมวิธีการย้อมสีกล่าวคือ การเตรียมเส้นใยชนิดต่างๆ เพื่อตรึงสีย้อมธรรมชาติได้อย่างถาวรโดยใช้ตัวเชื่อมที่เกาะติดบนเส้นใยอย่างแข็งแรงด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้เส้นใยเหล่านั้นมีความว่องไวที่จะจับยึดโมเลกุลของสีไว้ได้มากด้วยพันธะที่แข็งแรง เป็นผลให้เส้นใยติดสีเข้มและคงทน นอกจากนี้การเตรียมสารสีย้อมธรรมชาติให้มีกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาแบบสรีรแอคทิฟ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใย โดยเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มเคมีของเส้นใย จะทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

2.2 การย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มและคงทน

ปัจจุบันสีย้อมธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นทุกขณะ แม้ว่าจะมีข้อด้อยหลายอย่างจากสิ่งเคราะห์ในแง่การติดสีเข้ม ความสดใสของสี ความคงทนของสีต่อการซัก ชัดเจนและแสง ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความคงทนของสีย้อมต่อการซัก ได้แก่ ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใย กรรมวิธีการย้อม ขั้นตอนการซักล้างและการย้อมทับภายหลังการย้อม ผลงานวิจัยที่ผ่านมา มาเกี่ยวกับกรรมวิธีการสกัดและย้อมสีธรรมชาติได้ ทำให้สีธรรมชาติติดบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ดีขึ้นในระดับหนึ่งและทดสอบเฉพาะเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยเซลลูโลส (ฝ้าย, ป่าน, ไยกันชง) ไหม เป็นต้น แต่ยังไม่สามารถที่จะทำให้สีธรรมชาติติดเส้นใยได้แน่นมีสีเข้มและตามที่ตลาดต้องการได้

ในกรรมวิธีการย้อมนั้น การเตรียมเส้นใยก่อนการย้อมสีให้มีหมู่ต่างๆ ที่ไวต่อการจับกับสีย้อมได้แน่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ในการย้อมสีธรรมชาติ การย้อมทับเส้นใยต่างๆ ด้วยสารช่วยจับสีหรือมอร์แดนท์ก่อนและ/หรือหลังการย้อมเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลระดับหนึ่งบนเส้นใยเซลลูโลส แต่สีก็ยังไม่ได้ติดเข้มและสดใสเท่ากับการนำไปย้อมเส้นไหม ทั้งนี้เพราะเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซีที่จับสีได้เพียงชนิดเดียว แต่เส้นไหมหรือใยไหมเป็นโปรตีน มีหมู่แขนงข้างหลายชนิดที่จะจับกับโมเลกุลของสีได้ อาทิ

เช่น หมูอะมิโน หมูคาร์บอกซิลิก หมูไฮดรอกซี เป็นต้น ได้มีการนำโปรตีนชนิดต่างๆ มาเคลือบบนเส้นใยเซลลูโลส พบว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใยก่อนการย้อมเส้นใยเหล่านั้น สามารถจับกับสารที่ต้องการได้มากและมีความคงทน แม้จะผ่านการซักล้างหลายๆ ครั้ง ก็ยังรักษาสภาพเดิมไว้ได้

ปัญหาของกระบวนการผลิตผ้าทอในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ การได้ผ้าสีไม่สดใส ไม่คงทน และเกิดการเปลี่ยนเฉดสี จึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการย้อมสีซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตผ้าที่มีคุณภาพดี สีสดใส และคงทน โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษาเรื่อง " การรวมขั้นตอนการย้อมสีรีแอคทีฟดัดแปรและการตกแต่งสำเร็จของผ้าฝ้าย" โดย ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ และคณะ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ ค้นพบว่าการนำสีรีแอคทีฟที่มีขายในท้องตลาดมาดัดแปรโดยให้ทำปฏิกิริยากับไดเอทานอลามีน จะสามารถผสมกับสารตกแต่งสำเร็จ และแมกนีเซียมคลอไรด์ ได้เป็นอย่างดีและสามารถนำมาย้อมได้อย่างสะดวกด้วยกระบวนการเพียงขั้นตอนเดียว ผ้าที่ได้จึงมีการคงทนของสีและทนต่อการยับได้ดี นอกจากนี้ งานวิจัยเรื่อง "การศึกษาการลดปริมาณการใช้คอสติกโซดาในกระบวนการชุบมัน" โดย ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการชุบมันจะช่วยให้ได้ผ้าที่มีสีติดเข้มและสม่ำเสมอ มีความเงาและแข็งแรงมาก การชุบมันที่มีความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% หรือ 25 Be ที่ 30 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนระยะที่ 1 นั้น คณะผู้วิจัยได้พบวิธีทำ premordanting ฝ้ายด้วยวัสดุธรรมชาติให้ย้อมสีธรรมชาติได้สีติดเข้มและคงทนนั้น พบว่าการทำความสะอาดฝ้ายด้วยสบู่หรือผงซักฟอกแล้วนำมาต้มกับน้ำถั่วเหลืองนาน 30 นาที ก่อนนำไปย้อมเป็นวิธีที่ช่วยให้สีติดเข้มและทนกว่าปกติซึ่งน่าสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่อไปในโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติระยะที่ 2 นี้

2.3 การทดลองทำ premordant ฝ้ายด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองและน้ำนม และการใช้น้ำย้อมสีอย่างมีประสิทธิภาพ

ในโครงการวิจัยระยะแรกพบว่าด้ายฝ้ายหรือผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วต้มกับน้ำถั่วเหลืองจะติดสีเข้มกว่าไม่ต้มและเข้มกว่าการใช้มอร์แดนท์ ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เพราะถั่วเหลืองมีโปรตีนซึ่งจะไปเคลือบบนเส้นด้ายทำให้มีหมู่แขนงข้างที่สามารถจับกับสีได้มากมายหลายชนิดกว่าฝ้ายซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีเพียงอย่างเดียวและไม่ใคร่มีบทบาทในการจับกับสีมากนัก ปัญหาที่ใคร่รู้ที่ตามมาคือ (1) ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลืองปริมาณเท่าใดที่จะเหมาะสมในการนำมาเคลือบฝ้าย (2) โปรตีนจากแหล่ง

อื่นๆ เช่น จากน้ำมันใช้ได้หรือไม่ (3) การเคลือบด้วยโปรตีนโดยการต้มเป็นการสร้างพันธะระหว่างหมู่แขนงข้างของโปรตีนกับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นด้ายฝ้ายเป็นพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงนั้นจำเป็นหรือไม่ที่จะต้องทำความสะอาดฝ้ายอย่างดีก่อน (กรณีนี้ด้ายจากโรงงานซึ่งผ่านขั้นตอนการล้างไขมันจากฝ้ายเกลียวดิบแล้ว) เพื่อให้ได้คำตอบนี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองใช้ฝ้ายเบอร์ 10/1 จากโรงงานแบ่งมาทำความสะอาดเป็นสามแบบ คือ ชักด้วยน้ำเปล่า

ชักด้วยผงซักฟอก

ชักด้วยโซดาแอชและสบู่

ขั้นแรกนำด้ายฝ้ายที่ชักด้วยโซดาแอชและสบู่มาต้มในน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่มีความเข้มข้นของโปรตีนต่างๆ กัน คือ 1, 5, 7.5, 10, 15.5 และ 1, 5, 10, 15, 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับและด้ายฝ้ายชักน้ำเปล่าต้มกับน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่มีความเข้มข้นของโปรตีนสูงสุดคือ 15.5 และ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำมาย้อมด้วยน้ำสีจากครั่งและรากยอป่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าด้ายติดสีเข้มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นทั้งโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันเมื่อย้อมทั้งในน้ำสีจากครั่งและรากยอป่า อย่างไรก็ตามในการทดลองขั้นต้นนี้ยังไม่มีด้ายที่ทำความสะอาดอย่างเดียวก่อนต้มกับโปรตีนมาย้อมเปรียบเทียบได้อาศัยข้อมูลเดิมที่ย้อมติดสีได้ ในจุดนี้คณะผู้วิจัยจะต้องทำการทดลองซ้ำอีก การทดลองนี้จึงยังไม่ตรวจสอบคุณภาพเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบการติดสีเมื่อมีโปรตีนปริมาณสูงสุดของการทดลองระหว่างชักน้ำเปล่าและชักด้วยโซดาแอชและสบู่ พบว่าความเข้มของสีที่ย้อมได้มีปริมาณพอๆ กันจึงคาดว่า การทำความสะอาดฝ้ายโรงงานเพื่อต้มกับน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเพื่อเคลือบโปรตีนนั้นไม่จำเป็นต้องพิถีพิถันมากนัก ซึ่งผู้วิจัยจะยืนยันซ้ำอีกครั้งในการเปรียบเทียบการชักทั้ง 3 ชนิด

ข้อที่น่าสังเกตคือการติดสีของน้ำย้อมบนฝ้ายที่ต้มด้วยปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นั้นการแปรปริมาณละเอียดมากเกินไปทำให้มองเห็นความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้นไม่ชัดเจนแต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กับ 15.5 หรือ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะเห็นความแตกต่างได้ชัด อย่างไรก็ตามควรทดลองใช้น้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเพื่อดูแนวโน้มการติดสีว่าเข้มขึ้นหรือไม่ คณะผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าถ้าใช้น้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเข้มข้นมากจะมีตะกอนเกาะบนด้ายฝ้ายหรือบนผืนผ้าฝ้าย ต้องทำการสกัดหรือซักคราบออกให้หมดมิฉะนั้นถ้านำไปย้อมจะติดสีต่าง สีจะติดเข้มมากในส่วนที่มีคราบน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเกาะอยู่ (เกิดมากถ้าใช้ผ้าฝ้ายย้อม) จึงควรต้องระมัดระวังในจุดนี้

สำหรับการทดลองใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพนั้น น้ำสีที่ผ่านการใช้ย้อมมาแล้วครั้งหนึ่งนอกเหนือจากการใช้ย้อมผ้าหรือด้ายฝ้ายที่ต้องการสีอ่อน หรือย้อมกระดาษสาแล้วคณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้

ย้อมโครงใบไม้พบว่าได้ผลดีมากได้ใบไม้หลากหลายสีที่จะนำไปประดิษฐ์และแต่งปกสมุดหนังสือ การ์ดอวยพร ต่างๆ ฯลฯ ตัวอย่างโครงใบไม้ย้อมสีแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 การย้อมสีครั้งบนด้ายฝ้ายที่ซักด้วยโซดาแอชและสบู่แล้วต้มกับน้ำถั่วเหลือง(ก) และน้ำนม (ข) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ (* ฝ้ายที่ซักด้วยน้ำเปล่า)



รูปที่ 2.2 การย้อมสีรากยอป่าบนด้ายฝ้ายที่ซักด้วยโซดาแอชและสบู่แล้วต้มกับน้ำถั่วเหลือง (ก) และน้ำนม (ข) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (* ฝ้ายที่ซักด้วยน้ำเปล่า)



รูปที่ 2.3 การย้อมสีโครงใบไม้ด้วยน้ำย้อมสีธรรมชาติ ที่ย้อมฝ้ายแล้ว

2.4 การศึกษาหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันในการต้มฝ้ายที่หาความสะอาดแล้วก่อนย้อม

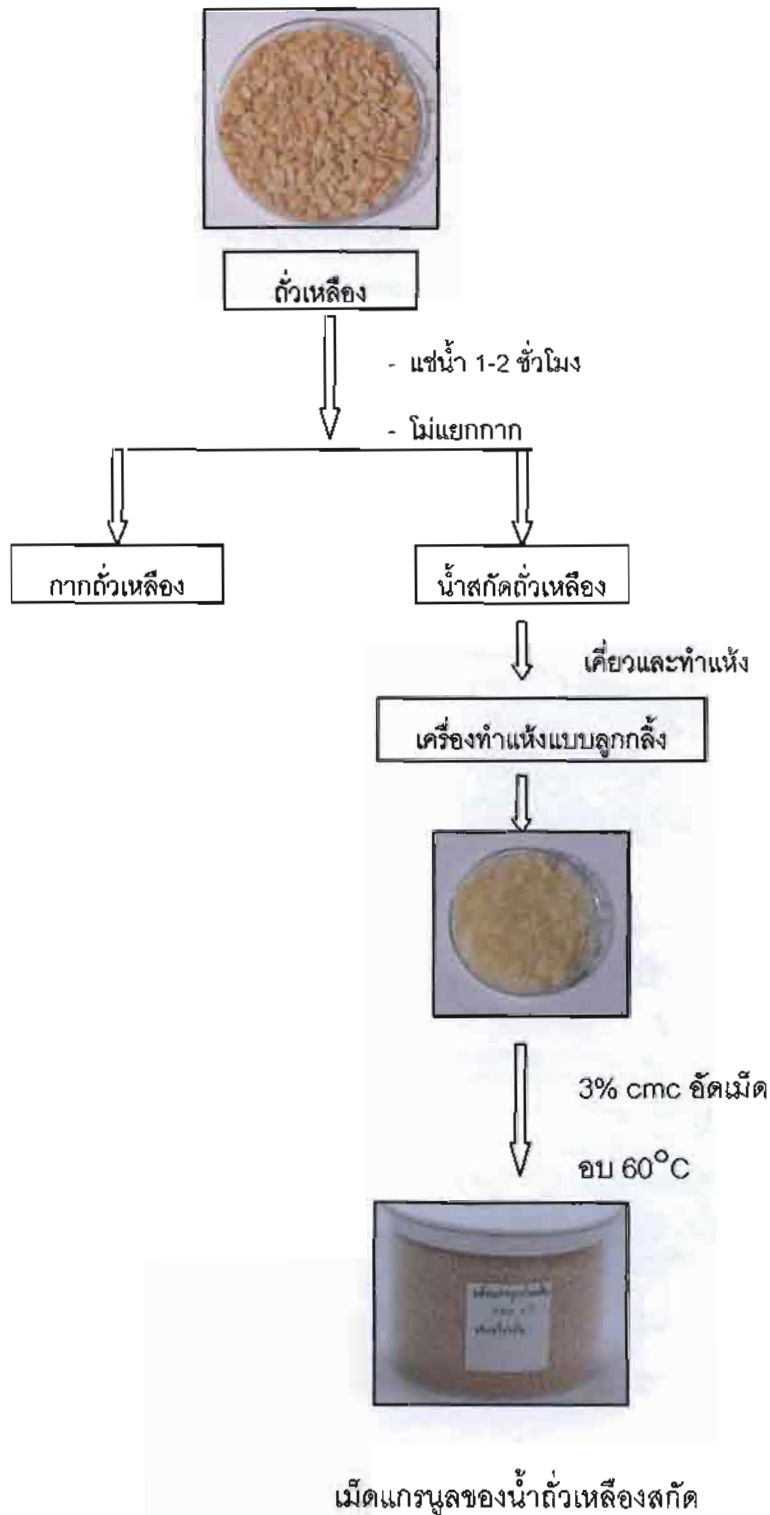
จากการทดลองในข้อ 2.3 พบว่าฝ้ายที่ต้มด้วยน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่ความเข้มข้นของโปรตีนต่างๆ สามารถทำให้ด้ายฝ้ายติดสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้และมีแนวโน้มเหมือนกันเมื่อย้อมด้วยสีจากรากยอป่าและครั้งแต่การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสีที่เพิ่มขึ้นยังไม่ชัดเจน ประกอบกับผู้วิจัยไม่ได้นำฝ้ายที่ทำความสะอาดเพียงอย่างเดียวมาย้อมเปรียบเทียบ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองใหม่โดยมีด้ายฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วไม่ต้มกับโปรตีนมาย้อมเปรียบเทียบและปรับปริมาณโปรตีนในน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันให้สูงขึ้นเพื่อดูว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมสูงสุดเป็นเท่าใดในการที่จะทำให้สีเกาะติดด้ายฝ้ายได้เข้มที่สุด การทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

- ก. ทำการเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบใช้ลูกกลิ้งและอัดเม็ด
- ข. การหาปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองจากดอยคำ น้ำเต้าหู้จากตลาด น้ำเต้าหู้เตรียมเอง ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งและอัดเม็ด นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ และนมสดห้วยแก้ว การหาปริมาณโปรตีนนั้นใช้วิธีจับสี Coomassie brilliant blue เทียบกับโปรตีนมาตรฐาน BSA
- ค. ทดลองต้มฝ้ายที่ซักสะอาดแล้วในน้ำสกัดโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ปริมาณต่างๆ แล้วทดลองย้อมสีธรรมชาติ

2.4.1 การเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งและอัดเม็ด

น้ำถั่วเหลืองจำนวน 15 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 16 บาท มาแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง นำมาทำเป็นน้ำถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องโม่ปั่นแยกกากสำหรับทำน้ำมันถั่วเหลือง นำน้ำถั่วเหลืองที่ได้มาต้มให้งวดแล้วจึงนำมาทำแห้งโดยผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Dryer) ที่อุณหภูมิ 100-105°C ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 15 Hz ระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตร ได้ผงแห้งทั้งหมด 7.52 กิโลกรัม จากนั้นนำน้ำถั่วเหลืองผงที่ได้อัดเป็นเม็ดแกรนูลใช้ ถั่วเหลืองผง 100 กรัม กับ carboxy methyl cellulose (cmc) 3 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร นำไปผ่านเครื่องอัดเป็นเม็ดแกรนูล และอบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดผ่านตระแกรง จะได้เม็ดแกรนูลออกมา ซึ่ง cmc ใส่ลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวทำให้ผงถั่วเหลืองสัดเกาะกันเมื่ออัดเป็นเม็ดและเมื่อนำเม็ดแกรนูลที่ได้ละลายในน้ำเพื่อต้มกับฝ้ายจะทำให้สารสกัดแขวนลอยในน้ำได้ดีเหมือนเดิมไม่ตกตะกอนแยกตัวออก นำไปหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับกับสี Coomassie blue และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร เทียบกับโปรตีนมาตรฐานพบว่าน้ำถั่วเหลืองสกัดมีปริมาณโปรตีน 28.8 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิลิตรและกากถั่วมีปริมาณโปรตีนเหลือติดอยู่ 0.72 มิลลิกรัมต่อกรัม(ทดลองนำไปผลิตซีอิ๊วและ/หรือถั่วเน่าที่ใช้ใส่แกงทางภาคเหนือ) ขั้นตอนการทำน้ำถั่วเหลืองสกัดแห้งเป็นเม็ดแกรนูลสรุปไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังขั้นตอนการสกัดและการทำน้ำถั่วเหลืองแห้งอัดเม็ดแกรนูล

ข้อดีของการใช้โปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองสกัดแบบน้ำเต้าหู้

- ก. การใช้โปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองสกัดแทนการใช้ผงถั่วเหลืองบดมีข้อดีตรงที่ปริมาณแป้งจะถูกขจัดออกไปมาก เมื่อนำไปต้มฝ่ายในน้ำถั่วเหลืองที่เตรียมเข้มข้น น้ำถั่วเหลืองจะไม่หนืดและไม่มีแป้งมาจับฝ่ายเป็นก้อนทำให้โปรตีนเคลือบฝ่ายไม่สม่ำเสมอเวลานำไปย้อมฝ่ายจะต่าง
- ข. สามารถเตรียมใช้เองได้ง่ายและราคาต้นทุนต่ำ ถ้าใช้ผงถั่วเหลืองที่บดสำเร็จรูปแล้วราคาต้นทุนจะสูงขึ้นเท่าตัว และเวลาใช้ต้องให้ถุงผ้าหนาๆ กรองกากและแป้งออก
- ค. สามารถทำแห้งและอัดเป็นเม็ดแกรนูลใช้ควบคุมกับสีย้อมธรรมชาติทั้งสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูลทำให้เกิดความสะดวกและความคล่องตัวแก่ผู้ประกอบการย้อมผ้าสีธรรมชาติ

2.4.2 การหาปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งต่างๆ ที่สามารถนำมาต้มกับฝ่ายให้ติดสีย้อมดีขึ้น

วัตถุดิบจากธรรมชาติที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อเคลือบเส้นด้ายฝ่ายหรือผ้าฝ่ายคือแป้งถั่วเหลืองบดจากคอกยคำ น้ำเต้าหู้จากตลาด น้ำเต้าหู้เตรียมเองและทำแห้งอัดเม็ดแกรนูล นมผงอะแล็คต้า-เอ็นเอฟ นมสดห้วยแก้ว (ดังรูปที่ 2.5)



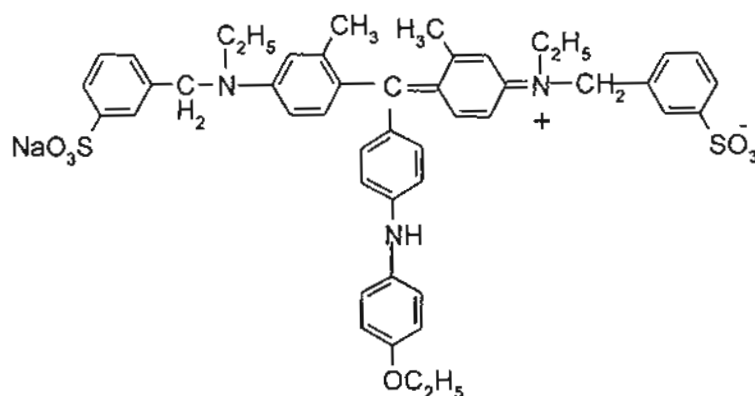
รูปที่ 2.5 แหล่งของวัตถุดิบที่ให้โปรตีนที่ใช้ในการทดลอง

ในการหาปริมาณโปรตีนนั้นทำได้หลายวิธี เช่นการหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเจลดาร์ท การวิเคราะห์โดยวิธี Lowry และการวิเคราะห์โดยวิธีจับกับสีย้อม ในการวิจัยนี้เลือกวิธีจับกับสี

Coomassie brilliant blue เนื่องจากวิธีเจดาร์นั้นไม่เฉพาะกับสายโพลีเปปไทด์ กรดอะมิโนอิสระก็ถูกจับด้วยซึ่งมีการทดลองพบว่ากรดอะมิโนอิสระหรือเจลาตินไม่มีใครได้ผล ในการนำมาติดฝ้ายแล้วฝ้ายติดสีเพิ่มขึ้น วิธี Lowry ไม่ใคร่จำเพาะสารที่นอลิคทำปฏิกิริยาได้หมดและในธรรมชาติในพืชจะมีสารที่นอลิคเจือปนอยู่มากทำให้รบกวนการวิเคราะห์ ส่วนวิธีจับสี Coomassie blue นั้นเป็นวิธีตรวจสอบปริมาณโปรตีนในรูปของโพลีเปปไทด์ ตรวจวิเคราะห์ได้ไวและไม่ใคร่ถูกรบกวนจากสารที่เจือปนมากนัก

2.4.3 หลักการการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีการจับสี Coomassie brilliant blue

โปรตีนจะจับกับสี Coomassie brilliant blue ในกรดด้วยแรงกระทำแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) และแรงยึดระหว่างประจุตรงกันข้าม(ionic interaction) สี Coomassie brilliant blue G-250 มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างโมเลกุล สี Coomassie brilliant blue G-250

จากโครงสร้างโมเลกุลของสี Coomassie brilliant blue ข้างต้นจะเห็นว่ามีส่วนประกอบเป็นวงแหวนเบนซีนถึง 6 วง ซึ่งเป็นส่วนของโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำจึงจะจับกับส่วนไม่ชอบน้ำของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนประเภท aliphatic หรือ aromatic ได้แก่ tryptophan, phenylalanine, proline, methionine, alanine, valine, leucine และ isoleucine นอกจากนี้ในโมเลกุลของสี ยังมีประจุลบอยู่ที่หมู่ sulphonate จึงจับกับโปรตีนในส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นกรดอะมิโนชนิด lysine, arginine และ histidine เมื่อสี Coomassie brilliant blue จับกับโปรตีนจะเปลี่ยนโครงสร้างจากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ที่ความยาวคลื่นนี้แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของโปรตีน วิธีนี้สามารถตรวจสอบปริมาณโปรตีนปริมาณน้อยๆ ในช่วง 1-80 ไมโครกรัมได้

วิธีการหาปริมาณโปรตีนโดยจับสี Coomassie brilliant blue

สารเคมี - Bovine Serum Albumin (BSA) (Fluka Assay $\geq 98\%$)

- Absolute ethanol (Merck)
- Phosphoric acid 86.4%
- Coomassie brilliant blue G-250
- สารละลายโปรตีนตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

อุปกรณ์ - Spectronic 20 (Bausch & Lomb)

- Dynac centrifuge (Clay Adams)

วิธีการเตรียมสารละลาย

ก.) สารละลาย BSA เข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

เตรียมสารละลาย BSA เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยละลาย BSA 0.05 กรัม ใน น้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร ใน volumetric flask จากนั้นแบ่งสารละลาย BSA เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่เตรียมได้มา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ใน volumetric flask

ข.) สารละลาย Coomassie brilliant blue G-250

ชั่ง Coomassie brilliant blue G-250 0.01 กรัม นำมาละลายใน absolute ethanol 9.6 มิลลิลิตร จนหมดแล้วเติม 86.4% phosphoric acid 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันจากนั้นใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร เก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวด สีชาที่อุณหภูมิ 4°C (สารละลายที่ได้มีอายุการใช้งานประมาณ 1 สัปดาห์)

วิธีการหาปริมาณโปรตีน

เตรียมหลอดทดลอง 6 หลอดใส่ส่วนผสมของสารละลายในแต่ละหลอดดังตารางที่ 1 หลอดที่ 1 เป็น blank ใช้ปรับ spectronic 20 ให้อ่านค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 หลอดที่ 2 ถึง 5 ใส่สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ในปริมาณต่างๆ กัน และหลอดที่ 6 ใส่สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณโปรตีน หากตัวอย่างที่จะนำไปหาปริมาณโปรตีนมีความข้นมากต้องทำไปปั่นในเครื่อง centrifuge เพื่อแยกตะกอนออก เติมน้ำกลั่นแล้วจึงเติมสารละลาย Coomassie brilliant blue เป็นอันดับสุดท้าย จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้นาน 5 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร นำข้อมูลปริมาณโปรตีน และค่าการดูดกลืนแสงของหลอดที่ 1 ถึง 5 ไปเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงที่เรียกว่า calibration curve ซึ่งจะนำมาใช้เทียบหาปริมาณโปรตีนในสารละลายตัวอย่างจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในหลอดที่ 6

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของสารละลายเพื่อทำเส้นกราฟมาตรฐาน และหาปริมาณโปรตีนในสารละลาย
ตัวอย่างโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue

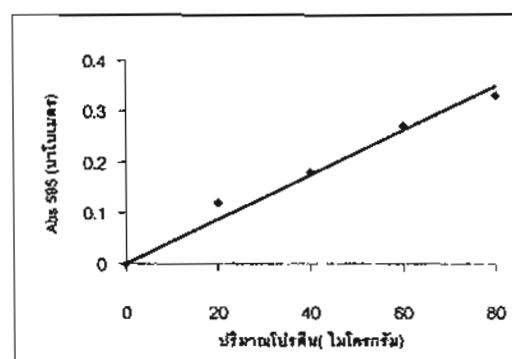
สารละลาย (มล.)	หลอดที่					
	1	2	3	4	5	6
BSA (0.2 มก./มล.)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	-
สารละลายตัวอย่าง	-	-	-	-	-	0.5
น้ำกลั่น	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
สารละลาย Coomassie brilliant blue	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ปริมาณโปรตีนมาตรฐาน (ไมโครกรัม)	0	20	40	60	80	

ตัวอย่างการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนที่ได้จากการละลายผงน้ำเต้าหู้ที่ผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง(ผสม 3% cmc) 1.0 กรัมในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายตัวอย่างหลอดที่ 6 ทำโดยนำเอา suspension ที่ได้ไปปั่นแยกตะกอนด้วย centrifuge ที่ความเร็ว 80 เป็นเวลา 15 นาที แล้วบีบเปิดสารละลายใสส่วนบนมา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดที่ 6 เติมสารละลาย Coomassie brilliant blue แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.2 นี้ และตัวอย่างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโปรตีนและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

หลอดที่	1	2	3	4	5	6
ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม)	0	20	40	60	80	
ค่าการดูดกลืน	0	0.12	0.18	0.27	0.33	0.13



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue

นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในหลอดที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.13 ไปเทียบกับ calibration curve จะได้ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 28 ไมโครกรัม นำค่าที่ได้นี้มาคำนวณหาความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายตัวอย่าง

สารละลายตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร มีโปรตีน = 28 ไมโครกรัม

สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร มีโปรตีน = $28/0.5 = 56$ ไมโครกรัม

ดังนั้น ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายตัวอย่าง = 56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

จากการใช้วิธีการจับสี Coomassie brilliant blue ในการหาปริมาณโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฝ้ายสำหรับย้อมสีธรรมชาติในลำดับต่อไปได้ผลเป็นความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนที่หาได้จากสารละลายโปรตีนจากแหล่งต่างๆ

สารละลายโปรตีนจากแหล่งต่างๆ	ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลาย
1) น้ำเต้าหู้จากตลาด	29.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2) นมสดห้วยแก้ว	26.57 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3) ผงถั่วเหลืองคอกยคำ	
3.1) ผงถั่วเหลือง 1.40 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	0.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.2) ผงถั่วเหลือง 2.80 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	0.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.3) ผงถั่วเหลือง 4.20 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.4) ผงถั่วเหลือง 5.60 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.5) ผงถั่วเหลือง 7.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4) นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ	
4.1) นมผง 2.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	4.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.2) นมผง 4.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	11.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.3) นมผง 6.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	21.34 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.4) นมผง 8.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.5) นมผง 10.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5) ผงน้ำเต้าหู้ (ผสม 3% cmc) drum dry	
5.1) ผงน้ำเต้าหู้ 0.50 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	36.76 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.2) ผงน้ำเต้าหู้ 1.00 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	56.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.3) ผงน้ำเต้าหู้ 1.50 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.4) ผงน้ำเต้าหู้ 2.0 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.5) ผงน้ำเต้าหู้ 2.5 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.4 วิธีการ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ด้วยความเข้มข้นต่างๆ กันก่อนนำฝ้ายไปย้อมสีธรรมชาติ

นำฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดกำจัดไขมันออกจากฝ้ายแล้วมาต้มกับสารละลายโปรตีนที่ได้จากแหล่งต่างๆ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยใช้สัดส่วนฝ้าย 1 ไร่ หนัก 22.60 กรัมต่อของเหลว 450 มิลลิลิตร (1:20) ต้มฝ้ายในของเหลวเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ไฟอ่อน ปิดฝามือต้มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายเปลี่ยนแปลงไปในขณะต้ม คนเป็นระยะๆ เมื่อครบกำหนดเวลานำฝ้ายขึ้นบิดตากให้แห้ง

ตารางที่ 2.4 แหล่งของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนที่ใช้และความเข้มข้นของโปรตีนที่วิเคราะห์ได้

โดยใช้วิธีการจับสี Coomassie brilliant blue

แหล่งและสัดส่วน	ปริมาณโปรตีน
1) ฝงน้ำเต้านู้ drum dry(ผสม 3%cmc)	
1.1) ฝงน้ำเต้านู้ 2.25 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	น้อยมากไม่สามารถวิเคราะห์ได้
1.2) ฝงน้ำเต้านู้ 4.50 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	36.72 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.3) ฝงน้ำเต้านู้ 9.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	56.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.4) ฝงน้ำเต้านู้ 13.50 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.5) ฝงน้ำเต้านู้ 18.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
2) นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ	
2.1) นมผง 18.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	4.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.2) นมผง 36.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	11.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.3) นมผง 54.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	21.34 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.4) นมผง 72.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.5) นมผง 90.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3) ฝงถั่วเหลืองดอยคำ	
3.1) ฝงถั่วเหลือง 12.60 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	0.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.2) ฝงถั่วเหลือง 25.20 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	0.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.3) ฝงถั่วเหลือง 37.80 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.4) ฝงถั่วเหลือง 50.40 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.5) ฝงถั่วเหลือง 63.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 2.4 แหล่งของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนที่ใช้และความเข้มข้นของโปรตีนที่วิเคราะห์ได้
โดยใช้วิธีการจับสี Coomassie brilliant blue (ต่อ)

แหล่งและสัดส่วน	ปริมาณโปรตีน
4) น้ำเต้าหู้จากตลาด	
4.1) น้ำเต้าหู้ 28.8 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	1.84 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.2) น้ำเต้าหู้ 144.9 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	9.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.3) น้ำเต้าหู้ 217.8 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	10.95 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.4) น้ำเต้าหู้ 290.7 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	21.96 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.5) น้ำเต้าหู้ 450.0 มิลลิลิตร	29.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5) นมสดห้วยแก้ว	
5.1) นมสดห้วยแก้ว 22.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	0.70 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.2) นมสดห้วยแก้ว 45.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	2.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.3) นมสดห้วยแก้ว 75.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	3.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.4) นมสดห้วยแก้ว 112.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	3.75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.5) นมสดห้วยแก้ว 225.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	7.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.6) นมสดห้วยแก้ว 337.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	15.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
*5.7) นมสดห้วยแก้ว 450.0 มิลลิลิตร	26.57 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
*หมายเหตุ ดั้มฝ้ายมีปัญหาที่มีก้อนขาวๆ จับอยู่กับฝ้ายและอยู่ในน้ำนมที่ดั้ม ต้องบดให้หมดแล้วล้างด้วยน้ำแล้วจึงนำไปตาก ส่วนตัวอื่นบดหมดแล้ว ตากเลย ก่อนย้อมแช่น้ำแล้วบดหมดทุกอย่างตัวอย่างเท่าๆ กัน	

ข้อควรระวังในการเตรียมสัดส่วนของน้ำต่อผงถั่วเหลืองและน้ำเต้าหู้แห้ง

- ก. ในการละลายโปรตีนจากผงถั่วเหลืองและน้ำเต้าหู้แห้งนั้นสัดส่วนของน้ำต่อปริมาณผงแห้งที่โปรตีนละลายมากที่สุดที่อุณหภูมิห้องคือ ผงน้ำเต้าหู้ 13.5 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตร นมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ 72 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ผงถั่วเหลือง 50.4 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ถ้าใช้น้ำน้อยเกินกว่าสัดส่วนนี้โปรตีนจะไม่ละลายออกมาเมื่อนำไปดั้มกับฝ้ายก็อาจจะละลายออกมาได้อีกเมื่อใช้ความร้อนแต่เราก็จะไม่ทราบปริมาณโปรตีนที่แท้จริง

- ข. ในการวิจัยครั้งต่อไปจะทดลองดูการละลายโปรตีนตามสัดส่วนที่ละลายได้มากที่อุณหภูมิห้องว่าจะละลายได้อีกหรือไม่ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

2.4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโปรตีนจากน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)

ในการศึกษานี้ใช้น้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูล

ซึ่งเม็ดแกรนูลถั่วเหลือง 1.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกคอรัก ทำซ้ำรวม 6 ฟลasks นำไปไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ อุณหภูมิละ 2 ฟลasks (ทำ 2 ซ้ำในแต่ละสภาวะ) เป็นเวลา 30 นาที ดังนี้

สถานที่	อุณหภูมิ
ในห้อง	28°C
water bath	50°C
water bath	80°C

เมื่อครบกำหนดเวลา 30 นาที นำส่วนผสมในแต่ละฟลasks มาปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 80 เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำส่วนใสด้านบนไปหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue ได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงความเข้มข้นของโปรตีนในการละลายน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc ด้วยน้ำ (30 กรัม/ลิตร) ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
28	0.08
50	0.11
80	0.20

จากผลการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อสรุปว่า อุณหภูมิมีผลต่อการละลายน้ำของโปรตีนจากผงน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูง

ขึ้นการละลายของโปรตีนออกจากน้ำเต้าหู้อัดเม็ดแกรนูลจะมากขึ้นๆ ข้อมูลนี้จะช่วยในการอธิบายผลของการ treat ฝ้ายโดยนำไปต้มในผงน้ำเต้าหู้ drum dry (ผสม 3%cmc) ละลายน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มถ้ายิ่งสูงมากเท่าใดจะทำให้การละลายของโปรตีนออกมาจากผงน้ำเต้าหู้ drum dry (ผสม 3% cmc) เกิดได้ดีขึ้นเท่านั้นความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายจะสูงมากขึ้น กว่าที่หาได้ที่อุณหภูมิห้อง

2.4.6 การทดลองย้อมฝ้ายที่ต้มกับน้ำโปรตีนปริมาณต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ

ในการทดลองครั้งที่ 1 ได้ทำการหาปริมาณโปรตีนในน้ำถั่วเหลือง และน้ำมันที่ใช้เคลือบฝ้าย ก่อนย้อมพบว่าน้ำย้อมเริ่มติดสีบนฝ้ายตั้งแต่ความเข้มข้นโปรตีนที่ใช้ต้มฝ้ายตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร จนถึง 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ทำการทดสอบและการแปรปริมาณละเอียดมากจนทำให้มองเห็นความเข้มข้นของสีที่เพิ่มขึ้นไม่ชัดเจนอีกทั้งยังไม่มีฝ้ายที่ไม่ได้ treat ด้วยโปรตีนเป็นตัวเปรียบเทียบ การทดลองในการวิจัยครั้งที่สองนี้จึงได้ทำการทดลองแปรปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายก่อนย้อมใหม่ซึ่งมีตัวเปรียบเทียบ กับฝ้ายที่ไม่ได้ treat โปรตีน และปรับปรุงวิธีการหาปริมาณโปรตีนให้แม่นยำขึ้นตามผลการทดลองในหัวข้อ 2.4.3 และนำมาแปรปริมาณการ treat ฝ้ายตามหัวข้อ 2.4.4 แหล่งของโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายมีหลายแหล่งด้วยกันคือ

- ก. ผงน้ำเต้าหู้เตรียมเองและทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
- ข. นมผงตราอะแล็คต้า-เอ็นเอฟ
- ค. ผงถั่วเหลืองบดจากดอยคำ
- ง. นมสดห้วยแก้ว

ได้แปรปริมาณต่างๆ ในการ treat ฝ้ายที่ทำความสะอาดโดยซักด้วยโซดาแอชกับสบู่และใช้ฝ้ายเบอร์ 10/12 ซึ่งแบ่งเป็นใจเล็กๆ เรียบร้อยแล้ว ส่วนการย้อมสีนั้นใช้สีจากครั้ง รากยอป่า ส้ม และขมิ้น ซึ่งผลการทดลองมีตามลำดับดังนี้

2.4.6.1 การ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองดอยคำและนมผงอะแล็ค

ต้า-เอ็นเอฟโดยแปรปริมาณจาก 0-1.8 และ 0-37.3 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ตามลำดับ

ฝ้ายชุดนี้ได้ทดลองนำมาย้อมสีครั้งในอัตราส่วน 1:20 (น้ำหนักฝ้าย:ปริมาตรสีย้อม) ทำการเตรียมน้ำย้อมจากครั้งโดยใช้ผงสีครั้งที่ได้จากการทำ spray dry 100 กรัมละลายในน้ำต่างปูนใส 2 ลิตร ที่ต้มกับผงไบคาร์บอเนตแห้ง 200 กรัม และกรองแล้ว เมื่อผสมผงสีครั้งดีแล้วจึงกรองส่วนที่ไม่ละลายออกอีกครั้งด้วยผ้าเนื้อละเอียด 2 ชั้นและบีบน้ำสีจากผ้ากรองออกให้แห้ง การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้ขยำน้าบดให้หมดแล้วลงต้มในน้ำสี 30 นาทีอุณหภูมิเกือบเดือด (เป็นฟองปุดน้อยๆ ไม่เดือด

พลาแน) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นบิตตากแล้วนำมาซักด้วยน้ำเปล่า 2 ครั้ง บิดหมาดๆ แขน้ำยา fixing (quaternary ammonium จากญี่ปุ่น) 1% อุณหภูมิ 40-50 °C ประมาณ 20 นาที แล้วบิตตากให้แห้งนำมาซักให้สะอาดด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ตากให้แห้งผลการทดลอง ผลการทดลองย้อมสีครั้งด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งพบว่า

ก. ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง พบว่าปริมาณโปรตีนเข้มข้น 0.6-1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ติดสีเข้มกว่า control ในปริมาณความเข้มข้นที่ไม่แตกต่างกันมากแต่ เจดสีที่ได้ต่างจาก control คือตัว control มีสีม่วงอ่อน ในขณะที่ฝ้ายที่เคลือบด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองจะออกสีม่วงแดงโดยที่ฝ้ายที่เคลือบด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปลี่ยนเจดสีน้อยที่สุด

จากผลการทดลองอาจแปลได้ว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายที่ติดสีเข้มสูงสุดคือตั้งแต่ความเข้มข้นของน้ำถั่วเหลือง 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่เนื่องจากการปรับปริมาณโปรตีนให้มีความเข้มข้นสูงๆ ต้องใช้ผงถั่วเหลืองมากและในผงถั่วเหลืองก็มีแป้งปนมากเกิดสารละลายเหนียวๆ ทำให้โปรตีนเข้าไปเกาะเส้นฝ้ายไม่สะดวกและการละลายของโปรตีนเมื่อใช้ผงถั่วเหลืองปริมาณมากจะละลายได้มากที่สุดที่ 50.4 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง เมื่อใช้ผงถั่วเหลืองมากขึ้นเป็น 63 กรัมในน้ำ 450 มิลลิลิตรปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จะเท่าเดิมคือสูงสุดแค่ 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และการต้มเกิดการระเหยของน้ำอาจมีผลให้การละลายของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปในขณะต้ม (ครั้งต่อไปน่าจะทดลองดูการละลายของโปรตีนจากผงถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่างๆ) อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีน 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดสีเข้มมากสุดแล้ว



รูปที่ 2.8 การย้อมสีครั้งบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากผงถั่วเหลือง (ก) และ

จากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ (ข) ที่ปริมาณต่างๆ กัน

ข. ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ

การแปรปริมาณโปรตีนจากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟจาก 4.8-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในการ treat ฝ้ายก่อนย้อมน้ำสีจากครั่งพบว่าฝ้ายติดสีเข้มกว่าที่ไม่ได้ต้มกับโปรตีน (control) เห็นได้ชัด

เจนในปริมาณความเข้มข้นของสีเท่าๆกันบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากความเข้มข้น 4.8-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและในกรณีนี้ไม่มีแบ่งน้อยกว่าไม่หนืดและในแง่เจดสีจะไม่เปลี่ยนจาก control คือยังเป็นเจดสีม่วงเหมือนเดิมแต่เข้มข้น อาจสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของโปรตีนจากนํ้านม 4.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็เพียงพอสำหรับการเคลือบฝ้ายเพื่อให้จับสีเข้ม อย่างไรก็ตามน่าจะลองแปรปริมาณโปรตีนในช่วงที่ต่ำลงอีกกว่าปริมาณน้อยที่สุดเท่าใดที่ทำให้ติดสีเข้มได้เท่ากัน ส่วนปริมาณโปรตีนสูงที่สุดนั้นน่าจะดูได้จากการละลายของโปรตีนได้มากที่สุดที่อุณหภูมิห้อง ในกรณีนี้ผมที่ใช้ทดสอบผม 72.00 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่ละลายโปรตีนที่มากที่สุดคือ 37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.6.2 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากผงน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูก

กลิ้งโดยแปรปริมาณจาก $< 0.04-0.08$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ฝ้ายที่ต้มกับน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีปริมาณต่ำลงและปริมาณแบ่งจะถูกกรองออกไปค่อนข้างมากการละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องนั้น พบว่าละลายได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 13.5 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตร หรือ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเป็น 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนตามวิธีนี้ทดลองย้อมสีจาก ครั่ง ฮ่อม และ ขมิ้น (รูปที่ 2.9 และ 2.10) พบผลการทดลองตามลำดับดังนี้

ก. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากครั่ง

การเตรียมนํ้าสี ครั่งผงทำแห้งแบบ spray dry	100	กรัม
น้ำต่างปูนใส	2	ลิตร
กรดซิตริก	50	กรัม
wetting agent	25	กรัม

การย้อม ลองย้อมสีชุดที่ 1 โดยต้มเดือดปุดๆ 30 นาทีทิ้งให้เย็นและปิดตาก ชักด้วยน้ำเปล่า 2 ครั้ง แช่ใน fixing 1% ที่ 40-50 °C ประมาณ 20 นาที แล้วปิดตากให้แห้ง ชักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ได้ฝ้ายสีม่วงเข้ม สีที่เหลือจากการย้อมครั้งแรกนำมาย้อมฝ้ายที่ treat แบบเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง ได้สีม่วงอ่อนลง

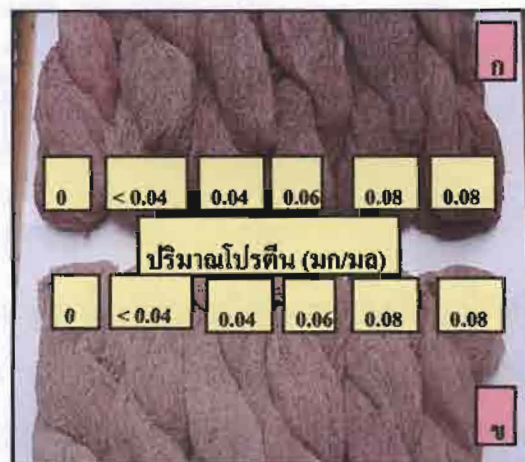
ผลการทดลอง ผลการทดลองตามรูปที่ 2.9 พบว่า ปริมาณโปรตีนต่ำประมาณ $< 0.04-0.05$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลไม่ต่างจากฝ้ายที่ไม่ได้ treat ด้วยโปรตีน ปริมาณโปรตีน 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มจะมีการติดสีเพิ่มขึ้นทั้งสองกรณีคือที่น้ำย้อมเข้มข้นและน้ำย้อมที่เจือจางลง ปริมาณน้ำย้อมตั้งต้นก็มีผลต่อการติดสีฝ้ายเข้มข้น ถ้าน้ำย้อมเข้มข้นมากไปและกรองตะกอนสีออกไม่หมดมีแนว

โน้มน้าวสีจะตกลงบนฝ้ายทำให้สีต่าง ดังนั้น การทดลองครั้งต่อไปน่าจะ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนที่ทำให้สีติดดีที่สุดแล้วย้อม ในน้ำย้อมที่มีความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นต่างๆ กัน

ข. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากฮ่อม

การเตรียมน้ำสี ใช้ paste ที่ได้จากการหมักฮ่อม 27 กิโลกรัมได้ paste เหลวปริมาตร 12 ลิตร แบ่งมา 4 ลิตร เติม กรดซิตริก 200 กรัม เกลือแกง 200 กรัม wetting agent 25 กรัม ผสมกันแล้วแบ่งมา 100 มิลลิลิตร เติมน้ำต่างปูนไลเป็น 1.5 ลิตร

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้มาขยำนํ้าบิดหมาดแล้วขยำนํ้าสีให้ทั่วตั้งไฟอ่อนๆ 15 นาที ทิ้งให้เย็น บิดตากให้แห้งซักสีส่วนเกินด้วยน้ำเปล่าแล้วแช่นํ้ายา fixing 2% ที่ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที บิดตากแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม



รูปที่ 2.9 การย้อมฝ้ายที่ต้มกับโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองแห้งที่ความเข้มข้นช่วง < 0.04-0.08

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ย้อมด้วยสีครั้งที่ความเข้มข้นของน้ำสีต่างกัน (ก) น้ำสีเข้มข้น

(ข) น้ำสีเจือจางลง



รูปที่ 2.10 การย้อมฝ้ายที่ต้มกับโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองแห้งที่ความเข้มข้นช่วง < 0.04-0.08

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ย้อมด้วยสีจากฮ่อม (ก) และขมิ้น (ข)

ผลการทดลอง ผลการทดลองตามรูปที่ 2.10 พบว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายในช่วง ต่ำๆ < 0.04-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่ทำให้สีติดฝ้ายเข้มกว่า control แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นติดสีเข้มขึ้นเล็กน้อยจากฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ก็ไม่เด่นชัดในกรณีสีอินดิโก นั้นปริมาณโปรตีนอาจจะต้องมากกว่าที่ทดลอง เพราะส่วนใหญ่เป็นสีแปลงรูปอาศัยการเปลี่ยนจากรูปรีดิวซ์เป็นออกซิไดส์ที่ไม่ละลายตกอยู่ในเส้นใยฝ้าย

ค. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากขมิ้น

การเตรียมน้ำสี ใช้ผงขมิ้น 1 กิโลกรัม

น้ำต่างอุณหภูมิ มีสารสกัดแทนนินจากใบยูคาลิปตัส 2 ลิตร ละลายแล้วกรองกากด้วย
ถุงผ้าเนื้อละเอียด

เติมเกลือแกง 100 กรัม

กรดซิตริก 100 กรัม

wetting agent 25 กรัม

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้มาขยำนํ้าให้ทั่วและบิดหมาดๆ ลงต้มในน้ำสีที่เตรียมไว้ให้อุ่นหภูมิเกือบเดือดหรือเดือดปุดๆ เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบิดตาก ชักน้ำเปล่า 2 ครั้ง และแช่ในนํ้ายา fixing 1% ที่ 40-50°C นาน 20 นาที บิดตากให้แห้ง ชักด้วยผงซักฟอกตามด้วยนํ้ายาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง จากผลการทดลองในรูปที่ 2.10 พบว่าฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนที่ความเข้มข้น < 0.04-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลการติดสีไม่แตกต่างไปจาก control ฝ้ายเริ่มติดสีเข้มขึ้นเมื่อ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยสีออกเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล

สรุป ผลการทดลอง treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากน้ำเต้าหู้แห้งเตรียมเองความเข้มข้น < 0.04-0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรนั้นฝ้ายจะติดสีย้อมเข้มขึ้นต่างจาก control ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไปในกรณีสีจากขมิ้นและ 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ขึ้นไปในกรณีสีจากครั้ง ส่วนสีอินดิโก จากย้อมนั้นใช้นํ้าสีตั้งต้นค่อนข้างเข้มข้นและการเข้าของน้ำสีเป็นแบบดูดซับเข้าไปในเส้นใยฝ้าย ความแตกต่างของการติดสีจาก control เห็นไม่ใคร่ชัดเจน ควรต้องลองเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายต่อไป และจากการทดลองพบว่า ความเข้มของน้ำสีตั้งต้นมีผลต่อการติดสีบนฝ้ายด้วยน้ำสีเข้มข้น จะมีสีติดบนฝ้ายได้เข้มกว่าน้ำสีเจือจาง

2.4.6.3 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วโดยแปรปริมาณจาก 0.7-26.6

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ปริมาณโปรตีนในน้ำมันสดห้วยแก้วที่ใส่ลงขายจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าโปรตีนจากน้ำเต้าหู้เตรียมเองกล่าวคือมีโปรตีนอยู่ถึง 26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จึงทำการแปรความเข้มข้นให้อยู่ในช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยการทำให้เจือจางด้วยน้ำแล้วหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue แล้วนำมาต้มฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วเพื่อเตรียมย้อมต่อไป ด้วยน้ำสีจากขมิ้นและจากเปลือกไม้สะนอยได้ผลดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ

ก. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากขมิ้น

การเตรียมน้ำสี น้ำสีขมิ้นที่ใช้เป็นน้ำสีที่เตรียมแบบข้อ 2.4.5.2 ค. แต่เดิมสารสกัดจากรากยอป่าด้วยเอทานอล 1 ลิตร และเติมน้ำต่างปูนใสลงไปอีก 1 ลิตร ได้น้ำสีเหลืองเจือจางกว่าเดิม

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้มาขยำนํ้าบิดหมาดๆ แล้วต้มในน้ำสีอุณหภูมิเกือบเดือดเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น บิดตากและซักน้ำเปล่า 2 ครั้ง แชใน fixing 1% ที่อุณหภูมิ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที บิดตากให้แห้งซักด้วย ผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าฝ้ายเริ่มติดสีเข้มต่างจาก control เมื่อ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นต้นไปและผลไม่ใคร่ชัดเจนมากเหมือนการทดลองอื่นๆ และข้อมูลการทำเจือจางและปริมาณโปรตีนที่ใช้จากน้ำเต้าหู้แห้ง นมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ ค่อนข้างขัดกันอาจเป็นผลเนื่องจากการหาปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกต้องแม่นยำ

ข. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากเปลือกไม้สะนอย

สีจากเปลือกไม้สะนอยจากการทดลองในครั้งที่ 1 ของผลการวิจัยหาแหล่งสีเพิ่มเติมพบว่าเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจและได้ผลผลิตเวลานำมาสกัดน้ำสีสูงกว่ารากยอป่า มีสีแดงในน้ำต่างผสมเกลือแกงเป็นมอร์แดนท์ และสีออกน้ำตาลส้มในน้ำต่างผสมสารส้ม คณะผู้วิจัยจึงทดลองนำมาย้อมฝ้ายที่แปรปริมาณโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อีก 2 ชุดได้ผลดังรูปที่ 2.12

การเตรียมน้ำสี

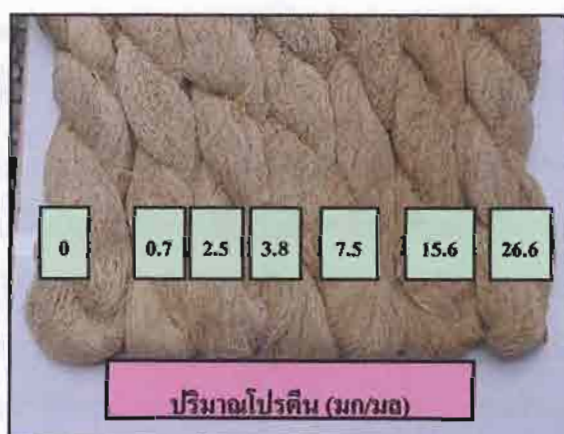
ข1. ผงเปลือกไม้สะนอยแห้ง 15.2 กิโลกรัมแช่น้ำต่าง 45 ลิตร ค้างคืนแล้วบีบกากออกไปแช่เอทานอลแบ่งมา 4 ลิตร เติมสารส้ม 100 กิโลกรัม wetting agent 25 กรัม ได้น้ำสีส้ม

ข2. ผงแห้งเปลือกไม้สะนอย 15.2 กิโลกรัมแช่น้ำต่าง 45 ลิตร ค้างคืน 1 คืนแล้วบีบกากออกไปใส่กรดด้วยเอทานอล แบ่งมา 40 ลิตร เติมเกลือแกง 2 กิโลกรัม wetting agent 100 กรัม

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้ 2 ชุดขยำนํ้าให้ทั่วและบิดหมาด ต้มในน้ำย้อม ข1. 1 ชุด และน้ำย้อม ข2. อีก 1 ชุด ที่อุณหภูมิเกือบเดือดหรือเดือดปุดๆ เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นและบิดตากให้แห้ง นำมาซัก

น้ำเปล่า 2 ครั้งใน fixing agent 2% ที่อุณหภูมิ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที บิดตากให้แห้งซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง ผลการย้อมฝ้ายด้วยสีจากเปลือกไม้สะระนอยบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วปริมาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าฝ้ายที่ติดสีทั้ง ข1. และ ข2. นั้นเริ่มติดสีเข้มขึ้นกว่า control ที่เห็นได้ชัดเจนที่ความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายตั้งแต่ 7.5-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจาก 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลเช่นเดียวกับโปรตีนที่มีความเข้มข้นโปรตีน 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการทดลองย้อมสีจากเปลือกไม้สะระนอยให้ผลที่



รูปที่ 2.11 การย้อมสีขมิ้นบนฝ้ายที่ต้มกับน้ำนมสดห้วยแก้วที่มีปริมาณโปรตีนต่างๆ จาก 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 2.12 การย้อมสีจากเปลือกไม้สะระนอยบนฝ้ายที่ต้มกับน้ำนมสดห้วยแก้วที่มีปริมาณโปรตีนต่างๆ ในช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ก) สีจากเปลือกไม้สะระนอยที่ผสมสารส้มในน้ำต่างปูนใส และ (ข) สีเปลือกไม้สะระนอยที่ผสมเกลือแกงในน้ำต่างปูนใส

ค่อนข้างชัดเจนที่สุดและผลการติดสีเข้มที่สุดตรงกับสีจากขมิ้นคือความเข้มข้นโปรตีน 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นต้นไป ส่วนผลการแปรปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองนั้นจะต่ำกว่าเนื่องจากจำกัดด้วยการละลายโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองเข้มข้น และในกรณีของน้ำเต้าหู้ที่แปรปริมาณได้สูงสุดเพียง 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งยังมีน้อย อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากน้ำเต้าหู้ที่ขายทั่วไปตามท้องตลาดปรับเปลี่ยนปริมาณได้สูงสุดเป็น 29.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งยังไม่ได้นำมาทดลอง treat ฝ้ายแต่เคย treat ในผลการวิจัยครั้งที่ 1 เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปก็ติดสีเข้ม

2.5 สรุปผลการทดลองทั้งหมด

ผลการทดลองทั้งหมดอาจสรุปได้ว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมในการนำมาเคลือบเส้นด้ายฝ้ายก่อนย้อมนั้นขึ้นกับแหล่งที่มาของโปรตีน ชนิดและความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นกล่าวคือ

ก. ปริมาณโปรตีนจากผงถั่วเหลืองดอยคำ แปรปริมาณโปรตีนได้สูงสุดประมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถ้ามากกว่านั้นจะมีแป้งปนมากทำให้สารละลายหนืดและแบ่งเกาะเส้นฝ้ายมาก โปรตีนละลายในน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิห้อง 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อใช้ผงถั่วเหลือง 50.4 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ถ้าจะให้ใช้ได้ควรกรองแบ่งออกไปด้วยผ้าเนื้อละเอียดก่อนนำไปต้มกับฝ้าย

ข. โปรตีนจากผงน้ำเต้าหู้ทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำแต่แบ่งถูกกำจัดออกไปได้มาก โปรตีนละลายได้มากที่สุด 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อใช้ผงเต้าหู้ 13.5 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง อาจจะสูงกว่านี้ได้ถ้าใช้อุณหภูมิในการละลายสูงขึ้นในขณะต้ม

ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้งในรูปผงถั่วเหลืองตามข้อ ก และจากผงน้ำเต้าหู้แห้งตามข้อ (ข) อาจสรุปได้ว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำเต้าหู้แห้ง 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในน้ำผงถั่วเหลืองสกัดไปจนถึง 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็จะติดสีเข้มกว่า control ในความเข้มข้นที่ไม่ต่างกันมาก การทดสอบให้แน่ใจควรใช้น้ำเต้าหู้สดจากตลาดความเข้มข้น $\approx 1.8-29$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาทดสอบอีกครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่ชัดเจน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการหาปริมาณโปรตีนในน้ำเต้าหู้สดจากตลาดและน้ำนมสดและนมผงซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่ค่อนข้าง homogenous จะมีความซับซ้อนระดับหนึ่งเมื่อนำไปหาปริมาณโปรตีนโดยการจับกับสี Coomassie brilliant blue แล้ววัดทาง spectrophotometry อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสมบัติการกระเจิงแสงของสารละลายคอลลอยด์ ปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้จึงค่อนข้างสูงกว่าการหาปริมาณโปรตีนจากการละลายผงน้ำเต้าหู้แห้งและผงถั่วเหลืองปั่นให้ตกตะกอนแล้วนำส่วนใสๆไปหาปริมาณโปรตีน

ค. โปรตีนที่วิเคราะห์จากน้ำเต้าหู้สดจากตลาดที่มีสมบัติเป็นสารละลายคอลลอยด์ค่อนข้างมากจะให้ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าปกติแบบเดียวกันการวิเคราะห์โปรตีนในน้ำนม

บทที่ 3

การพัฒนาการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูป

3.1 ความเป็นมาของการย้อมสีครามจากธรรมชาติ

มนุษย์รู้จักการใช้สีจากธรรมชาติ คือ พืช สัตว์ และแร่ธาตุมาช้านานโดยนำมาตกแต่งสีของอาหาร เครื่องแต่งกาย เครื่องมือเครื่องใช้ที่อยู่อาศัย การรู้จักใช้วัสดุธรรมชาติมาแต่งแต้มสีสันให้กับชีวิตในแง่มุมต่างๆ จึงเป็นความรู้อีกแขนงหนึ่งที่มีการพัฒนาสืบทอดกันต่อๆ มา แต่การถ่ายทอดจะมีกันเฉพาะภายในแต่ละครอบครัวหรือชนกลุ่มเดียวกัน ไม่เป็นที่แพร่หลาย และไม่มีบันทึกไว้เป็นหลักฐาน ประจวบกับการที่สังคมได้พัฒนาขึ้นไปสู่ยุคของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้ชนรุ่นหลังไม่สนใจที่จะศึกษาและสืบทอด ทำให้ภูมิปัญญาดั้งเดิมเหล่านี้น้อยๆ สูญหายไปกับกาลเวลา ยิ่งไปกว่านั้นในปัจจุบันมีการผลิตสีสังเคราะห์ที่ใช้สะดวกกว่า มีคุณภาพดีกว่า และมีหลายเฉดสีให้เลือก ทำให้ผู้คนหันมานิยมใช้สีสังเคราะห์มากยิ่งขึ้น แต่สีสังเคราะห์เหล่านี้มักเป็นสารก่อมะเร็ง มีพิษต่อเยื่อปอดผิวหนัง สมอง ระบบประสาท หัวใจและหลอดเลือด และยังทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการหันกลับไปหาสีย้อมจากธรรมชาติกันมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ แต่ปัญหาของการใช้สีย้อมธรรมชาติก็มีมากเช่น การเตรียมสียาก สีที่ได้แต่ละครั้งไม่เหมือนกัน กรรมวิธีการเตรียมสีย้อมยุ่งยากซับซ้อน สีไม่คงทน พืชพันธุ์ไม้ให้สีบางชนิดมักพบและขึ้นได้เฉพาะท้องถิ่น ต้องใช้พื้นที่ปลูกมาก หนึ่งในสีย้อมธรรมชาติที่มักมีการกล่าวขวัญกันมากถึงความยุ่งยากของการเตรียมสีและย้อมสี คือ สีน้ำเงินจากพืชตระกูลครามหรือฮ้อม ที่มีประวัติความเป็นมายาวนานนับพันๆ ปี ในแต่ละซีกโลก ไม่ว่าจะเป็น ออฟริกา ฝรั่งเศส อังกฤษ เยอรมัน อเมริกา อินเดีย จีน ญี่ปุ่น เวียดนาม อินโดนีเซีย ลาว และไทย แต่ละภูมิภาคมีวิธีการเตรียมและย้อมที่เป็นแบบฉบับของตนเอง ที่ได้รับการถ่ายทอดมาแต่ครั้งบรรพบุรุษ เรื่องราวของสีครามมีการนำเสนอในหลากหลายมิติ ทั้งในรูปแบบของคติความเชื่อ เรื่องราวลึกลับ งานศิลปะ การแพทย์ด้านสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร รวมไปถึงวิทยาศาสตร์แขนงเคมี ชีววิทยา และเทคโนโลยีด้านสิ่งทอ

คำว่า "สีคราม" ตรงกับภาษาอังกฤษว่า "indigo" ซึ่งเป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก "Indikon" และลาติน "indicum" ซึ่งหมายถึงสิ่งของที่มาจากอินเดีย ชี้ให้เห็นว่ามีการนำเข้าสีครามจากอินเดียสู่ดินแดนของกรีกและโรมันตั้งแต่ครั้งโบราณ ในช่วงปี ค.ศ. 1700-1800 เป็นยุคที่สีครามจากธรรมชาติรุ่งเรืองถึงจุดสูงสุด มีการผลิตและการใช้สีครามจากธรรมชาติกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก มีรายงานว่าในปี ค.ศ.1780 เฉพาะกรุง รัโอ เดอ จาเนโร ในประเทศบราซิล มีโรงงานผลิตสีครามถึง 406 โรงงาน จวบจนกระทั่งปี ค.ศ.1856 W.H.Perkin ได้ผลิตสีสังเคราะห์ Mauveine ขึ้นเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นสีสังเคราะห์ก็มีบทบาทแทนสีธรรมชาติมากขึ้นๆ ภายในช่วงเวลา 50 ปีมีการใช้สีสังเคราะห์ถึง 90% ของสีย้อมทั้งหมดและในปี ค.ศ.1897 K.Heumann ได้ผลิตสีครามสังเคราะห์ได้

สำเร็จ กระบวนการสังเคราะห์สีครามมีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ ทำให้ครามสังเคราะห์มีราคาถูกกว่า และมีคุณภาพเหนือกว่าสีครามจากธรรมชาติที่มักจะมีสารอื่นเจือปนทำให้ได้สีที่แตกต่างไปจากสีครามสังเคราะห์ และด้วยความเหนือกว่าของสีครามสังเคราะห์ที่ให้เฉดสีที่เหมือนกันทุกครั้ง ทำให้ผู้ย้อมสีครามหันมาใช้ครามสังเคราะห์ในที่สุด จนเป็นเหตุให้โรงงานผลิตสีครามธรรมชาติขนาดใหญ่ 2,800 โรงงาน ที่มีอยู่ในช่วงปี ค.ศ.1880 ต้องเลิกกิจการเหลือเพียง 121 โรงงาน ในปี ค.ศ. 1911

สำหรับประเทศไทยท้องถิ่นที่ยังมีการอนุรักษ์การย้อมครามธรรมชาติอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจากการที่คณะผู้วิจัยได้ออกสำรวจสถานการณ์ภาพการใช้สีครามธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 พบว่ามีผู้ย้อมครามธรรมชาติหรือครามธรรมชาติผสมกับครามสังเคราะห์หลงเหลืออยู่ไม่มากนัก ทำกัน 1 หรือ 2 ครัวเรือน ในเขต อ.ทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน อ.ฮอด อ.จอมทอง อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ อ.เชียงของ จ.เชียงราย อ.สูงเม่น และอ.เมือง จ.แพร่

สาเหตุที่ทำให้การย้อมสีด้วยครามธรรมชาติในไทยลดน้อยลงและเสื่อมสูญไปในบางท้องถิ่นเนื่องจาก

ก. การย้อมสีครามจากธรรมชาติขั้นตอนยุ่งยาก ซับซ้อน ผู้ย้อมต้องมีประสบการณ์ในการสังเกตดูแลเอาใจใส่มือย้อมครามมาก จึงจะทำการย้อมได้ดี ในหมู่บ้านหนึ่งๆ มีผู้เชี่ยวชาญการย้อมครามเพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้น

ข. การย้อมครามเป็นเทคนิคที่ปกปิดและมีการถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่ไปสู่ลูก จากยายไปสู่หลาน จึงทำให้การย้อมครามไม่แพร่หลายไปมากนัก

ค. ผู้ย้อมครามจะมีมือสีคล้ำเหมือนสีคราม และครามมีกลิ่นเฉพาะตัวบางคนบอกว่าเหม็น แต่บางคนก็บอกว่าหอม จากมือที่เป็นสีครามล้างออกยาก และกลิ่นเฉพาะตัวของครามนี้เอง ทำให้มีผู้นิยมย้อมครามธรรมชาติน้อยลง

ง. มีความเชื่อมากมายเกี่ยวกับสีคราม เช่นกล่าวว่าครามเป็นสิ่งมีชีวิตบ้างหรือมีความเชื่อว่าผู้ที่ย้อมครามเมื่อแก่ลงจะเป็นผีปอบ จากความเชื่อนี้ทำให้มีผู้นิยมทำครามน้อยลง

จ. ในช่วงที่มีการผลิตสีสังเคราะห์ออกสู่ท้องตลาด ทำให้ผู้ย้อมสามารถเลือกใช้สีที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งวิธีการใช้ก็สะดวกสบายรวดเร็วผู้ย้อมจึงหันมาใช้สีสังเคราะห์แทนสีครามธรรมชาติและสีธรรมชาติอื่นๆ

3.1.1 พันธุ์ไม้ที่ให้สีคราม

พันธุ์ไม้ที่ให้สีครามมีหลากหลายสกุล หนึ่งในนั้นได้แก่ พืชในสกุล *Indigofera* ซึ่งปลูกและใช้มากในทวีปอเมริกา ออฟริกา และเอเชีย *Indigofera* สายพันธุ์ที่นิยมใช้ย้อมสีครามธรรมชาติได้แก่

Indigofera arrecta ปลูกมากในประเทศอินเดีย ให้ผลผลิตใบครามสูง จึงให้ครามปริมาณมากตามไปด้วย

Indigofera suffruticosa Miller ssp. *suffruticosa* ครามใหญ่ (อุบลราชธานี) หรือครามเถื่อน

Indigofera suffruticosa Miller ssp. *guatemalensis*

Indigofera tinctoria ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้สกัดสีครามในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้พุ่มสูงประมาณ 1-1.5 เมตร ใบ ประกอบแบบขนนกเรียงสลับ ดอกช่อออกตามซอกใบ แต่ละดอกมีลักษณะคล้ายดอกถั่ว ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร กลีบดอกสีชมพูและเป็นฝักเล็กๆ ฝักออกเป็นกระจุก ฝักตรงหรือฝักงอโค้งเล็กน้อยภายในฝักมี 7-12 เมล็ด(รูป 3.1ก)

นอกจากนี้ยังมีพืชในสกุลอื่นๆ ที่ให้สีครามได้แก่

Polygonum tinctorium ใช้มากในจีน เวียดนาม และญี่ปุ่น

Isatis tinctoria ใช้กันมากในทวีปยุโรป มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า "woad"

Lonchocarpus cyanescens ใช้กันมากในไนจีเรีย อัฟริกาตะวันตก

Wrightia tinctoria ใช้มากในอินเดีย

Strobilanthes flaccidifolius หรือ *Baphicacanthus cusia* ใช้มากใน ไทย ลาว เวียดนาม ในประเทศไทย เรียกพืชชนิดนี้ว่า "ฮ่อม"



รูปที่ 3.1 ก. ต้นคราม (*Indigofera tinctoria* Linn.)

ข. ต้นฮ่อม (*Baphicacanthus cusia* Brem.)

ในการวิจัยนี้ทำการสกัดสีครามจากพืช 2 ชนิดคือ *Baphicacanthus cusia* Brem. และ *Indigofera tinctoria* Linn.

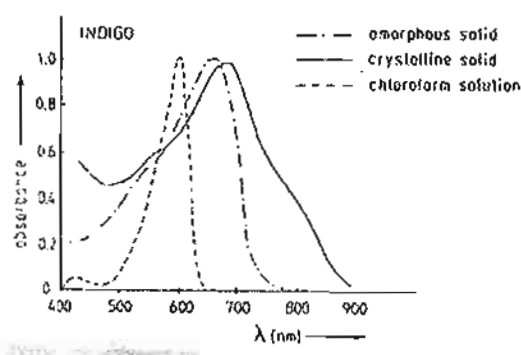
3.1.2 ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ว่าด้วยสีครามและการย้อม

สีคราม หรือ Indigo blue เป็นสารอินทรีย์ประเภทอัลคาลอยด์ จัดเป็นสีย้อมแปลงรูป (vat dye) ชนิดหนึ่งนิยมใช้ย้อมผ้าฝ้ายหนาๆ หรือผ้ายีนส์(Denim) ให้มีสีน้ำเงิน นอกจากนี้ยังใช้ย้อมเส้นไหมได้อีกด้วย

อินดิโกมีโครงสร้างเป็น ทรานไอโซเมอร์ในสภาวะที่เป็นของแข็งและสารละลาย การที่อินดิโกมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์และมีขั้วสูงทำให้มีความสามารถในการละลายไม่ดีและมีจุดหลอมเหลวสูงคือ 390-392 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามสามารถตกตะกอนผลึกอินดิโกได้โดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วและมีจุดเดือดสูงเช่น ไนโตรเบนซีน และอะนิลีน จะได้ผลึกปริซึมสีแดงเหลืองทองแดงสีของอินดิโกขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมเช่น เป็นสีแดงเมื่อกลายเป็นไอ เป็นสีม่วงเมื่อละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วและเป็นสีน้ำเงินในสภาวะของแข็งหรือละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วดังแสดงในตาราง 3.1 และรูป 3.2

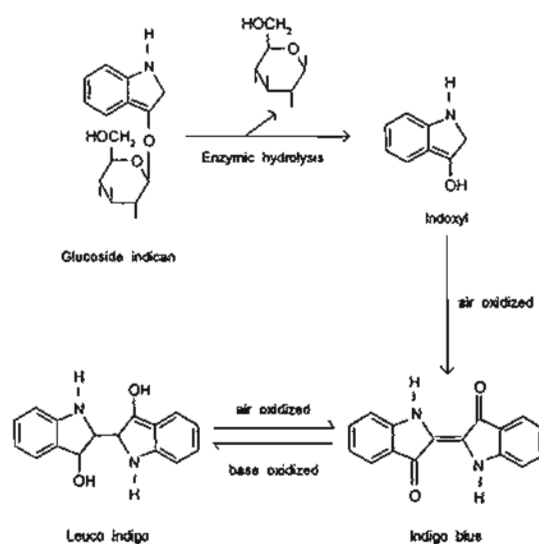
ตารางที่ 3.1 Influence of solvent on absorption

Compound	Solvent	Dielectric constant (20°C)	λ_{max} (nm)
Indigo	Vapour	-	540
	Carbontetrachloride	2.2	588
	Xylene	2.3-2.6	591
	Ethanol	24.3	606
	Dimethylsulphoxide	46.3 (25°C)	620
	Solid, in KBr	-	660



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอินดิโกในคลอโรฟอร์มและในสถานะของแข็งที่เป็น amorphus และเป็นผลึก

ในประเทศไทยอินดิโกจากธรรมชาติได้มาจากการหมักพืช เช่น คราม (*Indigofera tictiria* Linn.) และฮ่อม (*Baphicacanthus busia* Brem.) พืชประเภทนี้จะมีอินดิแคนซึ่งเป็นสารกลูโคไซด์ตัวหนึ่ง เมื่ออินดิแคนถูกไฮโดรไลสจะกลายเป็นอินดอกซิลซึ่งเป็นบรรพสารที่ไม่มีสีของอินดิโกในกระบวนการย้อมสีแปลงรูปสีจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนนำไปย้อมผ้าจากนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนให้กลับมาอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำตามเดิม ในกรณีของอินดิโกก่อนนำไปใช้ย้อมสีจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปลิวโค(Leuco form) หมายถึงรูปที่ไม่มีสีซึ่งละลายน้ำได้จากนั้นเมื่อโดนกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์กลับคืนเป็นสีน้ำเงินที่ไม่ละลายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเกิดสีอินดิโก

ปัจจุบันนี้การย้อมสีอินดิโกจากธรรมชาติมีเหลืออยู่เพียงบางแห่งเท่านั้นเช่นที่จังหวัดแพร่ สุรินทร์ อุตรธานี กาฬสินธุ์ สกลนครและเชียงใหม่ ถิ่นที่ยังมีการย้อมอินดิโกอยู่จะเป็นถิ่นที่อยู่ใกล้ความเจริญหรือบางถิ่นเป็นถิ่นที่มีการทอดผ้าย้อมสีอินดิโกขาย การย้อมสีอินดิโกได้เริ่มหายไปนั้นมีสาเหตุมาจาก

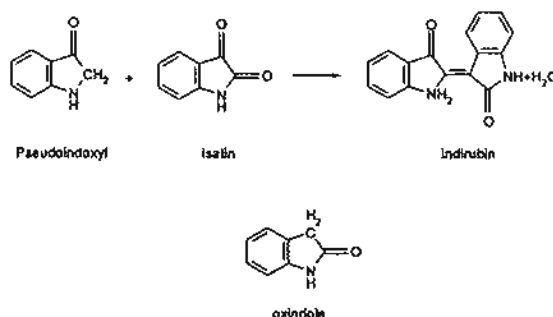
ก. การย้อมสีอินดิโกเป็นสีที่ยุ่งยากซับซ้อนมีขั้นตอนมาก ผู้ย้อมต้องอาศัยประสบการณ์ในการสังเกตและเอาใจใส่หม้ออินดิโกมาก จึงพบว่าในหมู่บ้านหนึ่งๆ มีช่างทำอินดิโกอยู่เพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้น

ข. การถ่ายทอดความรู้ในการย้อมสีอินดิโกมักจะถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่สู่ลูกจากยายสู่หลาน จึง

ทำให้การย้อมสีอินดิโกไม่แพร่กระจายไปมากนัก

ในการสกัดเอาอินดิโกจากพืชเหล่านี้จะได้อินดิกริบินออกมาด้วย ซึ่งสูตรโมเลกุลเป็น $C_{16}H_{10}O_2N_2$ (ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง pseudoindoxyl และ isatin) มีจุดหลอมเหลว $315^{\circ}C$ มีสี

แดงดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 551 นาโนเมตร ใน dimethylsulphoxide สีนินดิรูบินนี้ไม่สามารถใช้ในการย้อมสีผ้าได้เพราะในระหว่างการเตรียมสีย้อมจะแตกออกเป็น pseudoindoxyl กับ oxindole ใน alkaline reducing agent ซึ่ง pseudoindoxyl จะเกิดออกซิไดซ์กลับไปเป็นอินดิโกได้ ส่วน oxindole นั้นไม่ละลายแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการเกิดสีอินดิรูบิน

ในทางการแพทย์ของประเทศจีนใช้นินดิรูบินในการรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดผิดปกติ รักษาการอักเสบและติดเชื้อจากแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารต้านมะเร็งโดยจากการศึกษาพบว่า อินดิรูบินสามารถยับยั้งการเกิด Lewislung carcinoma ในหนู mice และ Walker carconosacoma 256 ในหนู rats และเมื่อให้นินดิรูบินในขนาด 300-450 มิลลิกรัมต่อวันแก่คนไข้ที่เป็น Chronic myelocytic leukemia พบว่า 26% ไม่ตอบสนองต่อการรักษา 33.4% ตอบสนองต่อการรักษาและเมื่อให้นินดิรูบินเป็นเวลา 1.5-6 เดือนพบว่าทำให้มีการทำงาน 5'-nucleotidase ในเม็ดเลือดขาวมากขึ้นทำให้อาการรุนแรงของโรคลดลง

3.1.3 ภูมิปัญญาดั้งเดิมในการเตรียมสีย้อม และการย้อมครามจากธรรมชาติ

จากการค้นคว้าเอกสารและการลงปสำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่โดยตรง พบว่าการย้อมครามธรรมชาติโดยภูมิปัญญาดั้งเดิม ในขั้นตอนการเตรียมสีย้อม มี 3 วิธี ใหญ่ๆ ดังนี้

- ก. การเตรียมโดยใช้น้ำสกัดสีย้อมออกจากใบพืช และย้อมเส้นใยในน้ำย้อมนี้โดยตรง
- ข. เตรียมโดยนำใบพืชมาหมัก แต่ไม่แยกสารให้สีออก
- ค. เตรียมโดยการนำพืชมาหมัก และแยกสารให้สีออกจากใบพืช

แบบ ก. การย้อมวิธีนี้ กระบวนการทั้งหมดของการย้อมครามเกิดรวมอยู่ในหม้อย้อม มีการใส่ใบพืชสด และ

นำลงไปในหม้อย้อมพร้อมกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น น้ำด่างซีเด้า หรือปัสสาวะ การหมักจะเกิดขึ้นในขณะที่น้ำย้อมมีสภาพเป็นด่าง วิธีการนี้มีข้อจำกัด ใช้ย้อมเส้นใยปริมาณน้อย ในการย้อมแต่ละครั้งสีที่ได้ไม่เข้ม ต้องย้อมซ้ำแล้วซ้ำอีกหลายครั้งเป็นเวลาแรมปี

แบบ ข. วิธีนี้มีกรรมหนักใบพืชสด จากนั้นทำให้แห้งจะได้ลักษณะเหมือนปุ๋ยหมักเพื่อสะดวกต่อการขนส่งและการเก็บรักษา

วิธีนี้นิยมใช้กับพืชให้สีครามประเภท

Polygonum tinctorium ในญี่ปุ่น

Isatis tinctoria ในยุโรป

และ *Lonchocarpus cyanescens* และ *Indigofera* ในแถบประเทศกลุ่มอัฟริกาตะวันตก

แบบ ค. เป็นวิธีการดั้งเดิมที่อุตสาหกรรมผลิตสีครามในประเทศอินเดียใช้ผลิตสีครามส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ และเป็นวิธีที่ชาวบ้านในภาคต่างๆ ของไทยนิยมใช้ย้อมคราม ขั้นตอนการย้อมสีครามแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การผลิตเนื้อคราม การก่อกหม้อครามและการชุบสีคราม ซึ่งจะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไปตามสภาพท้องถิ่นโดยมีหลักเกณฑ์ทั่วไปคือ

3.1.3.1 การผลิตเนื้อสีคราม

การผลิตและการเก็บเนื้ออินดิโกไว้ใช้นั้น มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ หลังจากปลูกต้นครามได้ประมาณ 4-5 เดือนเมื่อต้นครามเริ่มมีดอกสีแดงเล็กๆ ก็แสดงว่าต้นครามนั้นสามารถนำมาใช้ได้ ต้นครามจะถูกตัดทั้งต้นและกิ่งแต่ในบ้างที่อาจจะตัดครึ่งต้น เพื่อปล่อยให้ต้นครามแตกใบออกอีกแล้วเก็บใบครามมาใช้ได้เป็นครั้งที่ 2 จึงตัดต้นทิ้งไป เมื่อได้กิ่งครามแล้วโดยทั่วไปมัดกิ่งครามเข้าด้วยกันเป็นกำๆ ขนาดพอดีแล้วนำไปแช่ในโอ่งที่เตรียมไว้ซึ่งอาจจะเป็นโอ่งดินก็ได้ การแช่นี้อาจจะใช้เวลาประมาณ 1-3 วันตามความถนัดของผู้เก็บซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ แต่อย่างไรก็ดีในระหว่างการแช่จะต้องมีการพลิกใบครามจากข้างล่างขึ้นมาข้างบนหรือถ้าต้องการแช่ 3 คืนหลังจากคืนที่ 2 แล้วต้องพลิกใบครามขึ้นมาหรือถ้าต้องการแช่ 1 คืน เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงแล้วจะต้องพลิกใบครามกลับขึ้นมา การแช่จะต้องทำให้ครบวัน ครบคืน กล่าวคือถ้าแช่ตอนไหนก็ต้องนำไปกวนตอนนั้น ในระหว่างที่แช่น้ำที่แช่จะขึ้นเป็นฟองสีอินดิโก และน้ำมีสีอ่อนใสเหมือนสีเขียวสะท้อนแสง หรือในบางที่บอกว่าน้ำที่แช่ครามมีสีเหมือนปลาสวาทะว่าใช้ได้แต่ถ้าไม่มีสีเขียวใสดังกล่าวโอ่งอินดิโกนี้จะใช้ไม่ได้ สาเหตุที่หม้ออินดิโกเสียเกิดจากการแช่นานเกินไปหรือใส่ใบครามมากเกินไป หลังจากแช่ได้ที่แล้วคือประมาณ 1-3 วัน ให้นำใบครามออกจากโอ่งให้หมดเหลือไว้แต่น้ำซึ่งจะต้องนำมากวนต่อไป การกวนทำได้โดยนำปูนขาวไปละลายลงในน้ำดังกล่าวข้างต้นแล้วเพื่อใช้จับเนื้ออินดิโกให้ตกตะกอนใช้มือหรือตะกร้ากวนจนเกิดฟอง การกวนนี้ใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง จะสังเกตว่าฟองที่เกิดขึ้นนั้นจะมีสีอินดิโกและจะมีลักษณะเป็นฟองละเอียดอยู่ได้นาน ไม่แตกง่าย น้ำแช่ก็จะเปลี่ยนเป็นสีอินดิโกด้วย อัตราส่วนของปูนขาวที่ใส่จะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำแช่ใบครามคือ ถ้าน้ำแช่ใบคราม 300 ลิตร จะใช้ปูนขาว 300 กรัม ถ้าหลังจากการกวนแล้วฟองที่ได้เป็นสีขาวและน้ำเป็นสีเขียวขี้ม้าแสดงว่าใช้ไม่ได้ ซึ่ง

อาจมีสาเหตุจากการใส่ปูนขาวหรือปูนมากเกินไป หลังจากกวนจนได้ผลตามต้องการแล้วให้ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงเนื้ออินดิโกจะตกตะกอนลงข้างล่างน้ำข้างบนจะใส ให้น้ำใสนี้ทิ้งเหลือไว้แต่ตัวอินดิโกที่ตกตะกอนนำตะกอนอินดิโกไปกรองเอาน้ำออก ต้องระวังไม่ให้น้ำออกไปหมดอินดิโกจะแห้งเกินไปสังเกตดูพอเหลือเนื้ออินดิโกก็ใช้ได้ นำเนื้ออินดิโกนี้เก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิด อินดิโกที่เก็บไว้นี้จะเก็บไว้ใช้ได้นานระวังอย่างให้น้ำแห้งถ้าแห้งต้องนำน้ำต่างมาเติม อินดิโกที่เก็บแบบนี้เรียกว่า อินดิโกเปียก ในบางท้องที่แถบจังหวัดสุรินทร์นิยมเก็บอินดิโกแบบแห้ง ทำได้โดยหลังจากที่รินน้ำใสตอนบนของหม้ออินดิโกออกและเหลือแต่ตะกอนอินดิโกนั้นให้นำตะกอนอินดิโกไปใส่ผ้ากรองน้ำออกให้หมดแล้วเก็บเนื้ออินดิโกที่ได้เป็นก้อนขนาดสบู่แล้วนำไปตากแดดจะได้เป็นอินดิโกแห้งก่อนนำมาใช้ต้องบดให้ละเอียดเสียก่อน

3.1.3.2 การก่อก้อนครามหรือการเตรียมหม้อย้อมคราม

การก่อก้อนครามนั้นจะมีกรรมวิธีในการก่อหลายแบบส่วนผสมที่ใช้ก็แตกต่างกันตามความเชื่อและสิ่งแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น การก่อก้อนครามที่ใช้ย้อมเส้นฝ้ายก็จะมีลักษณะที่แตกต่างจากหม้อครามที่ใช้ย้อมไหม อย่างไรก็ตามก้อนครามของแต่ละท้องถิ่นก็จะมีเกณฑ์ในการก่อที่คล้ายคลึงกันดังตัวอย่างที่นำเสนอ

ส่วนผสมที่ใช้ในการก่อก้อนคราม

ก. เนื้อคราม

ข. น้ำกรดหรือน้ำส้ม เช่น น้ำมะนาวซึ่งมีกรดซิตริก น้ำมะเด่งซึ่งมีกรดฟอร์มิกและน้ำมะขาม

ซึ่งมีกรดทาทาริก โดยได้จากการนำพืชที่มีรสเปรี้ยวหรือดมดแดงใส่น้ำต้มจนเดือดประมาณ 30 นาทีแล้วกรองเอาน้ำไปใช้ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเคมีอื่นๆ เช่นเกลือแกงซึ่งช่วยให้สีติดง่าย สารส้มช่วยจับยีสติดและทำให้สีสดขึ้น สนิมเหล็กหรือโคลนจากใต้สระที่มีน้ำขังตลอดทำให้สีเข้มข้นน้ำกรดหรือน้ำส้มนี้มีคุณสมบัติเป็น reducing agent อย่างอ่อน ซึ่งจะค่อยๆ เปลี่ยนอินดิโกที่อยู่ในรูป oxidized form ไม่ละลายน้ำ ใช้เป็นสีย้อมไม่ได้ไปเป็น reduced form ซึ่งเป็นสารพวกลิโค (leuco indigo) ที่ไม่มีสีแต่ละลายน้ำได้ สารไม่มีสีละลายน้ำได้นี้สามารถแทรกซึมในเนื้อผ้าและเกาะติดเนื้อผ้าได้ขณะย้อม หลังจากย้อมแล้วคลี่เนื้อผ้าสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศสารลิโคจะถูกออกซิไดซ์กลับไปเป็นสีน้ำเงิน ไม่ละลายน้ำตามเดิมเกาะจับเนื้อผ้าทนนานเมื่อซักล้างสีไม่ค่อยตก แต่เนื่องจากสีอินดิโกนี้จะค่อยเปลี่ยนเป็น reducing form การย้อมเพียงครั้งเดียวจะทำให้สีที่ติดเนื้อผ้าไม่เข้มจึงต้องทำการย้อมหลายๆ ครั้ง ในกระบวนการย้อมสีสังเคราะห์ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้สารเคมีเช่น sodium dithionite ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น reducing agent อย่างแรง เปลี่ยนอินดิโกสังเคราะห์สีแดง รวดเร็วสามารถย้อมครั้งเดียวแล้วได้สีน้ำเงินเข้มทันที แต่ reducing agent เหล่านี้เป็นอันตรายต่อผู้ย้อม เป็น

สารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อผิวหนัง ทำให้เกิดมลพิษสูงในการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมสีเคมีทำให้ดินและน้ำเสียจึงทำให้มีการหันกลับมาใช้วัตถุจากธรรมชาติมากขึ้น

ในขั้นตอนของการก่อหม้อครามนั้นใช้เนื้อครามที่เตรียมไว้ 360 กรัม น้ำด่าง 1 ลิตรและน้ำมะนาวหรือน้ำมะขามหรือน้ำมดแดง 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ในช่วงแรกของการก่อหม้อครามนั้นหม้อครามควรมีความเป็นกรดมากกว่าความเป็นด่างเพราะกรดจะช่วยในการเปลี่ยนอินดิโกที่อยู่ในรูป oxidized form ซึ่งไม่ละลายน้ำไปเป็น reduced form ซึ่งละลายน้ำได้และสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อผ้าได้ ถ้าหม้อครามมีความเป็นด่างจะทำให้อินดิโกไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็น reduced form ได้สีไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อผ้าทำให้ย้อมสีไม่ติด ผู้ก่อหม้อครามต้องสังเกตว่าถ้าหม้อครามมีสีเขียวหรือเขียวน้ำเงินแสดงว่าหม้อครามใช้ได้ ผู้ก่อจะรู้ว่าหม้อครามใช้ย้อมได้หรือไม่โดยสังเกตจาก

- ฟองซึ่งได้จากการคนและการตักน้ำครามขึ้นมาเทกลับลงไป ในหม้อเหมือนเดิมฟองจะเกาะอยู่ด้านบนของหม้อครามนานไม่แตกง่าย
- ด้านบนของหม้อครามจะเกิดฝ้าสีน้ำเงินเข้ม
- น้ำครามจะมีสีเขียวและต่อมาถ้าในหม้อเปลี่ยนจากสีเขียวน้ำเงินไปเป็นสีเขียวเหลืองหรือสีเหลืองเทา ก็แสดงว่าหม้อครามกำลังจะเสียให้เติมน้ำมดแดงและน้ำด่างลงไปเพื่อให้หม้อครามดีเหมือนเดิม

อย่างไรก็ตามมีรายงานการวิจัยของอรุณรัตน์สายทองและคณะพบว่าน้ำสีที่มีพีเอช อยู่ในช่วง

10-10.5 ทำให้การย้อมติดสีน้ำเงินเข้มดี

ค. น้ำปูนใสหรือน้ำด่างที่ทำจากพืชเนื้ออ่อน เช่น ต้นผักขมหนาม ต้นมะละกอ เหนังกกล้วย ใบกล้วย ก้านกล้วย เปลือกของผลทุเรียน ใบมะขาม กาบมะพร้าว เปลือกเพกา เป็นต้น เลือกพืชชนิดใดชนิดหนึ่งมาล้างแดดให้หมาดแล้วเผาจนเป็นขี้เถ้าสีขาว นำขี้เถ้าที่ได้มาใส่อ่างที่มีน้ำอยู่ กรองให้ทั่วทั้งไว้ 4-5 ชั่วโมง ขี้เถ้าจะตกตะกอน นำน้ำที่ได้ไปกรองให้สะอาดแล้วจึงนำไปใช้งาน

3.1.3.3 การชุบสีครามหรือการย้อมสีคราม

การย้อมครามจะทำที่อุณหภูมิประมาณ 30-40°C โดยนำเส้นฝ้ายหรือไหมที่ทำความสะอาดแล้วชุบน้ำบิดให้หมาดก่อนย้อมทุกครั้งเพราะจะทำให้เส้นฝ้ายสามารถดูดน้ำสีย้อมได้ดีและทำให้สีติดเส้นใยได้ง่าย แล้วนำไปแช่กับสีอินดิโกในหม้อครามครั้งหนึ่งๆ ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปบิดให้หมาด ฝ้ายหรือไหมจะมีสีเขียวอมเหลืองเพราะอินดิโกยังอยู่ในรูป reduced form เมื่อนำฝ้ายหรือไหมนั้นมาผึ่งแดดสีอินดิโกจะถูกอากาศซึ่งมีออกซิเจนอยู่และจะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็น oxidized form ซึ่งมีสีน้ำเงินภายใน 2-3 นาที หากสียังไม่เข้มพอให้นำไปแช่ในหม้อครามอีกทำซ้ำ 6-10 ครั้งเพราะสีอินดิโกจะค่อยๆ แทรกซึมในเนื้อฝ้ายหรือไหมแล้วเปลี่ยนเป็น oxidized form จนได้สีน้ำเงินเข้มในที่สุด

จากนั้นจึงนำมาซักด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส ปิดให้หมดกระตุกเส้นฝ้ายหรือไหมให้ตึงเพื่อเป็นการคลี่เส้นใยและนำไปผึ่งในร่มหรือผึ่งแดดก็ได้ จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมสีน้ำเงินตามต้องการ

3.2 การวิจัยเพื่อเตรียมสีย้อมครามจากธรรมชาติและพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูปจากพื้นฐานภูมิปัญญาดั้งเดิม

จุดมุ่งหมายของการวิจัยที่เกี่ยวกับสีย้อมธรรมชาตินี้ก็เพื่อที่จะศึกษาวิธีสกัดสารสีน้ำเงินจากครามและฮ่อมและพัฒนาขั้นตอนการสกัดที่สะดวก รวดเร็ว ได้เนื้อสีมาก ลดมลภาวะทางกลิ่นต่อสิ่งแวดล้อม ศึกษาองค์ประกอบหลักของสารให้สีที่สกัดได้รวมทั้งปริมาณที่มีอยู่ แยกบริสุทธิ์และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและสมบัติขององค์ประกอบดังกล่าวเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาการผลิตสีน้ำเงินจากธรรมชาติเป็นสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ใช้ย้อมง่าย สะดวกต่อการเก็บรักษาและได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีคุณภาพดีโครงการวิจัยตามวัตถุประสงค์นี้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 เป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน และระยะที่ 2 เป็นเวลา 2 ปี ผลงานวิจัยในระยะที่ 1 นั้นมีรายละเอียดอยู่ในรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน และผลงานวิจัยระยะที่ 2 นี้จะมีรายละเอียดที่จะเสนอต่อไปในรายงานบทนี้

3.2.1 ผลการสกัด วิเคราะห์ และแปรรูปสารสีน้ำเงินจากครามและฮ่อมจากการวิจัยระยะที่ 1

จากงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการเตรียมสีย้อมครามในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม จากใบครามและใบฮ่อมให้อยู่ในรูปสีสำเร็จรูป เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ย้อม ให้หันกลับมานิยมย้อมผ้าหรือเส้นใยด้วยสีย้อมธรรมชาติอีกครั้งหนึ่ง ได้ผลการวิจัยเพื่อการพัฒนากระบวนการเตรียมสีย้อมครามดังต่อไปนี้

จากผลการวิจัยในการเตรียมครามจากการหมักครามและฮ่อม พบว่าถ้าใช้วัตถุดิบที่สดจะให้ปริมาณสีย้อมมากกว่าวัตถุดิบที่ผึ่งลมหรือแห้งและการหมักด้วยน้ำ 1 วัน จะให้สีย้อมมากกว่าการหมัก 3 วัน เปอร์เซ็นต์สีย้อมที่ได้จากใบครามจะได้น้อยกว่าที่ได้จากใบฮ่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบปริมาณสีย้อมที่ได้จากการหมักใบฮ่อมสด 1 วันและ 3 วัน

วัตถุ	สีย้อม(มก.ต่อตะกอนครามเปียก 100 มก.)
ใบฮ่อมสดหมักน้ำ 1 วัน	3.01
ใบฮ่อมสดหมักน้ำ 3 วัน	2.26

นอกจากนี้ยังพบว่าระยะในการหมักวัตถุดิบ 1 วัน จะได้น้ำสีที่ไม่มีกลิ่นเหม็น ต่างจากการหมัก 3 วันที่เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องมาจากการสลายโปรตีนและไขมันในครามหรือฮ่อมโดยแบคทีเรียเกิดสาร

ประกอบประเภทคีโตน (ketones) ผลการวิจัยของอนุรัตน์สายทองและคณะพบว่า การแช่ครามไว้ 18 ชั่วโมงจะให้เนื้อครามและสีครามมากที่สุด

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบปริมาณสีครามที่ได้จากการหมักใบฮ่อมและใบคราม อย่างละ 100 กรัมในน้ำเป็นเวลา 1 วัน

วัตถุดิบ	สีครามที่ได้ทั้งหมด(มก.)	สีคราม (มก./กรัมใบสด)
ใบฮ่อมสด	472.27	4.72
ใบฮ่อมผึ่งลม	31.37	0.31
ใบฮ่อมแห้ง	7.89	0.08
ใบครามสด	327.33	3.27

กระบวนการสลายอินดิแคนให้ได้อินดอกซิล แยกตัวออกจากกลูโคสเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานจากแบคทีเรีย งานวิจัยนี้ให้สำรวจพบแบคทีเรีย 3 ชนิดในน้ำหมัก และได้ทดลองหมักตามธรรมชาติกับการหมักโดยเพิ่มแบคทีเรียชนิดใดชนิดหนึ่งลงไป ปรากฏผลว่าปริมาณสีครามที่ได้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปริมาณแบคทีเรียในธรรมชาติที่ช่วยในกระบวนการหมักมีมากพอแล้ว อย่างไรก็ตามเอนไซม์ในพืชเองก็น่าจะมีความสำคัญมากกว่าจุลินทรีย์ในอากาศในขั้นตอนการหมักครามนี้ เพราะใบสดให้เนื้อครามมากเนื่องจากมีเอนไซม์จากใบพืชมาก

ก. กระบวนการผลิตสีคราม

นำใบฮ่อมมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุลงในถุงผ้า ถ้าเป็นต้นครามจะลิดเอาเฉพาะใบบรรจุลงในถุงผ้า มัดปากถุงให้แน่น ซึ่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในถัง ใส่น้ำจนท่วมถุงแล้วปิดฝาทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ใช้น้ำหมักออกมาใส่ถัง แล้วเติมน้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเตรียมโดยละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำอัตราส่วน 1: 3 โดยปริมาตร แล้วทิ้งให้ตกตะกอน ดูดน้ำไล่ข้างบนมาใช้ซึ่งจะมี pH ประมาณ 11.0-12.0 สัดส่วนน้ำด่างที่เติมลงไปใต้น้ำหมัก น้ำหมัก 1 ส่วน คือน้ำด่าง 2 ส่วน โดยปริมาตร ให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศในอ่างเลี้ยงปลา ประมาณ 30 นาที จนฟองสีน้ำเงินขึ้นเต็ม ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน ตะกอนครามจะตกลงด้านล่าง ดูดน้ำด้านบนซึ่งมีสีน้ำตาลทิ้งไป ล้างตะกอนโดยการเติมน้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปใหม่ คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วดูดน้ำทิ้งให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้จะได้ตะกอนครามเปียกเก็บไว้ศึกษาต่อไป

ข. การเปรียบเทียบขององค์ประกอบหลักของสารสีที่สกัดจากครามและฮ่อม

ผลการแยกวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารสีที่สกัดจากครามและฮ่อมด้วยวิธีต่างๆ โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีมีบางพบว่าประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด เหมือนกันหมดทั้งครามและ

ฮ่อมกล่าวคือ ประกอบด้วยสารสีน้ำเงินคือ อินดิโกและสารสีแดงเป็นอินดิรูบินซึ่งยืนยันได้ด้วยการแยกบริสุทธิ์และนำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีจากการศึกษาสมบัติทาง spectroscopy

ค. การแปรรูปตะกอนครามเปียกให้เป็นผงสีแห้งและเม็ดแกรนูล

ค1. การผลิตสีผงแห้ง

สีฮ่อมที่ได้จากการหมักใบครามหรือใบฮ่อมซึ่งอยู่ในรูปตะกอนเปียก เก็บรักษาได้ยาก มักจะมีเชื้อราขึ้นเมื่อเก็บไว้นานๆ จึงได้แปรรูปสีสกัดนี้ให้เป็นผงแห้งโดยนำสารสกัดลักษณะตะกอนเปียกจากใบครามหรือใบฮ่อมมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C แล้วบดให้เป็นผงพบว่าผงสีที่ได้มีสีน้ำเงินปนเขียว เก็บรักษาได้ง่ายขึ้นและลดเนื้อที่ในการเก็บ แต่มีข้อเสียคือขึ้นง่าย ผลจากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าตะกอนเปียกในน้ำหนักเท่าๆ กันที่สกัดได้จากใบฮ่อมหรือใบคราม เมื่ออบเป็นผงจะได้ปริมาณผงสีแห้งจากใบฮ่อมมากกว่าจากใบคราม

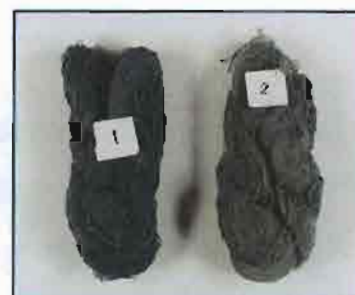
ตารางที่ 3.4 ปริมาณของผงสีแห้งที่ได้จากการอบตะกอนเปียกจากฮ่อมหรือครามอย่างละ 100 กรัม

แหล่งตะกอนเปียก (100 กรัม)	ผงสีแห้ง (กรัม)
ฮ่อม	18.77
คราม	11.96

ค2. ผลการย้อมด้วยฝ้ายด้วยสารสีที่สกัดได้ในรูปที่ 3.5, 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.5 ฝ้ายที่ทำความสะอาด(1)และฝ้ายที่ไม่ได้ทำความสะอาด(2) ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสดในน้ำ 24 ชม.



รูปที่ 3.6 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสดในน้ำ 24 ชม.(1)และ 72 ชม.(2)



รูปที่ 3.7 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสด(1) ใบฮ่อมผึ่งลม(2) และใบฮ่อมแห้ง(3)

จากรูป รูปที่ 3.7 ฝ่ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสด(1) ใบฮ่อมผึ่งลม(2) ฝ่ายที่ไม่ได้ทำ
 ความสะอาดซึ่งอ และใบฮ่อมแห้ง(3) และไขมันที่
 เคลือบด้วยฝ่ายออกหมดแล้ว จากรูป 3.6 ฝ่ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสดในน้ำ 24 ชั่วโมงจะติดสีน้ำเงินเข้มมากกว่าฝ่ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสดในน้ำ 72 ชั่วโมง จากรูป 3.7 ทดลองย้อมด้วยฝ่ายด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสด ใบฮ่อมผึ่งลม ใบฮ่อมแห้ง พบว่าฝ่ายฝ่าย
 ที่ย้อมด้วยสีสกัดจากการหมักใบฮ่อมสดจะติดสีน้ำเงินมากที่สุดซึ่งสรุปได้ว่าสีสกัดจากใบฮ่อมสดมี
 ปริมาณอินดิโกมากที่สุด เมื่อเทียบกับใบฮ่อมผึ่งลมและใบฮ่อมแห้ง

ค3. การผลิตเป็นเม็ดแกรนูล

จากการแปรรูปสารสีสกัดเป็นผงสีแห้งเกิดปัญหาว่าผงสีขึ้นง่าย จึงได้ทดลองแปรรูปเป็น
 แกรนูลโดยใช้ส่วนผสมตะกอนความเปียกอบที่ 60°C 72 ชั่วโมง 300 กรัม แลคโตส 50 กรัม น้ำร้อนต้ม
 เดือดจัด 300 มล.ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจะได้ของผสมลักษณะคล้ายกะป็น้ำเข้าเครื่องบดหมูและรีด
 ออกมาเป็นตัวหนอนอบที่ 60 °C 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปรีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ได้เม็ดแกรนูลสีน้ำเงิน
 เข้ม สามารถเก็บรักษาและใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีรูปลักษณะนำไปใช้อีกด้วย

ในการทำเม็ดแกรนูล ผู้วิจัยได้ทดลองปรับสูตรใช้แป้งแทนแลคโตสในการช่วยให้เกิดการจับตัว
 เป็นก้อนง่ายต่อการอัดเม็ดแกรนูล เพื่อลดต้นทุน เพราะแป้งมีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า

จ. สมบัติของสารสีย้อมจากสีครามธรรมชาติ

จากการทดลองการละลายของสีสกัดพบว่า สีสกัดละลายได้เล็กน้อยในน้ำปูนใสโดยเฉพาะสี
 สกัดในลักษณะ paste ที่อบที่ 60 °C จนแห้งละลายได้น้อยมากเมื่อเทียบกับสีสกัดในลักษณะอื่นๆ
 เมื่อนำเม็ดแกรนูลมาละลายในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ พบว่าสามารถละลายได้บ้าง และสาร
 ละลายสีที่ได้ยังคงมีสีน้ำเงินในสารละลายเกลือทุกชนิด การทดสอบการละลายของเม็ดแกรนูลใน
 เอทานอลก็ให้ผลคล้ายๆ กัน คือ เม็ดแกรนูลละลายไม่หมด สารละลายที่ได้มีสีม่วง ซึ่งอาจเป็นเพราะมี
 ทั้งอินดิโก ซึ่งมีสีน้ำเงินและอินดิรูบิน ซึ่งมีสีแดง ละลายออกมาในเอทานอล เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความ
 เข้มข้นของเอทานอล เม็ดแกรนูลจะละลายได้มากขึ้นจนถึงที่ความเข้มข้นหนึ่งการละลายก็จะไม่เพิ่ม
 ขึ้นอีก ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลอีกก็ตาม

การเปลี่ยนค่าพีเอชก็ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของสีย้อม ที่ทุกค่าพีเอช สีของสารละลายยังคง
 เป็นสีน้ำเงินการละลายก็คล้ายกัน คือ ละลายได้บ้าง แต่ที่พีเอชเป็นด่าง (พีเอช 12) สีจะจับตัวกันเป็น
 ตะกอนหลังจากทิ้งไว้ 5 นาที ซึ่งสนับสนุนข้อมูลที่ว่า ด่างจะช่วยเปลี่ยนสีอินดิโกจากรูป reduced form
 ให้เป็น oxidized form เกาะติดเนื้อผ้า จากผลการทดลองดังกล่าว การเตรียมน้ำย้อมของสีอินดิโกนี้

ควรให้น้ำย้อมมีพีเอชต่ำกว่า 12 ซึ่งจะกระจายตัวในน้ำย้อม ไม่จับกันเป็นก้อน ซึ่งมีข้อมูลสนับสนุนผลการทดลองนี้ โดยอนุรัตน์ สายทอง (2544) เคยรายงานไว้ว่า ค่าพีเอชของน้ำย้อมสีอินดิโกควรจะอยู่ในช่วง 10-12 ซึ่งจะสามารถย้อมผ้าติดสีน้ำเงินได้ดี

จ. สรุปผลการทดลองการเตรียมสีครามธรรมชาติจากโครงการระยะที่ 1

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินดิโกจากใบครามและใบฮ่อม คือ การตัดวัตถุดิบที่สดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ถุงผ้า หมักด้วยน้ำในถังที่มีฝาปิดมิดชิด เป็นระยะเวลา 1 วัน ได้ตะกอนสีประมาณ 0.005 มก.ต่อน้ำหนักใบสด 1 กรัม วิธีนี้ยังสามารถกำจัดกากวัตถุดิบที่เหลือจากการหมักได้ง่าย ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการหมักได้ สารสีที่สกัดได้จากใบครามและใบฮ่อมเป็นสารกลุ่มอัลคาลอยด์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารสีน้ำเงินและแดง สารสีน้ำเงินคืออินดิโกและสารสีแดงคืออินดิรูบินซึ่งมีปริมาณเป็น 6.8 เท่าของอินดิโกและมีความคงทนในบรรยากาศมากกว่า

การเตรียมสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตอินดิโกในรูปของเม็ดแกรนูล พบว่า ควรเตรียมจากสารสีที่อบที่ 60°C 72 ชั่วโมง เพราะปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลจะมีมากกว่าการเตรียมจากสารสีสดลักษณะตะกอนเปียก ส่วนการเตรียมจากสารสีสกัดที่อบจนแห้งมีข้อเสียคือ ละลายได้ยาก การเตรียมเม็ดแกรนูลจะใส่สารช่วยย้อมพวกกรดซิตริก ครีมนอฟตาร์ตา ซึ่งมีกรดทาร์ทาริก สารลัมคอปเปอร์ซิลเฟต wetting agent ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม พบว่า การเติม wetting agent ทำให้อัดเป็นเม็ดแกรนูลได้ง่ายขึ้น และทำให้เม็ดแกรนูลแตกตัวในน้ำได้ดีขึ้น

การศึกษาวิธีการแยกสารสีน้ำเงินและแดงเพื่อการแปรรูป พบว่า สารสีแดงสามารถละลายได้ดีในเมทานอล สารสีน้ำเงินละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้เมทานอลสกัดสีแดงจากผงสีแห้งครั้งที่ 1 จะมีสีน้ำเงินปนออกมากับสีแดงเพียงเล็กน้อย จากนั้นนำสารละลายนี้ไประเหยแห้งแล้วสกัดด้วยเมทานอลอีกครั้ง พบว่าสีน้ำเงินปนออกมาน้อยลงเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยเมทานอลครั้งแรก สารสีที่เหลือจากการสกัดด้วยเมทานอลครั้งที่ 1 จะนำมาสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์ม ได้สารสีน้ำเงิน ซึ่งมีสีแดงปนออกมาน้อยมาก วิธีการสกัดนี้มีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการแปรรูปสารสีน้ำเงินและสารสีแดงเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

3.2.2 รายละเอียดผลงานวิจัยการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปจากโครงการพัฒนาสีธรรมชาติระยะที่ 2

ผลงานวิจัยของโครงการวิจัยระยะที่ 1 ที่ผ่านมาเป็นเพียงการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ และได้ผลการทดลองเบื้องต้นเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาปรับปรุงและขยายขนาดการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปให้เพียงพอที่จะเผยแพร่ให้ทดลองใช้ได้จริงในภาคสนามต่อไป

3.2.2.1 การหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับผงสีสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูล

จากการทดลองในโครงการระยะแรกนั้นใช้ผงสีที่สกัดได้ผสมกับน้ำตาลแลคโตสพบว่า ต้องใช้ปริมาณน้ำตาลแลคโตสมากในการผสมเพื่ออัดเป็นเม็ดแกรนูลและคัดขนาดเม็ดทำให้มีปริมาณเนื้อสีต่อกรัมของเม็ดสีในรูปแกรนูลน้อยมากต้องใช้ปริมาณเม็ดสีมากในการย้อมแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามข้อดีคือละลายได้ดีในน้ำหรือน้ำด่างที่ใช้เตรียมน้ำย้อมและละลายดีมากถ้าต้มให้ร้อน ในการปรับปรุงสูตรสำเร็จนั้นคณะผู้วิจัยได้พยายามลองใช้สารอย่างอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลังแทนน้ำตาลแลคโตสเพื่อลดต้นทุนและสารอื่นๆ ที่พบว่าจำเป็นสำหรับการเตรียมน้ำย้อมสีแต่ละชนิดเพื่อให้ย้อมสีติดดีเช่น กรดซิตริก สารส้ม กรดทาร์ทาริก ครีมออฟทาร์ทา เกลีโอโละบางชนิดที่ไม่เป็นอันตราย และสารที่ช่วยให้การกระจายของสีในน้ำย้อมและช่วยขั้นตอนการผสมและอัดเป็นเม็ดแกรนูลได้ง่ายขึ้น เช่น wetting agent เป็นต้น โดยขั้นแรกได้ทดลองการทำเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ จากผงสีอินดิโกจากฮ่อม ผงสีจากรากยอป่าและครั้งตามลำดับ

3.2.2.2 การทำเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ จากผงสีครามและห่อหุ้มปริมาณเนื้อสี

และทดสอบการละลาย

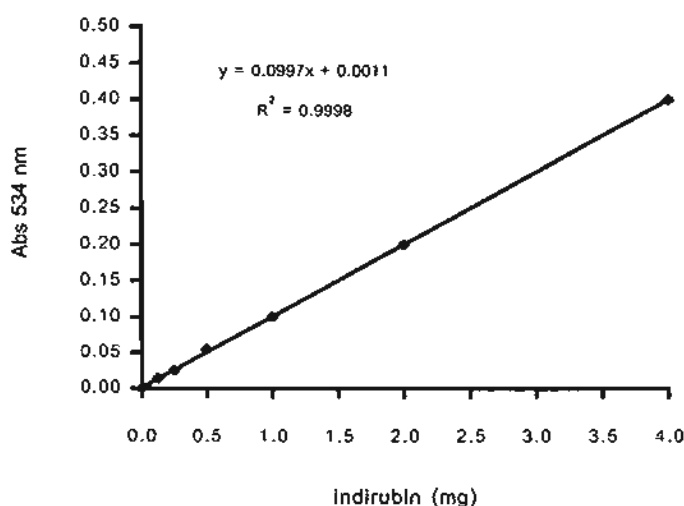
จากการแปรรูปสารสีสกัดที่อยู่ในลักษณะตะกอนเปียกเป็นผงแห้งเกิดปัญหาตรงขึ้นได้ง่ายจึงได้ทดลองแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยซึ่ง indigo paste จากใบฮ่อม 200 กรัมต้องใช้น้ำตาลแลคโตส ถึง 845 กรัม ในการผสมให้เนื้อสีมีลักษณะหยาบคล้ายกะปิ เพื่อให้สามารถบดแล้วรีดให้เป็นตัวหนอนอบที่ 60°C 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ได้เม็ดแกรนูลออกมา ผลการแปรรูปโดยใช้สารสีสกัดที่อยู่ในลักษณะตะกอนเปียกมาทำจะได้เม็ดแกรนูลสีน้ำเงินเข้ม สามารถเก็บรักษาและใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ยังทำให้น้ำใช้ขึ้นด้วย

ก่อนที่จะแปรรูปสูตรต่างๆ ต้องมีวิธีหาปริมาณสารสีในสีแปรรูปซึ่งจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารสีสกัดมีสารสีน้ำเงินและสีแดง ซึ่งสารสีน้ำเงินน่าจะเป็นอินดิโกและสารสีแดงน่าจะเป็นอินดิรูบิน จึงได้หาปริมาณอินดิโกและอินดิรูบินในผงสีแห้งและเม็ดแกรนูล

การหาปริมาณอินดิโกในสารสกัดหาได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิโกแต่การหาปริมาณอินดิรูบินนั้นไม่มีสารอินดิรูบินมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ จึงใช้สารสีแดงที่สกัดจากใบฮ่อมที่ผ่านการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีโดยทำ mass spectroscopy และ ^{13}C NMR แล้วได้ว่าสารสีแดงนั้นคืออินดิรูบินเป็นสารมาตรฐานแล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 535 นาโนเมตรกับปริมาณอินดิรูบินมาตรฐานโดยอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงสูงสุดของอินดิรูบินเพื่อหาปริมาณอินดิรูบินที่มีในสารสกัด

ก. การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณอินดิรูบิน

ซึ่ง indirubin standard 0.004 กรัม ละลายใน conc.H₂SO₄ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร เจือจางด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกในน้ำกลั่น (1:24) ให้เป็นความเข้มข้นต่างๆกันแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 535 นาโนเมตรโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกในน้ำกลั่น (1:24) เป็น Blank นำค่าการดูดกลืนที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณอินดิรูบินจะได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 3.8 ซึ่งอาจใช้วัดปริมาณสารให้สีหลักที่สกัดได้จากครามและฮ่อมต่อไป



รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิรูบิน

ข. ตัวอย่าง ผลการหาปริมาณสารสีที่แยกได้ในเม็ดแกรนูล

ในการเตรียมเม็ดแกรนูลจากสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกนั้นในสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกจะมีน้ำหนักของน้ำต่างปนออกเนื่องจากตะกอนฮ่อมและเมื่อผสมน้ำตาลแลคโตสเพื่อทำแกรนูลต้องใช้ปริมาณน้ำตาลแลคโตสมากถึง 4 เท่าของสารสีสกัดที่มีลักษณะคล้ายแป้งเปียก ทำให้ได้เนื้อสีในเม็ดแกรนูลน้อยเวลานำไปใช้ย้อมต้องใส่ในปริมาณมาก เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลที่เตรียมจากสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกของใบฮ่อมสด พบว่า เม็ดแกรนูล 1,045 กรัม มีอินดิโก 2.93 กรัม ดังนั้นเม็ดแกรนูล 1 กรัมจะมีอินดิโกอยู่ 2.80 มิลลิกรัม ดังนั้นถ้าเริ่มจากผงสีแห้งทำเม็ดแกรนูลจะได้ปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูล 1 กรัมเพิ่มขึ้นมากเช่นถ้าใช้ผงสีแห้งที่สกัดจากฮ่อม 300 กรัม น้ำตาลแลคโตส 50 กรัม น้ำร้อนต้มเดือดจัด 300 มิลลิลิตร จะได้เม็ดแกรนูลที่แห้งแล้วประมาณ 350 กรัม จากการหาปริมาณผงสีแห้งที่สกัดจากฮ่อม 100 กรัมมีปริมาณอินดิโก 7.8 กรัม หรือเม็ดแกรนูล 350 กรัม มีปริมาณอินดิโก $7.8 \times 3 = 23.4$ กรัมหรือคิดเป็นเม็ดแกรนูล 1 กรัม มีปริมาณอินดิโกเท่ากับ 66.8 มิลลิกรัม

ในการเตรียมเม็ดแกรนูลจากสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกนั้นในสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกจะมีน้ำหนักของน้ำต่างปนนอกเหนือจากตะกอนอินดิโกละเมื่อผสมน้ำตาลแลคโตส เพื่อทำแกรนูลต้องใช้ปริมาณน้ำตาลแลคโตสมากถึง 4 เท่าของสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียก ทำให้ได้เนื้อสีในเม็ดแกรนูลน้อยเวลานำไปใช้ย่อมต้องใส่ในปริมาณมาก เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลที่เตรียมจากสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกของไบครามสด พบว่า เม็ดแกรนูล 1,045 กรัม มีอินดิโก 4.47 กรัม ดังนั้นเม็ดแกรนูล 1 กรัมจะมีอินดิโกอยู่ 4.28 มิลลิกรัม ดังนั้นถ้าเริ่มจากผงสีแห้งทำเม็ดแกรนูลจะได้ปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูล 1 กรัมเพิ่มขึ้นมากเช่นถ้าใช้ผงสีแห้งที่สกัดจากคราม 300 กรัม น้ำตาลแลคโตส 50 กรัม น้ำร้อนต้มเดือดจัด 300 มิลลิลิตร จะได้เม็ดแกรนูลที่แห้งแล้วประมาณ 350 กรัม จากการหาปริมาณผงสีแห้งที่สกัดจากฮ่อม 100 กรัมมีปริมาณอินดิโก 11.9 กรัม หรือเม็ดแกรนูล 350 กรัม มีปริมาณอินดิโก $11.9 \times 3 = 35.7$ กรัม หรือคิดเป็นเม็ดแกรนูล 1 กรัม มีปริมาณอินดิโกเท่ากับ 102 มิลลิกรัม

จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงน่าจะเตรียมเม็ดแกรนูลจากผงสีแห้งเพราะปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลมีมากกว่า ไม่ต้องใช้เม็ดสีมากในการย้อมแต่ละครั้ง

ค. ผลการทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตอินดิโกในรูปของเม็ดแกรนูลและ

ทดสอบสมบัติการละลายน้ำ

การใช้สีที่สกัดได้ในลักษณะตะกอนเปียกมาทำเม็ดแกรนูลทำให้ปริมาณอินดิโกจริงๆในเม็ดแกรนูลมีน้อยมากคือ 2.80 มิลลิกรัมต่อเม็ดแกรนูล 1 กรัม เมื่อเปลี่ยนจากสารสีสกัดลักษณะตะกอนเปียกมาเป็นผงสีพบว่าปริมาณอินดิโกจริงๆในเม็ดแกรนูลเพิ่มมากขึ้นคือ 29.43 มิลลิกรัมต่อเม็ดแกรนูล 1 กรัม แต่เม็ดแกรนูลที่ได้ละลายน้ำได้ยาก เมื่อผสมสารที่ช่วยในการย้อมสีพวกกรดซิตริก สารส้ม น้ำปูนใสและ wetting agent ลงไปเป็นส่วนประกอบในเม็ดแกรนูลพบว่าเม็ดแกรนูลที่ได้ละลายน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้การเติม wetting agent ยังทำให้เม็ดแกรนูลที่ได้ไม่แข็งสามารถบดเป็นเม็ดได้ง่ายดังแสดงในตารางที่ 3.4 เมื่อทดสอบสมบัติการละลายน้ำของเม็ดแกรนูลเหล่านี้พบว่าเม็ดแกรนูลทุกสูตรที่สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดที่ 60°C แต่ก็ละลายได้ไม่หมดถึงแม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำขึ้นอีกก็ตามดังแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งในส่วนที่ไม่ละลายนั้นอาจเป็นส่วนผสมต่างๆที่ใส่เข้าไปเพื่อช่วยในการอัดเป็นเม็ดแกรนูล เช่น อินดิโกในรูปออกซิไดซ์ แป้งมันและปูนขาว เป็นต้น

ง. ผลการทดลองย้อมด้วยสีอินดิโกจากฮ่อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีน้ำตาลแลคโตสเป็นส่วนประกอบ (มัต 1,2) จะย้อมสีติดได้สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับการใช้แป้งจะเห็นเป็นรอยต่าง (มัต 4,6) การที่เป็นรอยต่างอาจเป็นเพราะโมเลกุลของแป้งมีขนาดใหญ่เมื่อเข้าไปเกาะเนื้อผ้าจะทำให้สีไม่สามารถเข้าไปแทรกซึมในเนื้อผ้าได้แต่ถ้าใส่ wetting agent ลงไปเป็นส่วนประกอบ (มัต 7,8,9) ก็จะทำให้การกระจายตัวของ

ตารางที่ 3.4 การเตรียมเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ

สูตร เม็ด แกรนูล	ส่วนประกอบ											ค่า พีเอช เมื่อ ละลาย น้ำ	ปริมาณ อินดิโก (mg/g เม็ดแกร นูล)
	Paste เปียก (g)	Paste อบ (g)	ผงสี (g)	Lactose (g)	แป้งมัน (g)	Citric acid (g)	Wetting agent (g)	น้ำปูน ใส (ml)	ครีม ออฟตา ตาร์ (g)	สารส้ม (g)	CuSO ₄ (g)		
1	200	-	-	845	-	-	-	-	-	-	-	8.1	2.80
2	-	120	-	250	-	-	-	-	-	-	-	8.6	11.51
3	-	120	-	-	123	-	-	55	-	-	-	8.8	17.53
4	-	120	-	-	125	50	-	-	-	-	-	3.7	15.49
5	-	-	100	-	115	50	50	-	-	-	-	6.6	29.43
6	-	100	-	-	65	-	-	-	50	-	-	6.7	19.81
7	-	100	-	-	117	-	25	-	50	-	-	6.6	15.95
8	-	100	-	-	139	-	25	-	50	50	-	4.2	12.57
9	-	100	-	-	78	-	25	-	50	-	50	4.7	15.32

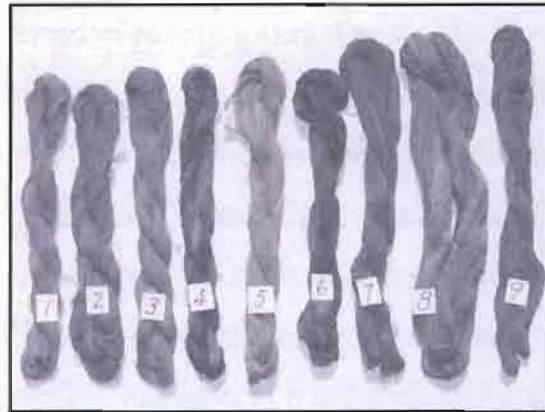
ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการละลายของเม็ดแกรนูลในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆโดยนำเม็ดแกรนูลแต่ละสูตรมา 30 มิลลิกรัม ละลายน้ำ 5 มิลลิตรที่อุณหภูมิต่างๆกัน

อุณหภูมิของน้ำ (°C)	สูตรเม็ดแกรนูล								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	++	++	++	++	+	++	++	++	++
75	++	++	++	++	+	++	++	++	++
85	++	++	++	++	+	++	++	++	++
100	++	++	++	++	+	++	++	++	++

- คือไม่ละลาย, + คือละลายได้บ้าง, ++ คือละลายได้มากขึ้น

สีดีขึ้น ไม่เป็นรอยต่าง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้ครีมออฟตาตาร์ซึ่งมีกรดทาร์ทาริกแทนกรดซิตริกได้ และการเติมสารส้มลงไปเป็นส่วนประกอบทำให้สีที่ย้อมออกมาได้ค่อนข้างเป็นสีเทา (มัต 8) ในส่วนของเนื้อสารสีสกัดที่นำมาทำเม็ดแกรนูลพบว่าเนื้อสีสกัดในลักษณะตะกอนเปียกกับบอบที่อุณหภูมิ 60°C 72 ชั่วโมง เมื่อนำมาทำเม็ดแกรนูลแล้วทดลองย้อมผ้าสีจะติดเนื้อผ้าได้ดีกว่าใช้เนื้อสีสกัดที่อบจนแห้งสนิทมาทำถึงแม้ว่าในเม็ดแกรนูลที่ใช้เนื้อสีสกัดที่แห้งสนิทจะมีปริมาณอินดิโกมากกว่า (มัต 5) แต่อย่างไรก็ตามการย้อมครั้งนี้เป็นการย้อมแบบให้ความร้อน เพื่อต้องการให้เม็ดสีละลายได้เร็วขึ้นและอยู่

ในรูป reduced from ได้ดีขึ้น ซึ่งจริงๆ แล้วการย้อมผ้าด้วยสีอินดิโกอาจจะย้อมเย็นได้โดยเฉพาะในกรณีที่เม็ดแกรนูลมีส่วนผสมเป็นแป้งมันเพราะถ้าใช้น้ำย้อมจะมีลักษณะเป็นแป้งเปียกเคลือบบนเส้นด้ายฝ้ายไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดเป็นรอยต่าง



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการติดสีของฝ้ายเมื่อย้อมด้วยเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ

1. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดในลักษณะ paste และ น้ำตาลแลคโตส เป็นส่วนประกอบ
2. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมงและ น้ำตาลแลคโตส เป็นส่วนประกอบ
3. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมันและน้ำปูนใสเป็นส่วนประกอบ
4. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมันและกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบ
5. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบจนแห้งสนิท, แป้งมันและครีมออฟฟาทาร์เป็นส่วนประกอบ
6. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมันและครีมออฟฟาทาร์เป็นส่วนประกอบ
7. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมัน, ครีมออฟฟาทาร์และ wetting agent เป็นส่วนประกอบ
8. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมัน, ครีมออฟฟาทาร์, wetting agent และสารส้มเป็นส่วนประกอบ
9. ฝ้ายที่ย้อมด้วยเม็ดแกรนูลที่มีเนื้อสีสกัดที่อบ 60°C 72 ชั่วโมง, แป้งมัน, ครีมออฟฟาทาร์, wetting agent และ CuSO_4 เป็นส่วนประกอบ

ในส่วนของเนื้อสารสีสกัดที่นำมาทำเม็ดแกรนูล พบว่าเนื้อสีสกัดในลักษณะตะกอนเปียกและเนื้อสีสกัดที่ผ่านการอบที่ 60°C 72 ชั่วโมง เมื่อนำมาทำเม็ดแกรนูลแล้วทดลองย้อมผ้า สีจะติดเนื้อผ้าได้ดีกว่าใช้เนื้อสีสกัดที่อบจนแห้งสนิทมาทำเม็ดแกรนูล ถึงแม้ว่าในเม็ดแกรนูลสูตรหลังนี้จะมีปริมาณอินดิโกมากกว่า ซึ่งเป็นเพราะว่าเม็ดแกรนูลสูตรหลังนี้จะละลายได้ยากมากเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การย้อมครั้งนี้เป็นการย้อมแบบใช้ความร้อนเพื่อต้องการให้เม็ดสีละลายได้เร็วขึ้นและให้อินดิโกอยู่ในรูป reduced form ได้ดีขึ้น ซึ่งจริงๆ แล้วควรเปรียบเทียบด้วยการย้อมผ้าด้วยสีอินดิโกแบบย้อมเย็นมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสูตรสำเร็จดังกล่าวมีแป้งมันเป็นองค์ประกอบเพราะแป้งมันเวลาได้รับความร้อนระดับหนึ่งจะกลายเป็นแป้งเปียกเกาะติดผิวด้วยฝ้ายทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามสีที่ย้อมได้เมื่อตรวจสอบคุณภาพด้านความคงทนต่อการซักและแสงพบว่าทุกสูตรมีความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีถึงดีมาก การตกสีอยู่ในระดับ 5 ตลอดและการซีดของสีเนื่องจากการซักอยู่ระดับ 4-5 ส่วนความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับดีเช่นกัน คือ ระดับ 4-5

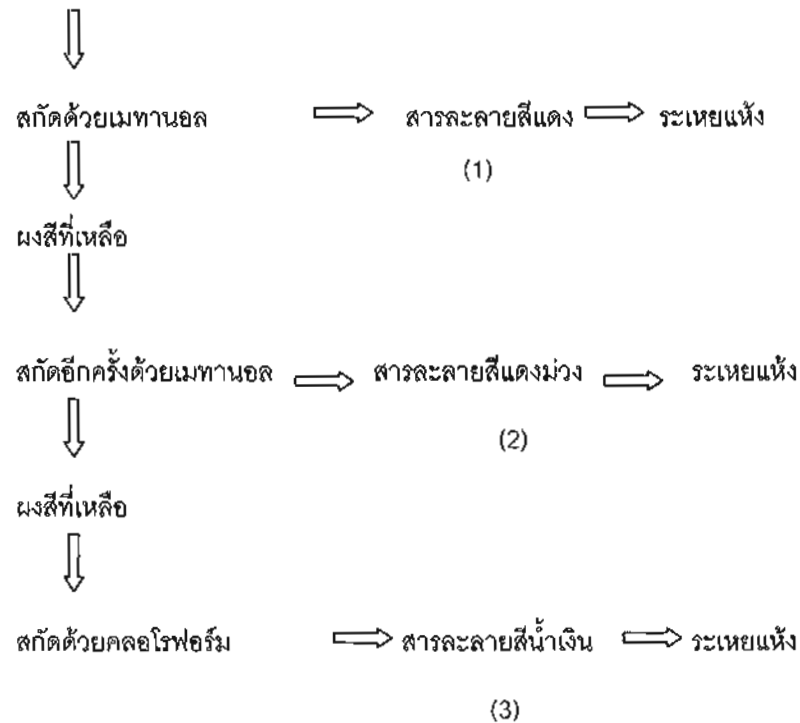
สรุป

การเตรียมสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตอินดิโกในรูปของเม็ดแกรนูล พบว่า ควรเตรียมจากสารสีสกัดที่อบที่ 60°C 72 ชั่วโมง เพราะปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลจะมีมากกว่าการเตรียมจากสารสีสกัดลักษณะตะกอนเปียก ส่วนการเตรียมจากสารสีสกัดที่อบจนแห้งมีข้อเสีย คือ ละลายได้ยาก การเตรียมเม็ดแกรนูลจะใส่สารช่วยย้อมพวกกรดซิตริก ครีมออฟทาร์ทาร์ ซึ่งมีกรดทาร์ทาริก สารส้ม คอปเปอร์ซัลเฟต wetting agent ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม พบว่า การเติม wetting agent ทำให้อัดเป็นเม็ดแกรนูลได้ง่ายขึ้น และทำให้เม็ดแกรนูลแตกตัวในน้ำได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามจะต้องมีการปรับสูตรสำเร็จเพิ่มเติมโดยใช้ข้อมูลที่ได้ขึ้นต้นมาพิจารณา

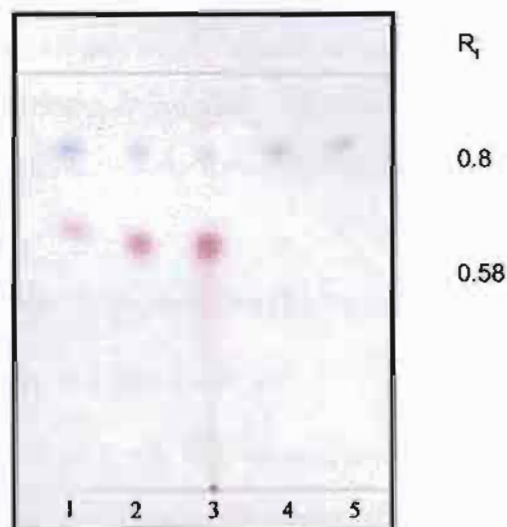
3.2.2.3 ผลการศึกษาวิธีการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป

นอกเหนือจากการแปรรูปสารสีสกัดที่มีลักษณะตะกอนเปียกที่ได้จากการหมักส้อมและครามเป็นเม็ดแกรนูลแล้วย้อมได้สีน้ำเงินม่วง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารให้สีหลักปรากฏว่ามี 2 สี คือสีน้ำเงินและสีแดงให้ค่า R_f เท่ากับ 0.80 และ 0.58 ตามลำดับ โดยเฉพาะสีแดงมีปริมาณมากและมีความคงทนในบรรยากาศได้ดีกว่าสีน้ำเงิน จึงนำที่จะลองหาวิธีสกัดแยกสีทั้งสองออกจากกันโดยวิธีง่ายๆ เพื่อให้ได้สีย้อมที่มีสีแดงและสีน้ำเงินอีกเฉดสีเพิ่มเติมโดยไม่จำเป็นต้องแยกให้บริสุทธิ์โดยอาศัยหลักที่ว่าสีน้ำเงินและสีแดงละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มแต่เฉพาะสีแดงละลายได้ดีในเมทานอล จึงลองทำการสกัดโดยให้ตัวทำละลายดังกล่าวสกัดสีออกจาก paste หรือผงสีแห้งจากส้อมหรือครามดังนี้

Paste หรือผงสีแห้งจากครามและฮ่อม



แล้วทำการตรวจสอบสารสีที่สกัดได้ทั้ง 3 ตอนเปรียบเทียบกับโครมาโทกราฟีผิวบางผลแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 TLC แสดงผลการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป

1. สารสีจาก paste 2. สกัดด้วยเมทานอลครั้งที่ 1 3. สกัดด้วยเมทานอลครั้งที่ 2
4. สารที่เหลือจากการสกัดด้วยเมทานอลครั้งที่ 2 5. สารมาตรฐานอินดิโก

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าในสีสกัดจากใบครามและใบส้มมีองค์ประกอบของสารให้สีหลัก 2 ชนิดคือสีแดงและน้ำเงิน โดยเฉพาะสีแดงมีปริมาณมากคงทนในบรรยากาศได้ดีกว่าสีน้ำเงินจึงได้ทดลองสกัดโดยแยกสารสีทั้งสองโดยวิธีง่ายๆเพื่อให้ได้สีย้อมน้ำเงินและแดงเพิ่มอีกหนึ่งสี

สรุป

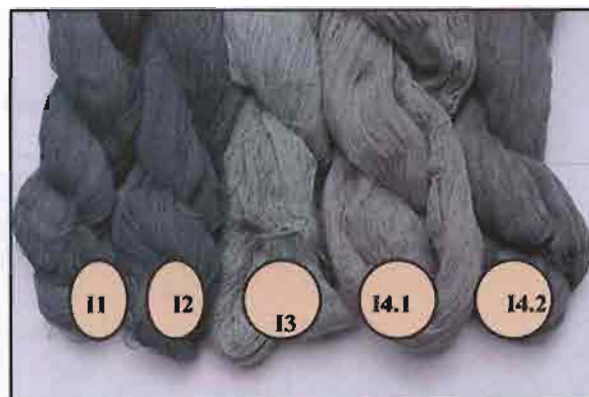
การศึกษาวิธีการแยกสารสีน้ำเงินและแดงเพื่อการแปรรูป พบว่า สารสีแดงสามารถละลายได้ดีในเมทานอล สารสีน้ำเงินละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้เมทานอลสกัดสีแดงจากผงสีแห้งครั้งที่ 1 จะมีสีน้ำเงินปนออกมากับสีแดงเพียงเล็กน้อย จากนั้นนำสารละลายนี้ไประเหยแห้งแล้วสกัดด้วยเมทานอลอีกครั้ง พบว่าสีน้ำเงินปนออกมาน้อยลงเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยเมทานอลครั้งแรก สารสีที่เหลือจากการสกัดด้วยเมทานอลครั้งที่ 1 จะนำมาสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์ม ได้สารสีน้ำเงิน ซึ่งมีสีแดงปนออกมาน้อยมาก วิธีการสกัดนี้มีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการแปรรูปสารสีน้ำเงินและสารสีแดงเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

3.2.2.4 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากสูตร 11, 12, 13, 14.1 และ 14.2

การสกัดอินดิโกจากฮ่อม ทำโดยหั่นใบฮ่อมเป็นชิ้นใหญ่ใส่ถุงผ้าขาวปากถุงแช่ในน้ำหมัก 1 คิน ประมาณ 18 ชั่วโมงขึ้นไป ใส่น้ำหมักออกเก็บไว้ เปลี่ยนน้ำแช่ถุงผ้าใหม่หมักต่ออีก 1 คิน น้ำหมักที่ได้ ครั้งที่ 1 นำมาเติมน้ำด่างปูนใส พีเอช 11.8 ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหมักผสมแล้วให้อากาศ 15 นาที ทั้งไว้ให้เนื้ออินดิโกตกตะกอน น้ำหมักครั้งที่ 2 ก็ทำเช่นเดียวกันแต่ปริมาณ paste ที่ได้เป็นครึ่งหนึ่งของครั้งแรกผสมรวมกันทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วรินน้ำใสๆ ทิ้งไปให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้จนเหลือ paste ชันๆ ครั้งที่สามหรือการเปลี่ยนน้ำหมักครั้งที่สามตะกอนที่ได้เป็นสีน้ำเงินออกเขียวแยกไว้ต่างหากเพื่อทำสูตรสำเร็จต่อไป

ผลการหมัก ฮ่อม 27 กิโลกรัมได้ paste เหลวในน้ำด่าง 12 ลิตร เป็นสีน้ำเงินทำสูตร 11 และ 12 9 ลิตรและ paste เหลวครั้งที่สาม 5 ลิตร ทำสูตร 13

การหมักฮ่อม 30 กิโลกรัม นำ paste ที่ได้ทั้งหมดมาแยกน้ำออกให้เป็น paste ชันๆ แล้วนำไปอบที่ 60°C ได้ผงแห้ง นำผงทั้งหมดไปใส่ถุงผ้าขาวในคลอโรฟอร์ม เพื่อสกัดอินดิโกบินเป็นเวลา 1 เดือน ระเหยคลอโรฟอร์มออกเก็บสารสีแดงของอินดิโกบิน นำผงที่อยู่ในถุงผ้ามาผึ่งให้คลอโรฟอร์มระเหยไปในตู้วันได้ตะกอนแห้งที่มีเม็ดสีน้ำเงินปนกับเม็ดสีแดง พยายามคัดแยกเม็ดสีแดงออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้นำไปเตรียมสูตรสำเร็จ 14.1 และ 14.2 ผลการย้อมสีแต่ละสูตรแสดงในรูปที่ 3.11 และผลการเตรียมเม็ดแกรนูลของสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.6

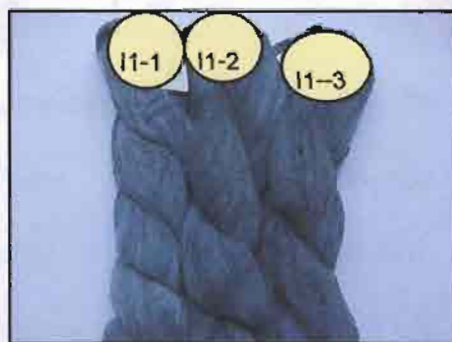


รูปที่ 3.11 ฝ้ายที่ย้อมสีอินดิโกสูตรต่างๆ

ก. การเตรียมสีอินดิโกจากฮ่อมสูตร I1

- อินดิโก paste เหลวจากฮ่อม 5 ลิตร
- น้ำด่างปูนใส 2 ลิตร
- เกลือแกง 100 กรัม
- กรดซิตริก 100 กรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- wetting agent 50 กรัม
- ผสมกันตั้งไฟอ่อนๆ ทำแห้งได้ผงแห้งทั้งหมด 675 กรัม สูตรนี้ทดลองย้อมฝ้าย 3 ใจ ครั้งที่ 1 ครั้งที่สอง 2 ใจ และครั้งที่สาม 1 ใจ ได้ผลดังรูปที่ 3.12
- ผงแห้งที่ได้อัดเม็ดแกรนูลเดิม 3% cmc คิดเป็นค่าต้นทุนกิโลกรัมละ 1,000 บาท

สูตรนี้มีเนื้ออินดิโกมาก การย้อมซ้ำจะติดสีเข้มขึ้น



รูปที่ 3.12 ฝ้ายย้อมอินดิโกจากฮ่อมสูตร I1 ย้อม 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง

ข. การเตรียมสีอินดิโกจากหม้อมสูตร 12

- paste เหลว 4 ลิตร
- กรดซิดริก 200 กรัม
- เกลีโอแกง 200 กรัม
- wetting agent 25 กรัม
- ผสมทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แบ่งส่วนผสมมา 100 มิลลิลิตร เติมน้ำต่างเป็น 1.5 ลิตร ย้อมฝ้าย treat น้ำเต้าน้ำ 1 ใจ ($\approx$ 100 กรัม) ได้สีออกน้ำเงินฟ้าใส
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 530 กรัม อัตราเม็ดแกรนูลเดิม cmc 3%

ต้นทุนเม็ดแกรนูล 1 กิโลกรัมเป็นเงิน 1,132 บาท

หมายเหตุ - สูตรนี้ต่างจาก I1 ตรงที่ไม่เติมสารส้มแต่เพิ่มปริมาณกรดซิดริกและเกลีโอแกง เป็นอย่างละ 200 กรัม

- มีการทดลองพบว่าอินดิโกติดฝ้ายได้ดีเมื่อน้ำย้อมมีพีเอชเป็น 10-11 จึงใช้ กรดซิดริกดึงพีเอชลงมาแต่ไม่ได้วัดพีเอชน้ำย้อม คราวต่อไปจะต้องวัดพีเอชสูตร ผสมก่อนทำแห้งด้วย
- การทดลองครั้งต่อไปจะซื้อ paste จากครามที่สกลนครที่ชาวบ้านเตรียมมาลอง ทำเม็ดแกรนูลสูตรสำเร็จและทดลองย้อมคาดว่าต้นทุนจะต่ำลงอีกแต่ paste จะมีสิ่งเจือปนมากอาจให้เจดสีน้ำเงินมีดลง

ค. การเตรียมสีอินดิโกจากหม้อมสูตร 13

- paste หม้อมครั้งที่ 3 ออกเขียว 5 ลิตร
- เติมกรดซิดริก 50 กรัม
- เกลีโอแกง 50 กรัม
- สารส้ม 50 กรัม
- wetting agent 100 กรัม
- ทดลองย้อมฝ้ายได้สีเขียวอมฟ้าอ่อน
- เคี้ยวให้งวดทำแห้งแบบลูกกลิ้งได้ผงหนัก 200 กรัม

- ทำเม็ดแกรนูลใส่ 3% cmc
- ต้นทุนเม็ดแกรนูลสูตร 13 กิโลกรัมละ 2,000 บาท

หมายเหตุ ได้เนื้อสีมากไม่ว่าใครมีสิ่งเจือปนมาก

ง. การเตรียมสีอินดิโกจากฮ่อมสูตร 14

ใช้ผงอินดิโกจากฮ่อมที่สกัดอินดิกริบออกบางส่วนแล้วด้วยคลอโรฟอร์ม และผงที่เหลือผึ่งให้แห้ง มี 2 สีปนกัน

แยกผงสีน้ำเงิน 300 กรัม

ผงสีแดงมีสีน้ำเงินปนบ้าง 400 กรัม

สูตร 14.1

- ใช้ผงสีน้ำเงิน 300 กรัม
- กรดซิตริก 300 กรัม
- เกลีโอแกน 300 กรัม
- wetting agent 5 กรัม
- น้ำต่างปูนใส 2 ลิตร
- ผสมกันได้ฟองละเอียดสีเทา แบ่งไป 100 มิลลิลิตรเติมน้ำต่างเป็น 1 ลิตร
- เติมกรดซิตริก 25 กรัม ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเทาเงิน
- ทำแห้งแบบลูกกลิ้งได้ผงสีเขียวแห้ง 770 กรัม
- ผสม 3% cmc แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูล
- ต้นทุนเม็ดแกรนูลสูตร 14.1 กิโลกรัมละ 1,000 บาท

สูตร 14.2

- ใช้ผงสีแดง มีสีน้ำเงินปน 400 กรัม
- กรดซิตริก 300 กรัม
- เกลีโอแกน 300 กรัม
- wetting agent 50 กรัม

ตารางที่ 3.6 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากฮ่อม การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์

ภัณฑ์ที่ย้อมสีและราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท/กิโลกรัม)	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
I1	1,000	ละลายปานกลางมีตะกอน 	6.4	น้ำเงินเข้ม 	5	5	3-4
I2	1,132	ละลายปานกลางมีตะกอน 	7.5	น้ำเงินใส 	5	5	3-4
I3	2,000	ละลายปานกลางมีตะกอน 	7.0	เขียวอบฟ้า 	4-5	5	3-4
I4.1	1,000	ละลายเล็กน้อยมีตะกอนมาก 	6.8	สีเทา 	4-5	5	3-4
I4.2	950	ละลายเล็กน้อยมีตะกอนมาก 	5.8	สีเทาเข้ม 	4-5	5	3-4

- น้ำต่างปูนใส 2 ลิตร
- ค่อยผสมจะเกิดฟองละเอียดสีเทาแดงย้อมผ้าได้สีเทาเข้มขึ้น
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 850 กรัม
- ต้นทุนเม็ดแกรนูลสูตร I4.2 กิโลกรัมละ 950 บาท

ผลการทดลองที่ผ่านมาในการทำสูตรสำเร็จรูปสีครามธรรมชาตินั้นบางสูตรก็ได้ผลดี บางสูตรยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้และบางสูตรก็ไม่เหมาะที่จะผลิตทั้งนี้ดูจากต้นทุนการผลิต แพล่งและปริมาณวัตถุดิบความยากง่ายของการผลิตในภาพรวมและคุณภาพของสีย้อมสำเร็จรูปที่ผลิตได้ ในเบื้องต้นนี้คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกสูตรเตรียมสีครามธรรมชาติจากครามและย้อมไว้ 3 สูตรคือ สูตร I1, I2 และ I3 เพื่อการปรับปรุงต่อไป

3.2.2.5 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครามธรรมชาติ

สีครามธรรมชาติที่นำมาจากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ต้นและใบครามและใบย้อม ทั้งสองชนิดผลิตสารสีครามธรรมชาติหรืออินดิโกเหมือนกันคณะผู้วิจัยได้ทำการหมักครามและย้อมเองส่วนหนึ่งและสั่งซื้อคราม paste จากสกลนครอีกส่วนหนึ่ง ในการทดลองที่ผ่านมาได้ลองทำสูตรสำเร็จสีครามธรรมชาติเป็น 3 สูตรคือ I1, I2 และ I3 (I คือ indigo) โดยใช้สีครามธรรมชาติจากใบย้อม จากการทดสอบการละลายและการย้อมพบว่าทั้งสามสูตรใช้ได้ดี สีผงแห้งที่ละลายได้มีสารสีแขวนลอยเมื่อย้อมแล้วให้เจดสีต่างๆกัน สูตร I1 และ สูตร I2 จะให้สีน้ำเงินใสเหมือนกัน สูตร I1 ใส่สารส้มเป็นมอร์แดนต์แต่สูตร I2 ไม่ใส่แต่เพิ่มปริมาณเกลือแกงแทนและลดปริมาณ wetting agent เหลือครึ่งหนึ่งคือ 25 กรัมต่อ paste เหลว 4 ลิตร ส่วนสูตร I3 ใช้ย้อมที่หมักเป็นวันที่สามได้ paste สีฟ้าออกเขียวย้อมผ้าได้สีเขียวอมฟ้าอ่อนปริมาณที่ได้น้อยกว่าที่หมักวันที่ 1 และ 2 เป็น $\frac{1}{4}$ ของ paste ที่ได้ในการหมักครั้งที่ 1 และ $\frac{1}{2}$ ของ paste ที่ได้ในการหมักวันที่ 2 สีผงแห้งเมื่อละลายน้ำมี พีเอช 6.4, 7.5 และ 7.0 ของสูตร I1, I2 และ I3 ตามลำดับ ซึ่งยังเป็นพีเอชที่ไม่ใคร่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมและผ้าฝ้าย มีการทดลองของอนุรัตน์สายทองและคณะพบว่าพีเอชของน้ำย้อมที่จะย้อมติดสีครามดีที่สุดคือ พีเอช 10 -10.5 ซึ่งในการเตรียมสูตรสำเร็จสีย้อมครามครั้งต่อไปจะต้องวัดพีเอชของน้ำย้อมก่อนทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ย้อมสีครามธรรมชาติทั้ง 3 สูตร มีความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีมากแต่ความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับใช้ได้ถึงดี (gray scale ระดับ 3-4) การทดลองนี้ได้ทดลองสังเคราะห์ paste จากสกลนครมาใช้เตรียมสูตรสีย้อมครามธรรมชาติสำเร็จรูปและได้ทดลองหาปริมาณเนื้อครามในคราม paste จากสกลนครกับเนื้อสีครามที่ทางคณะผู้วิจัยหมักเองพบว่าที่หมักเองมีปริมาณอินดิโกมากกว่าและสีครามที่ได้จะใสกว่าคราม paste จากสกลนครจะมีปูนขาวปนมากเนื้อสีครามจะออกน้ำเงินดำซึ่งอาจจะเหมาะกับความต้องการสีน้ำเงินเจดนี้ ในครั้งแรกได้เตรียมคราม paste จากสกลนครเป็นสีครามธรรมชาติสูตร I1 โดยมีส่วนผสมดังนี้

น้ำด่างปูนใส	6	ลิตร
เกลือแกง	500	กรัม
สารส้ม	200	กรัม
กรดซิตริก	200	กรัม
wetting agent	100	กรัม

คราม paste สกลนคร 10 กิโลกรัม(มีปูนขาวปน)

วิธีผสม ค่อยๆแบ่งคราม paste มาละลายในน้ำต่างที่มีสารข้างต้นละลายอยู่ที่ละน้อยแล้วกรองส่วนที่ไม่ละลายออกผ่านตะแกรงถี่ๆ เติมน้ำต่างช่วยละลายอีก 6 ลิตร ผสมให้เข้ากันนำไปทำแห้งได้ผลแห้งทั้งหมด 3300 กรัม นำผงแห้งมาทดสอบการละลายพบว่าละลายได้ไม่ดีตะกอนปูนขาวมาก พีเอชของสารละลายเป็นด่างมากเกินไป pH = 12.1 จึงทำการปรับใหม่ นำผงแห้งทั้งหมด 3000 กรัมผสมน้ำ 20 ลิตร เติมกรดซิตริก 300 กรัม ผสมให้เข้ากันกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ วัด pH ของน้ำย้อมได้เป็น 10.7 ทำแห้งได้ผงแห้ง 900 กรัม ผงสีละลายและกระจายตัวในน้ำได้ดีได้ pH ของน้ำย้อมหลังละลายประมาณ 10.5 น้ำย้อมที่ได้มีสีน้ำเงินเข้ม ถ้าย้อมซ้ำหลายๆ ครั้งผ้าจะติดสีเข้มขึ้นตามลำดับ

ในการย้อมครามนั้นบางครั้งผู้บริโภคต้องการสีครามที่เป็นสีน้ำเงินคล้ำเกือบดำ คณะผู้วิจัยได้พยายามทดลองผสมสูตรให้ได้น้ำย้อมสีน้ำเงินเกือบดำและพยายามหาสารธรรมชาติมาช่วยเป็นตัววิติวซ์เพิ่มขึ้นในขณะนั้นคณะผู้วิจัยได้นำโพลสกัคน้ำมันออกแล้วมา 35 ลิตร

เติมเกลือแกง	700	กรัม
สารส้ม	150	กรัม
กรดซิตริก	200	กรัม
ด่างปูนขาว	150	กรัม
คราม paste จากสกลนคร	7	กิโลกรัม
Wetting agent	100	กรัม

ผสมสัดส่วนให้เข้ากันกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ เติม paste ของมะเกลือลงไป 1.3 กิโลกรัม คนให้เข้ากันได้ น้ำย้อมสีเทาดำ ทำแห้งได้ผงแห้ง 3675 กรัมเป็นสูตรสีย้อมสูตร 15

- ทดสอบผงสีแห้งสูตร 15 โดยนำมาละลายน้ำมีตะกอนปูนขาวมากและน้ำย้อมเป็นด่างมากเกินไป คือ 11.8 จึงทำการแก้ไขโดยนำผงสีแห้งทั้งหมดมา 3.5 กิโลกรัม ละลายน้ำ 21 ลิตร กรองตะกอนที่ไม่ละลายทิ้งด้วยถุงผ้า จากนั้นนำมาเติมกรดซิตริก 500 กรัม ปรับพีเอช เป็น 8.5 ทำแห้งได้ผงแห้ง 835 กรัม อย่างไรก็ตามการแก้ไขสูตร 15 นั้น พีเอชน้ำย้อมยังต่ำไปเพราะใช้กรดซิตริกมากเกินไปควรปรับให้เป็นพีเอชระหว่าง 10 -10.5 จึงจะเหมาะสม
- น้ำย้อมสูตร 15 นั้นยังไม่ได้ทดลองย้อมและศึกษาปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากสีน้ำย้อมที่ได้ไม่ใคร่น่าสนใจ

การเตรียมน้ำย้อมสูตร 16

ได้ทดลองเตรียมน้ำย้อมครามธรรมชาติคล้ายๆ สูตร 15 จากส่วนประกอบต่อไปนี้

คราม paste จากสกลนคร	17.7	กิโลกรัม
น้ำมะเกลือเหลว	13	ลิตร
น้ำโพลสกัคน้ำมันออกแล้ว	8	ลิตร

กรดซิตริก	300	กรัม
Wetting agent	100	กรัม

ผสมให้เข้ากันแล้วกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ นำมาทำแห้งได้ผงแห้ง 3550 กรัม

- นำผงสีแห้งที่ได้มาทดสอบการละลายพบว่าเมื่อใช้สี 680 กรัม ละลายน้ำ 6 ลิตร ละลายได้ไม่ดีสารละลายที่ได้เป็นต่างมากเกินไปพีเอช 12.1 และยังมีตะกอนเหลือมากไม่เหมาะในการย้อมผ้าหรือผ้าจึงได้ปรับสูตร I6 ใหม่ โดยนำผงแห้ง I6 มาทั้งหมด 6 กิโลกรัมใส่น้ำ 40 ลิตร เติมกรดซิตริก 700 กรัม กรองแล้ววัดพีเอชน้ำย้อมได้ 10.3 ทำแห้งได้ผงแห้ง 2,000 กรัม ทดลองย้อมได้ผลดีสีน้ำเงินอมเทาทนการซักขูดและแสง

การเตรียมน้ำย้อมสูตร I7

- เตรียมคราม paste ใหม่จากต้นและใบครามสด 45 กิโลกรัมได้คราม paste 11 ลิตร เติมน้ำต่างปูนใสลงไปอีก 1 ลิตรน้ำมันมะกอกคอกย(สีเหลือง) 2 ลิตร ผสม ferrous sulfate(สีเทา) 25 กรัม เกลือแกง 500 กรัม ละลายในน้ำต่างปูนใส 1 ลิตร กรดซิตริก 100 กรัม ละลายในน้ำต่างปูนใส 1 ลิตร ผสมสัดส่วนทั้งหมดให้เข้ากันวัดพีเอช ของน้ำย้อมได้ 9.1 ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,000 กรัม ทดลองย้อมได้ผลดีสีฟ้าเทาทนการซักขูดและแสง

สรุป

- น้ำย้อมครามสีธรรมชาติสำเร็จรูปสูตร I1, I2 และ I3 ใช้ได้ทั้ง 3 สูตร เพียงแต่ปรับพีเอชของน้ำย้อมก่อนทำแห้งให้อยู่ระหว่าง 10 – 10.5 เพื่อให้ย้อมติดดีบนเส้นใยต่างๆ ทั้งไหม ฝ้าย ป่าน ปอ รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างผงสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปสูตรต่างๆ
- การปรับสูตรเพื่อเปลี่ยนเฉดสีครามธรรมชาติอาจทำได้โดยเติมสารธรรมชาติที่เหมาะสมลงไป อาศัยสูตร I2 เป็นพื้นฐานในการปรับเปลี่ยน



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

- การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสำเร็จต่างๆ นั้นสามารถทำได้โดยทำการสกัดสีจากผงสีย้อมด้วยคลอโรฟอร์มหรือไดคลอโรมีเทน กรองน้ำสีที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตร เทียบกับการอินดิโกมาตรฐานตามวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อ 3.2.2.2 เพื่อเทียบเป็นปริมาณเนื้อสีต่อกรัมของสีย้อมสำเร็จรูปสำหรับเป็นแนวทางในการใช้ต่อไปและควรทำการวัดหาปริมาณเนื้อสีต่อกรัมทุกครั้งที่เกิดผลสำเร็จรูปสูตรต่างๆ เพราะการเริ่มต้นจากวัตถุดิบชนิดเดียวกันในเวลาและฤดูกาลที่แตกต่างกันตลอดจนวิธีการหมักที่ต่างกันส่งผลให้มีเนื้อสีครามเริ่มต้นต่างกันด้วยและเมื่อนำมาผสมสูตรสำเร็จรูปก็จะได้ปริมาณเนื้อสีต่อกรัมแตกต่างกัน
- การย้อมครั้งที่ 1 จะได้สีที่ติดผ้าหรือด้ายฝ้าย โทน มีสีเข้มระดับหนึ่ง หากต้องการให้ได้สีน้ำเงินเข้ม ก็ต้องทำการย้อมซ้ำหลายๆ ครั้งแบบเดียวกัน

3.3 สรุปผลการวิจัยเพื่อการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปและแนวทางการพัฒนาปรับปรุง

3.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินดิโกจากครามและส้อมนั้นพบว่าวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดสีอินดิโกต้องมีความสดมากและทำให้ใบเข้าก่อนหมักจึงจะสกัดได้อินดิโกปริมาณมาก วิธีสกัดต้องหั่นวัตถุดิบเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ถุงผ้าหมักด้วยน้ำในถังที่มีฝาปิดมิดชิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้น้ำหมักที่นำไปตกตะกอนอินดิโกออกมาได้โดยการเติมน้ำปูนใสแล้วให้อากาศการหมักนี้ทำได้ 3 ครั้งโดยนำกากที่อยู่ในถุงผ้ามาแช่น้ำใหม่ครั้งละ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปตกตะกอนเหมือนเดิม ตะกอนสีครามหรืออินดิโกในการหมักครั้งที่สองจะน้อยกว่าวันแรกครึ่งหนึ่งสีเหมือนกันนำมารวมกันได้ ส่วนวันที่สามนั้นตะกอนมีน้อยกว่าวันที่สองสีออกน้ำเงินอมเขียวแยกเก็บไว้ต่างหาก กากที่เหลือในถุงผ้าก็กำจัดทิ้งได้ง่ายหรือนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยหมัก ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการหมักได้ ตะกอนอินดิโกที่ได้จากการหมักวิธีนี้เป็นตะกอนเบาและมีปริมาณอินดิโกมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการหมักอื่นๆ คือได้ตะกอนอินดิโก 5 กรัม ต่อน้ำหนักใบส้อมสด 1 กิโลกรัม แบบที่เรียบไม่มีผลมากต่อการหมักพืชแบบนี้แต่เป็นเอนไซม์จากใบพืชเองที่มีผลอย่างมากต่อการตัดโมเลกุลของกลูโคสออกจากอินดิแคนเพื่อให้ได้อินดิโกออกมา

3.3.2 การศึกษาองค์ประกอบหลักของสารสีครามที่สกัดได้จากครามและส้อมพบว่า มี 2 ชนิดคือ สารสีน้ำเงินเป็นอินดิโกและสารสีแดงเป็นไอโซเมอร์ของอินดิโกคือ อินดิรูบิน สารสีแดงละลายได้ดีในเมทานอล ส่วนสารสีน้ำเงินละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มจึงใช้ตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดในการเลือกสกัดสารสีแดงออกจากอินดิโก อย่างไรก็ตามอินดิโกเมื่อแยกออกจากอินดิรูบินจะไม่ทนแสง ในการแปรรูปจึงไม่แยกสารสีทั้งสองออกจากกัน ยกเว้นในกรณีที่ต้องการอินดิรูบินไปศึกษาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อการประยุกต์ทางยาต่อไป

3.3.3 อินดิโกมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่นของแสงที่มองเห็นได้คือ ที่ 611 นาโนเมตรสามารถใช้เป็นตัววัดในการหาปริมาณอินดิโกในสูตรสำเร็จได้โดยการวัดเทียบหาปริมาณจากค่าการ

ดูดคลื่นแสงของอินดิโกมาตรฐานที่ทราบปริมาณแล้วและวัดที่ความยาวคลื่นเดียวกัน การหาปริมาณอินดิโกที่มีอยู่ในสารสีสกัดหรือในสูตรสีย้อมสำเร็จรูปนั้น ควรทำทุกครั้งที่มีการผลิตแต่ละครั้งเพื่อให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของเนื้อสีอินดิโกในผงสีสำเร็จรูป

สีสกัดละลายได้เล็กน้อยในน้ำปูนใสโดยเฉพาะสีสกัดในลักษณะเปียกที่ผ่านการอบที่ 60^oซ แล้วจะละลายได้น้อยมาก เมื่อนำมาละลายในเอทานอลพบว่าละลายไม่หมด สารละลายที่ได้มีสีม่วง เพราะมีทั้งอินดิโกซึ่งมีสีน้ำเงินและอินดิโรบินสีแดงละลายออกมาด้วยกัน การเติมสารละลายเกลือต่างๆ ชนิดและการเปลี่ยนค่าพีเอชไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิโกการละลายก็คล้ายกันคือละลายได้บ้าง ถ้าพีเอชเป็นด่างมาก (พีเอช 12) สีจะจับตัวเป็นตะกอนหลังจากทิ้งไว้ 5 นาที ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ว่าด่างจะช่วยเปลี่ยนสีอินดิโกจากรูปรีดิวซ์เป็นรูปออกซิไดซ์เกาะติดในเนื้อเส้นใย ผลจากการทดลองนี้ได้นำมาเป็นข้อมูลในการเตรียมน้ำย้อมสีครามว่าควรจะมีพีเอชต่ำกว่า 12 สีจะกระจายตัวในน้ำย้อมไปจับเป็นก้อนซึ่งข้อมูลที่สนับสนุนการทดลองนี้โดยอนุรัตน์ สายทอง(2544) เคยรายงานไว้ว่าค่าพีเอชของน้ำย้อมสีครามธรรมชาติควรอยู่ในช่วง 10-12 โดยเฉพาะพีเอชประมาณ 10.5 จึงจะสามารถนำไปย้อมผ้าติดสีน้ำเงินดีกว่าค่าพีเอชที่สูงกว่า 12

3.3.4 การเตรียมน้ำย้อมสำเร็จรูปนั้นพิจารณาจากการที่สีครามนั้นเป็นสีแปลงรูปหรือสีเวด เวลาเตรียมน้ำย้อมต้องมีตัวรีดิวซ์ธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนอินดิโกให้อยู่ในรูปรีดิวซ์ได้ การวิจัยนี้เริ่มจากครามที่หมักแล้วทั้งที่หมักเองตามวิธีข้างต้นและที่ซื้อมาในรูปของครามเปียกตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในสูตรกลางๆ ที่ใช้ได้คือ กรดซิดริก(กรดมะนาว) หรือกรดทาร์ทาริก(กรดมะขาม) ส่วนใหญ่ที่ใช้กรดซิดริกปรับพีเอชของน้ำย้อมให้อยู่ในช่วง 10-10.5 เติม wetting agent ประมาณ 1.0% โดยน้ำหนักเพื่อให้มีการกระจายตัวของสีดีเวลาละลายกลับเป็นน้ำย้อม

การทดสอบการละลายและการย้อมพบว่าละลายได้ดีแต่ยังมีตะกอนแข็งจากการทำแห้งเล็กน้อยต้องกรองออกทั้งก่อนย้อม การย้อมทำที่อุณหภูมิ 30-40 ^oซ โดยขยำผ้าหรือด้ายที่ทำความสะอาดแล้วหมาดๆ เป็นเวลา 15 นาที แล้วบิดกระตุกผ่าย ผึ่งลม ถ้าต้องการสีเข้มก็นำมาชุบอีกแบบเดียวกันหลายๆ ครั้ง ผู้วิจัยทดลองย้อมซ้ำ 3 ครั้ง สีเข้มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ย้อมสีมีความคงทนต่อการซักขัดถูและแสงอยู่ในระดับดีถึงดีมาก

สูตรสีน้ำย้อมที่ได้นำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งและเก็บในลักษณะผงนั้นผงดูดความชื้นง่ายจะทำให้เก็บได้ไม่นานจึงทำเป็นเม็ดแกรนูลโดยเติมสารช่วยอัดเม็ดคือ 3% CMC ผสมแล้วรีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ได้ขนาดเม็ดแกรนูลที่เล็ก สะดวกแก่การละลายและการเก็บ อบแห้ง 60^oซ ก่อนเก็บ ได้ศึกษาการนำมาเป็นสีย้อมเส้นใยต่างๆ พบว่าย้อมผ่ายได้ดีที่สุด ปริมาณเหมาะสมสำหรับการเตรียมน้ำย้อม คือ เม็ดแกรนูลของสีสูตรสำเร็จรูป 35 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ย้อมด้ายผ่ายในอัตราส่วน 1:10 ได้ 100 กรัม หรือ ผงสี 35 กรัมย้อมผ่ายได้ 100 กรัม

ข้อสังเกต

สีครามสำเร็จรูปเมื่อย้อมครั้งเดียวซักแล้วได้สีฟ้า ถ้าย้อมซ้ำหลายๆ ครั้งได้สีฟ้าเข้มขึ้นเรื่อยๆ แต่ยังไม่ถึงสีน้ำเงินดำที่เรียกว่าสีหม้อฮ่อมหรือสีน้ำเงินเข้มแบบ Navy Blue การย้อมรองพื้นหรือย้อมทับด้วยสีเข้มเช่นสีจากมะเกลืออาจจะช่วยได้ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนครั้งของการย้อมลงได้ อีกทางหนึ่งอาจจะต้อง treat เส้นใยให้สามารถจับสีได้มากกว่าที่เป็นอยู่ ซึ่งจะช่วยให้ลดจำนวนครั้งของการย้อมแบบนี้ได้มาก ส่วนเจดสีน้ำเงินฟ้า น้ำเงินเข้มเกือบดำนั้นอาจทดลองผสมกับสารให้สีอื่นๆ ที่เข้ากันได้เป็นสูตรสำเร็จรูปและทำแห้งต่อไป

3.3.3 การผสมสีครามสำเร็จรูปกับสีอื่นเพื่อเพิ่มเจดสีให้หลากหลายนั้นได้นำสูตรสำเร็จรูปสูตร 12 ที่ปรับปรุงล่าสุดมาทำการผสมกับสารสีอื่นๆ ที่เป็นสีหลักเช่นสีแดงได้สีม่วง และผสมสีเหลืองได้สีเขียวซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 6 ของรายงานนี้

บทที่ 4

การเตรียมสีแดงจากธรรมชาติเป็นสีย้อมสำเร็จรูป

4.1 สารให้สีแดงในธรรมชาติ

สารให้สีแดงในธรรมชาติและนิยมใช้เป็นสีย้อมมีหลากหลายชนิดเช่น จากพืชได้แก่ แก่นฝาง เปลือกต้นก่อ แก่นประดู่แดง เปลือกไม้กระพรวนลาย ใบสับปะรด รากยอป่า และจากสัตว์ได้แก่ รังควัก วัตถุพิเศษเหล่านี้จะให้สารสีแดงแตกต่างกัน ตั้งแต่ แดง แดงหม่น แดงส้ม แดงเลือดหมู แดงสด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยที่นำมาย้อมและสารช่วยติดสีหรือมอร์แดนท์ที่ใช้ ตัวอย่างเช่น สีครั้งย้อมใหม่ได้สีแดงสดแต่ย้อมฝ้ายสีจะออกแดงม่วง รากยอป่าถ้าใส่สารส้มเป็นมอร์แดนท์ในสารละลายต่างจะให้สีแดงเข้มและในสารละลายเกลือแมกนีเซียมจะให้สีม่วงแดงเป็นต้น

ผลจากการสำรวจวิธีการย้อมสีธรรมชาติ แหล่งและปริมาณวัตถุดิบที่ให้สีและที่ช่วยให้สีติด โดยเน้นสีแดง เหลือง และน้ำเงินเพื่อรวบรวมภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคเหนือตอนบนในการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติสำหรับเป็นข้อมูลในการประเมินวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยให้สีติดซึ่งเลือกไว้ว่าจะต้องมีปริมาณมากพอสำหรับการผลิตโดยไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า ส่งเสริมการปลูกง่ายและสามารถพัฒนาการเพิ่ม การผลิตสารให้สีดังกล่าวในปริมาณที่มากขึ้น ปัญหาที่พบในการสำรวจด้านวัตถุดิบและกระบวนการย้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีการสืบทอดน้อยมากสิ่งที่เป็นแรงจูงใจผู้ผลิตด้านวัตถุดิบคือ พยายามหาชนิดของวัตถุดิบที่ให้สีให้มีความหลากหลายชนิดเพื่อเพิ่มชนิดของสีให้มากขึ้นและหมุนเวียนให้ได้ตลอดปี สารให้สีและสารช่วยติดสีควรอยู่ในรูปที่เก็บและใช้ได้ง่ายแบบสีสังเคราะห์ และสามารถกำหนดสัดส่วนของสีและน้ำในการย้อมเส้นใยในปริมาณที่ต้องการได้ และได้สีออกมาคงที่และมีความคงทนต่อการซักล้าง แสง และความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของตลาด จากข้อมูลสำรวจเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้มีโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติโดยเน้นเฉพาะสีหลักสามสี คือ แดง เหลือง และน้ำเงินก่อนในระยะแรก โดยเลือกวัตถุดิบให้สีดังกล่าวจากธรรมชาติมาแปรรูปและพัฒนาวิธีการย้อมให้เหมาะกับสีแปรรูป ในการเลือกวัตถุดิบนั้นได้คำนึงถึงปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นว่ามีมากพอโดยที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า และพัฒนาการย้อมสารสีดังกล่าวให้ติดทน และมีโอกาสได้สีสม่ำเสมอทุกครั้ง ซึ่งในการเลือกนั้นได้ประเมินจากการสำรวจในรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการย้อม แหล่งและปริมาณของสารให้สีและสารติดสีเฉพาะสีหลักสามสี สำหรับวัตถุดิบที่ให้สีแดงนั้นคณะผู้วิจัยได้เลือกการใช้ รากยอป่า เป็นวัตถุดิบหลักและเน้นการย้อมฝ้าย เพราะยอป่าที่เลือกใช้เป็นไม้พุ่มที่มีรากแตกแขนงในดินมากมาย ตัดมาใช้แล้วส่วนที่เหลือทิ้งไว้ในดินก็สามารถเจริญเติบโตได้อีกให้สารสีแดงสวยและภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมก็ยังพอหาได้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ย้อมสีแดงมาตั้งแต่ดั้งเดิมจนถึงปัจจุบันโดยเฉพาะในกลุ่มชาวไทยภูเขาเผ่ากระเหรี่ยง เป็นพันธุ์ไม้ที่พบได้ทั่วไป

บนพื้นที่ราบสูงในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ แพร่ น่าน สารสีแดงที่ได้จากสัณฐานนี้คัดเลือก ครั้ง เพราะมีการเลี้ยงมากในจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ ลำพูนและแพร่ เป็นสารให้สีที่ได้จากน้ำทิ้งจากการทำ ครั้งเม็ด (seed lac) เพื่อทำเซลล์ สีแดงจากครั้งนี้มีสมบัติเป็นสีย้อมที่ดีให้สีแดงสดสวยโดยเฉพาะ เมื่อย้อมใหม่

4.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า

4.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยอป่าที่คัดเลือกมาใช้ศึกษา

จากการรวบรวมเอกสารและสำรวจแหล่งที่มีและที่ใช้กันในภาคเหนือเกี่ยวกับต้นยอพบว่า เป็นต้นไม้อยู่ในวงศ์ Rubiaceae สกุล *Morinda* sp. ซึ่งไม้สกุลนี้เท่าที่พบในภาคเหนือตอนบนมี 4 ชนิด คือ ก.ยอบ้าน (*Morinda citrifolia* Linn.) เป็นไม้พุ่มหรือต้นไม้ขนาดเล็ก รากให้สีในปริมาณสูง มีตาม บ้านในปริมาณไม่มาก ข. ยอป่า (*Morinda tomentosa* Roth) เป็นไม้ยืนต้นพบทั่วไปในป่าภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ ค. ยอเถื่อน (*Morinda elliptica* Rudley) เป็นไม้ยืนต้นพบ ทั่วไปตามป่าดินแห้งแล้งภาคตะวันออกเฉียงใต้และภาคใต้ ง. ยอดิน (*Morinda angustifolia* Roxb.var. *Scabridula craib.*) พบมากบนที่ราบสูงในป่าภาคเหนือ

พืชในวงศ์ Rubiaceae สกุล *Morinda* sp. ทั้ง 4 ชนิดนี้จะมีเปลือกรากสีแดง เนื้อในรากเป็นสี เหลือง เปลือกรากมีสารสีแดงชื่อ มอรินดิน (morindin) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประเภท แอนท ราควิโนน (anthraquinone) เปลือกรากและเนื้อรากนี้สามารถใช้ย้อมผ้าหรือเส้นใยฝ้ายและไหมให้มีสี เหลือง แดง หรือแดงส้ม สีย้อมที่ได้จะมีสีแตกต่างกันในแต่ละภาวะที่ใช้เช่น ในภาวะที่เป็นกรดจะให้สี เหลือง ภาวะที่เป็นด่างจะให้สีแดง นอกจากนี้การเติมเกลือโลหะบางชนิดลงไป ยังทำให้ได้สีแตกต่าง กันออกไปและทำให้สีติดแน่นคงทนอีกด้วยเช่น จากรากยอป่าผสมเกลือของอะลูมิเนียมได้สีชมพู-แดง สีจากรากยอป่าผสมเกลือของเหล็กได้สีม่วงแดง สีจากรากยอป่าผสมเกลือของโครเมียมได้สีน้ำตาล

จากการวิเคราะห์ชนิดของยอป่าที่พบในเขตภาคเหนือและปริมาณที่มีอยู่คณะผู้วิจัยได้เลือก พืชตระกูลยอ หรือ ยอดิน ซึ่งอยู่ในสกุล *Morinda angustifolia* Roxb.var. *scabridula craib.* (รูปที่ 4.1) ในการพัฒนาการผลิตสีแปรรูปเพื่อให้ได้สีย้อมสีแดงสำเร็จรูป ทั้งนี้เพราะเป็นไม้พุ่มหรือไม้ขนาดเล็ก ง่ายในที่ทั่วไป ปลูกง่าย ระยะเวลาการปลูกไม่ยาวนาน (ประมาณ 2-3 ปี) รากแตกแขนงไปตาม พื้นดินและขึ้นเป็นต้นได้ง่าย เป็นพืชที่ทางภาคเหนือโดยเฉพาะชาวไทยภูเขาเผ่ากระเหรี่ยงใช้ในการ ย้อมสีธรรมชาติเป็นสีแดงและเหลือง การขุดรากขึ้นมาใช้ก็ทำได้ง่ายกว่าชนิดอื่นซึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาด ใหญ่กว่าไม่ต้องเป็นห่วงเรื่องการตัดไม้ทำลายป่า ส่งเสริมการปลูกง่ายและการศึกษาการเพิ่มผลผลิต สารสีแดงโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากก็จะใช้พืชสกุลนี้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.1 ลักษณะต้นยอสาขพันธ์ *Morinda angustifolia* Roxb.var.*scabridula* craib. และรากที่ให้สี

4.2.2 การย้อมสีจากรากยอป่า

ในบรรดาสีย้อมธรรมชาติที่ให้สีแดง สีจากรากยอป่าเป็นสีตัวแรกที่ทีมงานวิจัยให้ความสนใจเป็นพิเศษ ด้วยกรรมวิธีการย้อมที่ซับซ้อนดังตูดให้คณะผู้วิจัยใคร่ศึกษาหาข้อเท็จจริงและหลักการทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายสนับสนุนเพื่อหาทางพัฒนาเป็นสีแปรรูป

4.2.2.2.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมฝ้ายด้วยสีจากรากยอ

จากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นในกระบวนการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติจากรากยอของชุมชนในเขตภาคเหนือตอนบน พบว่าประกอบด้วยขั้นตอนการย้อม 2 ขั้นตอนคือ

ก. การย้อมรองพื้นด้วยน้ำมัน

ข. การย้อมด้วยน้ำย้อมสกัดจากรากยอ

ในขั้นตอนการย้อมรองพื้นด้วยน้ำมัน แต่ละท้องถิ่นมีการใช้น้ำมันที่แตกต่างกันตามแต่จะสามารถหาได้ในท้องถิ่นนั้นๆ ดังสรุปในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของน้ำมันที่ใช้ย้อมรองพื้นในแหล่งต่างๆ

ชนิดของน้ำมัน	แหล่งที่ย้อม
น้ำมันจากเมล็ดพืช 4 ชนิด ผสมกันได้แก่ มะแตก มะหนากาบ มะเคาะ ละหุ่ง	บ้านทัพไร่ ตำบลท่าผา อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
น้ำมันละหุ่ง	บ้านกองแขก ต.กองแขก อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
น้ำมันปลา	บ้านห้วยฝาง หมู่ 14 ต.นาคอเรือ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่
น้ำมันหมู	บ้านหาดสูง ต.หาดเสี้ยว อ.ศรีสัชนาลัย จ.เชียงใหม่
	หมู่บ้านกระเหรี่ยง บ้านค่างตะนะ ต.บ่อเหล็กทอง จ.แพร่

ในแต่ละแหล่งจะมีวิธีการเตรียมส่วนผสมน้ำมันและการย้อมรองพื้นด้วยน้ำมันโดยการนำน้ำมันมาผสมกับน้ำด่างที่เก่า บางแห่งใส่ใบส้มป่อยตำละเอียดเข้าไปด้วย ขยำฝ้ายที่ล้างสะอาดแล้วในส่วนผสมนี้แล้วแช่ทิ้งไว้ 1 คืนหรือ 1 วัน หรือต้มเป็นเวลา 45 นาที บิดฝ้ายตากให้แห้งแล้วจึงนำไปย้อมต่อในน้ำย้อมสกัดจากรากยอป่า ในขั้นตอนที่สอง (ข้อ ข.) ทนที่ที่แห้งหรือบางแห่งตากแห้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์หรือบางแห่งย้อมรองพื้นด้วยน้ำมันซ้ำประมาณ 5 ครั้งก่อนย้อมด้วยสีรากยอ

การย้อมสีจากรากยอ นำรากยอสดมาล้างน้ำ สับ ตำหรือบดให้ละเอียดผสมน้ำ เติมน้ำด่างที่เก่าหรือปูนขาว บางแห่งใส่ใบมะไฟลงไปด้วย นำไปต้มเพื่อสกัดสีจากรากยอ แล้วจึงใส่ฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำมันแล้วลงไปต้มในน้ำย้อมประมาณ 30 นาที บิดตากให้แห้งแล้วจึงนำมาซักน้ำจนสีไม่ตก ในบางท้องถิ่นมีการปรับวิธีย้อมโดยตัดขั้นตอนการย้อมรองพื้นด้วยน้ำมันออกไป เหลือเพียงการย้อมด้วยสีจากรากยอ (ขั้นที่สอง) เพียงขั้นเดียว

4.2.2.2 การสำรวจเอกสารกระบวนการย้อมสีจากรากยอ

วิธีการย้อมสีด้วยรากยอให้มีสีแดงเข้ม อย่างที่เรียกว่า Turkey red นั้น Liles, J.N. (1990) ได้บรรยายไว้ในหนังสือ The Art and Craft of Natural Dyeing: Traditional Recipes for Modern Use ว่าประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

ก. การทำมอร์แดงด้วยน้ำมัน ขั้นนี้เป็นการนำฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วเป็นอย่างดีมาแช่ในส่วนผสมที่ประกอบด้วย น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์(น้ำมันหมู) โซดาซักผ้า(โซดาแอช) และน้ำ และมักจะผสมมูลสัตว์ลงไปด้วยในครั้งแรก โปรตีนในมูลสัตว์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำมอร์แดงด้วยน้ำมัน ขยำฝ้ายแล้วบิดนำไปพักไว้ในภาชนะปิดในสภาพที่หมาดๆ 1 คืน หลังจากนั้นจึงนำไปตากในที่โล่งเป็นเวลา 3 วัน ให้ฝ้ายได้รับแสงแดดในเวลากลางวันและน้ำค้างในเวลากลางคืน ทำมอร์แดงด้วยน้ำมันซ้ำอีก 6-7 ครั้ง ในขั้นตอนนี้กรดไขมันจากน้ำมันจะเกิดออกซิเดชัน(เดิมออกซิเจน) และพอลิเมอร์เซชัน (เกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลให้มีขนาดยาวขึ้น) จับติดอยู่กับเส้นใยเซลลูโลสของฝ้าย หลังจากนั้นนำฝ้ายมาล้างน้ำมันส่วนเกินออกโดยใช้สารละลายโซดาซักผ้า จนกระทั่งน้ำมันส่วนเกินที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลุดออกจากเส้นใยผ้าฝ้ายจนหมด ล้างน้ำจนครบโซดาซักผ้าออกไปหมดตากจนแห้ง

ข. การทำมอร์แดงฝ้ายด้วยแทนนิน นำฝ้ายที่ผ่านขั้นตอน ก. มาแล้วขยำในสารละลายแทนนินที่อุ่น แล้วแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง บิดแล้วตากฝ้ายให้แห้ง

ค. การทำมอร์แดงด้วยเกลืออะลูมิเนียม นำฝ้ายที่ผ่านการทำมอร์แดงด้วยแทนนินมาแช่ในสารละลายอะลูมิเนียมอะซิเตตหรืออะลูมิเนียม ซัลเฟตเป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง บิดและตากทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน แล้วทำมอร์แดงซ้ำอีก 1 ครั้ง

ง. กำจัดอะลูมิเนียมส่วนเกิน โดยนำฝ้ายที่ผ่านขั้นตอนในข้อ ค. ไปขยำในสารละลาย fixing ซึ่งเป็นสารละลายของไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) หรือหินปูน (CaCO_3) หรือผงชอล์ค เพื่อทำหน้าที่ตรึงอะลูมิเนียม (Al) เข้ากับเส้นใยและกำจัด Al ส่วนเกินออกไป จากนั้นล้างฝ้ายด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง

จ. การย้อมด้วยสีจากรากยอ นำฝ้ายที่ผ่านขั้นตอน (ง.) มาย้อมในน้ำย้อมที่ประกอบด้วยรากยอผสมแทนนิน และแคลเซียมอะซิเตทหรือผงชอล์ค โดยเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ จนถึง 77°C ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ต้มที่อุณหภูมินี้ต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของหม้อย้อมเกินกว่า 82°C ปิดล้างฝ้ายด้วยน้ำ ตากให้แห้งถ้าต้องการให้ได้สีแดงที่สดใสนำฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากรากยอแล้วนำไปนึ่งใน autoclave หรือหม้อนึ่งความดันไอน้ำ

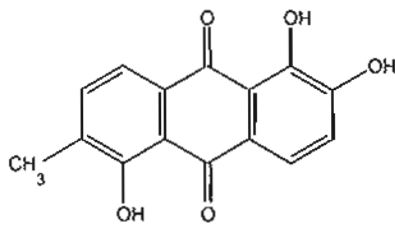
กระบวนการย้อมสีจากรากยอตามขั้นตอนทั้ง 5 นี้ ทีมวิจัยได้ทดลองย้อมแล้วได้ผลดีให้สีแดงเข้ม แต่ขั้นตอนเหล่านี้มีความยุ่งยากและใช้เวลานาน อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นนี้ได้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาการย้อมสีและการแปรรูปสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอในลำดับถัดไป

4.2.3 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์สารสีจากรากยอ

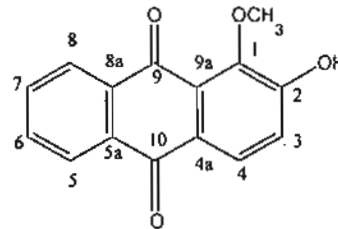
ในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ทำการศึกษาหาข้อมูลในการสกัด วิเคราะห์ ศึกษาสมบัติ และวิธีการแปรรูปสารสีแดงจากรากยอป่าในระดับห้องปฏิบัติการ

ในการสกัด แยกบริสุทธิ์เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักของสารสีจากรากยอสายพันธุ์ที่คัดเลือกโดยนำรากยอมาล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอบที่อุณหภูมิ $40-60^\circ\text{C}$ จนแห้งแล้วบดเป็นผงนำมาสกัดด้วยเมทานอลในชุดสกัดแบบต่อเนื่องจนสีถูกสกัดออกมาหมด นำสารสกัดมาระเหยเมทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดัน จนได้สารสกัดเข้มข้นทำการแยกหาองค์ประกอบหลักของสารสีจากรากยอโดยใช้เทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีที่มีตัวดูดซับเป็นซิลิกาเจล แล้วชะด้วยคลอโรฟอร์มเป็นตัวเริ่มต้นแล้วเพิ่ม polarity ด้วยเมทานอลโดยใช้ตัวชะที่เป็นส่วนผสมของคลอโรฟอร์ม/เมทานอล อัตราส่วน 9/1 และตามด้วย คลอโรฟอร์ม/เมทานอล อัตราส่วน 1/1 ตามลำดับ ได้สารสีออกมาจากการชะเป็นลำดับ การชะด้วยคลอโรฟอร์ม/เมทานอล อัตราส่วน 9/1 จะให้สารสีหลักในรากยอคิดเป็น 8.33% ของสารสกัดเข้มข้น จากนั้นนำมาแยกบริสุทธิ์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีและการตกผลึกซ้ำ และศึกษาโครงสร้างโดยใช้วิธีทางสเปกโตรสโกปีพบว่า สารสีหลักในรากยอสายพันธุ์นี้มี 2 ชนิดซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็น สารประกอบประเภท แอนทราควิโนน ที่ชนิดหนึ่งเป็น มอรินโดน (morindone) มีสูตรโมเลกุล $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_5$ และอีกชนิดหนึ่งเป็นอะลิซาริน-1-เมทิลอีเทอร์ (Alizarin-1-methyl ether) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_4$ รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารสีหลักในสารสกัดจากรากยอป่า

จากการศึกษาการเปลี่ยนสีของสารประกอบหลักทั้ง 2 ชนิดที่พีเอชต่างๆ ได้ผลว่าในช่วงพีเอชเป็นกรด (pH= 1.5-6) จะให้สีเหลืองพีเอชค่อนข้างไปทางเบส (pH=6.5-7.5) และพีเอช 8 ขึ้นไปจะให้สีแดงส้ม



Morindone



Alizarin-1-methyl ether

รูปที่ 4.2 สูตรโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของสารสีจากรากยอติณ สายพันธุ์

Morinda angustifolia Roxb.var. *scabridula* Craib.

นอกจากนี้สารสีหลักทั้งสองชนิดยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลือโลหะชนิดต่างๆ เช่น เกลือของอะลูมิเนียมให้สีแดงส้มสด เกลือของแมกนีเซียมให้สีแดงม่วงและเหล็กจะทำให้สีข้มคล้ำลง

4.2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดและแปรรูปสารสีจากรากยอ

สำหรับการแปรรูปสารให้สีนั้นในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นทำเป็น 3 รูปแบบคือ ผงพืชบด ผงสกัดด้วยน้ำฉีดพ่นแห้ง สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ ทั้งสามแบบนี้มาอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาและการใช้ย้อม จากการวิจัยพบว่าสีแปรรูปที่ผลิตโดยวิธีต่างๆ นั้นถ้าอยู่ในลักษณะผงโดยเฉพาะจากการทำแห้งด้วยเครื่องฉีดพ่นแห้ง(spray dryer) จะเก็บไว้ไม่ได้นาน เมื่อมีความชื้นจะเกาะเป็นก้อนแข็ง การสกัดด้วยน้ำผสมน้ำต่างจากปูนขาวจะได้ผงสีผสม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเก็บได้นานขึ้นและใช้งานได้เลยในการย้อมผ้าฝ้าย อย่างไรก็ตามการอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจะเก็บไว้ได้นานที่สุดและเมื่อนำมาย้อมก็จะละลายน้ำได้ดี การสกัดด้วยน้ำต่างในระยะแรกใช้วิธีต้มและพบว่าที่อุณหภูมิสูงสารที่มีลักษณะคล้ายยางไม้จะถูกสกัดมาด้วยยากแก่การทำแห้งและเวลานำน้ำย้อมไปย้อมจะทำให้ผ้าดำง การสกัดโดยการแช่น้ำต่างที่อุณหภูมิปกตินาน 24 ชั่วโมงจึงเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

สีแปรรูปที่ได้เมื่อนำไปทดลองย้อมตามกรรมวิธีที่ได้พัฒนาไว้ดีแล้ว(บทที่ 2) พบว่าได้ผลเช่นเดียวกับการสกัดสดแล้วย้อม คุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงอยู่ในระดับดี อย่างไรก็ตามการวิจัยในระยะที่ 1 นี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการแต่มีแนวโน้มสูงในการพัฒนาขยายขนาดการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

4.2.5 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า

การขยายขนาดการผลิตและแปรรูปสีธรรมชาตินั้นแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการสกัดสารสีจากวัตถุดิบธรรมชาติให้ได้ปริมาณมาก และตอนที่ 2 ทดลองหาสูตรผสมผงสีเพื่ออัดเป็นเม็ด

แกรนูล คัดขนาดทดสอบการละลายของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสำเร็จรูป ปริมาณเนื้อสีต่อกรัมเม็ดสี การทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพ วัตถุดิบที่ให้สารสีแดงที่ใช้คือรากยอป่าและครั่ง

4.2.5.1 การสกัดสีจากรากยอป่าบดแห้ง

การสกัดสารสีจากรากยอป่าบดแห้งจำนวน 52 กิโลกรัมแบ่งเป็นการสกัดครั้งละ 4 กิโลกรัมจำนวน 13 ครั้ง โดยการนำรากยอป่าบด 4 กิโลกรัมใส่ในถุงผ้าแล้วรัดปากถุงให้แน่นแช่ในหม้อน้ำค้างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11.8 (สารละลายอิมิตัวทิ้งให้ตกตะกอนดักน้ำใส มาใช้) ปริมาตร 20 ลิตร อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยกถุงออกมาให้น้ำแห้ง นำถุงที่มีรากยอป่าไปสกัดต่อโดยแช่ในเอทานอล นำน้ำสกัดทั้ง 13 ครั้งมารวมกันปริมาตรทั้งหมดประมาณ 250 ลิตร มาเคี้ยวไฟอ่อนๆ ให้เหลือปริมาตร 70 ลิตร แล้วนำไปฉีดพ่นแห้งด้วยเครื่อง spray dry (เช่าจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ชั่วโมงละ 250 บาท รวมเวลาที่เปิดและล้างเครื่องทำ 70 ลิตร เสียค่าเช่า 18 ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 4,500 บาท) ได้ผงสีผสมแคลเซียมไฮดรอกไซด์หนัก 954.74 กรัม

เมื่อทดลองคิดต้นทุนการสกัดสีจากรากยอป่าโดยวิธีนี้

รากยอป่าแห้งผ้าเป็นชิ้นเล็กๆและบดเป็นผงกิโลกรัมละ	50.-	บาท
ผงรากยอป่าบดแห้ง 52 กิโลกรัมคิดเป็นเงิน	2,600.-	บาท
ค่าเช่าเครื่อง spray dry	<u>4,500.-</u>	บาท
รวมค่าใช้จ่ายช่วงนี้	<u>7,100.-</u>	บาท
ได้ผงสีจากการพ่นด้วย spray dry	954.74	บาท
∴ คิดเป็นค่าต้นทุนผลิตผงสีกิโลกรัมละ	7,436.60	บาท

สีจากรากยอป่าที่สกัดด้วยน้ำค้างนี้เป็นสีส่วนใหญ่ของสีกลุ่ม anthraquinone ที่สกัดได้และยังมีสารสีหลักในกลุ่มนี้ที่เหลืออยู่ในผงรากยอป่าคือ morindone ที่ต้องสกัดด้วยเอทานอลคณะผู้วิจัยจึงได้นำผงรากยอป่าที่สกัดด้วยน้ำค้างแล้วมาทำการสกัดต่อโดยแช่ในเอทานอล 95% เป็นเวลา 1 เดือน แล้วจึงนำน้ำสกัดที่ได้มาระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ (rotary evaporator) เก็บอัลกอฮอล์ที่ระเหยออกไว้ใช้แช่ครั้งต่อไป วิธีการ คือ ผงรากยอป่าที่สกัดด้วยน้ำค้างแล้วครั้งหนึ่งจำนวน 40 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือประมาณ 23 กิโลกรัมของผงรากแห้งสกัดด้วยเอทานอลระเหยแห้งได้สารสกัดเข้มข้นลักษณะเป็นยางเหนียว 600 กรัม ละลายยากและใช้ยากต้องหาทางแปรรูปให้ใช้ง่ายต่อไป

4.2.5.2 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดแกรนูลของสารสกัดจากรากขมิ้นทดสอบสมรรถภาพการละลายน้ำ

สารสกัดจากรากขมิ้นด้วยน้ำค้างและฉีดพ่นแห้งเป็นผงสีน้ำตาลเมื่อลองทำเม็ดแกรนูลโดยผสมกับน้ำตาลแลคโตสพบว่าใช้ปริมาณแลคโตสมากทำให้มีปริมาณเนื้อสีมากต่อกรัมของเม็ดแกรนูลยิ่งถ้าเป็นสารสกัดด้วยเอทานอลแล้วทำเป็นสีเข้มข้นยิ่งใช้น้ำตาลแลคโตสมากขึ้นและการละลายของเม็ดแกรนูลก็ไม่ค่อยดีด้วย คณะผู้วิจัยจึงพยายามหาวัสดุอื่นที่มากกว่าน้ำตาลแลคโตส เช่น แป้งและสารอื่นๆ ที่จำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมมาทดลองผสมหลายสูตรแล้วตรวจสอบสมรรถภาพการละลายได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

สูตรที่ 1 มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำค้างผสมสารส้ม 10% ลงไป 30 มิลลิลิตร ไม่มีกรดทำให้มีพีเอชสูงขึ้นเป็น 6.6 ปริมาณผงสี/กรัมเม็ดแกรนูลลดลงเล็กน้อยการผสมส่วนผสมเป็นก้อนแข็งเหนียวบดไม่ได้ต้องเติมแมกนีเซียมสเตียเรตลงไป 5 กรัม เพื่อช่วยให้รีดตัวหนอนได้และตัวหนอนแข็งมาก บดยาก การละลายยังไม่ดีละลายไม่หมด

สูตรที่ 2 เติม wetting agent ลงไปส่วนผสมเริ่มจับตัวเป็นก้อนแข็งต้องใช้ครกตำให้ละเอียดแล้วเติมแป้งลงไปอีก ตัวหนอนแข็งมากบดยาก ปริมาณผงสีต่อกรัมเม็ดแกรนูลน้อยลงเหลือ 0.36 กรัม การละลายได้น้อยเหมือนสูตรที่ 1

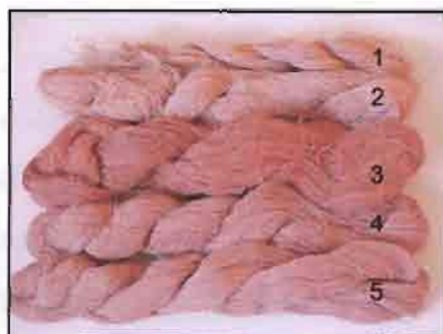
สูตรที่ 3 สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ (95% เอทานอล) เติม wetting agent เพิ่มขึ้น แป้งเพิ่มขึ้น เพราะสารสกัดเข้มข้นเหนียวมาก เติมสารส้ม 1 กรัมและผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์อีก 5 กรัม พบว่าเป็นส่วนผสมที่ผสมง่ายไม่เกาะตัว เติม wetting agent ลงไปการเกาะตัวดีขึ้น ตัวหนอนอ่อนลงบดง่ายขึ้น การละลายดีขึ้น สารละลายมีฤทธิ์เป็นด่างเพิ่มขึ้นพีเอช 7.8 แต่เนื้อสีสกัด/กรัมแกรนูลต่ำสุดคือ 0.26 กรัม

เม็ดแกรนูลจากผงสีรากขมิ้นทั้ง 5 สูตรนี้ได้นำไปทดสอบการย้อมต่อไป

ตารางที่ 4.2 การเตรียมเม็ดแกรนูลของผงสีจากรากยอป่าสกัดด้วยน้ำต่างชนิดพ่นแห้งเป็นผงและสารสกัดอัลกอฮอล์เข้มข้นด้วยสูตรสำเร็จแบบต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

สูตร เม็ด แกร นูล	ส่วนประกอบ(กรัม)										PH เมื่อ ละลาย	การ ละลาย	ปริมาณ ผงสี/ กรัม แกรนูล (กรัม)
	ผงสี	แป้ง	น้ำ ต่าง ผสม สาร ส้ม	Wetting agent	ผง Ca(OH) ₂	สารส้ม ผง	แมกนี เซียม สเตีย เรท	กรด ซิตริก	ครีม ออฟตา ตาร์	เฟอ ริก ออก ไซด์			
1	100	120	30	-	-	-	5	-	-	-	6.6	+	0.40
2	100	150	-	25	-	-	-	-	-	-	7.1	+	0.36
3	100	200	-	70	5	1	-	-	-	-	7.8	++	0.26
4	100	80	-	20	-	10	-	-	10	5	4.7	+	0.44
5	100	100	-	20	-	10	-	10	-	5	4.3	+	0.41

* สูตร 3 ใช้สารสีสกัดจากรากยอป่าด้วย 95 % เอทานอลแล้วระเหยแห้งได้สารสีเข้มข้นเหนียวเหนียว



รูปที่ 4.3 การย้อมฝ้ายด้วยสีสำเร็จจากรากยอป่าสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

สูตร 1 แป้ง 120 กรัม สารส้ม 0.3 กรัม

สูตร 2 แป้ง 150 กรัม wetting agent 25 กรัม

สูตร 3 แป้ง 100 กรัม สารส้ม 1 กรัม wetting agent 70 กรัม ผงปูนขาว 5 กรัม

สูตร 4 แป้ง 80 กรัม สารส้ม 10 กรัม wetting agent 20 กรัม เหล็กออกไซด์ 5 กรัม

ครีมออฟทาทาร์ 5 กรัม

สูตร 5 แป้ง 100 กรัม สารส้ม 10 กรัม wetting agent 20 กรัม เหล็กออกไซด์ 5 กรัม

กรดซิตริก 5 กรัม

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 4 มีปริมาณแป้งต่ำสุด สูตรที่ 5 มีแป้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สองสูตรมี wetting agent สารสัมผัส และเฟอริกออกไซด์เท่ากันต่างกันตรงที่มีกรดต่างชนิดกันปริมาณ เท่ากับสูตรที่ 4 มีกรดซิตริกและสูตรที่ 5 เป็นครีมออฟทาทาร์ซึ่งมีกรดทาร์ทาริกทั้งสองสูตรเมื่อละลาย น้ำจะละลายได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิห้องและสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดใกล้เคียงกันคือ พีเอช 4.7 และ 4.3 ตามลำดับ และมีเนื้อสีมากกว่าสูตรอื่นๆ ต่อ 1 กรัมแกรนูล

4.2.5.3 การทดลองย้อมด้วยสีจากรากยอป่าแปรูปสูตรต่างๆ

ฝ้าย ใช้เบอร์ 40/2 ทำความสะอาดโดยต้มกับผงซักฟอกแล้วต้มกับน้ำด่างเหลือ 30 นาที ก่อนนำมา ย้อม

น้ำสี ใช้ส่วนผสมของสีสูตรต่างๆ โดยใช้เม็ดแกรนูลสูตรละ 100 กรัม ละลายในน้ำต่างปูนใส พีเอช 11.0 ปริมาตร 1 ลิตร

ขนาด ต้มด้วยฝ้าย 100 กรัม ในน้ำสี 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นบิดผึ่งให้แห้ง ชักน้ำเปล่า 1 ครั้ง บิดผึ่งให้หมาด แช่น้ำยา fixing 1 % 20 นาที บิดให้แห้งแล้วซักผงซักฟอก ตามด้วยน้ำยาปรับ ผ้านุ่มบิดให้แห้ง ทดสอบคุณภาพต่อไป

จากการเตรียมสูตรสำเร็จของสีด้วยรากยอป่าที่สกัดด้วยน้ำต่างและฉีดพ่นแห้งพบว่าน้ำย้อมที่ได้มีสีออกเหลืองน้ำตาล เมื่อมีด่างและสารสัมผัสจะออกไปทางแดง ทั้งนี้เพราะในการทดลองเพิ่มเติม เกี่ยวกับการแยกองค์ประกอบหลักของสีจากรากยอป่าพบว่า สีขององค์ประกอบที่สกัดได้โดยใช้เอทานอลและองค์ประกอบที่มีมากที่สุดคือ morindone แต่เวลาสกัดด้วยน้ำต่างพบอีก องค์ประกอบหนึ่งซึ่ง ได้แยกและทดสอบทางเคมีแล้วพบว่าเป็นสารสีกลุ่มแอนทราควิโนนเหมือน morindone จึงทำการ purified เพื่อหาโครงสร้างทางเคมีพบว่า เป็น alizarin-1-methylether ดังนั้นในการเตรียมน้ำย้อม เพื่อให้สีจากรากยอป่ามีสีแดงมากขึ้นอาจจะต้องใช้สีสกัดด้วยน้ำต่างฉีดพ่นแห้งผสมกับสี สกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลซึ่งจะได้ทดลองต่อไป

ผลการทดลองย้อมด้วยฝ้ายด้วยสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั้งพบว่า การเติม สารที่จำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมสามารถกระทำได้ แต่การใช้แป้งมากๆ มีปัญหาในการต้มและทำให้ ย้อมฝ้ายต่าง หากสามารถใช้สารอื่นแทนแป้งมันได้ก็จะดี ผลการทดลองมีแนวโน้มที่จะสามารถปรุงน้ำ ย้อมให้ได้สีตามต้องการ ความเป็นกรดต่างตามต้องการ และเติมสารช่วยติดสีแล้วทำให้แห้งหรือทำสี ผสมก็น่าจะทำได้และพยายามให้มีปริมาณเนื้อสีมากขึ้นด้วยและเนื่องจากเครื่อง spray dry ของ คณะอุตสาหกรรมเกษตรมีปัญหา คณะผู้วิจัยปรึกษากันแล้วคิดว่าจะลองเปลี่ยนไปใช้การทำ แห้งแบบใช้ลูกกลิ้ง(drum dry) ซึ่งใช้กันมากในโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูป ได้ลองส่งน้ำสีสกัด จากรากยอป่าไปให้บริษัททดลองพบว่า สามารถทำได้และน้ำสีเข้มข้นมากก็จะได้เร็วด้วย คณะผู้วิจัยจึงคิดจะเปลี่ยนไปใช้ drum dry แทนในโอกาสข้างหน้าและน่าจะดีกว่าในแง่ที่

สามารถสกัดสีและปรุณ้ำย้อมก่อนทำแห้งได้โดยเมื่อแห้งแล้วเป็นแผ่นกึ่งบดและคัตขนาดเม็ดเล็กลง อาจลดขั้นตอนและต้นทุนลงได้มาก

4.2.6 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าสูตรต่างๆ

ในการวิจัยที่ผ่านมาได้ทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียมสีย้อมกิ่งสำเร็จรูปและอัดเป็นเม็ดแกรนูลได้จากสีของย้อม รากยอป่า และค้นพบว่าแป้งมันเป็นส่วนผสมที่ไม่เหมาะสมจะใช้กับสีย้อมแบบย้อมร้อนเพราะแป้งจะเกาะฝ้ายเป็นก้อน น้ำตาลแลคโตสอาจจะใช้ได้แต่ทำให้ปริมาณเนื้อสีในผงสีตอกรับลดลง ข้อมูลเหล่านี้คณะผู้วิจัยได้ใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปเพื่อทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลในลำดับต่อไป

รากยอป่าที่มีอยู่เป็นผงรากยอป่าแห้ง ประมาณ 46 กิโลกรัม และเป็นสีจากรากยอป่าสกัดด้วยอัลกอฮอล์ระเหยแห้งอยู่ทั้งหมด 2.3 กิโลกรัม ที่นำมาผสมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปได้เป็นสูตร M1-M6 โดย M คือ Morinda ซึ่งเป็นชื่อ สายพันธุ์รากยอป่า แต่ละสูตรได้ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจตามวิธีที่ย้อมสีครั้งได้ผลดังรูปที่ 4.4 และเม็ดแกรนูลที่เตรียมได้พร้อมสีที่ย้อมฝ้ายและการละลายแสดงในตารางที่ 4.4 ขั้นตอนทั่วไปในการสกัดและการทำสีสูตรต่างๆ อัดเม็ดแกรนูลสรุปในรูปที่ 4.5

4.2.6.1 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M1

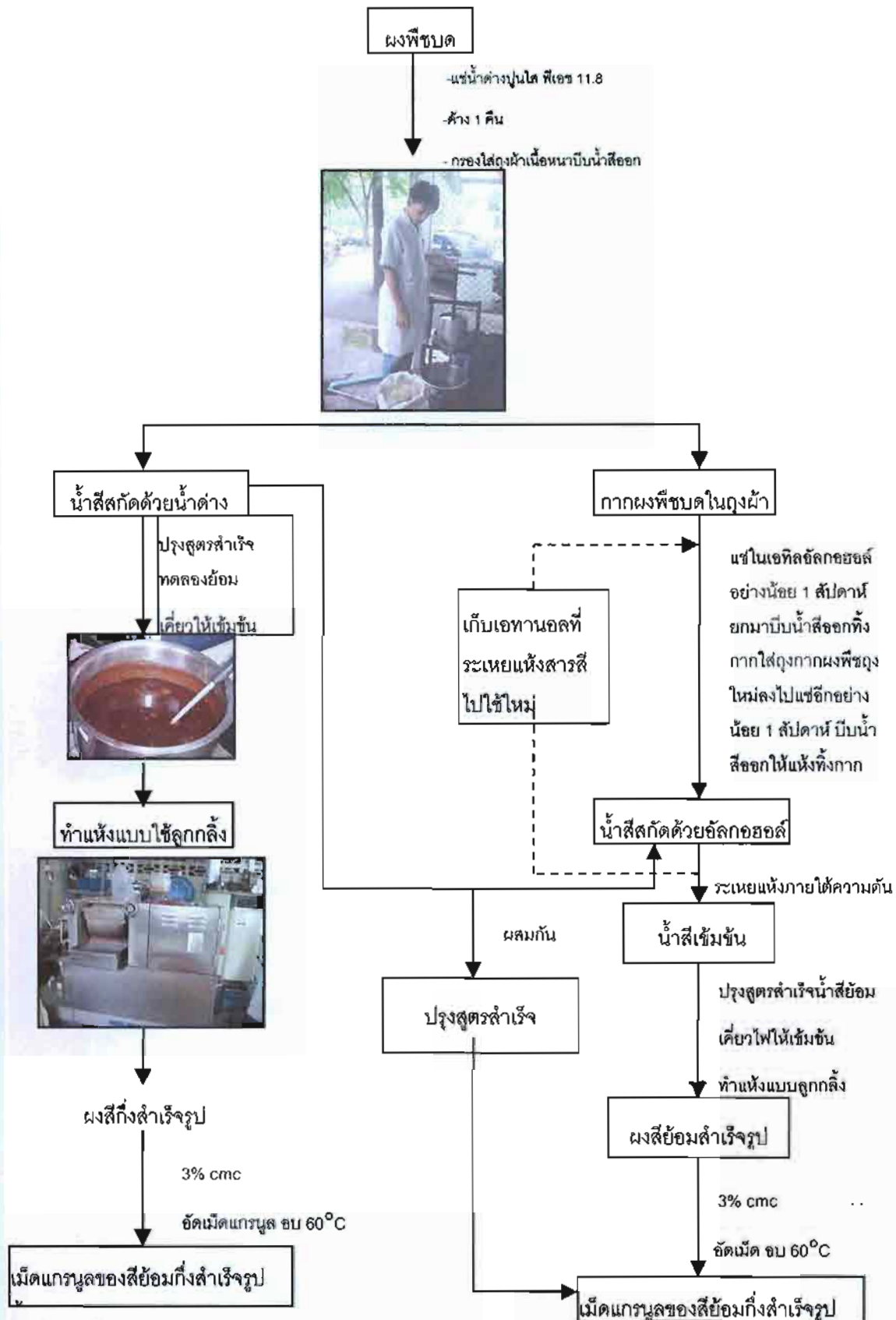
- ผงแห้งรากยอป่าบด 9 กิโลกรัม แช่น้ำต่างปูนใส 35 ลิตร 1 คืน
- กรองผ่านถุงผ้าหนาๆ บีบน้ำสีออกให้แห้ง แยกกากในถุงผ้าในเอทานอล
- เคี่ยวน้ำสีให้งวดจนปริมาตรเหลือ 25 ลิตร
- เติมน้ำส้ม 3 กิโลกรัม
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กิโลกรัม
- คนให้เข้ากันแล้วต้มเดือด 1 ชั่วโมง
- กรองกากที่ไม่ละลายด้วยถุงผ้าหนาๆ บีบน้ำสีออกให้แห้ง
- เติมน้ำ wetting agent 100 กรัม
- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจ (ประมาณ 100 กรัม) ได้สีชมพูอมส้มอ่อน
- เคี่ยวน้ำสีต่อจนปริมาตรลดลงเหลือ 12 ลิตร ทดลองย้อมฝ้ายอีก 1 ใจ ได้สีเข้มขึ้น(ชมพูออกส้ม)
- เคี่ยวต่อให้งวดเป็นสารละลายเข้มข้นแล้วทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

- ได้ผงสีแห้ง 220 กรัม ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำประมาณ 700 บาท เติม cmc 3% อัดเม็ดแกรนูล

- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลของสีย้อมกิ่งสำเร็จรูปสูตร M1 กิโลกรัมละ 3,182 บาท

ตารางที่ 4.3 การย้อมด้วยสีสำเร็จรูปของสีจากรากยอป่า

สูตรที่	ลักษณะของน้ำย้อมที่ได้	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
			การซีดสี	การตกสี	ต่อแสง
1	สารแขวนลอยเกิดขึ้นช้าๆ ได้น้ำสีน้ำตาลแดงเข้มแล้วแบ่ง จับตัวเป็นก้อนต้องเติมน้ำต่าง อีก 3 ลิตรและต้มไฟอ่อนๆ จน ครบ 30 นาที	ครีมออกน้ำตาลสีอ่อน 	4-5	5	2-3
2	สารแขวนลอยเกิดขึ้นช้าๆ ต้ม แบ่งกระจายตัวขึ้นแต่ยังคงจับ ตัวเป็นก้อนเมื่อต้มเดือดต้อง เติมน้ำต่าง 3 ลิตร ต้มไฟ อ่อนๆ ครบ 30 นาที	ครีมออกน้ำตาลแดงเข้มขึ้นเล็กน้อย 	4-5	5	2-3
3	สารแขวนลอยเกิดเร็วขึ้นได้น้ำ สีน้ำตาลออกม่วงเข้มแบ่งจับ ตัวเป็นก้อนเมื่อต้มเดือดเติม น้ำต่าง 3 ลิตรต้มไฟอ่อนๆ และคนให้เข้ากัน 30 นาที	สีน้ำตาลแดงเข้ม 	3-4	4	2
4	ได้น้ำสีออกแดงละลายช้าต้มมี การจับตัวของแป้งน้อยลงต้ม ไฟอ่อนๆ เติมน้ำต่าง 3 ลิตรจน ครบ 30 นาที	สีน้ำตาลอมม่วงอ่อน 	4-5	5	3-4
5	ได้น้ำสีเช่นเดียวกับสูตรที่ 4 ต้มเดือดมีการจับตัวของแป้ง น้อยเติมน้ำต่าง 3 ลิตร ต้มไฟ อ่อนจนครบ 30 นาที	สีน้ำตาลอมม่วงเข้มกว่าสูตร 4 เล็ก น้อย 	4-5	5	3-4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนทั่วไปของการสกัดสารสีจากผงพืชบด การเตรียมน้ำย้อมกิ่งสำเร็จรูป

และอัดเม็ดแกรนูล

4.2.6.2 การเตรียมสีย้อมจากรากขมิ้น M2, M3, M4 และ M5 เป็นการทดลองดูสีจากสูตรผสมและทดลองย้อมยังไม่ได้ทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูล

ก. การเตรียมสูตร M2

- รากขมิ้นสกัดอัลกอฮอล์ 500 กรัม
- สารส้ม 500 กรัม
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม
- น้ำต่างปูนใส 2 ลิตร
- ผสมให้เข้ากันกรองกากที่ไม่ละลายน้ำทิ้งด้วยถุงผ้าหนาๆ
- wetting agent 25 กรัม
- ได้น้ำย้อมสีส้ม ย้อมผ้า 1 ใจ ได้สีส้มอ่อน

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ข. การเตรียมสูตร M3

- ผงรากขมิ้นสกัดด้วยน้ำต่างทำแห้งด้วย spray dry ผสมกับที่ทำแห้งด้วย drum dry 250 กรัม

- สารส้ม 500 กรัม
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม
- น้ำต่างปูนใส 2 ลิตร
- wetting agent 25 กรัม
- ผสมให้เข้ากันแล้วกรองกากที่ไม่ละลายด้วยถุงผ้าหนาๆ
- ได้น้ำย้อมสีส้มเข้มขึ้น (ย้อมผ้า 1 ใจ ได้สีชมพูส้ม)

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ค. การเตรียมสูตร M4

- ผงรากขมิ้นสกัดอัลกอฮอล์แล้วระเหยอัลกอฮอล์ออก
- ได้น้ำสีเข้มข้นนำมา 220 กรัม
- สารส้ม 200 กรัม

- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม
- wetting agent 25 กรัม
- น้ำต่างปูนใส 2 ลิตร
- ผสมให้เข้ากันกรองกากที่ไม่ละลายทิ้งด้วยถุงผ้าหนาๆ
- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีส้มแดง

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ง. การเตรียมสูตร M5

- นำน้ำสีที่เหลือจากการย้อมฝ้าย 1 ใจ สูตร M2, M3 และ M4 มาผสมกัน แล้วเคี่ยวให้งวด

- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองส้ม
- ทดลองทำแห้งได้ผงแห้ง 75 กรัม
- เติม cmc 3% และอัดเม็ดแกรนูล

4.2.6.3 การเตรียมน้ำย้อมสีจากรากยอป่าสูตร M6

- ผงแห้งรากยอป่าบด 27.2 กิโลกรัม
- แขน้ำต่างปูนใส 40 ลิตร ค้างคืน
- กรองกากใส่ถุงผ้าบีบน้ำสีให้แห้งได้น้ำสี 20 ลิตรแช่กากในเอทานอล 1 สัปดาห์
- ผสมน้ำต่างสกัดสีรากยอป่ากับสีที่สกัดด้วยอัลกอฮอล์โดยไม่ระเหยแห้งอัตราส่วน

1:1 โดยปริมาตร

- เติมน้ำขาว 300 กรัม
- สารส้ม 300 กรัม
- wetting agent 50 กรัม
- เคี่ยวให้งวดย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีชมพูส้ม
- ได้ผงแห้ง 510 กรัม คิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,510 บาท

ถ้าทำเม็ดแกรนูลสีรากยอป่าสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม = $(2510 \times 1000) / 510$

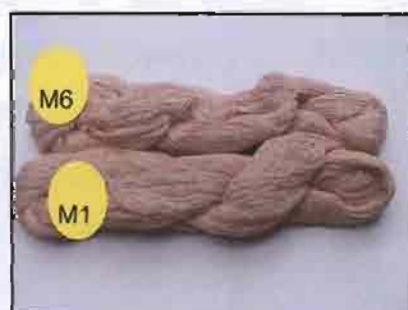
= 4,922 บาท

หมายเหตุ กรณีที่ใช้รากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ผสมแล้วระเหยอัลกอฮอล์ทิ้งไปไม่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าปกติ เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการผลิตหากไม่คิดค่าใช้จ่ายจุดนี้จะตกประมาณกิโลกรัมละ 3,000 บาท โดยนำสารสกัดเอทานอลไประเหยแห้งเก็บเอทานอลไว้ใช้ใหม่แล้วนำน้ำสกัดเข้มข้นมาผสมจะดีกว่าทั้งในด้านความเข้มข้นของสีและการประหยัดเวลาในการเคี่ยวน้ำสีให้งวดก่อนทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ตารางที่ 4.4 เม็ด แกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากรากยอป่า การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสีและราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	การละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
M1	3,182	ละลายปานกลาง มีตะกอนเล็กน้อย 	4.5	ชมพูออกส้ม 	4-5	5	3-4
M2	-	-	-	ส้มอ่อน	4-5	5	3-4
M3	-	-	-	ชมพูส้ม	4-5	5	3-4
M4	-	-	-	ส้มแดง	4-5	5	3-4
M5	-	-	-	เหลืองส้ม	4-5	5	3-4
M6	4,922	ละลายเล็กน้อย มีตะกอนปานกลาง 	10.3	ชมพูส้ม 	4-5	5	3-4

หมายเหตุ สูตร M2-M5 ไม่ได้ทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลเพราะมีปริมาณน้อย



รูปที่ 4.5 ผ้ายที่ย้อมด้วยสีจากรากยอป่าสูตร M1 และ M6

4.2.7 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า

ในการทดลองที่ผ่านมาได้ทำการเตรียมสูตรสำเร็จสีย้อมจากรากยอป่าเป็น 6 สูตร คือ M1, M2, M3, M4, M5 และ M6 โดยสูตร M1 ใช้รากยอป่าผงแห้งแล้วแช่น้ำต่างปูนใส ส่วนสูตร M2 ใช้สีสกัดจากรากยอป่าด้วยอัลกอฮอล์ สูตร M3 ใช้รากยอป่าสกัดด้วยน้ำต่างทำแห้งด้วย spray dry ผสมกับที่ทำแห้งด้วย drum dryer M4 ใช้ผงรากยอป่าสกัดสีอัลกอฮอล์ออกคล้าย M2 แต่ลดส่วนการเติมปูนขาวและสารส้มไม่เท่ากัน M5 เป็นการผสมสูตร M2, M3 และ M4 เข้าด้วยกัน ทั้งสูตร M2, M3, M4 และ M5 มีปริมาณน้อยและย้อมผ้าได้สีชมพูอมส้ม คณะผู้วิจัยไม่ได้ทำแห้งสูตรสีดังกล่าวจึงเลือกศึกษาเฉพาะสูตร M1 และ M6 โดยที่ M6 เป็นการผสมสารสีสกัดด้วยน้ำต่างปูนใสและนำกากที่เหลือมาสกัดด้วยอัลกอฮอล์ แล้วนำสารละลายที่สกัดได้มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ผสมสูตรและทำแห้ง พบว่าได้ผงแห้งที่ละลายได้ในน้ำและมีตะกอนเหลือย้อมผ้าได้สีชมพูส้ม สารละลายพีเอช 10.3 ซึ่งเหมาะทั้งย้อมผ้าและไหมแต่เนื่องจากใช้อัลกอฮอล์สกัดด้วยเสียค่าใช้จ่ายมากทั้งค่าอัลกอฮอล์และการระเหยแห้งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงไม่เหมาะที่จะใช้ในการเป็นสูตรสีย้อมสำเร็จรูป ในกรณีเช่นนี้การสกัดสีด้วยน้ำต่างปูนใสจะสะดวกและต้นทุนต่ำกว่า คณะผู้วิจัยจึงเลือกสูตรสำเร็จ M1 มาพัฒนาต่อ

สีจากรากยอป่าเป็นสารสีกลุ่มแอนทราควิโนน เช่นเดียวกับสารสีจากครั่ง แต่มีองค์ประกอบหลักเป็น morindone และองค์ประกอบรองเป็น Alizarin-1-methyl ether สารสีกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสีตามพีเอชของสารละลายกล่าวคือมีสีเหลืองในกรด (พีเอช 1.51-6.41) และสีแดงในด่าง (พีเอช 8-12) เกือบแน่นอนจะทำให้สีเป็นสีม่วงแดงและเกลืออะลูมิเนียมจะมีสีแดงส้มและสนิมเหล็กจะทำให้เกิดสีคล้ำออกดำ ในการเตรียมสูตรสำเร็จ M1 ในการทดลองที่ผ่านมาได้ใช้วิธีแช่ผงรากยอป่าแห้งในน้ำต่างปูนใส (ผงรากยอป่า 9 กิโลกรัมในน้ำต่างปูนใส 35 ลิตร 1 คั้น) แล้วกรองกากด้วยถุงผ้าหนาๆ นำน้ำสีมาเคี่ยวให้งวดเหลือปริมาตร 25 ลิตร เติมสารส้ม 3 กิโลกรัม ปูนขาว 1 กิโลกรัมผสมให้เข้ากันต้มเดือด 1 ชั่วโมงกรองกากที่ไม่ละลายด้วยถุงผ้าหนาๆ แล้วเติม wetting agent 100 กรัม ทอลงย้อมผ้าได้สีชมพูอมส้มที่ทนต่อการซักได้ดีมาก แต่ความคงทนต่อแสงยังต่ำ (gray scale 2) นำไปทำแห้งได้ผงแห้งที่ละลายน้ำได้มีตะกอนตกค้างเล็กน้อย แต่สารละลายสีย้อมมีพีเอชเป็นกรด คือ 4.5 ซึ่งไม่เหมาะสำหรับย้อมผ้าและต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง คือกิโลกรัมละ 3,182 บาท ผงสีย้อมมีปริมาณเนื้อสีไม่มาก ปริมาณสารส้มและ wetting agent มากเกินไป ดังนั้นในการพัฒนาครั้งต่อไปจึงใช้การสกัดสีจากรากยอป่าโดยแช่น้ำปูนใส (ต้มอุณหภูมิสูงนานๆ ไม่ได้เพราะมียางออกจากรากทำให้เกิดเหนียวเวลาทำแห้ง) และลดสัดส่วนของสูตรผสมต่างๆ ลงรวมทั้งการวัดและปรับพีเอชของน้ำย้อมให้เหมาะสมก่อนทำแห้งด้วย

4.2.7.1 การพัฒนาสูตรสำเร็จสีย้อมรากลยอป่าสูตร M1

ใช้ผงรากลยอป่าสกัดด้วยน้ำต่างปูนใสโดยเริ่มที่รากลยอป่าผง 5 กิโลกรัม แช่น้ำต่างปูนใส 10 ลิตร 1 คืน กรองน้ำสีเก็บไว้ นำกากมาแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต(โซดาแอช) 200 กรัม ต่อ 10 ลิตร หรือ 20 กรัมต่อลิตร หรือ 2% w/v เป็นเวลา 1 คืน น้ำสีที่สกัดได้มีสีแดงเข้มขึ้น กรองกาก นำน้ำสีมารวมกัน นำกากไปแช่ใหม่อีกครั้งเป็นเวลา 1 คืน กรองกากทิ้งแล้วนำน้ำสีทั้งหมดมารวมกัน เป็น 30 ลิตร ผลสมส่วนอื่นๆ ดังนี้

น้ำสีสกัดน้ำต่าง 30 ลิตร มี Na_2CO_3	400 กรัม
เติมสารส้ม	500 กรัม
เกลือแกง	1,000 กรัม
ต่างปูนขาว	300 กรัม

ผสมให้ละลายในน้ำสี วัดพีเอชสารละลายได้ 9.5 แบ่งมา 5 ลิตร ย้อมฝ้าย 3 ใจ (ได้สีชมพูอมส้ม) ที่เหลือ 25 ลิตร นำมาทำให้ได้ผงแห้ง 925 กรัม ผงแห้งละลายได้ดีได้สารละลายสีย้อม พีเอช 9.1

จากผลที่นำมาคำนวณต้นทุนการผลิตอย่างคร่าวๆคือ

ผงรากลยอป่า 5 กิโลกรัมๆ ละ 40 บาท เป็นเงิน	200 บาท
ค่าสารเติมสูตรสำเร็จ	100 บาท
ค่าทำแห้ง (ไฟ แก๊ส และน้ำมัน)	500 บาท
คิดเป็นรายจ่าย	800 บาท
ได้ผงแห้ง	925 กรัม
ต้นทุนการผลิตตกกิโลกรัมละ	865 บาท

สารสีสูตร M1 ที่ปรับปรุงใหม่นี้ใช้เป็นสูตรกลางสำหรับสีจากรากลยอป่าในการใช้เป็นสีย้อมสำเร็จรูปและใช้ในการผสมกับสูตรสีย้อมอื่นๆ เพื่อปรับเปลี่ยนเฉดสี การทดสอบการนำน้ำสีสูตรสำเร็จนี้ไปทดลองย้อมไหมและฝ้ายพบว่าได้ผลดี สดทนต่อการซัก ซักดูและแสงอยู่ในระดับดี

4.2.7.2 การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสีย้อมสำเร็จรูป

สารสีจากรากลยอป่ามีองค์ประกอบหลักเป็นมอร์รินโดนซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 446 นาโนเมตรใน absolute ethanol การหาปริมาณเนื้อสีในผงสีสำเร็จรูป 1 กรัมทำได้โดยการสกัดสารสีจากผงสีสำเร็จรูป 1 กรัม ด้วย absolute ethanol แล้วนำน้ำสกัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ 446 แล้วเทียบหาปริมาณสารสีแอนทราควิโนนโดยใช้มอร์รินโดนเป็นสารสีมาตรฐาน

ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วเขียนเป็นกราฟมาตรฐานปริมาณมอลินโดน (ตัวอย่างจากการหาปริมาณในสิ่งมีชีวิต)

4.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากครั่ง

วัตถุดิบที่คิดเลือกมาผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีแดงอีกชนิดหนึ่งคือ สีจากครั่ง เนื่องจากใช้เป็นสีย้อมได้ดีและมีมากในภาคเหนือโดยเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานทำครั่งเม็ดซึ่งมีหลายโรงในจังหวัดลำปาง และแพร่และภาคอีสาน ใช้ประโยชน์ในการเป็นสีแดงอาหารและสีย้อมไหม ขนสัตว์ หนังสือและผ้าฝ้าย โดยส่วนที่ใช้คือตัวและรัง รังตัวเองจะมีพวกชันและสี เมื่อนำสีออกไปย้อมผ้าแล้วชันยังใช้ทำเชลแลค และน้ำยาขัดเงาได้ ครั่งจึงเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์หากนำไปใช้ประโยชน์แบบครบวงจร

4.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับครั่งและสีครั่ง

ครั่งเป็นแมลงสีแดงขนาดเล็กมาก อาศัยอยู่ตามกิ่งของต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงเช่น ก้ามปู พุทรา สะแก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lucifer lacca* Kerr. ซึ่งอยู่ในวงศ์ *Laciferidae* แมลงครั่งอาศัยอยู่ตามกิ่งไม้และจะใช้ปากซึ่งมีลักษณะเป็นวงดูดน้ำเลี้ยงจากต้นไม้เพื่อใช้เลี้ยงตัวและขยายพันธุ์ ครั่งที่มีลักษณะเหนียวสีเหลืองออกมาเป็นเกราะหุ้มตัวเพื่อป้องกันอันตรายจากศัตรู ยางนี้เมื่อถูกอากาศจะแข็งตัวเรียกว่า "รังครั่ง" แมลงครั่งมีพัฒนาการเป็น 4 ระยะ คือ ไข่ ตัวอ่อน ดักแด้และตัวเต็มวัยตามลำดับ แมลงครั่งตัวเมียมีอายุคร่าวๆ 6 เดือน หลังจากที่ยาวไข่และฟักเป็นตัวอ่อนแล้วแม่ครั่งจะตายไป ตัวอ่อนจะออกจากซากรังแม่ ไต่ไปตามกิ่งไม้หาส่วนที่มีเปลือกบางอ่อนนุ่มอาศัยเจาะดูดน้ำเลี้ยงแล้วสร้างเกราะหุ้มตัวเองรอบกิ่งไม้นั้นตลอดช่วงชีวิต การขยายพันธุ์ครั่งจึงใช้ระยะที่เป็นตัวอ่อน โดยจะปล่อยตัวอ่อนครั่งให้ไปเกาะกิ่งไม้ใหม่ซึ่งจะได้ปีละ 2 ครั้งคือรอบฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 1 ครั้ง และรอบฤดูแล้งระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม อีก 1 ครั้ง เมื่อปล่อยครั่งตัวอ่อนไปแล้วจะทิ้งให้ขยายพันธุ์เองจนครบวงจรชีวิตของของครั่งตัวเมียแล้วจึงตัดกิ่งไม้เก็บผลผลิตครั่งที่ได้ เช่นถ้าปล่อยในเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน ก็เก็บครั่งในเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม แล้วถ้าปล่อยในเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม ก็ตัดเก็บในเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน เป็นต้น

เมื่อผู้เพาะเลี้ยงครั่งตัดกิ่งไม้ที่มีรังครั่งหุ้มและแกะเอารังครั่งออกจากกิ่งไม้แล้วครั่งที่ได้เรียกว่า ครั่งดิบ (stick lac) ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ

ก. ครั่งสด เป็นครั่งดิบที่เมื่อกระเทาะดูจะพบน้ำเมือกสีแดงหรือที่เรียกว่าเลือดครั่ง ซึ่งประกอบด้วย ตัวครั่ง และไขที่ยังไม่ฟักตัว และครั่งนี้ซื้อขายกันในช่วงต้นของฤดูกาลผลิต

ข. ครั่งแห้ง เป็นครั่งดิบที่ได้ผ่านการตากแห้งหรือเก็บรักษาจนน้ำเมือกสีแดงแห้งแล้ว

ครั้งดิบประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ สารสีแดงจากครั้ง มีประมาณ 1.5-2% โดยน้ำหนักครั้งดิบและส่วนที่เป็นยางเหนียวหรือชันซึ่งใช้ทำเซลแลคและใช้เป็นสัดส่วนประกอบในอุตสาหกรรมพลาสติกคุณภาพสูงได้แก่ สวิทซ์ไฟฟ้า เป็นต้น

สารสีจากครั้งมี 2 ชนิดคือ ส่วนที่ละลายน้ำประกอบด้วยสารชื่อ laccaic acid และส่วนที่ละลายในอัลกอฮอล์ เรียกว่า erythralaccir ซึ่งประกอบด้วยสาร 2 ชนิด คือ deoxyerythrolaccin (I) และ isoerythrolaccin (II) laccaic acid เป็นสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนนซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 4 ชนิด คือ laccaic acid A, B, C และ D แต่ที่พบเป็นองค์ประกอบหลักของสีครั้งคือ laccaic acid A และ B เท่านั้น laccaic acid ละลายได้ดีในน้ำและน้ำด่าง ใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติย้อมเส้นใยโปรตีนเช่นไหม และขนสัตว์ได้ดี ความคงทนต่อการซักล้าง ชัดดูและแสงแดดเมื่อทำปฏิกิริยาในสารละลายกรดจะให้คุณสมบัติที่ติดแน่นกับสารอื่นได้ดีสารขยาดสีหรือ มอร์แดนท์ที่นิยมใช้กับสีครั้งได้แก่ สารส้ม กรดทาร์ทาริก น้ำมะขาม ซึ่งจะเพิ่มความคงทนของสีต่อการซัก ชัดดูและแสงได้ดีขึ้น สีครั้งใช้ย้อมผ้าฝ้ายได้แต่ไม่ดีเท่าไหม คณะผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการเตรียมฝ้ายและวิธีการย้อมฝ้ายด้วยสีครั้งให้ติดได้ดีทำนองเดียวกันกับไหม

4.3.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมสีครั้ง

จากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นการย้อมฝ้ายด้วยสีครั้งของชาวบ้านในเขตอำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอลอง จังหวัดแพร่ และอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย พบว่ามีการเตรียมฝ้ายเหมือนกันคือ แช่ฝ้ายในน้ำขมิ้นผสมมะขามป้อม 1 คืบจากนั้นจึงนำฝ้ายไปย้อมในน้ำย้อมที่เตรียมจากการแช่ครั้งบดในน้ำ มีการเติมส่วนผสมอื่นๆแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น บางแห่งใส่น้ำมะขามเปียก บางแห่งใส่มะนาวหรือน้ำคั้นจากใบสับปะรดดำ บางแห่งใส่ใบหมือดดำ แช่ครั้งในน้ำนี้ 1-2 คืบ แล้วนำมาต้มเดือด กรอง จากนั้น จึงนำฝ้ายมาต้มในน้ำย้อมนี้

4.3.3 การสกัดวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและศึกษาสมบัติของสารสีจากครั้ง

ผลการศึกษาการสกัดสารสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ทดลองหาความเข้มข้นของเบสที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดสีครั้งออกจากน้ำล้างครั้งด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 M จะได้สารสีแดงออกมามากกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 M

การศึกษามลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสีจากครั้งพบว่าที่พีเอช 2.5 จะได้สีแดง-ส้ม ที่พีเอชต่ำกว่า 2.5 มีสีส้มและที่พีเอชสูงกว่า 2.5 มีสีแดง ยิ่งพีเอชสูงขึ้นเท่าใดสีแดงก็จะเข้มข้นเท่านั้น สารสีจากครั้งนี้จะละลายได้ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่พีเอชตั้งแต่ 7.0 ขึ้นไป และที่พีเอชต่ำกว่า 7.0 จะตกตะกอน

การศึกษาผลของไอออนโลหะต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีจากครั้งโดยโลหะที่ใช้นั้นใช้ในรูปเกลือโลหะความเข้มข้น 2.5% w/v พบว่าเหล็กจะทำให้สารละลายสีครั้งเปลี่ยนเป็นสีคล้ำออกดำ เกลืออะลูมิเนียมจะให้สีแดง จุนสีหรือคอปเปอร์ซัลเฟตจะให้สีม่วงเทา โพแทสเซียมไดโครเมตได้สีน้ำตาลแดงและเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ได้สีม่วงแดง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสีจากครั้งกับโลหะส่วนใหญ่จะให้สีมืดทึบยกเว้น อะลูมิเนียมที่ให้สีแดง ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ในการเปลี่ยนโทนสีจากครั้งให้มีสีตามความต้องการของผู้บริโภคอีกทั้งเกลือโลหะยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี (มอร์แดนท์) ได้ดีช่วยทำให้สีย้อมติดทนนาน อย่างไรก็ตามโลหะบางประเภทเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เฉพาะอะลูมิเนียมในการปรับปรุงสีย้อมให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อไป

4.3.4 การศึกษาการแปรรูปสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1

ในการศึกษาการสกัดและแปรรูปสารสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ใช้น้ำสีที่สกัดจากครั้งแห้งและครั้งเม็ดและน้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานทำครั้งเม็ด โดยการสกัดจากครั้งแห้งนั้นนำครั้งแห้งมาบดก่อนแล้วนำมาล้างจนน้ำล้างไม่มีสี แล้วนำน้ำล้างมาสกัดด้วย 0.5 M โซเดียมคาร์บอเนตเติมสารส้ม(potassium aluminium sulfate) ความเข้มข้น 5%w/v ลงไปปริมาตรเท่ากับปริมาตรของน้ำล้างครั้งแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องฉีดพ่นแห้ง (spray dryer) ส่วนครั้งเม็ดนั้นสกัดสีด้วยสารละลาย 0.5M โซเดียมคาร์บอเนตโดยตรง คน 1 ชั่วโมง เติมสารส้มกรองแล้วนำน้ำสีมาทำแห้งเช่นเดียวกับครั้งแห้ง น้ำสีที่สกัดได้โดยเริ่มจากครั้งแห้งจะมีปริมาณสารสีแดงมากกว่าการสกัดจากครั้งเม็ดที่เขาเนื้อสีออกไปบ้างแล้ว

วิธีที่สะดวกที่สุดคือใช้น้ำล้างครั้งจากโรงงานทำครั้งเม็ดมาโดยตรงซึ่งได้ผ่านขั้นตอนจากโรงงานที่ได้ไม่ครั้งดิบเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วปล่อยน้ำผสมโซดาแอช 5% โดยน้ำหนักไปชะล้างสีแดงออกจากเม็ดครั้งแช่ทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงแล้วเปิดน้ำทิ้งซึ่งเป็นน้ำสีที่คณะผู้วิจัยนำมาทดลองต่อโดยนำมากรองกากครั้งที่ติดมาออก แล้วนำเข้าเครื่องฉีดพ่นแห้งได้ผงสีแดงเข้ม เบา ซึ่งเป็นผงแห้งที่มีสารสีรวมอยู่กับโซดาแอชและผงแห้งนี้นำมาอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยวิธีเดียวกันกับการทำเม็ดแกรนูลของสารสีจากรากยอป่า และทดลองย้อมฝ้ายพบว่าผลิตภัณฑ์ย้อมสีมีความคงทนต่อการซักและแสงในระดับดี การศึกษานี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการซึ่งควรต้องศึกษาการผลิตในระดับที่มีสเกลใหญ่ขึ้นให้เพียงพอแก่การนำไปใช้ทดลองปฏิบัติจริงในภาคสนาม

4.3.5 การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากครั้ง

ในโครงการวิจัยระยะที่ 2 นี้มุ่งประเด็นมาที่การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้เพียงพอแก่การทดลองใช้สำหรับสีครั้งนั้นมีข้อได้เปรียบตรงที่มีแหล่งของสารสีที่ได้จากโรงงานทำ

ครั้งเกิดในปริมาณที่จะรองรับการผลิตในขนาดใหญ่ได้ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำงานทดลองตามลำดับต่อจากผลการแปรูปที่ได้จากผลการวิจัยระยะที่ 1 ดังนี้

4.3.5.1 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดแกรนูลของสารสีสกัดจากครั่ง

สีจากครั่ง ได้จากการนำน้ำล้างครั่งมาทำ spray dry โดยตรงได้น้ำล้างครั่งจากโรงงานที่อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ จำนวน 80 ลิตร กรองเม็ดครั่งและกาก Na_2CO_3 ที่ใช้ล้างเม็ดครั่งออกเติมน้ำได้น้ำล้างครั่ง 100 ลิตร นำมาเข้าเครื่องฉีดพ่นแห้งใช้เวลา 20 ชั่วโมง ได้ผงสีครั่งรวมกับ Na_2CO_3 ประมาณ 2.3 กิโลกรัม นำสีผงนี้มาทดลองทำสูตรที่เหมาะสมในการอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยทดลอง 3 สูตรใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม ดังสรุปในตารางที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า

ตารางที่ 4.5 การเตรียมเม็ดแกรนูลของผงสีจากครั่งด้วยสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

สูตร เม็ด แกร นูล	ส่วนประกอบ(กรัม)									pH เมื่อ ละลาย	การ ละลาย	ปริมาณ ผงสี/ กรัม แกรนูล (กรัม)
	ผงสี	แป้ง	น้ำ ต่าง (มล.)	น้ำต่างผสม เกลือ แมกนีเซียม 1% (มล.)	Wetting agent	Ferric oxide	ผงสาร ส้ม	ครีมออฟ ตาตาร์	กรด ซิตริก			
1	100	300	-	140	25	-	-	-	-	5.4	++	0.23
2	100	50	10	-	65	5	10	10	-	4.0	++	0.42
3	100	25	10	-	30	2.5	10	-	5	3.3	++	0.56

สูตร 1 มีปริมาณสีต่ำสุดเป็น 0.23 มีน้ำต่างผสมเกลือแมกนีเซียม 1% จำนวน 140 มิลลิลิตร และเติม wetting agent 25 กรัม พบว่า ส่วนผสมผสมได้ง่ายแต่ไม่เกาะตัวเมื่อเติม wetting agent ลงไปการเกาะตัวดีขึ้น เม็ดแกรนูลละลายน้ำได้ดีกว่าเม็ดแกรนูลของสีจากรากยอป่าและมีความเป็นกรดมากพีเอช 5.4

สูตร 2 ใช้แป้งน้อยลงเติมครีมออฟตาตาร์ ferric oxide และเติม wetting agent มากขึ้น สูตรนี้ ต้องใช้น้ำต่าง 10 มิลลิลิตร spray ช่วยเพื่อให้การเกาะตัวจึงจะรัดเป็นตัวนอนได้ ละลายน้ำได้ดีพอๆ กับสูตรที่ 1 แต่ปริมาณเนื้อสีเพิ่มขึ้นเท่าตัว สารละลายมีความเป็นกรดมากขึ้น พีเอช 4.0

สูตร 3 ลดแป้งลงเหลือครึ่งเดียวของสูตร 2 ลด wetting agent ลงประมาณครึ่งหนึ่ง ferric oxide และสารส้มก็ลดลงครึ่งหนึ่งเช่นเดียวกัน ใช้กรดซิตริกแทนครีมออฟตาตาร์ แกรนูลที่ได้ละลายได้ดีพอๆ กับสูตร 1 และ 2 แต่สารละลายมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 3.3 ปริมาณเนื้อมากกว่าสูตร 1 และสูตร 2 คือ มี 0.56 กรัมต่อ 1 กรัมแกรนูล

ผลการทดลองย้อมฝ้ายด้วยสีครั้งทั้ง 3 สูตรโดยใช้ฝ้ายเบอร์ 40/2 ทำความสะอาดโดยต้มกับผงซักฟอกและต้มกับน้ำด่างเหลือ 30 นาทีก่อนนำมาย้อม ส่วนน้ำสีนั้นใช้เม็ดแกรนูลสูตรละ 100 กรัม ละลายในน้ำต่างปูนใสพีเอช 11.0 ปริมาตร 1 ลิตร ต้มฝ้าย 100 กรัม ในน้ำสี 1 ลิตรเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นบิดผึ่งให้แห้ง ชักน้ำเปล่า 1 ครั้ง บิดผึ่งให้หมาดแช่น้ำยา fixing (quaternary ammonium) 1% เป็นเวลา 20 นาทีที่อุณหภูมิปกติ บิดตากให้แห้งแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม บิดตากให้แห้ง ทดสอบคุณภาพความคงทนต่อการซัก แสง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.6 และตัวอย่างของเม็ดแกรนูลของสารสีสำเร็จรูปแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 การย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีสำเร็จรูปจากครั้งสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

สูตร 1 แป้ง 300 กรัม เกลือแมกนีเซียม 1.4 กรัม wetting agent 50 กรัม

สูตร 2 แป้ง 50 กรัม สารส้ม 10 กรัม wetting agent 65 กรัม เหล็กออกไซด์ 5 กรัม

ครีมออฟทาทาร์ 10 กรัม

สูตร 3 แป้ง 50 กรัม สารส้ม 10 กรัม wetting agent 30 กรัม เหล็กออกไซด์ 5 กรัม

กรดซิตริก 10 กรัม



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจาก ช่อม รากยอป่า และครั้ง

ตารางที่ 4.6 การย้อมด้วยน้ำย้อมด้วยสูตรสำเร็จของสีจากครั่ง

สูตรที่	ลักษณะของน้ำย้อมที่ได้	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
			การติดสี	การตกสี	ต่อแสง
1	เกิดสารแขวนลอยขึ้นเร็ว น้ำย้อมสีม่วง แปรจับเป็น ก้อนเมื่อเดือดเติมน้ำต่าง 3 ลิตร แล้วต้มไฟอ่อนๆ ครบ 30 นาที	ม่วงเข้ม 	3	5	3-4
2	ได้น้ำย้อมสีม่วงแดง ละลายเร็วขึ้นการกระจาย ตัวของสีดีต้มเดือดมีการ จับตัวของแป้งน้อย เติมน้ำ ต่าง 3 ลิตร ต้มต่อไฟ อ่อนๆ ครบ 30 นาที	ม่วงอ่อนกว่าสูตร 1 	2-3	5	3-4
3	ได้น้ำย้อมสีม่วงแดง การ กระจายตัวของสีดี ต้มมี การจับตัวของแป้งน้อย เติมน้ำต่าง 3 ลิตร ต้มไฟ อ่อนๆ ต่อจนครบ 30 นาที	ม่วงอ่อน 	3	5	3-4

ผลการทดลองย้อมด้วยน้ำย้อมสำเร็จรูปจากครั่งพบว่าการเติมสารที่จำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมสามารถจะกระทำได้ แต่การใช้แป้งมากๆ มีปัญหาในการต้มและทำให้เมื่อนำมาย้อมแล้วฝ้ายต่าง หากสามารถใช้สารอื่นแทนแป้งได้ก็จะดี ผลการทดลองมีแนวโน้มที่จะสามารถปรุงน้ำย้อมให้ได้สีและความเป็นกรดต่างตามต้องการ เติมน้ำช่วยติดสีแล้วทำแห้งก็น่าจะกระทำได้และพยายามทำให้มีเนื้อสีต่อกรัมมากขึ้นด้วย

4.3.5.2 การเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากครั่ง

ในระยะแรกที่ได้ทดลองเตรียมสูตรสำเร็จจากสีครั่งโดยใช้ผงสีครั่งที่ทำแห้งแล้วด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นแห้ง มาทดลองเตรียมน้ำสีสูตรสำเร็จรูป ทดลองย้อมและทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง(drum dryer) เนื่องจากเครื่อง spray dryer ที่เช่าจากคณะอุตสาหกรรมเกษตรเสีย คณะผู้วิจัยจึงใช้วิธีทำแห้งแบบใหม่โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งปรากฏว่าได้ผลดีเพราะทำได้ไวกว่า และโอกาสที่จะเตรียมน้ำย้อมสำเร็จรูปโดยเติมส่วนผสมอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการย้อมลงไปก็สามารถทำได้

มากกว่าการทำแห้งแบบฉีดพ่นแห้งไม่ต้องกังวลเรื่องการอุดตันของหัวฉีดและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าด้วย ในการทดลองเตรียมสูตรสำเร็จของสารสีย้อมจากครั้งได้สูตรสำเร็จ 2 สูตรดังนี้

ก. สีครั้งสูตร L1 (L แทน Laccaic acid ซึ่งเป็นสารให้สีหลักในน้ำครั่ง)

ส่วนประกอบในสูตร L คือ

ผงสีครั้งทำแห้งแบบ spray dry (มี Na_2CO_3 ปน) 800 กรัม

น้ำต่างปูนใส 3 ลิตร ละลายให้เข้ากันเติมแทนนิน (สกัดจากใบไม้รสฝาด) 110 กรัม

สารส้ม 400 กรัม

ผสมให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบผ้าให้แห้งเติม wetting agent 50 กรัม

การย้อม ทดลองย้อมผ้าฝ้าย (1 ไร่ ประมาณ 100 กรัม) โดยการต้มในน้ำสีอุณหภูมิเกือบเดือด 30 นาที ตักผ้าขึ้นผึ่งให้เย็นแล้วบิดตากให้แห้ง ชักน้ำเปล่า 2 ครั้งแล้วแช่น้ำยา fixing 2% ที่ $40-50^\circ\text{C}$ นาน 20 นาที บิดตากแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ได้ผ้าสีม่วงแดง(รูปที่ 4.8)

การทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูล น้ำสีที่ย้อมผ้าฝ้าย 1 ไร่แล้วเคี่ยวต่อให้เป็นน้ำสีเข้มข้นพอทำแห้งได้ นำกากผงสีจากการกรองครั้งที่ 1 มาละลายเพิ่มในน้ำต่าง 3 ลิตร กรองด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบผ้าให้แห้ง แล้วผสมกับน้ำสีเข้มข้นแล้วเคี่ยวต่อให้งวดพอที่จะทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ใช้อุณหภูมิประมาณ $100-102^\circ\text{C}$ ความเร็วของการหมุนของลูกกลิ้งเป็น 30 Hz และระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตรได้ผงสีแห้งทั้งหมด 285 กรัม นำมาอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยการบดผงแห้งให้ละเอียดผสมกับ 3% cmc แล้วร่อนผ่านตะแกรงละเอียดให้ cmc กระจายทั่วกันรีดผ่านเครื่องบดหมูแบบตัวหนอน อบที่ 60°C ให้แห้ง แล้วบดผ่านตะแกรงคัดขนาดเม็ดแกรนูล ได้ผงสีแดงที่ละลายได้ดีในน้ำ(ตารางที่ 4.7)

ข. สีครั้งสูตร L2

ใช้ผงสีครั้งจาก spray dry 775 กรัม

น้ำต่างปูนใส 4 ลิตร ละลายผงสีให้เข้ากันเติมแทนนิน 90 กรัม

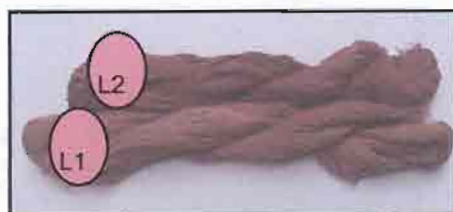
เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ 100 กรัม ผสมให้เข้ากันได้ น้ำสีม่วงแดงคล้ำกรองน้ำสีด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบให้แห้ง

น้ำยา wetting agent 50 กรัม

การย้อม ย้อมผ้าฝ้าย 1 ไร่ (~ 100 กรัม) ตามวิธีเดียวกันกับการย้อม L2 ได้ผ้าติดสีแดงคล้ำ (รูปที่ 4.8)

การทำแห้ง ไม่ได้ทำเพราะเกิดจากผิดพลาดทางเทคนิคน้ำย้อมเสียไป

การคำนวณต้นทุน ค่าผงสีครึ่ง spray dry 800กรัมได้จากน้ำล้างครึ่ง 100 ลิตร คิดเฉพาะค่าขนส่ง จากลำปางเป็นเงิน 100 บาท ค่าสารเคมีที่ใช้ผสมรวมกัน 100 บาท ค่าทำแห้งแบบลูกกลิ้งและอัดเม็ด แกรนูล(ค่าไฟ และน้ำมัน 200 บาท)ได้ผงสีสูตรสำเร็จเม็ดแกรนูล 300 กรัม ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายลงทุนทั้งสิ้น 500 บาท ดังนั้นสูตรสำเร็จเม็ดแกรนูลสีครึ่งสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม = 1,667.00 บาท



รูปที่ 4.8 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครึ่งสูตร L1 และ L2

ตารางที่ 4.7 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากครึ่ง การละลายพีเอชการย้อม ความคงทนของสีที่ย้อมได้และราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม*	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
L1	1,667	ละลายได้เล็กน้อยมีตะกอนปานกลาง 	3.6	ม่วงแดง 	4-5	5	3-4
L2	—	— 	—	แดงคล้ำ 	4-5	5	3-4

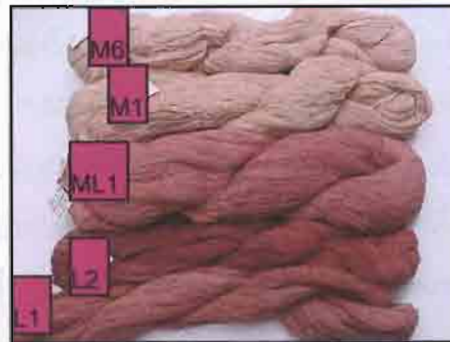
-หมายถึงไม่ได้ทดลองเพราะไม่ได้ทำแห้งสีและไม่ได้อัดเม็ดแกรนูล

* ดูการคำนวณในหน้า115

4.3.5.3 การทดลองผสมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากขมิ้นและครึ่ง

เนื่องจากสีรากขมิ้นย้อมได้สีออกส้มและสีครึ่งออกสีแดงม่วงคณะผู้วิจัยจึงทดลองเอาน้ำย้อมจากรากขมิ้นสูตร M1 ผสมกับสีน้ำย้อมจากครึ่งสูตร L1 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรแล้วทดลองย้อมฝ้ายได้ผลเปรียบเทียบสีที่ย้อมได้ในรูป 4.9 ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการปรับเฉดสีโดยปรับสูตรผสมระหว่างสีที่สกัดจากวัสดุต่างๆ กันในโทนสีร้อนเหมือนกันให้เป็นเฉดสีตามต้องการได้ซึ่งคณะผู้

วิจัยได้ใช้ผลการทดลองนี้ในการปรับปรุงผสมสีย้อมจากวัตถุดิบให้สีต่างๆต่อไป สำหรับฝ้ายที่ย้อมด้วยสูตร ML1 นี้เมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซัก ชัดดูและแสงนั้นพบว่าอยู่ในระดับดีเหมือนเดิม กล่าวคือการทนซักและชัดดูอยู่ในระดับ 5 และการทนแสงอยู่ในระดับ 4 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติจากผู้บริโภค



รูปที่ 4.9 การย้อมฝ้ายด้วยสีจากครั้ง L1 และ L2 สีจากรากยอป่าสูตร M1 และ M6 และผสมครั้งกับรากยอป่าสูตร ML1

4.3.6 การปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้ง

ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปที่ผ่านๆ มานั้นได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการละลาย สีของที่เหมาะสมและผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ว่ามีความคงทนมากน้อยเพียงใดและคัดเลือกเบื้องต้นมาทำการศึกษาแบบเจาะลึกในรายละเอียดของแต่ละสูตรและพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อการขยายขนาดผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป สำหรับการพิจารณานั้นดูแต่ละสีโดยที่สีย้อมที่มีเฉดสีใกล้เคียงกันแต่องค์ประกอบแตกต่างกันจะพิจารณาความจำเป็นและเหมาะสมของแต่ละองค์ประกอบในสูตรน้ำย้อม ความยากง่ายในการเก็บรักษาและการทำเป็นเม็ดแกรนูล การละลายตะกอนที่เหลืออยู่ การย้อม ความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสม ตลอดจนต้นทุนต่อกิโลกรัมของการผลิตเป็นต้น

สำหรับสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้งนั้นในการทดลองที่ผ่านมายังไม่มีย้อมครั้งสด จึงให้ผงสีครั้งที่ทำแห้งแบบ spray dry ที่เตรียมไว้ตั้งแต่โครงการวิจัยระยะที่ 1 มาทดลองเตรียมสูตรสีสำเร็จรูปโดยที่ผงสีครั้งแรกแบบ spray dry นั้นได้จากน้ำล้างครั้งอัดเม็ดที่โรงงาน เตรียมโดยการบดครั้งแล้วล้างสีออกด้วยการเติมโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอชเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เพื่อสกัดสีจากน้ำล้างครั้งอีกครั้งหนึ่ง คณะผู้วิจัยได้นำน้ำสีครั้งจากโรงงานมา 80 ลิตร กรองเอาสิ่งสกปรกที่ปนมาออกพร้อมเติมน้ำล้างสีที่ติดค้างออกจากภาชนะที่กรองทำให้น้ำล้างครั้งทั้งหมดเป็น 100 ลิตร แล้วนำไปจัดพ่นแห้งได้เป็นผงสีแดงเข้ม เบามีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 2,330.30 กรัมจากน้ำล้างครั้ง 100 ลิตร น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักผงสีครั้งผสมกับโซดาแอช ~ 23 กรัมต่อลิตร หรือ 2.3% น้ำหนักต่อปริมาตร สารสีแดงที่เป็นองค์ประกอบหลักในผงสีแห้งคือ กรดแลคเคอิก (Laccaic acid) ซึ่งละลายได้ดีในน้ำต่าง

สารสีแดงจากครั้งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนนและมีการเปลี่ยนแปลงสีตามกรดเบสของสารละลายกล่าวคือ ที่พีเอชต่ำมากๆ ประมาณ 2.5 ลงไปจะตกตะกอนเป็นสีแดง-ส้ม ถึงสีส้มและพีเอช 3-6.5 ตกตะกอนเป็นสีแดง พีเอช 7.2-10.5 ได้สารละลายสีแดงเข้มขึ้นตามลำดับ พีเอช 11.0 ขึ้นไปได้สารละลายสีแดงเข้มแต่ตั้งทิ้งไว้จะตกตะกอนเป็นสีแดง (รายงานการวิจัยระยะที่ 1) นอกจากนี้สีแดงจากครั้งยังเปลี่ยนสีตามชนิดของไอออนโลหะกล่าวคือสีแดงคล้ำถึงดำ (2.5% w/v $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) สีแดงกับสารส้ม (2.5% w/v $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) สีม่วงเทากับจุนสี (2.5% w/v CuSO_4) สีน้ำตาลแดงกับโครเมียม (2.5% w/v $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) และสีม่วงแดงกับแมกนีเซียม (2.5% w/v $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ผลของโลหะที่มีต่อสารสีแดงจากครั้งนี้ใช้ประโยชน์ในการย้อมสีธรรมชาติกล่าวคือนอกจากจะช่วยเปลี่ยนเฉดสีแล้วยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี (mordant) ได้ดีช่วยให้สีย้อมติดทนนาน มีความคงทนต่อการซักขัดถูและแสง คณะผู้วิจัยได้นำสิ่งเหล่านี้มาพิจารณาในการปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูป

ผลการทดลองที่ผ่านมาในรายงานครั้งที่สองนั้นได้ทดลองนำผงสีครั้งที่ได้จากการฉีดพ่นแห้งมาปรุงสูตรสำเร็จได้ 2 สูตร พร้อมกับทดลองย้อมทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลโดยอาศัยข้อมูลข้างต้นมาประกอบคือสูตร L1 และ L2 (L มาจาก Laccaic acid)

4.3.6.1 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L1

ผงสีครั้งทำแห้งแบบ spray dry	800 กรัม
น้ำต่างปูนใส 3 ลิตร ละลายแทนนินสกัด	110 กรัม
สารส้ม	400 กรัม

ผสมองค์ประกอบข้างต้นให้ละลายมากที่สุดแล้วกรองด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบผ้าให้แห้ง เติม wetting agent 50 กรัม ผสมให้เข้ากันแล้วทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 100-120°C ได้ผงสีแห้งทั้งหมด 285 กรัม บดผงแห้งให้ละเอียดแล้วผสมกับ 3% CMC (Carboxyl Methyl Cellulose) เพื่อช่วยการเกาะตัวของผงสีแล้วอัดเม็ดแทนการใช้แป้งหรือแลคโตส แกรนูลผงที่ได้ละลายน้ำได้ปานกลาง มีตะกอนเกิดขึ้นเนื่องจากพีเอชของสารละลายเป็นกรดมากเกินไปคือ 3.6 สีที่ย้อมได้จากน้ำย้อมก่อนทำแห้งเป็นสีม่วงแดง ความคงทนของสีต่อการซักและขัดถูอยู่ในระดับดี-ดีมาก(4-5) แต่ความคงทนของแสงอยู่ในระดับต่ำ (2) ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงคือประมาณ 1,700 บาทต่อกิโลกรัม

4.3.6.2 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L2

ผงสีครั้ง spray dry	775 กรัม
น้ำต่างปูนใส	4 ลิตร

แทนนินสกัด	90 กรัม
แมกนีเซียมคลอไรด์	100 กรัม

ผสมองค์ประกอบให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าเนื้อละเอียด เติมน้ำยา wetting agent 50 กรัม ทดลองย้อมฝ้าย ได้สีแดงคล้ำ (แต่ไม่ได้ทำแห้งเพราะเกิดความผิดพลาดบางประการ) ฝ้ายที่ย้อมได้มีความคงทนต่อการซักและขัดถูดีมาก (5) แต่การทดสอบแสงต่ำ (2)

สรุป ทั้งสองสูตรนี้เป็นน้ำย้อมที่เริ่มจากสีครั้งที่ได้จากการฉีดพ่นแห้งซึ่งในช่วงหลังไม่มีเครื่อง spray dry ใช้และเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง อย่างไรก็ตามทั้งสองสูตรนี้เวลาเตรียมไม่ได้วัดพีเอชของน้ำย้อม เมื่อทำแห้งแล้วมาละลายน้ำพีเอชน้ำย้อมไม่เหมาะแก่การย้อมเพราะเป็นกรดมากไปเกิดตะกอนที่ไม่ละลาย คณะผู้วิจัยจึงไม่พัฒนาสูตรทั้งสองต่อและในรายงานครั้งที่ 3 นี้ได้ทำการปรุงน้ำย้อมสีครั้งใหม่โดยเริ่มจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานครั้งเม็ดโดยตรง

4.3.7 การเตรียมสูตรสีย้อมจากครั้งโดยเริ่มจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานครั้งเม็ด

ได้นำน้ำล้างครั้งที่จากโรงงานทำครั้งเม็ดโดยนำน้ำล้างสีครั้งหลังจากบดก่อนการเติมโซดาแอชมาทั้งหมด 20 ถังๆ ละประมาณ 30 ลิตร ก่อนเก็บเข้าห้องเย็นได้เติมปูนขาวดังละครึ่งกิโลกรัมและสารส้ม 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการบูดเน่าของโปรตีนที่ปนมาแล้วทยอยออกมาปรุงสูตรน้ำย้อมและทำแห้งที่ละถัง

4.3.7.1 สูตรน้ำย้อมสีครั้งสูตร L3

น้ำล้างครั้ง	30 ลิตร
ปูนขาว	500 กรัม
เกลือแกง	1 กิโลกรัม
สารส้ม	1 กิโลกรัม
wetting agent	25 กิโลกรัม

ผสมให้เข้ากันทำแห้งได้ผงแห้ง 2.6 กิโลกรัม คิดเป็นตัวสีประมาณ 100 กรัม ทดลองนำผงแห้งมาละลายน้ำพบว่า ไม่ใคร่ละลายและสีออกมาในสารละลายน้อยมาก ส่วนใหญ่ติดอยู่กับผงที่ไม่ละลายจึงเติมโซดาแอชลงไป 1 กิโลกรัม แล้วกรองหยาบ ผ่านตะแกรงรูถี่ๆ นำน้ำที่ได้มาทำแห้งแล้วลองละลายดูปรากฏว่าละลายได้ดีขึ้นได้น้ำสีแดง แต่ยังมีตะกอนมาก จึงนำผงแห้งทั้งหมดที่ละลายน้ำและเติมโซดาแอชแล้วมากรองละเอียดด้วยถุงผ้าขาวบาง 2 ชั้น ได้น้ำสีขุ่นๆ นำมาทำแห้ง แล้วทดลองละลายพบว่าละลายได้ดีมากจึงทำการปรับสูตรสีย้อมใหม่เป็นสูตร L4

4.3.7.2 สูตรน้ำย้อมสีครั้งสูตร L4

การเตรียมสูตรน้ำย้อมสีครั้งจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโครงการครั้งอัดเม็ด ทำแห้งโดยมีส่วนประกอบของน้ำย้อมคล้าย L3 แต่เติมโซดาแอสไปสกัดสีออกมาในน้ำย้อมและกรองหยาบตามด้วยกรองละเอียดผ่านผ้าขาวบาง และวัดพีเอชของน้ำย้อมก่อนทำแห้งประมาณ 10-11 โดยมีส่วนผสมดังนี้

น้ำล้างครั้งเข้มข้น	30 ลิตร จากโรงงาน
ปูนขาว	650 กรัม
โซดาแอส	500 กรัม
เกลือแกง	1 กิโลกรัม
สารส้ม	1 กิโลกรัม

ผสมให้เข้ากัน กรองหยาบบนตะแกรงถี่ๆ ขจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายออกก่อนแล้วจึงกรองด้วยถุงผ้าเนื้อละเอียด น้ำสีที่ได้มีสีแดงเข้มข้น พีเอชของน้ำย้อมเป็น 10.8 ทำแห้งได้ผงแห้ง 3,400 กรัม คิดเป็นสารสีย้อมประมาณ 150 กรัม

ก. การทดสอบผงสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้งสูตร L4

นำผงสีย้อมมาทดลองละลายน้ำ พบว่าละลายได้ดีในระยะแรกสีบางส่วนจะจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว บางส่วนละลายน้ำออกมาเป็นน้ำสีแดงเข้ม เมื่อคนหรือใช้มือขยี้นานๆ จะละลายได้เกือบหมด กรองกากที่ไม่ละลายออกทิ้งบางส่วนก่อนย้อม วัดพีเอชของน้ำย้อมได้ประมาณ 10.8 ผงแห้งเก็บได้นานไม่เกาะเป็นก้อนเหนียว แต่เพื่อให้เก็บได้นานขึ้นและละลายดีขึ้นได้ทดลองทำเป็นเม็ดแกรนูลซึ่งผงสีจะเกาะกันเป็นก้อนหลวมๆ

ข. การทำผงย้อมสีครั้งเป็นเม็ดแกรนูล

นำผงสีสูตร L4 ที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด เติม CMC 3% โดยน้ำหนักแล้วคนให้เข้ากันดี แล้วสเปรย์น้ำเป็นละอองฝอยๆ ลงบนส่วนผสมคนให้เข้ากันพอขึ้นๆ ทดลองปั้นแล้วโยนเบาๆ ถ้าไม่แตกเป็นผงกระจายก็ใช้ได้ เทลงบนเครื่องแล้งเม็ดแกรนูลที่มีตะแกรงเบอร์ 9 เปิดเครื่องผงสีจะเกาะกันหลวมๆ และถูกเขย่าผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ได้ขนาดเม็ดแกรนูลหรือสีผงเป็นเกล็ดขนาดเท่าๆ กันอยู่บนภาชนะรองรับไว้ นำไปอบที่ 60°C ประมาณ 2-3 ชั่วโมง

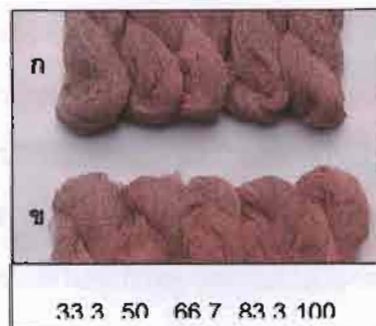
ค. การทดลองย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยผงสีครั้งสูตร L4

4.3.8 การหาความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อม

ในการทดลองย้อมผ้าด้วยสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปนั้นเกิดคำถามขึ้นว่าสีย้อมปริมาณเท่าใด หรือมีความเข้มข้นของสีน้ำย้อมเท่าใดที่ควรใช้ในการย้อม คณะผู้วิจัยได้ทดลองย้อมผ้าที่ทำความ

สะอาดแล้ว และฝ้ายที่ทำความสะอาดและด้อมกับน้ำเต้าหู้ที่มีปริมาณโปรตีน...

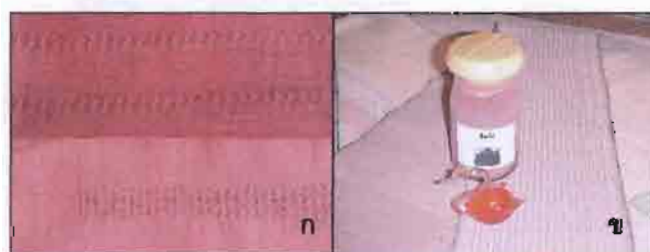
เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในน้ำย้อมที่เตรียมจากปริมาณสีผงต่าง ๆ กันคือ 33.3 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร 50 กรัมต่อลิตร 66.7 กรัมต่อลิตร 83.3 กรัมต่อลิตร และ 100 กรัมต่อลิตร โดยแช่ฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้ว และที่ทำความสะอาดและด้อมน้ำเต้าหู้แล้วอย่างละชุดบิตหมาดและลงย้อมในน้ำย้อมในหม้อสีย้อมความเข้มข้นต่างกัน 5 ความเข้มข้น ด้อมน้ำย้อมอุณหภูมิ 80-90°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วบิตตาก แขน้ำยา fixing ที่เป็น quarternary ammonium ความเข้มข้น 1% v/v เป็นเวลา 30 นาที บิตตากให้แห้งแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่มบิตตากให้แห้งได้ผลดังรูปที่ 4.10



ปริมาณสีผงที่ใช้ (กรัม/ ลิตร)

รูปที่ 4.10 การย้อมด้วยฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้ว (ก) และที่ทำความสะอาดและด้อมกับน้ำเต้าหู้ปริมาณโปรตีน 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 1 ชั่วโมง(ข) ในน้ำย้อมสีครั้งสำเร็จรูปปริมาณต่าง ๆ กัน

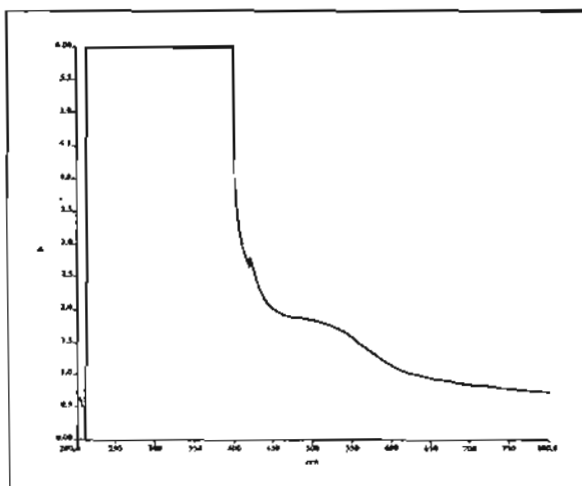
ซึ่งพบว่า ถ้าใช้สีผง 33.3 กรัมต่อลิตรสีจะติดฝ้ายสีอ่อนและเมื่อย้อมในน้ำย้อมที่มีปริมาณสีย้อม 50 กรัมต่อลิตรขึ้นไปจะได้ฝ้ายติดสีเข้มข้นทั้งสองกรณีและเมื่อน้ำย้อมเข้มข้นกว่า 50 กรัมต่อลิตรขึ้นไปก็ไม่ได้ทำให้ติดสีย้อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการย้อมฝ้ายให้ติดสีชมพูเข้มต้องใช้ปริมาณสีครั้งสำเร็จรูปอย่างน้อย 50 กรัมต่อลิตรขึ้นไป ถ้าต้องการสีเข้มกว่านี้ต้องให้วิธีย้อมซ้ำ และถ้าต้องการสีแดงเข้มคณะผู้วิจัย พบว่า จะต้องย้อมฝ้ายหรือผ้าด้วยสีน้ำตาลหรือสีเทาดำก่อนจึงย้อมทับด้วยสีแดงจากสีครั้ง (รูปที่ 4.11) ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้มีความคงทนต่อการซักขัดถูอยู่ในระดับดีถึงดีมาก และความคงทนต่อแสงในระดับดี



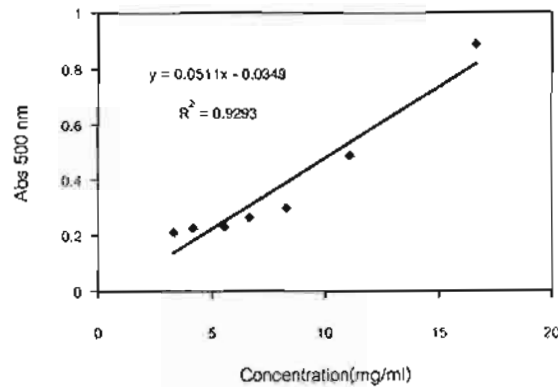
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ย้อมสีครั้งสำเร็จรูปแล้วได้สีแดงเข้มโดยวิธีย้อมทับผ้าที่ย้อมด้วยสีน้ำตาลแล้ว(ก) และตัวอย่างสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้งและผลิตภัณฑ์จากฝ้ายย้อม(ข)

4.3.9 การหาปริมาณเนื้อสีจากครั้งในสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูป

การหาความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อมนั้นทำได้สำหรับสีย้อมสำเร็จรูปที่เตรียมขึ้นแต่ละชุดวิธีที่แน่นอนสำหรับการใช้สีย้อมสำหรับย้อมให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีสีคงที่สำหรับแต่ละสูตรอาจทำได้โดยการหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสำเร็จรูปแต่ละสูตรกล่าวคือเป็นจำนวนกรัมหรือมิลลิกรัมของสารสีต่อกรัมผงสีสำเร็จรูป สำหรับการประมาณค่าของสารสีดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้ทำการสกัดสีจากผงสีสำเร็จรูปที่เตรียมได้จำนวน 100 กรัมด้วยเมทิลแอลกอฮอล์สกัดซ้ำหลายๆ ครั้งจนปริมาณสารสีถูกสกัดออกมาอยู่ในเมทิลแอลกอฮอล์แล้วระเหยออกให้แห้ง นำผงสีมาละลายน้ำต่างปูนใสแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสีในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (400-800 นาโนเมตร) โดยใช้ต่างปูนใสเป็น blank พบว่าได้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร (รูปที่ 4.12) จากนั้นนำผงสีที่สกัดได้มาซึ่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วละลายในต่างปูนใสเตรียมความเข้มข้นต่างๆ เป็น 5 ความเข้มข้น วัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสีกับค่าการดูดกลืนแสงเป็นกราฟมาตรฐาน(รูปที่ 4.13) ในการหาปริมาณสารสีในสูตรสำเร็จรูปนำผงสีมา 0.5 กรัมละลายน้ำต่างปูนใส 10 มิลลิลิตร กรองส่วนที่ไม่ละลายออกแล้วนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานและคำนวณเป็นปริมาณของสารสีจากครั้งในสูตรผงสีย้อมสำเร็จรูป 1 กรัม จากการคำนวณพบว่า ผงสีสำเร็จรูปสูตร L4 1 กรัมมีสารสีจากครั้งอยู่ 25.66 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.12 visible spectrum ของสารสีจากครั้งละลายในต่างปูนใสพีเอช 11.2



รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณสารสีครามสูตร L4

4.3.10 การย้อมไหมและเส้นใยอื่นๆ ด้วยสีครามสำเร็จรูป

นอกจากการย้อมด้วยฝ้ายคณะผู้วิจัยได้ทดลองย้อม ด้วยไหม ด้วยฝ้ายเกลียวสำหรับปัก ด้วยเปลือกไหม ด้วยไหมประดิษฐ์ ผ้าไหม ผ้าฝ้าย เชือกป่านปอ และโครงใบไม้ พบว่าสามารถย้อมได้ติดสีแตกต่างกัน สำหรับด้วยไหมประดิษฐ์จะย้อมยากต้องย้อมซ้ำ 2 ครั้งจึงจะติดสีเข้มเท่ากับอย่างอื่น (รูปที่ 4.14) คณะผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกน้ำย้อมสีครามสูตร L4 เป็นสูตรเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 4.14 ผลิตภัณฑ์ย้อมสีครามสำเร็จรูป L4

4.3.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตสีครามสูตร L4

- สีครามนั้นได้น้ำสีจากโรงงานเป็นน้ำทิ้งที่ไม่คิดค่าใช้จ่ายแต่มีค่าขนส่งจากลำปางมาเชียงใหม่ ตกถังละ 200 บาท (30 ลิตร)

ค่าใช้จ่ายในการผสมต่างและมอร์แดนท์ 200 บาท

ค่าทำแห้งแบบตากกลางแจ้งและทำเม็ดแกรนูล (ค่าไฟและน้ำมัน) 600 บาท

ได้ผงสีสำเร็จรูป 3,400 กรัม

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตสูตรสำเร็จเม็ดแกรนูลสีครั้งสุดท้าย L4 เป็นเงิน 1,000 บาท ได้สีผง 3.4 กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนกิโลกรัมละ 294.11 บาท ซึ่งถ้าทำเป็นสเกลใหญ่ต้นทุนต่อกิโลกรัมจะถูกลงอีกมาก

- ในแง่การใช้ย้อมนั้นน้ำสี 3 ลิตรใช้ย้อมฝ้าย 300 กรัม ใช้ผงสี 100 กรัม ดังนั้นผงสี 1 กิโลกรัม ในน้ำ 30 ลิตร ย้อมด้วยฝ้าย 3 กิโลกรัม ในการคำนวณนี้ใช้ปริมาณน้ำย้อมท่วมด้วยฝ้ายที่จะย้อมไม่ได้ใช้อัตราส่วนมาตรฐาน 1:20 เท่าที่เขาใช้กันซึ่งผลการย้อมไม่แตกต่างกันแต่ประหยัดน้ำสีและผงสี อย่างไรก็ตามยังมีน้ำสีเหลือทิ้งมากหลังย้อม
- ในการย้อมผ้าให้ประหยัดน้ำย้อมและสีติดสม่ำเสมอไม่ต่างน่าจะมีผู้ทดลองย้อมโดยใช้ผ้าที่จะย้อมรีดบนลูกกลิ้งที่มีน้ำย้อมไหลผ่านซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีคุณภาพดีและลดค่าสีย้อมได้มากต้นทุนก็จะต่ำลงอีก

4.3.12 สูตรสีย้อมสำเร็จรูปผสมระหว่างสีครั้งและรากยอป่า

สีสำเร็จรูปจากครั้งสูตร L1 ให้สีม่วงแดงและสีรากยอป่าสูตร M1 ออกแดงส้ม เพื่อให้ได้สูตรน้ำย้อมออกสีแดงอีกเฉดหนึ่ง คณะผู้วิจัยได้ทดลองผสมสีแดงจากครั้งและรากยอป่าเข้าด้วยกัน โดยการทดลองที่ผ่านมาใช้เตรียมสูตรน้ำย้อม ML1 โดย

ใช้รากยอป่าสกัดด้วยเอทานอลระเหยแห้งเป็นสารสกัดเข้มข้น	1 กิโลกรัม
ผงครั้งทำแห้งแบบ spray dry	1 กิโลกรัม
wetting agent	60 กรัม
ละลายในน้ำต่างปูนไอพีเอช 11.8	10 ลิตร

ผสมเข้ากันแล้วกรองด้วยถุงผ้าเนื้อแน่น ทดลองนำน้ำย้อมมา 4 ลิตรย้อมฝ้ายได้สีแดงบานเย็น ที่เหลือ 6 ลิตรทำแห้งแบบลูกกลิ้งได้ผงแห้ง 125 กรัม ผงแห้งละลายน้ำได้ดีมีตะกอนเล็กน้อยแต่ไม่ได้คิดต้นทุนการผลิต สารละลายสีย้อมพีเอช 3.8 ซึ่งยังไม่เหมาะแก่การย้อมฝ้ายต้องปรับสูตรต่อไปโดยต้องให้น้ำย้อมมีพีเอชอยู่ในช่วง 10-11 เพื่อให้เหมาะทั้งย้อมฝ้ายและไหม

การพัฒนาสูตรผสมสำเร็จรูปสูตร ML14 ได้ทดลองนำน้ำย้อมจากรากยอป่าที่พัฒนาแล้วสูตร M1 และน้ำย้อมครั้งสูตร L4 มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้วทดลองทำแห้งโดยก่อนทำแห้งวัดพีเอชของน้ำย้อมสูตรผสมได้เป็น 10.0 ทดลองทำแห้งได้ผงแห้ง 1,400 กรัม ผงแห้งที่ได้ละลายน้ำได้ดีได้น้ำย้อมสีแดงสด ทดลองย้อมผ้าฝ้ายได้สีชมพูเข้ม การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ สูตร ML14 นี้ได้น้ำย้อมที่มีเจดสีแดงอยู่ระหว่างสีแดงของสูตร L4 และ M1 นอกจากนี้ต้นทุนการผลิตจะต่ำกว่าสีแดงสูตร M1 รูปที่ 4.15 แสดงสีผงสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั้งสูตรต่างๆ



รูปที่ 4.15 สีผงสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั่งสูตรต่างๆ

4.4 สรุปผลการพัฒนาการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากรากยอป่าและครั่ง

การพัฒนาการผลิตสีย้อมสีแดงสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั่งนั้นได้ศึกษาปรับปรุงวิธีการตั้งแต่การสกัด ศึกษาสมบัติ ศึกษาวิธีการย้อม ให้สีติดดีและมีความคงทน การแปรรูปเป็นผงแห้งและเม็ดแกรนูลทดสอบการย้อมการละลายและคุณภาพของสีที่ได้นำมาสู่การพัฒนาเป็นสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นในแง่การละลาย การย้อมและคุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงตลอดจนความสะดวกในการใช้และเก็บรักษาและประเมินสูตรต่างๆ ที่ใช้ได้ดีเหมาะที่จะนำมาพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นและใช้ผสมกับสีอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของสีต่อไป

ก. สำหรับสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า นั้น สีสูตร M1 เป็นสูตรที่ใช้ได้ดี ใช้สกัดผงสีจากผงพืชบดด้วย 0.5% Na_2CO_3 ในอัตราส่วน 1:3 (น้ำหนักพืชบดต่อปริมาตรสารสกัด) แช่ไว้ 24 ชั่วโมง กรองน้ำสีออกแล้วสกัดซ้ำอีก 24 ชั่วโมง กรองสารละลายสีที่ได้มารวมกับครั้งแรกแล้วเติมสารส้มลงไป ในสารละลายให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 3%w/v ปรับพีเอชของสารละลายสีย้อมให้อยู่ในช่วง 10-11 โดยใช้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ซึ่งปูนขาวละลายน้ำแล้วเทลงผสมวัดพีเอช) จากนั้นเติมเกลือแกง 2%w/v wetting agent 0.1%w/v กรองส่วนผสมด้วยผ้าเนื้อละเอียดแล้วทำแห้ง นำผงแห้งมาบดละเอียดแล้วเติม 3% CMC ผสมให้เข้ากัน ฉีดน้ำเล็กน้อยพอน้ำเป็นก้อนได้แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ในเครื่องอัดเม็ดแกรนูลอบ 60°C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง

ข. สำหรับสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั่ง สรุปได้เป็นสีสูตร L4 ซึ่งใช้น้ำสีจากโรงงานครึ่งเม็ดมากรองกากออกทิ้ง นำน้ำที่ได้มาเติมโซดาแอช 1.5% w/v เกลือแกง 2% w/v สารส้ม 3% w/v ปรับพีเอชน้ำย้อมเป็น 10-10.5 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เติม wetting agent 0.1%ผสมให้เข้ากันกรองละเอียดอีกครั้งแล้วทำแห้ง ผงแห้งนำมาอัดเม็ดใช้ 3% CMC แบบเดียวกับเม็ดแกรนูลของสีจากรากยอป่า

ค. สูตรผสมรากยอป่าและครั่ง สีสูตร ML 14 ได้จากนำสีจากรากยอป่าสูตร M1 มาผสมกับสีครั่งสูตร L4 ในอัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตรผสมให้เข้ากันปรับพีเอชในช่วง 10-10.5 แล้วทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลแบบเดียวกัน

4.5 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป สูตรสีย้อมธรรมชาติที่เป็นสีแดงจากรากยอป่าและครั้งนั้นเป็นสูตรที่ใช้ได้ดีระดับหนึ่ง สีที่ย้อมฝ้ายและไหมแล้วสียังขึ้นแดงไม่เต็มที่ตามความต้องการของตลาดแบบสีสังเคราะห์ มักจะขึ้นได้แค่ชมพูออกแดง ชมพูส้ม ม่วงแดง ถ้าต้องการปรับปรุงในจุดนี้อาจต้องหาสีโทนร้อนในลักษณะเดียวกันมาผสมเช่นสีส้มจากคำแสดหรือทองกวาว และถ้าต้องการสีมืดอาจจะต้องผสมกับมะเกลือหรือเหล็กออกไซด์หรือสนิมเหล็ก และการละลายยังไม่ดีเท่าที่ควรอาจจะต้องกรองไม่ให้สารส่วนที่เดิมที่ไม่ละลายปนอยู่ในขณะทำแห้งและสารสีแดงมีส่วนที่ไม่ใคร่ละลายน้ำเวลาเตรียมน้ำย้อมอาจจะต้องมีสารช่วยแขวนลอยของคอลลอยด์เช่น CMC และสารที่ช่วยให้การกระจายตัวของเม็ดสีในน้ำย้อมสม่ำเสมอในปริมาณที่พอเหมาะเช่น wetting agent หรือสาร detergent บางชนิด อย่างไรก็ตามการจะทำให้ติดสีเข้มขึ้นนั้นน้ำย้อมอย่างเดียวอาจจะทำให้สีเข้มขึ้นได้ไม่มากพอต้องพัฒนาปรับปรุงเส้นใยที่จะมาย้อมให้สามารถดูดจับสีได้เข้มด้วย

บทที่ 5

การผลิตสีย้อมธรรมชาติสีเหลืองสำเร็จรูป

5.1 วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองและการย้อม

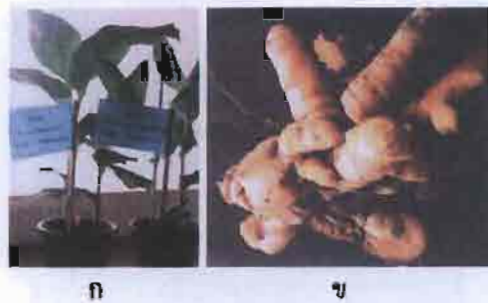
สารสีย้อมสีเหลืองส่วนใหญ่ได้มาจากพืชที่ใช้กันมากในภาคเหนือได้แก่ ขมิ้นใช้ส่วนหัว มีปลูกกันทั่วไป รากยอป่าในสภาพกรดก็ให้สีเหลือง นอกนั้นก็ยังมีเปลือกต้นมะนอด เปลือกต้นจิก แก่นและเปลือกขนุน เปลือกต้นรูกฟ้า มะม่วงป่า เปลือกผลทับทิม เปลือกผลมังคุด เป็นต้น คณะผู้วิจัยได้เลือกขมิ้นเป็นวัตถุดิบให้สารสีเหลืองเพราะมีปริมาณมาก ปลูกง่าย มีอยู่ทั่วไป ระยะเวลาปลูกไม่ยาวนาน ส่งเสริมการปลูกง่ายเมื่อเทียบกับไม้ยืนต้น

วิธีย้อมสีเหลืองจากขมิ้นนั้นจะย้อมร้อนหรือเย็นก็ได้ สารให้สีจากขมิ้นจะแปรตามสภาพกรดต่างขึ้นอยู่กับสารที่เติมเวลาเตรียมน้ำย้อมขมิ้น ถ้าสภาพกรดจะให้สีเหลืองสด สภาพด่างจะให้สีเหลืองแกมน้ำตาล และถ้าใช้ขมิ้นแก่จะให้สีเหลืองเข้ม ขมิ้นอ่อนให้สีเหลืองจาง จากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีจากขมิ้นในเขตภาคเหนือแบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ การเตรียมฝ้าย การเตรียมน้ำย้อมและการย้อม การย้อมขมิ้นที่กิ่งอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูนนั้น นำฝ้ายมาทาบดัมกับน้ำหรือล้างด้วยน้ำสบู่ ผงซักฟอก นำมาดัมในน้ำใบกระถินหรือใบยูคาลิปตัส การเตรียมน้ำย้อมใช้ขมิ้นตำผสมน้ำและเกลือแล้วขยำฝ้ายที่เตรียมไว้กับน้ำย้อม ที่ตำบลท่าตอน อำเภอแม่ฮาด จังหวัดเชียงใหม่ นั้นดัมฝ้ายที่สะอาดกับน้ำใบกระถินแล้วนำมาขยำกับน้ำย้อมที่เป็นขมิ้นตำละเอียดผสมปูนขาวและน้ำ ที่พระบาทห้วยต้ม ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน นำฝ้ายที่ล้างสะอาดแช่น้ำทาบแล้วดัมหรือขยำกับน้ำย้อมที่เป็นขมิ้นตำผสมน้ำ (ให้สีเหลืองอ่อน) ผสมปูนขาว(สีเหลืองเข้ม) ผสมน้ำสกัดจากใบพลู (สีเหลืองส้ม) ส่วนที่ตำบลบ้านปวง กิ่งอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน นำฝ้ายมาแช่น้ำทาบแล้วดัมหรือขยำกับน้ำย้อมที่เป็นขมิ้นบดผสมน้ำมะนาวหรือน้ำมะกรูด(สีเหลืองสด) ผสมเหง้าไพล (ปูเลย)(สีน้ำตาลอมเขียว) อย่างไรก็ตามการย้อมด้วยขมิ้น วิธีการย้อมง่ายแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้สีไม่คงทน มักจะซีดจางเมื่อทิ้งไว้ซึ่งทางคณะผู้วิจัยต้องพยายามหาทางปรับปรุงแก้ไขในจุดนี้

5.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จจากขมิ้น

5.2.1 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้น

ขมิ้น เป็นพืชล้มลุก สูง 30-90 เซนติเมตร มีหัวซึ่งเรียกว่าเหง้าอยู่ใต้ดิน เนื้อในของเหง้าจะมีสีเหลืองเข้มหรือสีแดง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวขมิ้นมีอยู่ 2 ชนิดคือ ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn. หรือ *Curcuma domestica* Veleton) และขมิ้นอ้อย (*Curcuma zedoaria* Rose) (รูปที่ 5.1) ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยเลือกใช้เหง้าขมิ้นชันเป็นพืชตัวอย่างเพื่อศึกษาสารสีเหลืองที่อยู่ในส่วนของเหง้าเพื่อพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป



รูปที่ 5.1 ต้นขมิ้นอ้อยและขมิ้นชัน(ก) และเหง้าขมิ้นชัน(ข)

สารสีเหลืองในเหง้าขมิ้นมีองค์ประกอบหลักเป็น curcumin เมื่อละลายน้ำจะให้สีเหลืองอ่อนและสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อยเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดและละลายได้ดีมากเมื่อน้ำมีสภาพเป็นด่างซึ่งจะได้สีเหลืองอมส้มและเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลถ้าเป็นด่างมากๆ การข้อมสารสีจากขมิ้นนั้นใช้วิธีข้อมร้อน กล่าวคือ เตรียมน้ำข้อมโดยการสกัดสารสีเหลืองจากขมิ้นเติมสารช่วยติดสีเช่นเกลือโซเดียมคลอไรด์ หรือแทนนินสกัดจากพืช ถ้าเติมสารส้มจะทำให้สีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีส้ม การเติมต่างมากน้อยเท่าใด ขึ้นอยู่กับเจดสีที่ต้องการ ถ้าต้องการสีเหลืองสดอาจเติมกรดมะนาว น้ำมะขาม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พีเอชของน้ำข้อมไม่ควรเป็นกรดมากเพราะฝ้ายจะเปื่อย อีกประการหนึ่งหลังจากข้อมแล้วมาซักด้วยผงซักฟอกซึ่งมีพีเอชตั้งแต่ 7 - 8 จะทำให้สีเหลืองที่ข้อมนั้นเปลี่ยนสีไปด้วย คณะผู้วิจัยได้เคยทดลองแปรรูปสารสีจากขมิ้นโดยสกัดสารสีในสภาวะกรดและสภาวะต่างแล้วทำแห้งโดย spray dry แล้วอัดเม็ด แกรนูล พบว่าการสกัดด้วยน้ำด่างจะเก็บได้นานกว่าโดยสีไม่ซีด เมื่อนำมาละลายเตรียมน้ำข้อมและทดลองข้อมฝ้ายและไหมได้สีเหลืองสดได้และความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีแต่ความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับต่ำ(รายงานการวิจัยระยะที่ 1) อย่างไรก็ตามผงสีที่สกัดได้ก็ยังไม่สะดวกต่อการนำไปใช้เท่าที่ควรในการวิจัยระยะที่ 2 คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองเตรียมน้ำข้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นโดยอาศัยข้อมูลข้างต้นเป็นส่วนประกอบ

5.2.2 การเตรียมสีข้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น

จากการทดลองพบว่า ขมิ้นชันจะให้สีเหลืองสด ส่วนขมิ้นชันไมโครมีสีการเตรียมสูตรสำเร็จจากขมิ้นจึงใช้ขมิ้นชันมีหลายสูตรด้วยกันเริ่มจากผงขมิ้นบดแห้งสกัดโดยใส่ถุงผ้าแช่ในน้ำด่างปูนไฮโดรอกไซด์แกง 100 กรัม กรดซิตริก 250 กรัม ต้มแล้วยางและน้ำมันออกมามาก สารละลายเหนียวหนืดทำแห้งไม่ได้จึงต้องทดลองสกัดโดยใช้สารสกัดรากยอป่าด้วยเอทานอลลงไปทำสูตรต่างๆ C1-C4 ต่อมาใช้ผงขมิ้นชันที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาเตรียมน้ำข้อมสูตร C5-C7 ได้น้ำสีขมิ้นที่ทำแห้งได้ไม่เหนียวหนืดใช้สูตรเป็นอักษร C หมายถึง curcumin จากขมิ้น รูปที่ 5.2 แสดงการข้อมฝ้ายด้วยสีจากขมิ้นสูตรต่างๆ และข้อมูลเกี่ยวกับแกรนูลของสูตรสำเร็จจากสีขมิ้นสรุปไว้ในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 ผ้าย้อมสีจากขมิ้นสูตรต่างๆ

5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C1

- ใช้ผงขมิ้นอ้อย 1 กิโลกรัม
- น้ำด่างปูนใสที่สารสกัดแทนนินจากใบยูคาลิปตัส 2 ลิตร
- เติมสารสกัดรากยอป่าในเอทานอล 1 ลิตร
- ละลายแล้วกรองกากออก
- เติมกรดซิตริก 350 กรัม
- นำผ้าย้อม 1 ใจ ได้สีเหลืองอมน้ำตาล
- เคี่ยวให้งวดแล้วทำแห้งแบบลูกกลิ้งได้ผงสีเขียวปนน้ำตาลและมีส่วนที่เป็นยางเหนียวแข็งแต่ละลายน้ำได้ดี ได้ผงแห้งทั้งหมดรวมกัน 955 กรัม
- ทำเม็ดแกรนูลต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัมเป็น 314 บาท

5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C2

- | | | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|
| - ผงขมิ้นบดแห้ง | 2 กิโลกรัม | } ละลายในถุงผ้าแล้วบีบน้ำกรองกากออก |
| - น้ำด่างปูนใสอื่นๆ | 2 ลิตร | |
| - น้ำด่างสกัดแทนนิน | 1 ลิตร | |
- สีรากยอป่าสกัดด้วยอัลกอฮอล์ 1 ลิตร
 - กรดซิตริก 500 กรัม
 - กรองส่วนผสมทั้งหมด
 - น้ำยากันด่าง 100 มิลลิลิตร

- wetting agent 25 กรัม
- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองอมส้ม
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 75 กรัม
- อัตราเม็ดแกรนูลต้นทุนกิโลกรัมละ 2,000 บาท

ข้อสังเกต ได้ผงสีนํ้อย สีที่ย้อมได้ทนแสงได้น้อยกว่าสูตรอื่น

5.2.2.3 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C3

- ผงขมิ้น 3.5 กิโลกรัมละลายในน้ำต่าง 12 ลิตร
- เติมน้ำยอกยอป่าสกัดด้วยอัลกอฮอล์ 6 ลิตร
- กรดซิตริก 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 2 กิโลกรัม
- กรองส่วนผสมทั้งหมดทิ้งกาก
- เติมน้ำ wetting agent 50 กรัม น้ำยากันสีตก 200 มิลลิลิตร
- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองทอง
- เคี่ยวให้งวดทำแห้งได้ผงแห้ง 1,225 กรัม
- อัตราเม็ดแกรนูลคิดต้นทุนต่อกิโลกรัมเป็น 490 บาท

5.2.2.4 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C4

- ผงขมิ้น 4 กิโลกรัมละลายในน้ำต่าง 12 ลิตร
- เติมน้ำยอกยอป่าสกัดด้วยอัลกอฮอล์ 6 ลิตร
- สารส้ม 2 กิโลกรัม
- คนให้เข้ากันแล้วกรองด้วยถุงผ้าเนื้อหนา
- เติมน้ำยากันผ้าต่าง 200 มิลลิลิตร
- เติมน้ำ wetting agent 50 กรัม
- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองเข้ม
- เคี่ยวให้งวดกรองกากที่ไม่ละลายแล้วทำแห้งได้ผงแห้ง 695 กรัม
- อัตราเม็ดแกรนูลคิดต้นทุนต่อกิโลกรัมเป็น 1,007 บาท

หมายเหตุ สูตรเหมือน C3 แต่ C3 กรองครั้งเดียวส่วนสูตร C4 กรองก่อนทำแห้งอีกครั้งหนึ่ง

5.2.2.5 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C5

- ผงขมิ้นอ้อยสดสกัดน้ำมันออกโดยการกลั่นประมาณ 20 กิโลกรัมได้น้ำสี 160 ลิตร
- กรองน้ำสีและผงขมิ้นด้วยถุงผ้าเนื้อหนาเคี้ยวจนปริมาณเหลือ 80 ลิตร
- แบ่งน้ำสีมา 40 ลิตร เติมสารส้ม 2 กิโลกรัม
- ผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม
- กรดซิตริก 1 กิโลกรัม
- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- wetting agent 50 กรัม
- กรองตะกอนแข็งๆ ของผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายออกใช้ถุงผ้าอย่างบาง
- ย้อม ผ้าย 1 ใจ ได้สีน้ำตาลแดงและสีเหลืองทอง
- เคี่ยวให้งวดทำแห้งได้ผงแห้ง 1,205 กรัม
- อัดเม็ดแกรนูลคิดเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมเป็น 1,826 บาท

หมายเหตุ ควรลดสารส้ม

5.2.2.7 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C6

- แบ่งน้ำสีจากการทำ C5 มา 40 ลิตร
- เติมปูนขาว 500 กรัม
- สารส้ม 2 กิโลกรัม
- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- น้ำสกัดสีรากยอป่าด้วยอัลกอฮอล์ 2 ลิตร
- cream of tartar 500 กรัม
- กรดซิตริก 2 กิโลกรัม
- ผลมย้อมผ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองเข้มออกน้ำตาลช้ำแล้วได้สีเหลืองทอง
- คิดเป็นต้นทุนเม็ดแกรนูลต่อกิโลกรัม - บาท

5.2.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C7

- สีขมิ้นอ้อยเข้มข้นชนิดน้ำมันออกแล้ว 3 ลิตร
- รากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 2 ลิตร
- เกลือแกง 500 กรัม
- สารส้ม 500 กรัม
- ปูนขาว 100 กรัม
- wetting agent 25 กรัม
- ผสมย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองส้มเข้มแล้วได้สีส้ม
- เคียวทำแห้งได้ผงสีส้ม 1,745 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปกิโลกรัมละ 287 บาท

หมายเหตุ - ขมิ้นมีน้ำมันปนมากการทำแห้งนั้นจะเป็นยางเหนียวหนืดและได้เป็นก้อนแข็ง

- แก่ได้โดยกลั่นน้ำมันออกโดยใช้ไอน้ำ ขมิ้นอ้อย 200 กิโลกรัม กลั่นน้ำมันออกได้ 1 ลิตร ค่าใช้จ่าย 4,500 บาท มาทำสูตร C5-C7 (มีขมิ้นชันปนอยู่ 40 กิโลกรัม ไม่มีสีเหลืองใช้เตรียมสูตร C8 แบบผสมกับอินดิโก)

ตารางที่ 5.1 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีขมิ้น การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสี และราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม*	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
C1	314	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	3.0	เหลืองอมน้ำตาล	3	3	1
C2	2,000	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	2.8	เหลืองอมส้ม	3	3-4	1 ..

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม*	ลักษณะแถมรูปและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
C3	490	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	2.6	เหลืองทอง 	3	2	1
C4	1,007	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	4.8	เหลืองเข้ม	3	2	1
C5	1,826	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	4.2	เหลืองทอง 	4	1-2	1
C6	-	-	-	เหลืองทอง 	2-3	2-3	1
C7	287	ละลายไม่ได้ มีตะกอนมาก 	5.3	ส้ม 	4	4	1

5.2.3 การปรับปรุงสูตรสีเหลืองสำเร็จรูปจากขมิ้น

ในการทดลองที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้ทดลองเตรียมสูตรน้ำย้อมจากขมิ้นชันหลายสูตรด้วยกัน สูตร C1- C4 ใช้วิธีสกัดจากผงขมิ้นบดแห้งใส่ถุงผ้ามัดปากถุงแช่น้ำต่างปูนใสผสมเกลือแกง 100 กรัม กรดซิตริก 250 กรัม ต้มเดือด น้ำสีที่ได้มีน้ำมันและยางไม่ออกมามากสารละลายเหนียวหนืดทำแห้งไม่ได้ จากนั้นใช้สารสกัดรากยอป่าด้วยเอทานอลลงไปช่วยผสมทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผงที่ได้มีลักษณะเหนียว ทั้งไว้นานเกาะเป็นก้อนแข็ง ละลายน้ำได้ดีแต่มีพีเอชของน้ำย้อมเป็นกรดมากเกินไป คือ พีเอชอยู่ในช่วง 2.6 - 4.8 ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นน้ำย้อมสำเร็จรูป

ต่อมาได้ทำสูตร C5-C7 โดยใช้น้ำสีสกัดจากผงขมิ้นชันที่กลั่นน้ำมันออกแล้วมาปรุงสูตรและทำแห้งได้ผงแห้งไม่เหนียวมาก

องค์ประกอบของน้ำสีขมิ้นสูตร C5 มีดังนี้

- ผงขมิ้นชัน 20 กิโลกรัมกลั่นใส่น้ำมันออกด้วยการกลั่นแบบไอน้ำได้น้ำสีเข้มข้น 160 ลิตร กรองกากผงขมิ้นออกผ่านถุงผ้ากรองน้ำที่ได้มาเคี่ยวจนเหลือประมาณ 80 ลิตร แบ่งน้ำสีมา 40 ลิตร เติมน้ำส้ม 2 กิโลกรัม ผงปูนขาว 500 กรัม กรดซิตริก 1 กิโลกรัม เกลือแกง 1 กิโลกรัม wetting agent 50 กรัม กรองตะกอนที่ไม่ละลายออกด้วยถุงผ้าเคี่ยวให้งวดแล้วทำแห้งได้ผงแห้ง 1,205 กรัม ผงสีสำเร็จรูปที่ได้ละลายน้ำได้ปานกลาง มีตะกอน และน้ำย้อมเป็นกรดมากไปย้อมผ้าได้สีเหลืองทอง ผงแห้งเก็บไว้นานๆ เกาะเป็นก้อนต้องทำการปรับใหม่โดย
- ลดปริมาณน้ำส้มลง
- ลดปริมาณกรดซิตริก
- ลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- wetting agent อาจจะไม่จำเป็น
- การเคี่ยวทำให้เกิดยางเหนียว สีเหลืองจางลงและเข้มข้นตอนมากใช้เวลานานอาจจะต้องปรับลดวิธีการระเหยน้ำออกให้เร็วและใช้เวลาสั้น (ขั้นตอนของโรงงานอุตสาหกรรมใช้วิธีระเหยน้ำออกภายใต้ความดัน)
- การสกัดอาจใช้วิธีแช่น้ำต่างปูนในสผสมโซดาแอชปริมาณเล็กน้อย (0.5% w/v)
- เนื่องจากสีย้อมไม่ทนแสงและมีผู้ทดลองพบว่าการเติมจุนสีอาจทำให้ความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นเล็กน้อยก็อาจนำมาพิจารณาปรับปรุงโดยพยายามใส่จุนสีในปริมาณที่ยอมรับได้

5.2.3.1 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C6

เป็นสูตรทดลองใช้น้ำสีสกัดจากขมิ้นชันด้วยอัลกอฮอล์มาผสมน้ำสีสกัดที่เหลือจากการผสมสูตร C5 เติมน้ำ cream of tartar และเพิ่มกรดซิตริกเป็น 2 กิโลกรัม ย้อมผ้าได้สีเหลืองทองไม่ได้ทำแห้งและไม่ได้วัดพีเอชของน้ำย้อม ผ้าที่ย้อมได้ไม่ทนซักและแสงจึงไม่เลือกมาทำสูตรสีย้อมสำเร็จรูป

5.2.3.2 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C7

สูตร C7 นี้ทดลองใช้น้ำสีสกัดขมิ้นชันเข้มข้นที่ขจัดน้ำมันแล้ว 3 ลิตรผสมกับรากยอบาสกัดอัลกอฮอล์เข้มข้น 2 ลิตร เกลือแกง 500 กรัม สารส้ม 500 กรัม ปูนขาว 100 กรัม wetting agent 25 กรัม ย้อมผ้า 1 ใจ ได้สีเหลืองส้มทนซักดีแต่ทนแสงต่ำมากเคี่ยวทำแห้งได้ผงสีส้ม 1,745 กรัม คิดเป็นต้นทุนกิโลกรัมละ 287 บาท ซึ่งเป็นต้นทุนที่ต่ำ ผงสีที่ได้ละลายไม่ดีมีตะกอนมากพีเอชน้ำย้อม 5.3 ซึ่งในการปรับปรุงต้องวัดพีเอชน้ำย้อมและปรับให้มีพีเอช 8 ขึ้นไปก่อนทำแห้ง

การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นชันให้สีเหลืองสวยแต่สีมีความคงทนต่อแสงต่ำมากซึ่งเป็นสมบัติโมเลกุลของสารสีและยากแก่การปรับปรุง อย่างไรก็ตามก็น่าจะอยู่ในวิสัยที่พอจะทำได้ซึ่งหากมี

โอกาสคณะผู้วิจัยจะปรับปรุงในจุดนี้ต่อไป ในการวิจัยระยะที่ 2 นี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการแสวงหาวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองต่อเพิ่มเติมจากขมิ้น ดังมีรายงานตามลำดับต่อไป

5.3 การหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองเพิ่มเติมจากขมิ้น

ตามที่สีขมิ้นมีปัญหาในเรื่องความคงทนต่อแสงต่ำ คณะผู้วิจัยจึงมองหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสงมากขึ้นทดลองสกัดขมิ้นและทำแห้งเพื่อคัดเลือกไว้สกัดปรุงนํ้าย้อม ทำแห้งและขยายขนาดการผลิตต่อไป

5.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผักเชียงดา

ผักเชียงดาเป็นผักพื้นบ้านทางภาคเหนือ มีผู้นำมาสกัดเพื่อศึกษาสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ถ้าสกัดด้วยเอทานอลจะมีสีเขียวเข้มเพราะมีคลอโรฟิลล์ปนมาก คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองมาสกัดเพื่อย้อมฝ้ายโดยใช้ผักเชียงดาสด 1 กิโลกรัมละ 50 บาท หั่นและนำมาปั่นให้ละเอียดในน้ำกรองได้นํ้าสีเขียวเข้มจึงเติมเกลือแกงและตั้งไฟย้อมฝ้ายได้สีเขียวอมเหลือง เมื่อเติมสารส้มและนํ้าต่างปูนใส่ต้มจะได้นํ้าย้อมสีเหลืองซึ่งเป็นสมบัติของสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ ทดลองย้อมฝ้ายได้สีเหลืองอ่อน สีเข้มขึ้นได้สีเหลืองเข้มขึ้นจนจะเจดกับสีจากขมิ้นจึงได้ทดลองสูตรผสมเป็น G1, G2 ที่ใช้ G เนื่องจากครั้งแรกได้สีเขียว (Green) ผลการทดลองย้อมฝ้ายสูตรสำเร็จจากผักเชียงดาแสดงในรูปที่ 5.3 ส่วนผลการทำเป็นเม็ดแกรนูลสรุปไว้ในตารางที่ 5.2

5.3.1.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G1

- ผักเชียงดาสด 10 กิโลกรัมหั่นละเอียดแล้วปั่นในน้ำเข้มข้นกรองกากออกไปทำสูตร G2
- เติมเกลือแกง 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 800 กรัม
- นํ้ายา wetting agent 25 กรัม
- ผสมแล้วต้มไฟอ่อนๆย้อมฝ้าย 1 ใจได้สีเขียวอ่อน
- เคียววดทำแห้งได้ผงแห้ง 330 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนทำเม็ดแกรนูล กิโลกรัมละ 1,515 บาท

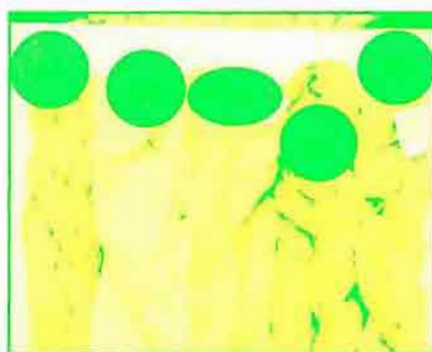
5.3.1.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G2

- กากผักเชียงดาที่กรองจาก G1 ต้มในนํ้าต่าง 50 ลิตร
- เติมนํ้าขาว 100 กรัม
- สารส้ม 1 กิโลกรัม

- เกล็ดแกง 1 กิโลกรัม
- wetting agent 50 กรัม
- กรองกากออก น้ำสีเหลืองข้นต้มฝ่ายได้ดีสีเหลืองข้น
- เคี่ยวจนปริมาณน้ำสีเหลืองครึ่งหนึ่งต้มฝ่ายอีก 1 ใจได้ดีสีเหลืองเข้มข้น (G2.1)
- คิดเป็นต้นทุนทำเม็ดแกรนูล กิโลกรัมละ 488 บาท

ตารางที่ 5.2 เม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา การละลาย พิเศษของสารละลาย สีที่ย้อมได้ และความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสี ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

ชนิดสี	ราคาบาท/กิโลกรัม*	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	พิเศของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
G1	1,515	ละลายเล็กน้อย มีตะกอน 	9.3	เขียวขุ่น 	3-4	5	1
G2	488	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	6.0	เหลืองข้น 	3	5	1



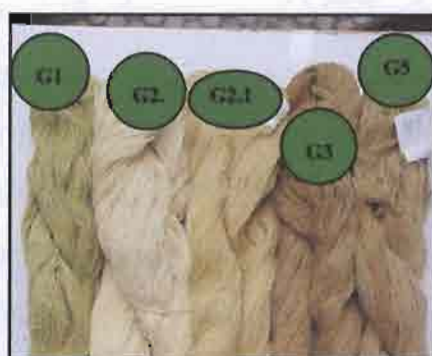
รูปที่ 5.3 ฝ้ายที่ย้อมสีจากผักเชียงดาสูตร G1, G2 และสูตร G2 ที่เข้มข้น 1 เท่า (G2.1)

- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- wetting agent 50 กรัม
- กรองกากออก น้ำสีเหลืองอ่อนต้มฝ้ายได้สีเหลืองอ่อน
- เคี่ยวจนจนปริมาตรน้ำสีเหลืองครึ่งหนึ่งต้มฝ้ายอีก 1 ใจได้สีเหลืองเข้มขึ้น (G2.1)
- คิดเป็นต้นทุนทำเม็ดแกรนูล กิโลกรัมละ 488 บาท

ตารางที่ 5.2 เม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา การละลาย สีของสารละลาย สีที่ย้อมได้

และความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสี ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม*	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
G1	1,515	ละลายเล็กน้อย มีตะกอน 	9.3	เขียวอ่อน 	3-4	5	1
G	488	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	6.0	เหลืองอ่อน 	3	5	1



รูปที่ 5.3 ฝ้ายที่ย้อมสีจากผักเชียงดาสูตร G1, G2 และสูตร G2 ที่เข้มข้น 1 เท่า (G2.1)

5.3.1.3 การตรวจสอบสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา

ผักเชียงดา(*Gymnema inodorum*) เป็นผักพื้นบ้านทางภาคเหนือที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีคลอโรฟิลล์และสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ เตรียมเป็นสูตรสำเร็จ 2 สูตร คือ G1 และ G2 (G= Green เพราะ G1 ให้สีเขียว)

ก. สูตร G1 นั้นสกัดน้ำสีจากผักเชียงดาสด 10 กิโลกรัมหั่นละเอียดแล้วปั่นในน้ำแช่ชั้นกรองกากไปเตรียม G2 นำน้ำที่ปั่นได้มาเติมเกลือแกง 1 กิโลกรัม สารส้ม 800 กรัม wetting agent 250 กรัม ผสมแล้วต้มไฟอ่อนๆ ย้อมผ้าได้สีเขียวอ่อนที่ทนซักดีแต่การทนแสงต่ำมาก สูตร G1 จากผักเชียงดาอาจจะเหมาะสำหรับเตรียมน้ำย้อมสีเขียว ในกรณีที่จะทำสูตรน้ำย้อมสีเหลือง G2 ต้นทุนการผลิตยังสูงอยู่ทำแห้งได้ผงแห้ง 330 กรัม ละลายได้น้อย พีเอชของน้ำสีหลังละลายเป็น 9.3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ การปรับปรุงสูตรนั้น Wetting agent อาจจะไม่จำเป็นแต่ควรลองใส่ Na_2CO_3 ช่วยสกัด (การปรับปรุงต้องรอดูที่ผักชนิดนี้ออก)

ข. สูตรสำเร็จ G2 นั้นใช้กากผักเชียงดาที่กรองจาก G1 ต้มในน้ำต่าง 50 ลิตร เติมน้ำขาว 100 กรัม สารส้ม 1 กิโลกรัม เกลือแกง 1 กิโลกรัม wetting agent ต้มไฟอ่อนๆ 30 นาที แล้วกรองกากออก นำน้ำย้อมมาต้มผ้าได้สีเหลืองอ่อนที่ทนซักแต่การทนต่อแสงต่ำ ทำแห้งผงสีแห้งละลายได้ดีมีตะกอนน้อยแต่พีเอชค่อนข้างเป็นกรดคือ 6 การปรับปรุงสูตรต้องปรับพีเอชน้ำย้อมอย่างต่ำเป็น 8 จึงทำแห้งและอาจลดปริมาณสารส้มลงและ wetting agent อาจจะไม่จำเป็น

หมายเหตุ - การใช้ผักเชียงดาเป็นวัตถุดิบในการเตรียมสูตรสำเร็จของสีย้อมที่เป็นสีเหลืองและสีเขียวอาจจะทำได้แต่ควรปรับปรุงให้มีความทนต่อแสงเพิ่มขึ้นและต้นทุนการผลิตต่ำลง

สรุป สีย้อมจากผักเชียงดานี้ให้สีเหลืองสวย และยังให้สีเขียวสีเหลืองอมเขียวขึ้นกับขั้นตอนการสกัด สามารถปรุงสูตรสำเร็จในการย้อมผ้าได้แต่ความคงทนต่อแสงยังต่ำอยู่ นอกจากนี้ราคาต้นทุนในการสกัดเพื่อย้อมผ้าต่อกิโลกรัมยังสูงอยู่ และผักเชียงดาเป็นผักพื้นบ้านที่พบแล้วว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์สูง จึงน่าจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอาหาร สัมผัสอาหารเพื่อเสริมสุขภาพมากกว่า ซึ่งในการสกัดและทำผงแห้งนี้ก็ต้องมีขั้นตอนการสกัด ที่แตกต่างออกไปจากการใช้เป็นสีย้อมเน้นความปลอดภัยต่อสุขภาพสูงกว่า ทดสอบความเป็นพิษและปริมาณสารสำคัญที่น่าจะใช้ประโยชน์ในการเสริมสุขภาพได้ เป็นต้น คณะผู้วิจัยจึงไม่ปรับปรุงต่อในแง่สีย้อมผ้าและพยายามมองหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองเพิ่มเติมต่อไป

5.3.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด

5.3.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมะกรูด

มะกรูด มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Leech Lime , Kaffier Lime และชื่อ

ทางพฤกษศาสตร์คือ *Citrus hystrix* Linn. ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae ลักษณะทั่วไปคือ เป็นไม้ยืนต้น สูง 3 - 10 เมตร ลำต้นเนื้อแข็งผิวเปลือกต้นเรียบ ต้นและกิ่งจะมีหนามยาว แหลมคม ใบคล้ายใบไผ่มาต่อกัน ท่อนแรกสั้นกว่าท่อนปลายสีเขียวเข้ม มีกลิ่นน้ำมันหอม ดอก มีขนาดเล็ก สีขาว คล้ายดอกมะนาว กลิ่นหอม ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร มีผิวขรุขระ (รูปที่ 5.4) รสเปรี้ยวเปลือกผลมีน้ำมันหอมระเหย สีเขียวเข้มไปจนถึงเขียวอมเหลือง ผิวเปลือกผลเมื่อนำมา สกัดด้วยน้ำร้อนหรือเอธานอลและทำให้เป็นผงจะได้สีสกัดเป็นสีเหลืองเข้ม



รูปที่ 5.4 ใบและผลมะกรูด

5.3.2.3 การสกัดสารสีเหลืองออกจากเปลือกผลของมะกรูด

นำผลมะกรูดสดมาปอกแยกเก็บเฉพาะส่วนของผิวเปลือกผลและปั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยเครื่องปั่นบดละเอียด ได้ผิวเปลือกผลทั้งหมดจำนวน 1,657 กรัม หากนำไปอบแห้งจะได้น้ำหนักของผิวเปลือกแห้งประมาณ 24.32 % ของน้ำหนักสด

ทำการสกัดผิวเปลือกผลมะกรูดด้วยเอธานอลจำนวน 8 ลิตรโดยวิธีการ reflux จนได้น้ำยาสกัดตอนท้ายๆ สีซีดจางจึงสิ้นสุดการสกัด

รวมน้ำยาสกัดเอธานอลที่ได้ทั้งหมดเข้าด้วยกันและระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ จะได้น้ำยาสกัดเข้มข้นที่มีสภาพเป็นของเหลวและมีตะกอนดำ ทำการกรองแยกตะกอนดำทิ้งไปจะได้น้ำยาสกัดเอธานอลเข้มข้นที่ผ่านการกรองแล้วมีสีเหลือง

5.3.2.3 การแยกหาสารประกอบหลักสีเหลืองจากน้ำยาสกัดเอธานอลของผิวเปลือกผลมะกรูด

การตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของน้ำยาสกัดเอธานอล

ก. เมื่อหยดด้วยน้ำยาด่าง dil. NaOH ⁽¹⁾ น้ำยาสกัดเอธานอลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

ข. ทำการทดสอบด้วยปฏิกิริยา Cyanidin's test ⁽²⁾ โดยนำน้ำยาสกัดเอธานอลที่ได้มาระเหย

1. Robinson, T (1980) : The Organic Constituents of Higher Plants, Their Chemistry and Interrelationships, 4th Edn , Cordus Press, USA , p. 214.

2. Farnsworth, N. R. (1966) : Biological and Phytochemical Screening of Plants ,J. Pharm. Sci., 55(3), p.263.

ให้แห้งและละลายในเมธานอลอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นต้มกับลวดแมกนีเซียมในถ้วยระเหยแห้ง ตามด้วยการหยดกรดเกลือเข้มข้นจำนวน 2-3 หยด พบว่าปฏิกิริยาทดสอบจะให้ผลบวกเป็นสีแดงอมม่วง ผลของการทดสอบทั้งสองวิธีบ่งชี้ให้ทราบว่าองค์ประกอบหลักในน้ำยาสกัดเข้มข้นเอธานอลนี้เป็นพวงสารประกอบ Flavonoid ชนิด Flavanone

5.3.2.4 การแยกสารประกอบหลักสีเหลืองให้มีความบริสุทธิ์

ก. การกำจัดน้ำตาลอิสระออกจากน้ำยาสกัดเข้มข้นเอธานอล

วิธีการมีรายละเอียดดังนี้ ใช้คอลัมน์ทรงกระบอกแก้วขนาด 45 X 2.5 ซม. บรรจุด้วย Resin Diaion - HP - 20 จำนวน 50 กรัม จากนั้นผ่านน้ำยาสกัดเข้มข้นเอธานอลซึ่งผ่านการกรองแยกตะกอนดำออกไปแล้วลงไปในคอลัมน์และชะล้างด้วยน้ำกลั่นหลายครั้งจนกระทั่งตรวจสอบน้ำยาชะที่ได้ครั้งหลังสุดว่าปราศจากน้ำตาลอิสระ* แล้วจึงชะด้วยเมธานอล เก็บรวบรวมน้ำยาชะเมธานอลทั้งหมดเข้าด้วยกันและนำไประเหยให้เข้มข้น ต่อจากนั้นจึงสกัดอีกครั้งด้วยอะซีโตนร้อนๆและนำน้ำยาสกัดแอซีโตนที่ได้ไประเหยให้เข้มข้น

ข. การแยกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์

วิธีการมีรายละเอียดดังนี้ ใช้คอลัมน์ทรงกระบอกแก้วขนาด 45 X 2.5 ซม. บรรจุด้วยตัวดูดซับ Silica gel 60 จำนวน 50 กรัมแช่ในอะซีโตน นำน้ำยาสกัดอะซีโตนเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาบรรจุลงในคอลัมน์และชะออกมาด้วยน้ำยาผสมของ อะซีโตน / เมธานอล ในอัตราส่วน 95 : 5 จะได้น้ำยาชะมีสีเหลือง ทำการชะติดต่อกันไปเรื่อยๆจนกระทั่งน้ำยาชะที่เก็บได้ตอนท้ายไม่มีสี นำน้ำยาที่ได้ทั้งหมดรวมกันและนำไประเหยให้เข้มข้น ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน จะมีตะกอนสีเหลืองตกลงมานอนกัน พบว่าตะกอนสีเหลืองที่ได้นี้มีน้ำหนักเท่ากับ 1.22 กรัม

ค. การทำให้สารประกอบหลักสีเหลืองมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น

นำตะกอนสีเหลืองที่ได้จาก ข้อ ข. มาละลายให้หมดในอะซีโตนร้อน และตั้งทิ้งไว้ในตู้เย็นข้ามคืน จะได้ตะกอนสีเหลืองของสารประกอบหลักตกลงมานอนกัน กระทำการตกตะกอนแบบนี้ซ้ำๆ ด้วยวิธีการเดิมจนได้สารประกอบหลักสีเหลืองที่มีความบริสุทธิ์ซึ่งทราบได้จากการตรวจสอบและยืนยันความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง (Silica gel ; อะซีโตน / เมธานอล ; 95 : 5)

5.3.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักสีเหลือง

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักสีเหลืองซึ่งทราบว่าเป็นสารประกอบเคมีกลุ่ม Flavonoid ชนิด Flavanone จากการทดสอบทางเคมีเบื้องต้นนั้น กระทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทาง Spectroscopy ดังนี้คือ

ก. การวิเคราะห์ด้วย Ultraviolet - visible spectroscopy

*การตรวจสอบน้ำตาลอิสระนั้นใช้ปฏิกิริยาของ Benedict's test

ข. การวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry

ค. การวิเคราะห์ด้วย ^1H Nuclear Magnetic Resonance

ง. การวิเคราะห์ด้วย ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance

ผลการวิเคราะห์ของ Spectroscopy ทั้งสี่มีดังต่อไปนี้

ก. สารประกอบหลักสีเหลือง Flavanone ให้ค่าการดูดกลืนคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต สูงสุดจำนวน 2 ค่า ที่ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 283 และ 325 นาโนเมตรในตัวทำละลายเมทานอล และให้ลักษณะของ Spectrum เป็นลักษณะเฉพาะของ Flavonoid (รูปที่ 5.5) และให้ช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนอยู่ในช่วงการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของ Flavonoid ชนิด Flavanone คือ 250 - 300 นาโนเมตร⁽³⁾

ข. สารประกอบหลัก Flavonoid ชนิด Flavanone นี้แสดงค่าของ Mass spectrum ด้วยค่า Molecular ion ($\text{M} - \text{H}^+$) ที่ m/e เท่ากับ 609 (รูปที่ 5.6)

ดังนั้นค่าของน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบหลัก Flavanone นี้มีค่าเท่ากับ 610 ฉะนั้นสารประกอบหลัก Flavanone นี้จะมีโมเลกุลของน้ำตาลอยู่ในโครงสร้าง ทั้งนี้พบ Fragment ที่มีค่า m/e เท่ากับ 301 (302) กับ 325 (326) ซึ่งตรงกับค่าน้ำหนักโมเลกุลของ Hesperetin และน้ำตาล Rutinose⁽⁴⁾ ตามลำดับ จึงคาดว่าสารประกอบหลักนี้คือ Hesperidin

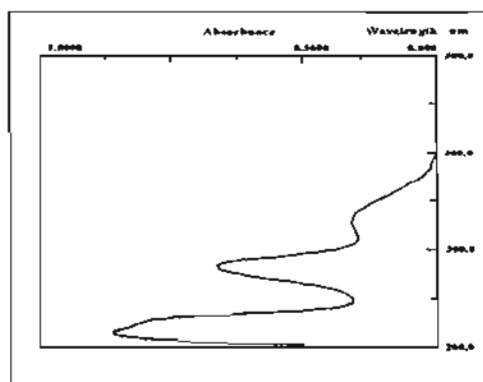
ค. สารประกอบหลักสีเหลืองแสดงฟีกของค่า Chemical Shift ของ ^1H ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้าง ดังรูปที่ 5.7 โดยเฉพาะฟีกที่แสดงถึงกลุ่ม ^1H ของหมู่ น้ำตาลที่ค่า Chemical shift ช่วง 3.11-3.61 ppm. ค่า Chemical shift ของตำแหน่ง ^1H มีดังต่อไปนี้⁽⁵⁾

ค่า Chemical shift (ppm)	ตำแหน่งของ ^1H
1.08	CH_3 (ของ Rhamnosyl)
2.78	H- 3
3.11 - 3.61	Sugar proton (Rhamnoglucosyl)
3.76	$\text{OCH}_3 - 4'$
4.51	H- $1''$ (Rhamnosyl)
4.95	H- $1''$ (Glucosyl)
5.47	H- 2
6.10	H- 6
6.12	H- 8
6.90	H- $5'$
6.92	H- $2'$
6.94	H- $6'$
12.00	OH- 5

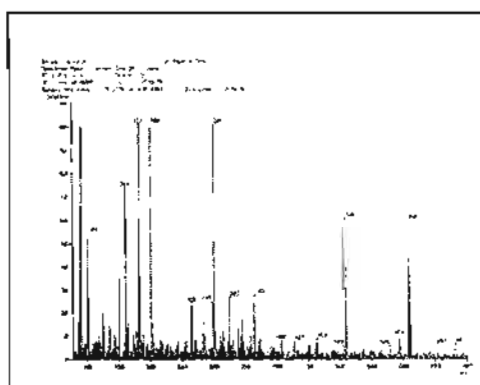
ง. สารประกอบหลัก Flavanone แสดงฟีกของค่า Chemical Shift ของ ^{13}C ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้างหลัก ดังรูปที่ 5.8 คือต่อไปนี้⁽⁶⁾

ค่า Chemical shift (ppm)	ตำแหน่งของ C ¹³
17.79	C-6 ^{''}
42.014	C-3
55.659	OCH ₃
66.000	C-6 [']
68.269	C-5 [']
69.558	C-3 [']
70.230	C-2 [']
70.664	C-4 [']
72.032	C-4 ^{''}
72.957	C-2 ^{''}
75.467	C-5 ^{''}
76.238	C-3 ^{''}
78.325	C-2
95.504	C-8
96.342	C-6
99.418	C-1 [']
100.564	C-1 ^{''}
103.284	C-10
112.027	C-5 [']
114.114	C-2 [']
117.893	C-6 [']
130.878	C-1 [']
146.433	C-4 [']
147.927	C-3 [']
162.450	C-9
162.996	C-5
165.099	C-7
196.959	C-4

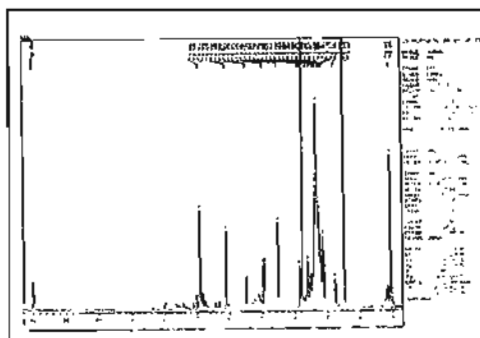
-
- Harborne, J.B. ; T.J. Mabry and Helga Mabry (1975) : The Flavonoids , Part 1 , Academic Press, USA , p. 50-51.
 - Stecker , P.G. et al (1968) : The Merck Index ; An encyclopedia of Chemical and Drugs , 8th Edn, Merck & Co . Inc , USA , pp. 525 , 926 .
 - Mabry , T.J. ; K.R. Markham and M.B. Thomas (1970) :The Systematic Identification of Flavonoids, Springer-Verlag , USA , p. 260 , 333.
 - Markham , K.R. and V.M. Chari (1982) : Carbon-13 NMR Spectroscopy of Flavonoids ; The Flavonoids : Advances in Research , Ed. By J.B. Harborne and T.J. Mabry , Chapman and Hall Ltd., London , UK . P.88.



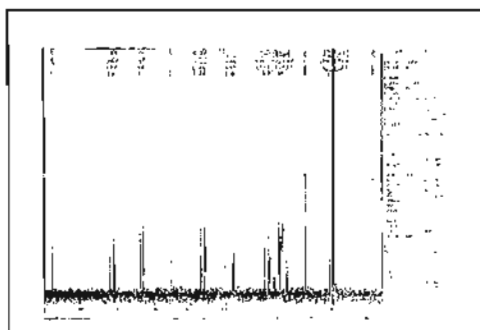
รูปที่ 5.5 UV spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลายเมทานอล



รูปที่ 5.6 Mass spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองเมื่อวัดด้วย FAB
negative ion mode ; ($M-H^+$)



รูปที่ 5.7 1H NMR spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลาย DMSO



รูปที่ 5.8 ^{13}C NMR spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลาย DMSO

5.3.2.6 สรุปผลการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบหลักสีเหลือง

จากข้อมูลของการตรวจสอบทางเคมีและวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีสรุปได้ว่า

ก. การตรวจสอบทางเคมีด้วยการทดสอบ Cyanidin's test พบว่าสารประกอบหลักสีเหลืองนี้คือ สารประกอบ Flavonoid ชนิด Flavanone

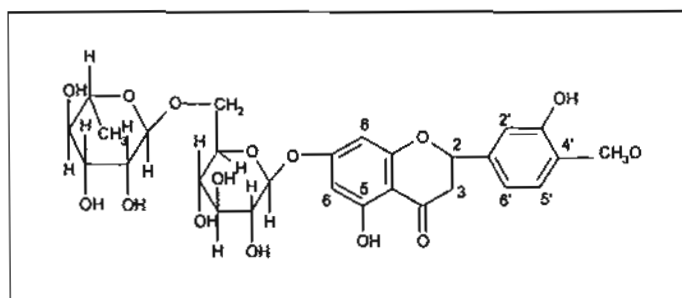
ข. การวิเคราะห์ด้วย Ultraviolet - Visible spectroscopy พบว่าสารประกอบหลักสีเหลืองนี้มีการดูดกลืนคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่น 283 และ 325 นาโนเมตรเมื่อละลายในเมทานอลและให้ลักษณะของสเปกตรัมเป็นลักษณะเฉพาะของสาร Flavonoid ชนิด Flavanone ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในข้อ 1.8.5.1

ค. การวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry พบว่าสารประกอบหลักสีเหลืองนี้มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 610 และคาดว่าสารประกอบนี้คือ Hesperidin

ง. การวิเคราะห์ด้วย ^1H Nuclear Magnetic Resonance พบว่าสเปกตรัมที่ได้คือสารประกอบ Flavanone glycoside ซึ่งแสดงพิกของ หมู่น้ำตาล Rutinose (Rhamnoglucosyl) และตำแหน่งโปรตอนตรงกับโครงสร้างของ Hesperidin

จ. การวิเคราะห์ด้วย ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance พบว่าตำแหน่งของ ^{13}C ของโครงสร้างหลักตรงกับโครงสร้างของ Hesperidin

ดังนั้นจึงสรุปจากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นนี้ได้ว่าสารประกอบหลักสีเหลืองที่มีอยู่ในส่วนของผิวเปลือกผลมะกรูดนี้คือสาร Hesperidin มีสูตรโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลคือ $\text{C}_{28}\text{H}_{34}\text{O}_{15}$ และมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 โครงสร้างทางเคมีของ Hesperidin ซึ่งเป็นสารสีเหลืองในส่วนของผิวเปลือกผลมะกรูด

5.3.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด

นำผิวมะกรูดที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกรูดออกแล้วพบว่ามะกรูด 400 กิโลกรัม นำผิวมะกรูดมากลั่นน้ำมันออกได้น้ำมัน 5 ลิตร ได้น้ำมะกรูดเข้มข้น 65 ลิตร ทดสอบการเติมกรดสีเหลืองอมเขียวจางๆ แต่เมื่อเติมต่างจะให้สีเหลืองสดซึ่งเป็นสมบัติของสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีผู้พบอยู่ในผิวมะกรูด คณะผู้วิจัยได้นำผิวมะกรูดส่วนหนึ่งไปอบแห้งเพื่อสกัดด้วยเมทานอล แยกและวิเคราะห์องค์

ประกอบหลักทางเคมีเพื่อศึกษาและหาโครงสร้างของสารสีฟลาโวนอยด์ในมะกรูด ส่วนน้ำที่เหลือได้ทดลองนำมาเตรียมสีเหลืองจากมะกรูดตามสูตรสำเร็จและทดลองย้อม เนื่องจากให้สีเหลืองที่เดียวจึงใช้สูตรเป็น Y โดยก่อนหน้านั้นมีการย้อมสีจากไฟลใช้สูตร Y1 เพกาสูตร Y2 แก่นขนุนสูตร Y3 และ Y mix สูตรผสม (Y1,Y2 และ Y3) จากทดลองย้อมพบว่าสีไม่คงทนจึงไม่ได้ทำแห้ง ต่อมาพบสีจากผิวมะกรูดจึงทำแห้งและเริ่มจากสูตร Y4 และ Y5 ได้ทดลองย้อม ผลการย้อมสีจากผิวมะกรูดแสดงในรูปที่ 5.10 และตารางสรุปผลของแกรนูลสีสูตรเสร็จ Y4 และ Y5 แสดงในตารางที่ 5.3

ก. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผิวมะกรูดสูตร Y4

- สีจากผิวมะกรูดกลั่นน้ำมันแล้วจากมะกรูดประมาณ 5,000 ผลหรือ 200 กิโลกรัม บดและกลั่นน้ำมันออกได้ 2.5 ลิตร ผู้กลั่นขายน้ำมันลิตรละ 2,000 บาท ราคา มะกรูด 2,000 บาท ค่าปอก, ปั่นและกลั่น 1,000 บาท
- น้ำสีที่ได้พร้อมกากซึ่งบีบน้ำสีออกจากกากแล้วได้น้ำสีเข้มข้นประมาณ 35 ลิตร
- แบ่งน้ำสีมา 4 ลิตรเติม wetting agent 50 กรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- เกลือแกง 500 กรัม
- กรดซิตริก 100 กรัม
- นำน้ำสีมาอีก 2 ลิตร เติมน้ำขาว 200 กรัม ผสมให้เข้ากันจะได้น้ำสีเหลืองสดเป็น paste เละๆ เเทลงในน้ำสี 4 ลิตรที่ผสมแล้ว กวนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน กรองกากที่ไม่ละลายบางส่วนที่จับเป็นก้อนเล็กด้วยกระชอนมีรูถี่ๆ ทั่วกาก
- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจได้สีเหลืองอ่อนออกครีม
- เคี่ยวในหวดได้ผงแห้ง 1,375 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนเม็ดแกรนูลสีสูตร Y4 กิโลกรัมละ 582 บาท

ข. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผิวมะกรูดสูตร Y5

- ส่วนผสมส่วนใหญ่เหมือนเดิมยกเว้นเกลือแกงและกรดซิตริกไม่เติมและใช้น้ำสีทั้งหมด 8 ลิตร
- เติมสารส้ม 100 กรัมในน้ำสี 6 ลิตร wetting agent 50 กรัม คนให้ละลาย
- น้ำสี 2 ลิตรผสมปูนขาว 200 กรัมคนให้เข้ากันเป็น paste เละๆ สีเหลืองสดแล้วเทลง

ในน้ำสี 6 ลิตร ผสมให้เข้ากันกรองกากบางส่วนทิ้งด้วยกระชอนรูถี่ๆ ได้น้ำสีเหลืองทอง ย้อมผ้า 1 ผืนได้สีเหลืองทอง ชักแล้วสีเหลืองอ่อนออกครีม

- เคียวให้หวดทำแห้งได้ผงแห้ง 640 กรัม

- คิดเป็นต้นทุนทำเม็ดแกรนูลสีสูตร Y5 กิโลกรัมละ 1,400 บาท



รูปที่ 5.10 ผ้ายที่ย้อมด้วยสีสูตร Y4 และ Y5 จากผิวมะกรูด

ตารางที่ 5.3 เม็ดแกรนูลของสีจากผิวมะกรูด การละลาย สีของน้ำสี การย้อม ความคงทนของสีที่ย้อมได้

และต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	ลักษณะแกรนูลและการละลายน้ำ	สีของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การซีดสี	การตกสี	ทนแสง
Y4	582	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	8.1	เหลืองอ่อนออกครีม 	4	4	1-2
Y5	1,400	ละลายปานกลาง 	7.2	เหลืองอ่อนออกครีม (ไม่มีรูป)	4	4	1-2

ในการเตรียมสีสูตร Y6 และ Y7 นั้นเตรียมจากผิวมะกรูดที่กลั่นน้ำมันออกแล้ว ใช้มะกรูด 10,000 ผล ปลอกผิวเปลือกมากลั่นน้ำมันออกได้ 5 ลิตร น้ำและกากเมื่อกรองบีบน้ำสีได้น้ำสีเข้มข้น 65 ลิตร แบ่งทำสูตร Y6 35 ลิตรและสูตร Y7 30 ลิตรแต่ไม่ได้ทดลองย้อม สูตรใหม่นี้ได้ปริมาณผงสีค่อนข้างมากผลเปรียบเทียบยังเติมลงในตารางไม่ได้ การผสมสูตรทำดังนี้

ค. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผิวมะกรูดสูตร Y6

- น้ำสีจากผิวมะกรูด 35 ลิตร
- เกลือแกง 1.5 กิโลกรัม
- สารส้ม 600 กรัม
- wetting agent 50 กรัม
- ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการกวน
- แบ่งมา 6 ลิตรใส่ปูนขาว 600 กรัม ผสมให้เข้ากันเป็น paste เละๆ แล้วเทคืนในหม้อน้ำสี กวนให้ส่วนผสมเข้ากันดี
- กรองกากบางส่วนที่มีสีเกาะอยู่ออกด้วยกระชอนมีรูถี่ๆ แยกตะกอนทำแห้งต่างหากเป็นสูตร Y6.1 ซึ่งมีปูนขาวปนมาก ได้ผงแห้ง 980 กรัม

ง. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผิวมะกรูดสูตร Y7

- ใช้น้ำสี 20 ลิตร เคี้ยวให้งวดจนปริมาตรเหลือ 15 ลิตร
- เติมสารส้ม 600 กรัม
- wetting agent 150 กรัม
- เกลือแกง 1.5 กิโลกรัม
- ผสมให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- แบ่งส่วนผสมมา 2 ลิตรเติมปูนขาว 200 กรัมกวนให้เข้ากันเป็น paste สีเหลืองเละๆ แล้วเทคืนหม้อน้ำสีกวนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำแห้งโดยไม่กรองได้ผงแห้ง

5.3.2.8 การปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด

สารสีฟลาวาโนนที่สกัดได้จากผิวมะกรูดจะให้สีเหลืองในต่างซึ่งเป็นข้อดีของการเตรียมสีย้อมธรรมชาติที่ให้สีเหลืองเนื่องจากสารสีเหลืองจากแหล่งธรรมชาติอื่นๆ เช่น แก่นขนุน ขมิ้น ดอกดาวเรือง และแก่นเช้ ต้องการความเป็นกรดจึงจะให้สีเหลืองนวลสวย อย่างไรก็ตามสารสีเหลืองจากผิวมะกรูดก็ยังมีความทนแสงต่ำเช่นเดียวกับสารสีเหลืองในธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งเป็นสมบัติโมเลกุลของสารสีเองที่ต้องหาทางปรับปรุงต่อไป

ในผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างแต่ไม่เหมาะจะให้ปนอยู่กับน้ำสีสกัดเนื่องจากมีปัญหาการเกาะเป็นก้อนแข็งเวลาเก็บนานๆ คณะผู้วิจัยได้ทำการสกัดน้ำมันจากผิว

มะกรูดผลใหญ่ 5,000 ผลด้วยไอน้ำกลั่นน้ำมันออก 5 ลิตร ได้น้ำส้มมะกรูดเข้มข้น 65 ลิตร ทดสอบโดยการเติมกรดได้สีเหลืองอมเขียวจางๆ แต่เมื่อเติมด่างจะให้สีเหลืองสดซึ่งเป็นสมบัติของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ตามที่ได้ศึกษาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงนำน้ำมันมะกรูดเข้มข้นนี้มาปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปและเนื่องจากเน้นสีเหลืองจึงให้สูตรเป็น Y โดยก่อนหน้านี้ได้มีการเตรียมสีเหลืองจากโพลีสไตร Y1 เพกาสูตร Y2 แก่นขนุนสูตร Y3 และ Ymix เป็นสูตรผสมของ Y1, Y2 และ Y3 ซึ่งสีเหล่านี้ไม่คงทนจึงไม่ทำแห้ง เมื่อผู้วิจัยพบสีเหลืองจากผิวมะกรูดจึงเริ่มทดลองปรุงสูตรสีย้อมจากผิวมะกรูดสูตร Y4, Y5, Y6 และ Y7 และทำแห้ง น้ำสีผิวมะกรูดสูตร Y4 ทำแห้งผงแห้งละลายได้ดีในน้ำ พีเอชน้ำย้อม 8.1 ทดลองย้อมฝ้ายได้สีเหลืองอ่อนออกครีม ทนซักแต่การทนแสงต่ำ ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม 582 บาท ส่วนสูตร Y5 ผงแห้งที่ละลายน้ำมี พีเอชต่ำกว่าคือ 7.2 และต้นทุนการผลิตสูงกว่าสูตร Y4 น้ำย้อมสูตร Y4 และ Y5 ยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื้อสียังน้อย คณะผู้วิจัยจึงลองสูตรใหม่เป็นสูตร Y6 และ Y7 ซึ่งมีเนื้อสีมากขึ้น มีส่วนผสม คือ น้ำสีจากผิวมะกรูดกลั่นน้ำมันแล้ว 35 ลิตร เกลือแกง 1.5 กิโลกรัม สารส้ม 600 กรัม wetting agent 50 กรัม ปูนขาว 600 กรัม ผสมให้เข้ากันกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ และทำแห้งได้ผงแห้ง 4.07 กิโลกรัม

ทดสอบสูตร Y6 ละลายน้ำได้ดีแต่มีตะกอนปูนขาวมาก นำผงแห้งมาปรับสูตรใหม่ โดยนำผงสี Y6 มา 2 กิโลกรัมละลายน้ำ 5 ลิตร นำ Na_2CO_3 100 กรัม ละลายน้ำ 1 ลิตรแล้วผสมกับน้ำย้อม Y6 ที่เตรียมไว้ กรองหยาบด้วยตะแกรงถี่ๆ ตามด้วยการกรองผ้าบาง 2 ชั้น ล้างตะกอนด้วยสารละลาย Na_2CO_3 100 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ทำผงแห้งทั้งหมด 4 กิโลกรัม เมื่อละลายเสร็จจะมีน้ำย้อมที่ปรับใหม่ทั้งหมด 12 ลิตร นำมาทดลองย้อมฝ้ายและไหม 4 ลิตร เหลือทำแห้ง 8 ลิตร ผงแห้งที่ได้เมื่อนำมาละลายใหม่ได้น้ำย้อมพีเอช 12.9 สีเหลืองสดซึ่งเป็นต่างแถมมากเกินไปไม่เหมาะสำหรับการย้อมไหมเพราะทำให้เส้นไหมขาดเปื่อยแต่ย้อมฝ้ายไม่เป็นปัญหา อย่างไรก็ตามสามารถปรับพีเอชใหม่โดยเติมกรดซิตริกให้พีเอชลดลงมาเป็นประมาณในช่วง 9-10 ในการแก้ไขผงสีสูตร Y6 พบว่าผงสีละลายน้ำได้ดีพีเอชน้ำย้อมเป็น 9.54

หมายเหตุ ในการปรับสูตรหรือเตรียมสูตร Y6 ใหม่ควรวัดพีเอชน้ำย้อมก่อนทำแห้งทุกครั้ง และ Y6 เป็นสูตรสีเหลืองที่ใช้ได้ดีทดลองย้อมฝ้ายได้สีเหลืองครีม

สำหรับสูตร Y7 นั้นเคยวน้ำส้มมะกรูดหลังจากกลั่นน้ำมันออกแล้วนำมาเคี่ยวให้งวดเหลือปริมาตรครึ่งหนึ่งแล้วจึงผสมสูตรแบบสีสูตร Y6 เพื่อให้มีปริมาณเนื้อสีในสูตรเพิ่มขึ้น ทำแห้งเก็บไว้โดยยังไม่ทำเม็ดแกรนูล พบว่าผงสีเกาะเป็นก้อนแข็ง แต่ละลายดีมาก (ไม่ได้วัดพีเอช) ย้อมไหมให้สีเหลืองสดกว่าย้อมฝ้าย

หมายเหตุ สำหรับสูตร Y7 นั้นเนื่องจากน้ำสีมีน้ำมันปนอยู่บ้างการเคี่ยวนานๆ ทำให้ได้น้ำสีเป็นสีน้ำตาลเหลืองไม่สดใส การระเหยน้ำออกเป็นสิ่งดีในโอกาสต่อไปควรหาวิธีการระเหยน้ำออกแบบที่โรงงานใช้โดยระเหยน้ำภายใต้ความดันต่ำระเหยอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลา

น้อยไม่ต้องเคี่ยวนานรักษาคุณภาพของน้ำสีไว้ได้ (การปรับจุดนี้อยู่ในลำดับของแผนการดำเนินการแก้ไขในโอกาสต่อไป)

5.3.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกส้มเขียวหวาน

ส้มเป็นผลไม้ตระกูลใกล้เคียงกับมะกรูดและที่ผิวส้มมีสารฟลาโวนอยด์เหมือนกัน คณะผู้วิจัยจึงได้ขอเปลือกส้มจากร้านขายน้ำส้มคั้นที่ทิ้งเปลือกมาทดลองกลั่นน้ำมันออกด้วยไอน้ำและปรงสูตรน้ำย้อมได้น้ำย้อมสีเหลืองในต่างเช่นเดียวกันแต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ในผิวส้มอาจจะต่ำกว่ามะกรูดจึงได้สีเหลืองอ่อนกว่าสูตรที่ลองผสมจากเปลือกส้มคือ Y8 และ Y9

สูตร Y8 เปลือกส้ม 15 กิโลกรัม ล้างบดแล้วกลั่นน้ำมันออกด้วยไอน้ำ

ได้น้ำสี	26 ลิตร	} เคี่ยวให้งวดเหลือปริมาตรครึ่งหนึ่งคือ 13 ลิตร
เติมเกลือแกง	2 กิโลกรัม	
สารส้ม	400 กรัม	

เติมปูนขาว 200 กรัมที่ละลายในน้ำต่างปูนใส 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันทำแห้งได้ผงแห้ง 2,200 กรัม ผงเกาะเป็นก้อน(ยังไม่ได้ทดสอบผงแห้งเนื่องจากสีไม่เหลืองสดออกสีครีม)

สูตร Y9 น้ำเปลือกส้ม 40 กิโลกรัม บดเคี่ยวน้ำมันออกแล้วเคี่ยวให้งวดเหลือครึ่งหนึ่ง

เติมเกลือแกง	1 กิโลกรัม	สารส้ม	100 กรัม
wetting agent	100 กรัม	ปูนขาว	200 กรัม
น้ำไหลสกัดน้ำมันแล้ว	5 ลิตร	กรดซิตริก	100 กรัม

ผสมให้เข้ากันทำแห้งได้ผงแห้ง 2,500 กรัม (ยังไม่ได้ทดสอบผงแห้ง เก็บนานเกาะเป็นก้อนแข็ง)

5.4 สรุปผลการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีเหลืองจากธรรมชาติ

5.4.1 การผลิตสารสีเหลืองสำเร็จรูปจากขมิ้น ผักเชียงดา ผิวเปลือกผลมะกรูด เปลือกส้มเขียวหวานนั้นได้สูตรที่ใช้ได้ในแง่การละลายของสีและการใช้เป็นสีย้อมเส้นใยได้สีเหลืองอ่อนหรือเหลืองเข้มตามลักษณะการปรงสูตรและความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม(รูปที่ 5.11) ความคงทนของสีต่อการซักและขัดถูอยู่ในระดับดี แต่ความคงทนต่อแสงยังต่ำอยู่ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับสารให้สีเหลืองจากธรรมชาติโดยทั่วไป หรือแม้แต่สีสังเคราะห์บางสีที่ออกเฉดเหลือง ต้องซักโดยไม่ตากแดด อย่างไรก็ตามอาจจะปรับปรุงได้โดยการผสมสีเหลืองดังกล่าวกับสารสีจากวัตถุดิบที่คงทนต่อแสงเช่นสีจากรากยอป่า



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างของสีย้อมสีเหลืองสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

ในสภาพค่อนข้างเป็นกรด หรือใช้เป็นสารสีที่ผสมกับสีอื่นแล้วได้เป็นสีที่คงทนต่อแสงขึ้น เช่นสีจากรากขมิ้นในสภาพด่าง หรือจากครั่งซึ่งเป็นสีแดง ผสมกับสารสีเหลืองดังกล่าวได้สีส้ม หรือผสมกับสีครามธรรมชาติได้สีเขียวเป็นต้น ซึ่งในการผสมอาจจะต้องปรับปรุงสูตรให้อยู่กลางๆ ระหว่างสูตรที่เหมาะสมของแต่ละสีในการย้อมเส้นใยได้ติดคงทนดี

5.4.2 นอกจากนี้สีผงสูตรสำเร็จรูปสูตรต่างๆ โดยเฉพาะสูตรที่ให้สีเหลืองจากวัตถุดิบต่างๆ ที่มีน้ำมันมากนั้น เวลาสกัดมักจะมีน้ำมันออกมาด้วยทำให้ยากแก่การทำแห้งเพราะสีผงจะเกาะกันเป็นก้อนแข็ง ก่อนปรุงสูตรควรสกัดน้ำมันออกไปก่อนโดยการกลั่นด้วยไอน้ำแล้วนำน้ำสีที่เหลือมาปรุงสูตรน้ำย้อมต่อไป น้ำมันเหล่านี้ส่วนใหญ่ให้กลิ่นเฉพาะตัวสามารถนำไปใช้ในด้านอื่นๆ ได้ เช่น กลิ่นผสมอาหารจากกลิ่นมะกรูด กลิ่นส้ม เป็นต้น กลิ่นยูคาลิปตัสนั้น มีการใช้ในแง่การบำบัดใช้ใน aroma therapy ได้เป็นต้น

5.4.3 การแสวงหาวัตถุดิบสารให้สีเหลืองที่ทนแสงมากขึ้นเพิ่มเติมอยู่ในวิจัยที่จะทำได้หากมีเวลากล่าวคือมองหาสารสีเหลืองจากยางไม้ที่ให้สีเหลืองเช่น ยางเปลือกผลมังคุด เปลือกผลทับทิม ยางต้นรงทอง เป็นต้น ยางเหล่านี้ไม่ละลายน้ำและคงทนต่อแสง หากมีวิธีการสกัดที่ดีอาจจะได้สารสีเหลืองที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำมันไปใช้งานในด้านอื่นๆ และอาจจะได้สารสีเหลืองที่ละลายในน้ำส่วนหนึ่งสำหรับย้อมผ้าได้ การแสวงหาวัตถุดิบที่ให้สีซึ่งมีหลากหลายในธรรมชาตินั้น อาจจะได้กลุ่มวัตถุดิบที่ให้สีใกล้เคียงกับของเดิมแต่คุณสมบัติในแง่ความคงทนดีกว่า สีสดใสมากกว่า องค์ประกอบของสารสีในธรรมชาตินั้นก็จะเปลี่ยนไป วิธีการสกัดและการปรับปรุงน้ำสีที่ให้อยู่อาจจะใช้ไม่ได้ต้องทำการศึกษาใหม่ ซึ่งในช่วงเวลาวิจัยที่จำกัด คณะผู้วิจัยไม่อาจจะกระทำได้ ดังนั้นผู้ประกอบการที่มีแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาและเปิดใจกว้างในการวิจัยเพื่อพัฒนาจะสามารถพัฒนาสิ่งเหล่านี้ได้ต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุดและได้มาซึ่งสิ่งที่ต้องการ

บทที่ 6

การผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสีอื่น ๆ

6.1 วัดคุณสมบัติธรรมชาติที่ให้อื่น ๆ นอกเหนือจากสีหลัก 3 สี

ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นวัดคุณสมบัติจากธรรมชาติที่ให้อื่นและที่ทำให้สีติดมีมากมายทั้งที่เป็นสีหลักสามสี (แดง เหลือง น้ำเงิน) สีเปลือกไม้ สีเขียว สีดำ สีส้ม สีม่วง วัดคุณสมบัติเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่างๆของพืชและสัตว์ วัดคุณสมบัติที่ใช้กันมากในภาคเหนือและภาคอีสานในการย้อมเส้นใยธรรมชาติ และวิธีการย้อมได้รวบรวมไว้ในรายงานการวิจัยระยะที่ 1 เช่น วัดคุณสมบัติที่ให้น้ำตาล ได้แก่ เปลือกผลมะพร้าว เปลือกไม้สะแก ใบสัก ใบสตาร์แอปเปิล รากฮ่อม เปลือกต้นไม้ค้ำแดง เปลือกต้นไม้ป้วย เปลือกต้นลูกวาง เปลือกไม้ประดู่ เปลือกต้นสมอให้น้ำตาลอมเขียว ส่วนเปลือกมะม่วงให้สีกากีและเหลือง เปลือกไม้เพกาให้สีกากี เปลือกไม้ตีนนกให้สีเขียวขี้ม้า เปลือกต้นสะเดาให้สีส้มอ่อน เปลือกไม้แสนคุดให้สีเลือดหมู เปลือกมะนวม่วง และเปลือกไม้ตะเคียนหนูให้สีม่วงแดง เปลือกผลมังคุด เมล็ดมะปราง เปลือกต้นแค และผลผักปลังให้สีม่วง เปลือกต้นลูกหว้าให้สีกรม เปลือกต้นกระบกให้สีเขียวมะกอก ใบยูคาลิปตัสให้สีเขียวอ่อน ครีมน ใบถั่วแปบ ชาทอง เตย กระถิน ให้สีเขียวอ่อน แก่นผัก เปลือกไม้ฝางให้สีชมพูแดง เปลือกไม้ก่อให้สีแดงหม่น เมล็ดคำแสด คำเงาะ ให้สีส้ม ดอกทองกวาวให้สีส้ม ผลมะเกลือ ใบปูลู่ ใบหมากกะโนให้สีดำ ขี้โคลน (สารอินทรีย์) ให้สีเทา ดำ เป็นต้น

ขั้นตอนการย้อมสีธรรมชาติส่วนใหญ่ใช้วิธีย้อมร้อน แต่บางทีก็ใช้วิธีย้อมเย็นหรือผ้าที่ล้างสะอาดในน้ำย้อมและแช่ไว้ค้างคืน แต่วิธีนี้สีมักจะจาง ขั้นตอนการย้อมส่วนใหญ่ยังใช้เวลานานและไม่สะดวก เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเส้นใย และการย้อมยังไม่มีวิธีมาตรฐานใดๆ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติและกรรมวิธีการย้อมที่สะดวกรวดเร็วเป็นมาตรฐานให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก

6.2 การค้นหาวัตถุดิบสารให้สีเพิ่มเติม สกัด วิเคราะห์ทางเคมี เตรียมน้ำย้อม และทดลองย้อมพร้อมกับการตรวจสอบคุณภาพ

นอกเหนือจากสารให้สีหลักสามสีคือ แดง เหลือง น้ำเงิน จากรากยอป่าและครั่ง ชม้น คราม และฮ่อมแล้วคณะผู้วิจัยได้มองหาแหล่งวัตถุดิบใหม่เพิ่มเติมอีกโดยในขั้นแรกทำการสกัดเตรียมน้ำย้อมทดลองย้อมด้วยฝ้ายที่ล้างไขมันออกแล้วต้มกับน้ำเดือดแล้ว การย้อมใช้เวลาต้มนาน 30 นาที ผึ่งให้แห้ง ชักน้ำสะอาด 1 ครั้งไล่สีส่วนเกินออก แช่น้ำยา fixing (quaternary ammonium) 1% นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 30-40°C ตากให้แห้งแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม แล้วตรวจสอบความคงทนของสีต่อการซักและแสง ผลที่ได้สรุปในตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.1 แสดงสีของฝ้ายที่ย้อมได้

ตารางที่ 6.1 วัตถุดิบสารให้สีจากพืชชนิดอื่นๆ ส่วนที่ใช้ และสีที่ย้อมได้

วัตถุดิบ	ส่วนที่ใช้	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
			การขีดของสี	การตกสี	ทนแสง
มะตูม	ผล	ครีมออกเหลือง	4-5	5	3
หอมหัวใหญ่	เปลือก	เหลืองอมน้ำตาล	4-5	5	2
ฝาง	แก่น	ชมพูแดง	4	5	2
ดอกอัญชัน	ดอก	เขียวอ่อนออกครีม	3	4	1
ไก่อแดง (สะนอย)	เปลือกต้น	ชมพูอมน้ำตาล	5	5	2
ฮ่อม+ขมิ้น	ใบ & เหง้า	เขียว	4	4-5	1
ครั่ง+ฮ่อม+ใบ ยูคา	สัตว์-ใบ-ใบ	น้ำตาลแดง	5	5	1



รูปที่ 6.1 การย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ

1 = ผลมะตูม 2 = เปลือกหอมหัวใหญ่ 3 = แก่นไม้ฝาง 4 = เปลือกไม้
5 = ดอกอัญชัน 6 = สีฮ่อมผสมขมิ้น 7 = ครั่งผสมฮ่อมและใบยูคาลิปตัส

จากตารางจะเห็นได้ว่า สีเหลืองจากผลมะตูม เป็นสีเหลืองครีมความคงทนต่อการซักดีทนแสงพอใช้ได้ สีจากเปลือกหอมหัวใหญ่ ให้สีเหลืองอมน้ำตาลทนซักดี ทนแสงดีกว่าสีเหลืองจากขมิ้น เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจเพราะเป็นของเหลือทิ้ง สีจากแก่นฝางให้สีชมพูแดงเปลี่ยนสีตามความเป็นกรด ด่างให้สีแดงในด่างเต็มสารส้มจะทำให้สีคล้ำเป็นสีออกช็อคโกแลตไม่ใคร่น่าสนใจเพราะใช้แก่นไม้ ความคงทนต่อการซักดีแต่ทนแสงต่ำ ดอกอัญชันให้สีเขียวในน้ำด่าง เต็มสารส้มจะให้สีออกแดงน้ำตาล ใส่กรดจะให้สีแดงออกชมพูม่วง แต่ย้อมในกรดไม่ติดสี ความคงทนไม่ดีโดยเฉพาะต่อแสง สีจากเปลือกต้นไก่อแดงหรือสะนอยจากป่าแม่สะเรียงเป็นสีที่น่าสนใจกัดให้ปริมาณเนื้อสีมาก ย้อมได้สีชมพูอมน้ำตาลออกม่วงมีความคงทนต่อการซักดีมาก ทนต่อแสงพอใช้ ส่วนสีผสมฮ่อมและขมิ้น ให้สีเขียวเข้มไม่ทนแสง สีผสมครั่ง+ฮ่อม+ใบยูคา ให้สีน้ำตาลแดงมีความคงทนต่อการซักดีมาก ไม่ใคร่ทนแสง

6.2.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัส

การสกัดจากใบยูคาลิปตัสจะให้สารมอร์แดนที่ธรรมชาติคือ แทนนิน ใช้ผสมสูตรน้ำสีต่างๆ ได้ในขณะเดียวกัน ถ้าสกัดจากใบสดจะได้น้ำสีเขียวอมน้ำตาลย้อมฝ้ายติดสีเขียวซีมัวอ่อนแต่ถ้าสกัดจากผงใบแห้งบดละเอียดสกัดด้วยน้ำค้างปุนใสจะได้น้ำสีน้ำตาลย้อมฝ้ายได้สีน้ำตาล ในสารสกัดนี้มีน้ำมันยูคาลิปตัสปนอยู่เมื่อเคี่ยวหรือไปผสมทำสูตรสีย้อมกับสีอื่นๆ จะเกิดยางเหนียวทำแห้งแบบลูกกลิ้งไม่ได้ จึงทดลองสกัดน้ำมันออกก่อนแบบขมิ้นแล้วจึงนำน้ำสีมากรองผงออกด้วยผ้าเนื้อหนา แล้วนำน้ำสีมาปรุงสูตรสำเร็จต่อไป ทดลองย้อมฝ้ายได้สีน้ำตาลดังรูปที่ 15 และผงทำเม็ดแกรนูลในตารางที่ 6.2

6.2.1.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัสสูตร E1

- ผงปนแห้งใบยูคาลิปตัสประมาณ 10 กิโลกรัม สกัดน้ำมันออกกรองกากด้วยถุงผ้าหนาๆ
- เติมสารส้ม 800 กิโลกรัม
- ปูนขาว 500 กรัม
- ผสมให้เข้ากันได้น้ำย้อมสีน้ำตาลย้อมฝ้ายได้สีน้ำตาล
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,265 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนทำเม็ดแกรนูลต่อกิโลกรัม 317 บาท



รูปที่ 6.2 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีใบยูคาลิปตัสสูตร E1

ตารางที่ 6.2 เม็ดแกรนูลของสีสูตร E1 การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสี และราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	การละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
E1	317	ละลายเล็กน้อย มีตะกอนมาก 	6.8	น้ำตาล 	4-5	5	3-4

6.2.1.2 การตรวจสอบสีย้อมสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัสสูตร E1

ใบยูคาลิปตัสเป็นใบพืชที่มีแทนนินชนิดสลายตัวได้ นิยมใช้เป็นมอร์แดนท์ในการย้อมสีธรรมชาติ ในบางครั้งที่เกิดแทนนินจะมีคลอโรฟิลล์เป็นสารที่ให้สีน้ำตาลอ่อนออกครีม คณะผู้วิจัยได้ทดลองเตรียมสูตรน้ำย้อมจากใบยูคาลิปตัสเพื่อใช้ย้อมและ/หรือเป็นตัวมอร์แดนท์ที่ผสมกับน้ำย้อมบางสูตร เพื่อให้ติดสีทนและเปลี่ยนเฉดสี องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตรสำเร็จที่ผ่านมาคือสูตร E1 มีส่วนประกอบดังนี้

ผงใบยูคาลิปตัสอบแห้งป่น 10 กิโลกรัม สกัดน้ำมันออกโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ กรองกากทิ้ง ด้วยถุงผ้าหนาๆ นำน้ำสีมาเติมสิ่งต่อไปนี้

สารส้ม 800 กรัม

ปูนขาว 500 กรัม

ผสมให้เข้ากันได้ น้ำย้อมสีน้ำตาล ทดลองย้อมผ้าได้สีน้ำตาลอ่อนออกครีม ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,265 กรัม

คิดเป็นต้นทุนกิโลกรัมละ 317 บาท

ผงแห้งละลายน้ำได้เล็กน้อย น้ำย้อมที่ได้มีพีเอช 6.8 ผ้าที่ย้อมได้มีความคงทนต่อการซักดีมาก (gray scale ระดับ 5) และทนแสงดี (gray scale ระดับ 3-4) ในการเตรียมครั้งต่อไปควรวัดพีเอชน้ำย้อมก่อนทำแห้งและปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 8-11 อย่างมากที่สุด รูปที่ 6.3 แสดงผงสีสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัสสูตรต่างๆ



รูปที่ 6.3 สีย้อมผงสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัส

6.2.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย (ไก่อแดง)

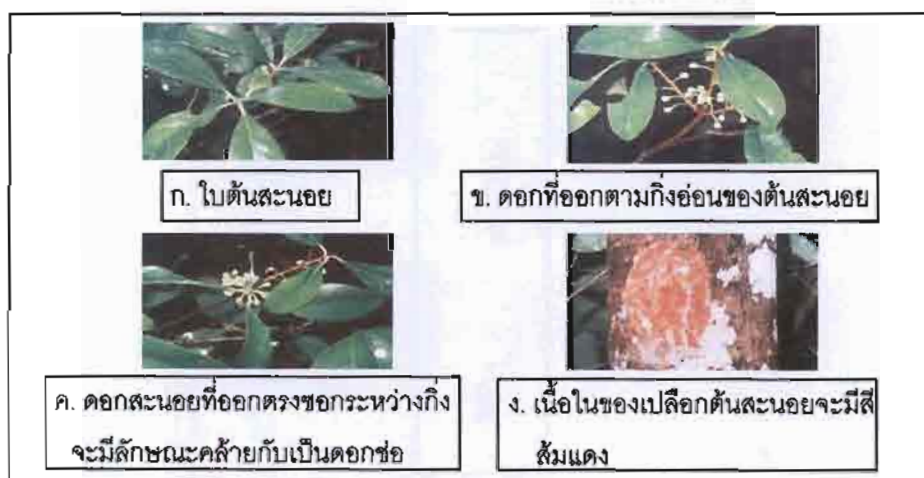
จากการทดลองหาแหล่งวัตถุดิบในการวิจัยครั้งที่ 1 พบว่าเปลือกไม้สะนอยเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ นำมาสกัดได้น้ำสีมากและน้ำสีย้อมได้สีชมพูแดงจนถึงน้ำตาลแล้วแต่ส่วนผสมและไม้สีหาได้ในปริมาณมากตามป่าตั้งแต่ดอยสุเทพไปจนถึงแม่สะเรียง คณะผู้วิจัยได้พยายามเดินทางไปแม่สะเรียงเพื่อเก็บตัวอย่างใบและถ่ายรูปลักษณะลำต้นเพื่อหาชื่อทางวิทยาศาสตร์ แล้วทดลองสกัดแยกบริสุทธิ์ศึกษาองค์ประกอบหลัก สมบัติ และทดลองเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอยได้ผลตามลำดับดังต่อไปนี้

6.2.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นสะนอย

สะนอย คือชื่อพื้นบ้านในภาษาลัวะที่เรียกต้นไม้ชนิดหนึ่ง ซึ่งชาวลัวะที่อาศัยอยู่แถบ

อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ใช้ส่วนของเปลือกลำต้นเป็นสีย้อมผ้าฝ้าย ชื่อทางพฤกษศาสตร์ของต้นสนอยนี้ คือ *Ternstroemia gymnanthera* Bedd. ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Theraceae และมีชื่อเรียกภาษาไทยว่า ไก่แดง

สนอยเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง สูงประมาณ 10 - 15 เมตร กิ่งก้านรูปทรงบอบบาง ใบเป็นชนิดเดี่ยว สีเขียว ผิวใบเป็นมัน รูปทรงไข่กลับ ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ ก้านใบสั้นมีความยาวประมาณ 0.6 ซม. ใบจะออกที่ปลายกิ่งเป็นใบเดี่ยวจำนวน 3 ใบ แยกกันแต่แตกออกจากจุดเดียวกัน (รูปที่ 6.4ก) และจะมีใบเดี่ยวอีกจำนวน 2 ใบแตกออกในลักษณะตรงข้ามกันถัดลงมาจากรูปที่ 6.4ก) และจะมีใบเดี่ยวอีกจำนวน 2 ใบแตกออกในลักษณะตรงข้ามกันถัดลงมาจากรูปที่ 6.4ก) ทั้งสาม หากดูเผินๆจะคล้ายกับว่าส่วนของปลายกิ่งจะมีใบเดี่ยวแตกออกมาจากจุดเดียวกันจำนวน 5 ใบ ใบมีขนาดความกว้างยาว 2-3 X 6-10.5 ซม. เส้นกลางใบเด่นชัด ดอกเป็นชนิดดอกเดี่ยวออกตามกิ่งอ่อน (รูปที่ 6.4ข) หากออกตรงซอกระหว่างของกิ่งอ่อนจะอยู่ในสภาพคล้ายดอกช่อ จำนวน 6 - 7 ดอก (รูปที่ 6.4ค) ก้านดอกมีความยาวประมาณ 1 ซม. ลำต้นตั้งตรงขนาดใหญ่ เปลือกนอกของลำต้นมีผิวขรุขระ สีน้ำตาลเข้ม แต่เนื้อในของเปลือกต้นจะมีสีส้ม - แดง (รูปที่ 6.4ง) ส่วนของเนื้อในของเปลือกเมื่อถากออกจากลำต้นและนำมาตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนจะเปลี่ยนเป็นสีแดงกล้า



รูปที่ 6.4 ลักษณะใบ ดอก และเนื้อในของเปลือกต้นสนอย

6.2.2.2 การศึกษาทางพฤกษเคมีของเปลือกต้นสนอย

ได้ดำเนินการศึกษาทางพฤกษเคมีดังต่อไปนี้

ก. การสกัด

- ก.1 นำเปลือกลำต้นสนอยมาอบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C. และบดเป็นผงละเอียด
- ก.2 นำผงบดที่ได้จำนวน 1,250.00 กรัมมาสกัดด้วยเอทานอลจำนวน 5 ลิตรโดยวิธี maceration เป็นเวลานาน 1 สัปดาห์ ทำการสกัดซ้ำรวม 2 ครั้ง
- ก.3 กรองเก็บน้ำยาสกัดเอทานอลทั้งหมดที่ได้รวมกันและนำไประเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำด้วยเครื่อง rotatory evaporator
- ก.4 จะได้สารสกัดเข้มข้นลักษณะเป็นก้อนสีแดงเข้ม จำนวน 123.43 กรัม

ข. การตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมี

ข.1 การตรวจสอบด้วยกรดและด่าง

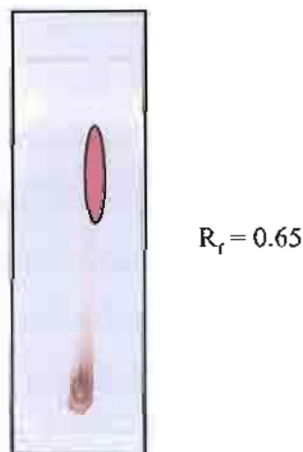
- นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาละลายด้วยเมทานอลจะได้น้ำยาสกัดสีส้ม-เหลือง และหยดด้วยกรดเกลือเข้มข้น 1 นอร์มอล ผลการตรวจสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีของน้ำยาสกัด

- นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาละลายด้วยเมทานอลและหยดด้วยน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล ผลการทดสอบจะให้สีแดงปรากฏขึ้นทันที

- นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาละลายด้วยเมทานอลและตรวจสอบหาพวกสารประกอบอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์และคาร์ทีนอยด์ ปรากฏการตรวจสอบให้ผลลบ

ข.2 การตรวจสอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง

- นำน้ำยาสกัดเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาละลายด้วยเมทานอลและตรวจสอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางที่มี silica gel G เป็นตัวดูดซับและใช้ $\text{CHCl}_3 / \text{MeOH} (3/2)$ เป็นน้ำยาชะและฉีดพ่นด้วยน้ำยา โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % ในเอทานอล จะปรากฏ spot สีชมพู-แดง บนโครมาโทแกรม spot นี้มีค่า R_f เท่ากับ 0.65 (รูปที่ 6.5)



รูปที่ 6.5 โครมาโทแกรมผิวบางของสารสกัดเข้มข้นจากเปลือกต้นสะนอย เมื่อใช้สารดูดซับเป็น silica gel G และชะด้วย $\text{CHCl}_3/\text{MeOH} (3:2)$ ฉีดพ่นด้วยน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการตรวจสอบเบื้องต้นคาดว่าองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีแดงซึ่งเกิดอยู่ในเปลือกต้นเมื่อหยดด้วยน้ำยาด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M น่าจะเป็นพวกสารประกอบเคมีกลุ่มแอนทราควิโนน อย่างไรก็ตามได้ทำการแยกบริสุทธิ์สารสีเพื่อหาองค์ประกอบหลักต่อไป

6.2.2.3 การสกัดและแยกหาองค์ประกอบหลักในน้ำยาสกัดเข้มข้นเอทานอลของเปลือกต้นสะนอย

ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ก. บดเปลือกต้นสะนอยให้เป็นผงป่นจำนวน 1,250.00 กรัม

ข. นำมาหมักเย็นกับเอทานอลจำนวน 4 ลิตรเป็นเวลา 1 คืน

ค. กรองเก็บน้ำยาสกัดและระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยภายใต้ความดันต่ำ ได้สารสกัดเข้มข้นจำนวน 123.43 กรัม

ง. แบ่งสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาจำนวน 28.00 กรัม และทำการแยกหาองค์ประกอบหลักตามวิธีการต่อไปนี้

ง.1 ทำการสกัดสารสกัดเข้มข้นจำนวน 28.00 กรัมด้วยคลอโรฟอร์มโดยชุดอุปกรณ์สกัดแบบของเหลว - ของเหลว

ง.2 นำน้ำยาสกัดคลอโรฟอร์มที่ได้มาระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ จะได้สารสกัดเข้มข้นคลอโรฟอร์มมีน้ำหนักจำนวน 2.73 กรัม

ง.3 ทำการแยกหาองค์ประกอบหลักด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์ของซิลิกาเจลดังนี้

- คอลัมน์แก้วขนาด 45 X 2.5 ซม.
- จำนวนซิลิกาเจลที่ใช้ 50 กรัม
- ทำการชะด้วยน้ำยาชะ คลอโรฟอร์ม และ คลอโรฟอร์ม / เมทานอล (95/5) ตามลำดับ และแยกเก็บ น้ำยาชะครั้งละ 20 มล.ในหลอดแก้ว
- เก็บรวบรวมน้ำยาชะส่วนที่เป็น คลอโรฟอร์ม / เมทานอล (95/5) ที่ได้ทั้งหมดเข้าด้วยกัน และระเหย ให้แห้ง ได้สารที่แยกได้ลักษณะผงแห้ง ร่วน มีสีเหลืองอ่อน
- นำสารที่แยกได้ไปตกผลึกโดยการละลายในเมทานอลร้อนและตั้งทิ้งไว้ค้างคืนในตู้เย็น จะได้สารที่แยกได้ตกผลึกลงมามีลักษณะผลึกเป็นรูปเข็ม สีขาว (รูปที่ 6.6) ได้น้ำหนักจำนวน 0.37 กรัม คำนวณเป็นปริมาณน้ำหนักร้อยละเท่ากับ 1.30 % ของสารสกัดเข้มข้นเอทานอล



รูปที่ 6.6 รูปผลึกของสารหลักตัวแรก
ที่แยกได้จากเปลือกต้นสะนอย

6.2.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้

ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ก. การตรวจสอบทางเคมี พบว่าสารที่แยกได้นี้ให้ผลบวกกับการทดสอบ Libermann-Burchard เป็นสี น้ำเงิน จึงคาดว่าสารนี้เป็นสารประกอบจำพวก Triterpenoids

ข. การวิเคราะห์ด้วย UV - visible spectroscopy เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ได้ค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงสุดที่ความยาวคลื่น 287 นาโนเมตร ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (รูปที่ 6.7ก)

ค. การวิเคราะห์ด้วย Proton Nuclear Magnetic Resonance สารประกอบนี้แสดงค่า Chemical Shift ของ H^1 ในโครงสร้างด้วยพีคต่างๆ ดังแสดงด้วยสเปกตรัม (รูปที่ 6.7ข)

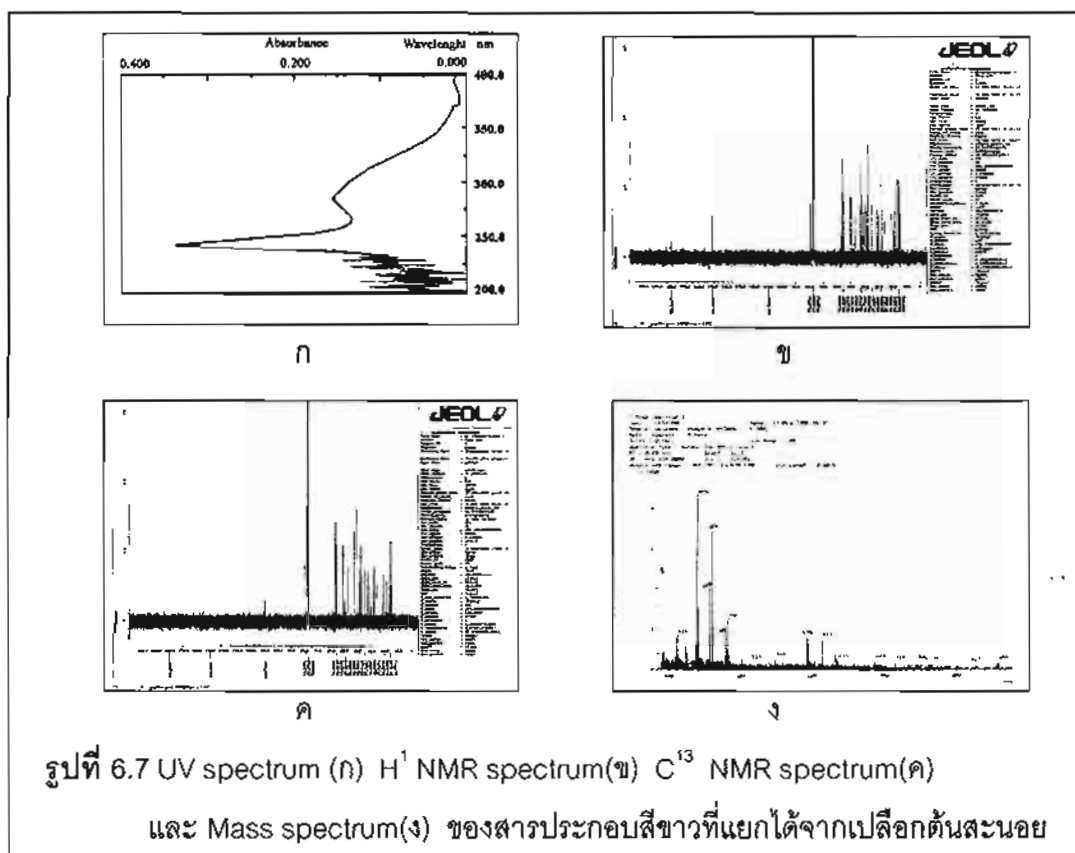
ง. การวิเคราะห์ด้วย Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance สารประกอบนี้แสดงค่า Chemical Shift ของ C^{13} ในโครงสร้างด้วยพีคต่างๆ ดังแสดงด้วยสเปกตรัม (รูปที่ 6.7ค)

จ. การวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry สารประกอบนี้แสดงค่าของ Mass spectrum ด้วยค่า Fragments ต่างๆ ดังแสดงด้วยสเปกตรัม (รูปที่ 6.7ง)

6.2.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารผลึกสีขาวที่แยกได้จากน้ำยาสกัดเอธานอลของเปลือกต้นสะนอย

จากการรายงานผลการวิจัยครั้งที่ 2 ได้ทำการแยกสารสกัดจากเปลือกสะนอยด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์และสามารถแยกได้สารประกอบลักษณะผลึกรูปเข็ม สีขาว

ผลการวิเคราะห์ของข้อมูลหลังจากการศึกษาวិธีการเคมี UV-visible spectroscopy, Proton Nuclear Magnetic Resonance, Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance และ Mass Spectrometry มีดังนี้



สารประกอบที่แยกได้มีคุณสมบัติดังนี้

ก. เป็นสารประกอบเคมีจำพวก Triterpenoid

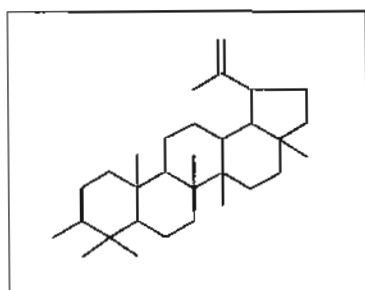
ข. มีค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต 2 ค่าที่ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร และ 287 นาโนเมตร

ค. เมื่อวิเคราะห์ด้วย Proton Nuclear Magnetic Resonance จะให้ค่า chemical shift ของตำแหน่ง Proton (H^1) ที่ตำแหน่ง 4.7395, 4.6108, 3.4912, 3.1843, 3.1765, 3.0033, 2.9951, 2.2814, 2.2598, 2.1989, 1.9790, 1.9634, 1.6922, 1.6157, 1.5965, 1.5273, 1.3826, 1.3721, 0.9785, 0.9671, 0.9405, 0.8283, 0.7563

ง. เมื่อวิเคราะห์ด้วย Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance จะให้ค่า chemical shift ของ ตำแหน่ง Carbon-13 (C^{13}) ที่ตำแหน่ง 180.2187, 150.4686, 109.7501, 56.3808, 55.4537, 50.6238, 49.3877, 46.9706, 42.5358, 40.7961, 38.9458, 37.3053, 34.4287, 28.0690, 27.4891, 16.1926, 16.1201, 15.4105, 14.2772

จ. เมื่อวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry สารประกอบนี้แสดงค่า Mass spectrum ได้ค่าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 456

ฉ. จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดสรุปได้ว่าสารประกอบผลึกรูปเข็ม สีขาวนี้คือ สารประกอบจำพวก triterpenoid ชนิด Lupane-type triterpene ซึ่งมี Skeleton structure ตามรูป 6.8



รูปที่ 6.8 Skeleton structure ของสารประกอบ
สีขาวที่แยกได้จากเปลือกต้นสะนอย

6.2.2.6 การแยกหาองค์ประกอบหลักที่ให้สีแดงในน้ำยาสกัดเข้มข้นเอธานอลของเปลือกต้นสะนอย

ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ก. บดเปลือกต้นสะนอยให้เป็นผงป่น จำนวน 500.00 กรัม

ข. นำมาสกัดด้วยการหมักเย็นกับเอธานอลจำนวน 2 ลิตรเป็นเวลา 3 วัน

ค. จัดเตรียมเส้นด้ายดิบที่สะอาดและกำจัดไขมันออกจนหมดแล้วจำนวน 50.00 กรัม นำมาต้มด้วยน้ำยาสกัดที่ได้จากข้อ ข. จำนวน 800 มิลลิลิตร ทำการต้มแบบต้มร้อนและต้มช้าจำนวน 2 ครั้ง ตากให้แห้งจะได้เส้นด้ายที่ติดสีแดงอมส้ม

ง. ทำการสกัดแยกเอาสารประกอบหลักที่ให้สีแดงออกจากเส้นด้วยที่ผ่านการข้อมจากข้อ ค. ด้วยเอทานอลจนสีของเส้นด้ายซีดจาง

จ. ทำการระเหยน้ำสกัดสีเอทานอลที่ได้จากข้อ ง. จนเข้มข้นและนำไปแยกหาสารประกอบหลักที่ให้สีแดงด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์

ฉ. การแยกหาองค์ประกอบหลักที่ให้สีแดงด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์ของซิลิกาเจล ดำเนินการดังนี้

- คอลัมน์แก้วขนาด 45 X 2.5 เซนติเมตร
- จำนวนซิลิกาเจล 50 กรัม
- ทำการชะด้วยน้ำยาชะ
 - คลอโรฟอร์ม
 - คลอโรฟอร์ม/เมทานอล (9/1)
 - คลอโรฟอร์ม/เมทานอล (7/3)
 - คลอโรฟอร์ม/เมทานอล (6/4)
 - คลอโรฟอร์ม/เมทานอล (3/7)

- เก็บรวบรวมน้ำยาชะส่วนที่เป็น คลอโรฟอร์ม/เมทานอล (3/7) ที่ได้ทั้งหมดเข้าด้วยกันและนำไประเหยให้แห้งจะได้สารที่แยกได้ ลักษณะเป็นผงแห้ง ร่วน สีแดงคล้ำ (ดังรูปที่ 6.9) จำนวน 0.05 กรัม

ช. การตรวจสอบทางเคมีของสารประกอบที่แยกได้

- ให้ผลลบกับการทดสอบหาอัลคาลอยด์
- ให้ผลลบกับการทดสอบหาฟลาโวนอยด์
- ให้ผลลบกับการทดสอบหาคาโรทีนอยด์
- ให้ผลลบกับการทดสอบหาแอนทราควิโนน
- ให้ผลบวกกับการทดสอบหาแทนนินด้วยน้ำยาทดสอบหาแทนนินต่อไปนี้

น้ำยาทดสอบหาแทนนิน	ผลการทดสอบ
FeCl ₃ Test Solution	น้ำยาเป็นสีเขียวและเกิดตะกอน
Lead Acetate Solution	น้ำยาเกิดตะกอนขุ่นขาว
Quinine Sulfate Solution	น้ำยาเกิดตะกอนขุ่นขาว
Gelatine Solution	น้ำยาเกิดตะกอนขุ่น ขุ่นขาว
Formolon-HCl Reagent	น้ำยาเกิดตะกอนขุ่นสีอิฐ
Vanillin-HCl Reagent	น้ำยาเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม

สรุปผลการตรวจสอบทางเคมีของสารประกอบหลักที่ให้สีแดงนี้ คือสารประกอบจำพวกแทนนิน (Tannin) และเป็นแทนนินชนิด Condensed tanin



รูปที่ 6.9 สารประกอบหลักสีแดงที่แยกได้จากเปลือกต้นสะนอย

6.2.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย

การทดลองการสกัดและเตรียมสีย้อมสูตรสำเร็จได้ 4 สูตร คือ B1, B2, B3 และ B4 (ใช้ B มาจาก Bark ที่แปลว่าเปลือกไม้) และทดลองย้อม ผลการย้อมแสดงในรูปที่ 6.10 และผลการผลิตเม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จแสดงในตารางที่ 6.3

ก. การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกไม้สะนอยสูตร B1

- แขนเปลือกไม้ 27.7 กิโลกรัม ในน้ำต่าง 1 คิน
- กรองน้ำสีด้วยผ้าหนาๆ แล้วนำกากที่ได้สกัดต่อด้วยอัลกอฮอล์โดยการเขย่าอย่างน้อย 1 อาทิตย์ได้น้ำสี
- เคี่ยวน้ำสีที่ได้ให้งวด เดิมสารส้ม 100 กรัม
- ปูนขาว 100 กรัม
- เกลือแกง 100 กรัม
- wetting agent 25 กรัม
- ผสมให้เข้ากันย้อมฝ้าย 1 ใจได้สีส้มอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 280 กรัม
- ต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลกิโลกรัมละ 3,500 บาท

ข. การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกไม้สะนอยสูตร B2

- น้ำสกัดจากเปลือกไม้สะนอยด้วยน้ำต่าง ทำแห้งด้วย drum dry และใส่ wetting agent รวมผงแห้ง 235 กรัม
- เปลือกไม้สกัดน้ำต่างทำ spray dry 115 กรัม
- รวมผงแห้งได้ $235 + 115 = 350$ กรัม
- เดิมสารส้ม 200 กรัม

- กรองกากด้วยถุงผ้าหนาๆ ได้น้ำย้อมสีน้ำตาลออกชมพู
- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้น้ำตาลซีอกโกแลตอ่อนๆ
- เติมนุ่นขาว 200 กรัม
- เกลือแกง 200 กรัม
- ทำแห้งได้ผงสีน้ำตาลแดง แต่เมื่อเคี้ยวไฟสูตรนี้มีน้ำมันมากไม่ติดลูกกลิ้ง จึงเติมสารส้ม 100 กรัม นุ่นขาว 400 กรัม กวนให้เข้าปรากฏว่าสีจับกับนุ่นขาวโดยทิ้งไว้ให้สีซึมเข้าผงบ่นขาวให้ทั่ว บ่นขาวดูดสีแห้งหมดจึงทำเป็นก้อนเล็กๆ ใส่ถาดอบ 60°C ชั่วโมง แล้วนำมาบดเป็นเม็ดแกรนูลทั้งหมด 3,000 กรัม
- นำเม็ดแกรนูลมาก 200 กรัม ละลายในน้ำร้อนกรองกากออก ได้น้ำสีน้ำตาลแดงอ่อน
- ค่าใช้จ่ายในการทำเม็ดแกรนูลกิโลกรัมละ 333 บาท

หมายเหตุ ก่อนย้อมเมื่อละลายน้ำแล้วกรองกากทิ้งก่อนด้วยถุงผ้าเนื้อละเอียด

ค. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากเปลือกไม้สูตร B3

- ผงเปลือกไม้แห้ง 15.2 กิโลกรัมในน้ำต่างปูนใส 45 ลิตร 1 คั้น
- กรองกากด้วยถุงผ้าบีบให้แห้งแล้วเอากากมาล้างน้ำต่างอีก 5 ลิตร บีบให้แห้งได้น้ำสี 50 ลิตร กากที่ได้สกัดต่อโดยการแช่ในเอทานอล อย่างน้อย 1 สัปดาห์ก่อนบีบทิ้ง

- นำน้ำสีมา 40 ลิตร เติมเกลือแกง 2 กิโลกรัม
- น้ำยา wetting agent 100 กรัม เคี้ยวให้ขูดแล้วทำแห้ง
- ได้ผงสีแห้ง 3,415 กรัม
- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจได้สีชมพูเข้ม
- ต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลกิโลกรัมละ 235 บาท

ง. การเตรียมสีสำเร็จรูปจากเปลือกไม้สูตร B4

- น้ำสี 4 ลิตร เติมสารส้ม 100 กรัม น้ำยา wetting agent 25 กรัม ย้อมผ้าพันคอ ฝ้าย 2 ผืน ได้สีส้ม (ยังไม่ได้ทำแห้ง)

- ยังคิดต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลไม่ได้แต่คาดว่าจะพอๆ กับสูตร B3



รูปที่ 6.10 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีจากเปลือกไม้ละนอย(ไก่อแดง)

ตารางที่ 6.3 เม็ดแกรนูลสูตรสำเร็จจากเปลือกไม้สะนอย การละลาย พิเศษ สีที่ย้อมได้ ความคงทน และต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	ลักษณะเม็ดแกรนูลและการละลายน้ำ	พิเศษของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การชีดสี	การตกสี	ทนแสง
B0*	-	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	8.5	น้ำตาลแดง	5	5	1
B1	3,500	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	10.8	ส้มอ่อน 	4-5	5	1
B2	333	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	6.8	น้ำตาล 	3-4	5	1
B3	235	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	6.3	ชมพูเข้ม 	5	5	1
B4	-	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	5.6	สีส้ม 	5	5	1

-ยังไม่ได้ทำแห้ง

* น้ำสีสกัดด้วยน้ำต่างเคี้ยวให้ขึ้นแล้วทำแห้ง

6.2.2.8 การตรวจสอบสีที่ย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย

จากการวิเคราะห์สารสกัดจากเปลือกไม้สะนอยพบว่ามีสารสำคัญ 2 ชนิดคือ สารสีขาวพวก triterpenoid ซึ่งมีปริมาณมากและสารสีแดงซึ่งเป็นแทนนินประเภท condensed tannin สารสกัดสีแดงจากเปลือกไม้สะนอยนี้ให้สีน้ำตาลแดงและเนื่องจากเป็นแทนนินซึ่งเป็นสารช่วยติดสีสามารถนำไปผสมสูตรในการเตรียมน้ำย้อมสูตร B1 และ B2 (B มาจาก Bark ที่แปลว่าเปลือกไม้) ทดลองใช้ย้อมและทำแห้ง ทั้งสองสูตรย้อมผ้าได้สีน้ำตาลออกชมพูแบบสีชอกโกแลตอ่อนๆ สูตร B1 ได้สีส้มอ่อน B1 ต่างกับ B2 ตรงที่สูตร B1 มีสารส้มแต่ B2 ไม่มี ผงแห้งของสูตรทั้งสองละลายน้ำไม่ดีมีตะกอนมากจึงลองปรับใหม่เป็นสูตร B3 และ B4

สีย้อมสูตร B3 ใช้สีกัดผงเปลือกไม้ 15.2 กิโลกรัมด้วยน้ำปูนใสโดยแช่ 1 คืน กรองน้ำสีออก (กากแช่ต่อในเอธานอลอย่างน้อย 1 สัปดาห์ แล้วกรองกากทิ้ง) ได้น้ำสีทั้งหมด 40 ลิตร เติมเกลือแกง 2 กิโลกรัม น้ำยา wetting agent 100 กรัม เคี่ยวให้งวดแล้วทำแห้ง ได้ผงแห้ง 3,415 กรัม ทดลองนำผงแห้งละลายน้ำ พบว่าละลายได้ดีที่พีเอช 6.3 ย้อมฝ้ายได้สีชมพูเข้ม สูตรนี้ต้นทุนต่ำคือ ได้ผงแห้ง กิโลกรัมละ 235 บาท จุดที่ต้องแก้ไขคือปรับพีเอชให้เป็นด่างขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่ 8.0 ขึ้นไป วัดพีเอชน้ำย้อมก่อนทำแห้งทุกครั้ง

สีย้อมสูตร B4 ต่างจาก B3 ตรงที่เติมสารส้มได้น้ำย้อมสีส้มยังไม่ได้ทำแห้ง พีเอชน้ำย้อมเป็นกรด (5.6) ย้อมฝ้ายได้สีส้มอ่อนอมน้ำตาล (รูปที่ 6.11) ทั้งสูตร B3 และ B4 เป็นสูตรที่ใช้ได้แต่ต้องทำการเคี่ยวให้งวดก่อน ต่อมาลองทำสูตร B5 โดยนำน้ำสีสกัดจากเปลือกสนอย 1 ส่วนผสมน้ำด่างสกัดไพล 1 ส่วนผสมกันได้สีปูนแห้ง เติมกรดซิตริก สารส้ม น้ำยา wetting agent ปูนขาว อย่างละ 100 กรัม เติมเกลือแกง 500 กรัม ต้มเคี่ยวเหลือปริมาตร 11 ลิตร ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,300 กรัม



รูปที่ 6.11 ด้ายฝ้ายย้อมสีจากเปลือกต้นสนอย (ไก่อแดง) สูตร B4

ผลสรุป สีจากเปลือกไม้ สนอยใช้เป็นสีย้อมได้สีส้ม น้ำตาลแดงหรือน้ำตาลช็อกโกแลต แล้วแต่ส่วนผสม นอกจากนี้ยังใช้เป็นแทนนินผสมสูตรสีย้อมจากพืชอื่นๆ เพื่อให้ติดสีได้ดีและเจดสีเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ การทดสอบคุณภาพในแง่ความคงทนพบว่าสีติดดีมาก และความคงทนต่อการซักขัดถูอยู่ในระดับดีมาก แต่ความคงทนของแสงยังต่ำอยู่ อาจเนื่องมาจากการปรับพีเอชของน้ำย้อมยังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากสารสกัดนี้มีแทนนินมากอาจจะใช้ประโยชน์ในการทำ premordant ฝ้ายก่อนย้อมหรือย้อมทับเพื่อให้สีย้อมติดดีและทำให้เจดสีเปลี่ยนไปตามต้องการได้ ซึ่งต้องพัฒนาต่อไป ตัวอย่างสีสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสนอยแสดงในรูปที่ 6.12

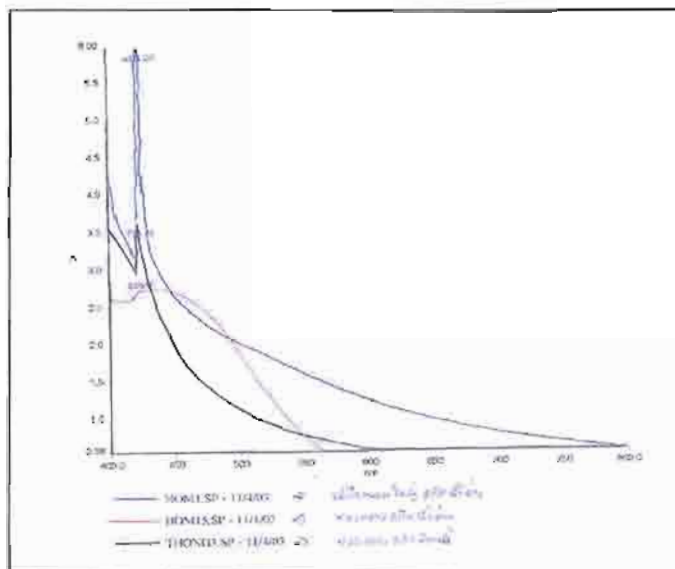


รูปที่ 6.12 สีสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสนอย (ไก่อแดง)

6.2.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากดอกทองกวาวและเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม

6.2.3.1 สีจากดอกทองกวาว (*Butea monosperma* Lamk.)

ดอกทองกวาวเป็นดอกไม้ที่บานในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคมพบทั่วไปในภาคต่างๆ ของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคเหนือและภาคอีสาน ดอกบานมีสีส้มสดเมื่อร่วงลงได้ต้นจะมีสีเหลืองอมน้ำตาลปน เก็บมาแช่น้ำต่างปูนใส 1 คืน จะมีสีส้ม กรองกากออกนำน้ำที่ได้มาวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าเป็นสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร (รูปที่ 6.13)



รูปที่ 6.13 สเปกตรัมของสารสีจากดอกทองกวาวและหอมใหญ่สกัดด้วยน้ำต่างปูนใส

ได้ทดลองเตรียมน้ำย้อมจากดอกทองกวาวโดยการสกัดด้วยน้ำต่างอย่างเดียว (สูตร Ybu1) และย้อมด้วยฝ้ายที่ทำความสะอาดอย่างเดียวและที่ต้มน้ำเต้าหู้ก่อนย้อมด้วย พบว่าฝ้ายที่ต้มน้ำเต้าหู้ติดสีเข้มกว่า (รูปที่ 6.14) นอกจากนี้ยังได้ทดลองทำแห้งน้ำย้อมจากดอกทองกวาว ได้ผงแห้งสีส้มอ่อน (รูป 6.14ค) สีสกัดจากดอกทองกวาวอย่างเดียวนั้นให้สีส้มสดใส สีติดคงทนต่อการซัก แต่การทนแสงต่ำ จึงได้ลองผสมกับสารสีชนิดใกล้เคียงเป็นสูตรต่างๆ แล้วทดลองย้อมเส้นใยต่างๆ กัน ปรากฏว่าความคงทนแสงดีขึ้น



รูปที่ 6.14 ผ้าฝ้ายย้อมสีสูตรสำเร็จจากดอกทองกวาว (ก) ผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดอย่างเดียวและ (ข) ผ้าฝ้ายทำความสะอาดแล้วต้มน้ำเต้าหู้ก่อนย้อม (ค) ผงสีสำเร็จรูปจากดอกทองกวาว

6.2.3.2 สีจากเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม

ได้ทดลองขอเปลือกหอมหัวใหญ่ติดเนื้อหอมชั้นแรกที่แม่ค้าเลือกทิ้งมาแช่น้ำต่างปูนใส ได้สีเหลือง ทดสอบสารสีด้วยวิธีทางเคมีเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เช่นเดียวกับดอกทองกวาวและมีความการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่น 423 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับช่วงคลื่นการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสีจากดอกทองกวาว(รูปที่ 6.13) เนื่องจากสีเหลืองที่สกัดได้ค่อนข้างอ่อน คณะผู้วิจัยจึงไม่ทดลองย้อมและทำแห้ง แต่ได้นำมาผสมกับสีจากดอกทองกวาวเป็นสูตรต่างๆ ดังนี้

สูตร M1YO1Bu1 อัตราส่วนดังนี้

- ผสม YO1 10 ลิตร และ M1 5 ลิตร วัดพีเอช ได้ 9.7
- นำสูตร M1YO1 ที่ได้มา 1 ส่วน ผสมกับน้ำต่างสกัดดอกทองกวาว (Bu1) 1 ส่วน โดยปริมาตร วัดพีเอชได้ 5.9 ปรับค่าพีเอชประมาณ 8 ด้วยปูนขาว
- เคี่ยวในหวดเหลือปริมาตรครึ่งหนึ่ง ทดลองย้อมผ้าฝ้าย ไหมประดิษฐ์ เปลือกไหม ได้สีน้ำตาลทอง ชักแล้วได้สีเหลืองส้ม

สูตร M1YOBu (1:6:6 v/v)

- น้ำย้อมรากยอป่าสูตร M1 2 ลิตร
- น้ำต่างสกัดหอมใหญ่สูตร YO1 12 ลิตร
- น้ำต่างสกัดดอกทองกวาว(Bu) 12 ลิตร
- ย้อมผ้าฝ้าย ไหมประดิษฐ์ เปลือกไหมได้สีส้ม ส้มอ่อน และส้มเข้มตามลำดับ (รูปที่ 6.15)



รูปที่ 6.15 ด้ายฝ้าย ด้ายเปลือกไหม และด้ายไหมประดิษฐ์ย้อมสีจากดอกทองกวาว สูตรต่างๆ กัน

(ภาพบน) สูตร M1YO1Bu (ภาพกลาง) ด้ายฝ้ายย้อมสีสูตร M1YOBu และ (ภาพล่าง) เปลือกไหมย้อมสีสูตร M1YO1Bu(1:6:6) (บน) และสูตร M1YO1Bu1 (ล่าง)

สูตร Y01 (Y= yellow, O= onion)

น้ำสกัดจากหอมใหญ่ 85 ลิตร (เปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อ ~ 6 กิโลกรัม แช่น้ำค้างปุนใส)

เติมปูนขาว 400 กรัม

สารส้ม 400 กรัม

เกลือแกง 1,500 กรัม

วัดค่าพีเอช ได้สูงเกินไปจึงปรับด้วยกรดซิตริก 125 กรัม

ค่าพีเอชน้ำย้อมเป็น 11.0

* สูตรนี้ไม่ทำแห้งแต่เป็นตัวผสมสูตรอื่น

สูตร YBu1 (Y = yellow, Bu = ทองกวาว)

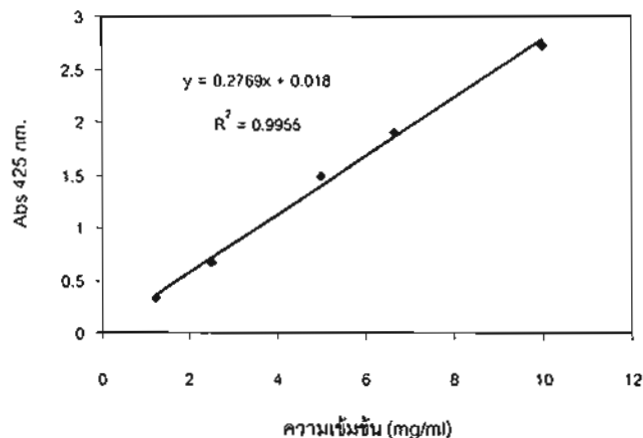
- ดอกทองกวาว 2 กิโลกรัม แช่น้ำค้าง 35 ลิตร 1 คืน
- กรองน้ำสีออกทิ้งกาก น้ำสี ค่าพีเอช 5.2
- เติมเกลือแกง 500 กรัม
- สารส้ม 500 กรัม
- วัดค่าพีเอชของส่วนผสมได้ 11.2 สีเปลี่ยนจากเหลืองเป็นเหลืองส้ม
- ทดลองย้อมฝ้าย 2 ใจ (รูปที่ 6.14) ไม่ทนแสง
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,600 กรัม

สูตร M1YBu1 (1:2 v/v)

เนื่องจากสีดอกทองกวาวอย่างเดียวไม่ทนแสงจึงลองผสมสีดอกทองกวาวกับสีรากยอป่าสูตร M1 ในอัตราส่วนน้ำย้อม 1:2 โดยปริมาตรกล่าวคือ สีย้อมรากยอป่าสูตร M1 1 ส่วน (10 ลิตร) น้ำย้อมสีดอกทองกวาวสูตร YBu1 2 ส่วน (20 ลิตร) ผสมกัน วัดพีเอชได้ 6.0 เติมปูนขาว 50 กรัม เติมเกลือแกง 500 กรัม กรดซิตริก 25 กรัม ผสมวัดพีเอชได้ 8.9 ทำแห้ง ได้ผงแห้ง 1,000 กรัม ทดลองย้อมฝ้ายได้สีส้มอ่อน ย้อมไหมได้ส้มเข้ม

6.2.3.3 การหาปริมาณสารสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป

ในการหาปริมาณสารสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป 1 กรัม นั้นทำโดยนำผงสีสกัดจากดอกทองกวาวด้วยน้ำค้างสกัดด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ แล้วระเหยไล่เมทิลแอลกอฮอล์ออกให้แห้ง นำผงแห้งที่ได้มาชั่งให้ทราบปริมาณแล้วละลายในน้ำค้างเป็นปริมาณต่างๆกัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร แล้วเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณสีตามรูปที่ 6.16 จากนั้นนำผงสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆ ที่มีสีจากดอกทองกวาวผสมอยู่มาละลายในน้ำค้างแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปเทียบหาปริมาณสีจากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 6.16 แล้วคำนวณออกมาเป็นปริมาณสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป 1 กรัม จากผลการทดลองได้ปริมาณเนื้อสีดอกทองกวาวในสีผงสูตรต่างๆ 1 กรัม แสดงในตารางที่ 6.4



รูปที่ 6.16 กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป

ตารางที่ 6.4 ปริมาณเนื้อสีจากดอกทองกวาวในสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

สูตรน้ำย้อม	ปริมาณเนื้อสี (มิลลิกรัม) ในผงสีย้อม 1 กรัม
YBu1	80.0
M1YBu1	64.0
M1Y01Bu (1:1:1)	31.0
M1Y01Bu (1:6:6)	36.0

6.3 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปโดยการผสมสีหลัก 3 สีจากธรรมชาติ

นอกเหนือจากการค้นหาแหล่งวัตถุดิบเพิ่มเติมเพื่อให้มีสีย้อมธรรมชาติหลากหลายสีและหลายเฉดแล้ว ผู้ย้อมยังได้พยายามเพิ่มชนิดของสีและเฉดสีโดยการย้อมทับสีชนิดที่หนึ่ง ด้วยสีชนิดที่สอง เพื่อให้เกิดสีใหม่ และกลุ่มวิจัยการพัฒนาระบบการย้อมสีธรรมชาติแบบพหุโดยมี ผศ.ดร.อนันต์เสวศ เหวซึ่งเจริญ เป็นหัวหน้าโครงการ โดยทดลองย้อมสีน้ำเงินจากครามทับสีเหลืองที่ย้อมด้วยขมิ้นหรือสารให้สีเหลืองอื่นๆ พบว่าสีน้ำเงินมักจะกลบสีเหลืองหมด การเปลี่ยนกลับมาย้อมสีเหลืองทับสีน้ำเงินเพื่อให้ได้สีเขียวก็ได้อัตราระดับหนึ่ง ความคงที่ของสีขึ้นกับการย้อมทั้งสองครั้งว่าจะควบคุมได้ดีแค่ไหน ซึ่งเป็นการยากที่จะควบคุม อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการที่เสียดายน้ำสีที่ย้อมไว้ครั้งหนึ่งแล้วในแต่ละสีนำมาเทรวมกันผสมเกิดเป็นสีใหม่ ย้อมได้สีใหม่อีก แต่ทำซ้ำไม่ได้ คณะผู้วิจัยได้แนวความคิดจากปัญหาเหล่านี้มาเพิ่มชนิดของสีและเฉดสีจากสีหลัก 3 สี คือ แดง เหลือง น้ำเงิน เพื่อให้ได้สีอื่นๆ เพิ่มขึ้น อาศัยทฤษฎีการผสมสี คือ แดง+เหลืองได้สีส้ม แดง+น้ำเงินให้สีม่วง และเหลือง+น้ำเงินให้สีเขียว และสามสีรวมกันได้สีน้ำตาล ส่วนโทนสีจะอ่อนเข้มไปทางไหนก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการผสมสีเหล่านั้น ผลการทดลองมีตามลำดับดังนี้

6.3.1 การเตรียมสีย้อมกิ่งสำเร็จรูปสูตรผสม

ได้ทำการทดลองเตรียมน้ำย้อมผสมสูตรต่างๆ เพื่อเพิ่มเจดสี และหรือความคงทนของสี ผลการทดลองได้ผลดีบางส่วนและยังไม่มีเป็นที่พอใจอีกหลายสูตร ผลการนำสีสูตรผสมมาทดลองย้อมฝ้ายแสดงในรูปที่ 6.17 และเม็ดแกรนูลของสีผสมต่างๆ แสดงในตารางที่ 6.5



รูปที่ 6.17 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีย้อมสูตรผสมต่างๆ

6.3.1.1 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและครึ่งสูตร ML1

- รากยอป่าสกัดด้วยเอทานอลระเหยเป็นสารสกัดเข้มข้น 1 กิโลกรัม
- ผงครึ่งทำแห้ง spray dry 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 1 กิโลกรัม
- wetting agent 200 กรัม
- น้ำต่างปูนไล พีเอช 11.8 10 ลิตร
- ผสมให้เข้ากัน
- กรองสิ่งที่ไม่ละลายออกด้วยถุงผ้าเนื้อแน่น
- ทดลองย้อมฝ้ายได้สีแดงบานเย็นในน้ำย้อม 4 ลิตร
- ที่เหลือ 6 ลิตร เคี่ยวให้งวด
- ทำแห้งแบบลูกกลิ้งได้ผงสีแห้ง 125 กรัม
- ทำเม็ดแกรนูลแต่ยังไม่สามารถคิดเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัม

6.3.1.2 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C2

- ผงขมิ้นแห้ง 2 กิโลกรัม แชน้ำต่างปูนไล 2 ลิตร กรองแยกน้ำสี
- น้ำต่างสกัดแทนนินจากใบยูคาลิปตัส 1 ลิตร
- รากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 1 ลิตร
- กรดซิตริก 500 กรัม
- น้ำยากันด่าง 100 มิลลิลิตร
- wetting agent 25 กรัม
- คนส่วนผสมให้เข้ากันลองย้อมฝ้าย 1 ใจ ชักแล้วได้สีเหลืองทอง

- ทำแห้งได้ผงแห้ง 75 กรัม

- คิดเป็นต้นทุนกิโกรัมละ ~ 4,000 บาท

หมายเหตุ แพงตรงที่ไม่ได้ระเหยเอาอัลกอฮอล์มาใช้

6.3.1.3 การเตรียมส่วนผสมจากสีของไฟล (Y1) เพกา(Y2) แก่นขนุน(Y3) สีขมิ้น

ผสมรากยอป่า (C3) เป็นสูตร Ymix

- รวมน้ำสี Y1, Y2, Y3, Y4 และ C3 ที่ทดสอบการย้อมแล้วมารวมกัน

- เติมน้ำขาว 100 กรัม

- wetting agent 25 กรัม

- ย้อมได้สีน้ำตาลคล้ายสีจากสูตร E1 ของยูคาลิปตัสแต่ออกแดงมากกว่า

- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,100 กรัม

- ไม่ได้คิดต้นทุนเม็ดแกรนูล

6.3.1.4 การเตรียมส่วนผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C7

- สีขมิ้นเข้มข้นสกัดน้ำมันแล้ว 3 ลิตร

- รากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 2 ลิตร

- เกลือแกง 500 กรัม

- กรดซิตริก 500 กรัม

- น้ำขาว 100 กรัม

- น้ำยา wetting agent 25 กรัม

- ผสมให้เข้ากัน

- ทดลองย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองส้ม

- ทำแห้งได้ผงสีส้ม 1,745 กรัม อัดเม็ดแกรนูล

- คิดเป็นต้นทุนอัดเม็ดแกรนูลกิโกรัมละ 287 บาท

6.3.1.5 การเตรียมส่วนผสมจากรากยอป่า ขมิ้น และอินดิโกจากห้อม สูตร G3

- สีขมิ้นเข้มข้น 6 ลิตร

- สีรากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 2 ลิตร

- สีอินดิโกจากห้อม paste เหลว 4 ลิตร

- เกลือแกง 1 กิโลกรัม

- กรดซิตริก 1 กิโลกรัม

- สารส้ม 200 กรัม

- น้ำขาว 200 กรัม

- น้ำยา wetting agent 50 กรัม

- ผสมรวมกันแล้วเคี่ยวให้งวดเหลือปริมาตร 6 ลิตร

- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเขียวอมน้ำตาลออกเหลือง
- เคียวให้หวดทำแห้งได้ผงแห้ง 850 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนอัดเม็ดแกรนูลกิโกรัมละ 940 บาท

6.3.1.6 การเตรียมสีผสมจากรากขยอป่าและ paste จากฮ่อมสูตร G4

- รากขยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 6 ลิตร
- ฮ่อม paste เหลว 2 ลิตร
- เกลีสองแกง 1 กิโลกรัม
- กรดซิตริก 600 กรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- น้ำยา wetting agent 50 กรัม
- ลองย้อมฝ้ายได้สีเทาอมม่วงออกเขียว
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 835 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลกิโกรัมละ 838 บาท

6.3.1.7 การเตรียมสีผสมจากรากขยอป่าและอินดิโกจากฮ่อมสูตร V1

- รากขยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 6 ลิตร
- อินดิโก paste จากฮ่อม 2 ลิตร
- เกลีสองแกง 1 กิโลกรัม
- กรดซิตริก 1 กิโลกรัม
- ปูนขาว 200 กรัม
- น้ำยา wetting agent 50 กรัม
- ผสมให้เข้ากัน ย้อมฝ้ายได้สีม่วงน้ำตาล
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,530 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลกิโกรัมละ 458 บาท

6.3.1.8 การเตรียมสูตรสีผสมขมิ้นสูตร C5 และอินดิโกจากฮ่อมสีผสมสูตร G5

- สารผสมสูตร C5 เข้มข้น 5.5 ลิตร
- ฮ่อม paste ข้น 1.5 ลิตร
- ผสมให้เข้ากันได้สีเขียวตุ่นๆ
- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเหลืองอมเขียว
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,030 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลกิโกรัมละ 680 บาท

6.3.1.9 การเตรียมสูตรผสมสีขมิ้นกลั่นน้ำมันออกแล้วกับอินดิโกจากฮ่อมสูตร C8

- น้ำมันขมิ้น 5 ลิตร กลั่นน้ำมันออกแล้ว+สีอินดิโกจากฮ่อมสูตร I2 500 มิลลิลิตร

- เกลือ 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 500 กรัม
- กรดซิตริก 1 กิโลกรัม
- ปูนขาว 500 กรัม
- wetting agent 50 กรัม
- ลองย้อมผ้า 1 ใจ สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 2,225 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบแกรนูโลกิโกรัมละ 315 บาท

6.3.1.10 สีมผสมสีจากผิวมะกรูด(Y4) และอินดิโกจากฮ่อม(I2) เป็นสีผสมสูตร G6

- อินดิโกสูตร I2 1.25 ลิตร
- สีจากน้ำผิวมะกรูดสูตร Y4 2 ลิตร เติมน้ำปูนขาว 200 กรัม ผสมให้เข้ากันแล้วเติมใน I2 ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ย้อมผ้า 1 ใจ ได้สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 290 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบแกรนูโลกิโกรัมละ 2,400 บาท

6.3.1.11 สูตรผสมสีจากฮ่อมสูตร I3 และผิวมะกรูด(Y4) เป็นสูตร G7

- เช่นเดียวกับ G6 แต่สีจากฮ่อมเป็น I3 แทน I2
- ย้อมได้สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 290 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูโลกิโกรัมละ 2,500 บาท

6.3.1.12 การเตรียมสูตรผสมสีเปลือกไม้(B4) และสีจากใบยูคาลิปตัส(E1) เป็นสูตร B4.1

- สีเปลือกไม้สนอยสูตร B3 4 ลิตร
- สีเปลือกไม้สนอยสูตร B4 4 ลิตร
- สีจากใบยูคาลิปตัสสูตร E1 1 ลิตร
- ผสมให้เข้ากันย้อมผ้าได้สีน้ำตาลออกส้ม
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 685 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูโลกิโกรัมละ 876 บาท

ตารางที่ 6.5 เม็ดแกรนูลของสัณฐานสูตรสำเร็จ การละลาย พีเอช สีย้อมได้ ความคงทนของสี และต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	ลักษณะเม็ดแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
MLI	-	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	3.8	แดงบานเย็น 	2-3	5	2
B4.1	876	-	-	น้ำตาลออกส้ม 	3-4	3-4	2-3
C2	4,000	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	2.8	เหลืองทอง (ไม่มีรูป)	3	3-4	1
C3	572	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	2.6	เหลืองทอง 	3	3-4	1
Ymix	-	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	3.1	น้ำตาล 	4-5	5	2
C7	287	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	5.3	เหลืองส้ม 	4	4	1
G3	940	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	4.0	เขียวออกเหลือง 	3-4	3	1
G4	838	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	4.6	เทาออกเขียว 	3-4	5	1

ตารางที่ 6.5 เม็ดแกรนูลของสเต็มสูตรสำเร็จ การละลาย พีเอช สีย้อมได้ ความคงทนของสี และต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม(ต่อ)

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	ลักษณะเม็ดแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีย้อมได้	ความคงทน		
					การติดสี	การตกสี	ทนแสง
V1	458	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	10.9	ม่วงน้ำตาล 	3-4	5	1
G5	680	ละลายปานกลาง มีตะกอน 	4.5	เขียวเหลือง 	3	3	1
C8	315	ละลายปานกลาง มีตะกอน	4.6	เขียวอ่อน (ไม่มีรูป)	3-4	3-4	1
G6	2,400	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	8.3	เขียวอ่อน 	3-4	3-4	2
G7	2,500	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก 	9.0	น้ำตาลส้ม (ไม่มีรูป)	3-4	3-4	2

6.3.2 การประเมินผลการเตรียมเม็ดแกรนูลของสเต็มสูตรสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

ผลการทดลองที่ผ่านมาในการทำสูตรสำเร็จรูปของสเต็มธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ และสเต็มนั้นมีบางสูตรก็ได้ผลดี บางสูตรยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ และบางสูตรก็ไม่เหมาะที่จะผลิต ทั้งนี้ดูจากต้นทุนการผลิต แหล่งและปริมาณของวัตถุดิบ คุณภาพของสีย้อมสูตรสำเร็จรูปที่ผลิตได้ ความยากง่ายของการผลิตและการนำผลผลิตไปใช้งานโดยคัดเลือกจากสเต็มสูตรสำเร็จที่ผลิตได้แต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบในตารางที่ 6.6 เพื่อดูในภาพรวมอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งภาพยังไม่ชัดเจนเพราะผลการประเมินคุณภาพของสีย้อมได้ยังไม่ออกมาจึงใคร่ทำตารางไว้ก่อนและดึงมาเท่าที่ประเมินดังตาราง 6.6

ตารางที่ 6.6 การเปรียบเทียบเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆที่คัดเลือกไว้แล้วในขั้นแรก

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/ กิโลกรัม	ลักษณะเม็ดแกรนูลและ การละลายน้ำ	พีเอช ของน้ำสี หลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน			
					การ ขัดสี	การ ตกสี	ทนแสง	
สีเปลือกไม้ สนนอย	B3	235	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย	6.3	ชมพูเข้ม	5	5	1
	B4	-	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก	5.6	สีส้ม	5	5	1
สีสูตรผสม	ML1	-	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย	3.8	แดงบานเย็น	2-3	5	2
	B4.1	-	-	-	น้ำตาลออกส้ม	3-4	3-4	1
	G4	838	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก	4.6	เทาออกเขียว	3-4	5	1
	G5	680	ละลายปานกลาง มีตะกอน	4.5	เขียวเหลือง	3	3	1
	G6	2,400	ละลายไม่ดี มีตะกอนมาก	8.3	เขียวอ่อน	3-4	3-4	2
	V1	458	ละลายปานกลาง มีตะกอน	10.9	ม่วงน้ำตาล	3-4	5	1

6.3.3 การปรับปรุงและการเพิ่มเติมการเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสม

ในการวิจัยที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้ทดลองเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสมสูตรต่างๆ และคัดเลือกแล้วในขั้นแรกเพื่อการพัฒนาต่อคือสูตรผสม ML1 เป็นสีผสมระหว่างสีรากยอป่าและครั่งและปรับปรุงแล้ว สูตร G4 เป็นสีผสมระหว่างรากยอป่าสกัดด้วยอัลกอฮอล์และอินดิโก paste จากฮ่อม ได้สีเทาอมม่วงออกเขียว ละลายได้ไม่ดี มีตะกอนมากที่เอาน้ำย้อมเป็นกรดมากไป ส่วนสูตร G6 เป็นสีผสมระหว่างผิวมะกรูดสูตร (Y4) และอินดิโกจากฮ่อมสูตร (I2) ผสมกันใช้น้ำสีผิวมะกรูด 2 ลิตรต่อสีฮ่อม 1.25 ลิตร ได้สีเขียวอ่อนละลายได้ไม่ดีมีตะกอน ที่เอาน้ำย้อมเป็นกรดมาก สูตร G5 เป็นสูตรผสมระหว่างขมิ้นสูตร C5 และอินดิโกจากฮ่อม paste โดยใช้ขมิ้นสูตร C5 เข้มข้น 5.5 ลิตร ฮ่อม paste 1.5 ลิตร ผสมกันได้สีเขียวตุ่นย้อมผ้าได้สีเหลืองอมเขียว ผงแห้งละลายไม่มีตะกอน สูตรผสมอีกสูตรที่ทำได้คือ V1 เป็นสูตรผสมระหว่างรากยอป่าและอินดิโกจากฮ่อมสูตร I1 โดยใช้รากยอป่าสกัดอัลกอฮอล์ 6 ลิตร และ อินดิโก paste จากฮ่อม 2 ลิตร ผสมกันได้สีม่วงน้ำตาลทำแห้ง ผงแห้งละลายได้ดีปานกลางมีตะกอน ที่เอาน้ำย้อม 10.9 ซึ่งยังอยู่ในช่วงที่ใช้ได้

อย่างไรก็ตามสูตรสำเร็จที่คัดเลือกจากสูตรผสมดังกล่าวยังไม่อยู่ในข่ายที่พอใจ คณะผู้วิจัยจึงปรับปรุงใหม่ในช่วงการวิจัยระยะที่ 3 นี้ อาศัยจุดบกพร่องต่างๆในการเตรียมที่ผ่านมาแก้ไขและพัฒนา ดังนี้

6.3.3.1 สูตรสีเขียว ในการผสมสูตรสีเขียวในการทดลองนี้ใช้ผสมระหว่างสีอินดิโกกับคราม paste ที่สั่งมาจากสกลนครซึ่งมีปูนขาวปนมากและสีเหลืองจากผิวมะกรูดกลั่นน้ำมันออกแล้วทำเป็น 3 สูตรผสมคือ GIF1, GIF2 และสูตร GIF3 (G = green, I = indigo และ F = flavonoid) ทั้งสามสูตรต่างกัที่สัดส่วนของปริมาณคราม paste น้ำสีผิวมะกรูดดังนี้

ก. สีผสมสูตร GIF1 มีส่วนผสมดังนี้

- น้ำผิวมะกรูด 15 ลิตรและเกลือแกง 500 กรัม และสารส้ม 150 กรัม
- กรดซิตริก 50 กรัม
- ปูนขาว 100 กรัม
- wetting agent 100 กรัม
- คราม paste 5 กิโลกรัม (มีปูนขาวปนอยู่มาก)
- ผสมให้เข้ากันแล้วทำแห้งได้ผงแห้งทั้งหมด 5,200 กรัม
- ทดลองย้อมผ้าและไหมได้สีเขียวใบไม้
- ทดสอบการละลายของผงแห้งพบว่าละลายได้ดีแต่ยังมีตะกอนปูนขาวปนมากที่เอาน้ำย้อมเป็น 10.2
- นำผงสีแห้งมา 850 กรัม ละลายน้ำ 9 ลิตร กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ก่อนย้อมพบว่า ย้อมได้ดีทั้งผ้าไหมและผ้ามีความคงทนต่อการซักดีทนแสงพอใช้

สรุป สูตร GIF1 เป็นสีผงที่ใช้ได้เพียงแต่ควรกรองตะกอนแข็งๆก่อนย้อมเท่านั้น ต้นทุนการผลิตประมาณ กิโลกรัมละ 200 บาท (ยังไม่คิดค่าน้ำมันมะกูดที่กลั่นน้ำมันแล้วเพราะได้ฟรี)

ข. สีผสมสูตร GIF2

- ใช้น้ำสีผิวมะกูด 75 ลิตร เคี้ยวขวด เหลือ 35 ลิตร
- เติมเกลือแกง 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- กรดซิตริก 100 กรัม
- ปูนขาว 200 กรัม
- คราม paste สกลนคร 10 กิโลกรัม (มีปูนขาวปนมาก) ผสมให้เข้ากันทำแห้งได้ผงแห้งทั้งหมด 8,400 กรัม
- นำมาละลายน้ำพบว่าละลายได้ดีมีตะกอนเบาแบบตะกอนอินดิโกและตะกอนปูนขาวกรองผ่านผ้าขาวบางก่อนย้อม สามารถย้อมฝ้าย ไหม ได้ดี สีออกทางเขียว น้ำเงิน (รูปที่ 6.18)



รูปที่ 6.18 ด้ายเปลือกไหมย้อมสีผสมครามและน้ำผิวมะกูดสูตร GIF 2(รูปซ้าย)และน้ำผิวมะกูด(รูปขวา)

ค. สีผสมสูตร GIF 3 ใช้น้ำสีจากเปลือกส้มพริมนงค์แทนน้ำสีจากผิวมะกูด ผลดังนี้

- น้ำเปลือกส้มพริมนงค์ 57 ลิตร
- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- wetting agent 100 กรัม
- ปูนขาว 200 กรัม
- กรดซิตริก 100 กรัม
- คราม paste จากสกลนคร 11 กิโลกรัม
- ผสมกรองหยาบๆ ด้วยตะแกรงถี่ๆ
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 5,800 กรัม
- ต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 200 บาท

- ผงแห้งมีสีเขียวอมเหลืองยังไม่ได้ทดลองย้อม แต่ผงสีละลายน้ำได้ดี มีตะกอนแข็งๆ ปนบ้างต้องกรองออกก่อนย้อม สีน้ำย้อมออกเขียวเข้มแกมน้ำเงินมากกว่า GIF1

สรุป - สีผสมสูตรนี้ใช้ได้ ต้องทดลองนำมาย้อมต่อไป

- ตัวอย่างสีสูตร GIF1, GIF2 และ GIF3 แสดงในรูปที่ 6.19



รูปที่ 6.19 ตัวอย่างสีผงสำเร็จรูปสูตร GIF1(ก), GIF2(ข) และ GIF3(ค)

6.3.3.2 สูตรสีม่วง การผสมน้ำย้อมสูตรสีม่วงเป็นการผสมสูตรน้ำย้อมที่ออกสีแดงจากสีเปลือกไม้ สะนอยหรือรากยอป่า หรือครั้ง กับสีน้ำเงินของอินดิโกจากคราม paste สกลนคร ได้ออกมาเป็นสูตร VIB1, VIB2, VIB3 และ LI42 มีรายละเอียดดังนี้

ก. สีผสมสูตร VIB1 สีม่วงน้ำเงิน

- เปลือกไม้สะนอย 18 กิโลกรัม แช่น้ำต่าง 45 ลิตร 1 คืน
- บีบกากออกได้น้ำสี 45 ลิตร เคี่ยวงวดเหลือปริมาตร 28 ลิตร
- ผสมน้ำสกัดเปลือกสะนอยด้วยอัลกอฮอล์เข้มข้น
- เติมสารส้ม 50 กรัม
- ปูนขาว 200 กรัม
- เกลือแกง 2.5 กิโลกรัม
- wetting agent 100 กรัม
- อินดิโกจากคราม paste สกลนคร 15 กิโลกรัม
- ผสมให้เข้ากันกรองหยาบๆ ผ่านตะแกรงถี่ๆ แล้วทำแห้ง
- ผงแห้งรวมกันทั้งหมด 8,700 กรัม

ข. สีผสมสูตร VIB2 สีแดงเลือดหมู มีส่วนผสมดังนี้

- เปลือกไม้สะนอยสกัดน้ำต่าง 48 ลิตร เคี่ยวเหลือ 24 ลิตร
- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- ปูนขาว 200 กรัม
- สารส้ม 100 กรัม
- wetting agent 100 กรัม

- ผสมแล้วกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ
- เติมคราม paste จากสกลนคร 3 กิโลกรัม
- ทำแห้งได้ผงแห้งทั้งหมด 4,600 กรัม

ค. สีมผสมสูตร VIB3 สีเปลือกมังคุด

- น้ำด่างสกัดเปลือกไม้สะนอย 40 ลิตร
- เกลือแกง 1 กิโลกรัม
- wetting agent 100 กรัม
- Ca(OH)_2 200 กรัม
- สารส้ม 200 กรัม
- คราม paste 1 กิโลกรัม
- ผสมเข้ากันกรองแล้วเคี่ยวให้งวดได้น้ำย้อมสีเปลือกมังคุด
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 3,450 กรัม

ทดสอบการละลาย น้ำสีผง 400 กรัมละลายน้ำ 4 ลิตร ละลายไม่หมดเติมโซดาแอช 100 กรัม ละลายดีขึ้น กรองตะกอนที่เหลือมาย้อมไหมประดิษฐ์ 1 ใจ ผ้าย 1 ใจ และไหม 1 ใจ ได้สีน้ำตาลทองเข้ม

จากการทดลองย้อมปรับน้ำสีสูตร VIB3 ใหม่ดังนี้

- นำผงสีมาทั้งหมด 1.5 กิโลกรัม เติมน้ำ 10 ลิตร
- โซดาแอช 1 กิโลกรัม ละลายน้ำ 2 ลิตร
- เทรวมกับน้ำสีคนให้ละลาย
- กรองด้วยถุงผ้า ล้างด้วยน้ำปูนใส 3 ลิตร
- ทำแห้งได้ผงแห้งทั้งหมด 6,200 กิโลกรัม
- ทดสอบการละลายโดยใช้ผงสี 100 กรัมละลายน้ำ 1 ลิตร พีเอชน้ำย้อม 11.9 ปรับพีเอชลงโดยการเติมกรดซิตริก 500 กรัม
- ได้พีเอชน้ำย้อม 10.4

ง. สีมผสมสูตร LI42 ทดลองผสมสีม่วงจากครั้ง สูตร L4 และอินดิโกสูตร I2 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ได้น้ำย้อมสีม่วงน้ำเงินพีเอช 9.5 ทำแห้งได้ผงแห้ง 3,000 กรัม

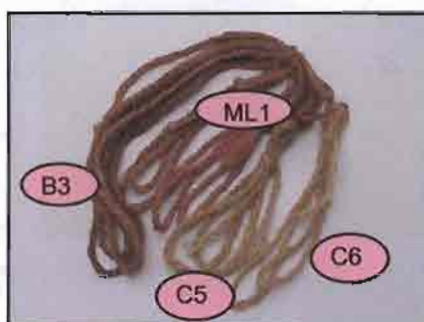
สรุป สูตรสีม่วงทั้ง 4 สูตร เป็นสูตรที่ใช้ได้และยืนยันโดยการทดสอบการละลายและการย้อมแล้ว ตัวอย่างผงสีสำเร็จรูปสูตรสีม่วงแสดงในรูปที่ 6.20



รูปที่ 6.20 สีส้มสำเร็จรูปสูตร VIB1, VIB2 และ LI42

6.4 การทดลองย้อมสีสูตรสำเร็จบนวัสดุอื่นนอกจากฝ้ายและไหม

6.4.1 ได้ทดลองใช้เชือกที่ทำจากป่านหรือปอ มาทดลองย้อมสีสูตรสำเร็จที่เตรียมขึ้น พบว่าติดสีเข้มและคงทนมากกว่าฝ้ายตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 ผลการย้อมเชือกผูกของที่ทำจากป่านหรือปอด้วยสีสูตรสำเร็จสูตรต่างๆ

6.4.2 การย้อมสีโครงใบไม้ด้วยสีธรรมชาติสำเร็จรูปสีต่างๆ แสดงในรูปที่ 6.22 ใช้วิธีการย้อมแบบย้อมเส้นใยแล้วผึ่งให้แห้งเพื่อให้สีติดและไม่ต้องซัก นำไปใช้งานต่อได้เลย



รูปที่ 6.22 การย้อมสีโครงใบไม้ด้วยน้ำย้อมสีธรรมชาติสำเร็จรูป

6.4.3 การย้อมสีรังบวบ รังบวบได้จากบวบแก่ที่ลอกเปลือกและเนื้อออกแล้วเหลือเป็นเส้นใย รังแข็ง ใช้สำหรับขัดถ้วยชามหรือขัดตัว นำรังบวบที่พอกนุ่มแล้วมาย้อมแบบย้อมผ้าหรือเส้นใย ก็ได้รังบวบติดสีสันท่านำไปทำประโยชน์ได้หลายอย่าง (รูปที่ 6.23)



ก



ข

รูปที่ 6.23 รังบวบ(ก) และรังไหม(ข) ที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป

6.4.4 การย้อมสีเยื่อกระดาษ เยื่อกระดาษจากวัตถุดิบต่างๆ เช่นไมยราบยักษ์ ต้นสา ก้าน ต้นหม่อน เมื่อนำมาเตรียมเยื่อแล้วฟอกขาว จากนั้นนำมาแช่น้ำย้อมสีธรรมชาติก่อนขึ้นรูป จะได้กระดาษย้อมสีธรรมชาติสวยงาม(รูปที่6.24)



รูปที่ 6.24 การดาษที่ทำจากเยื่อย้อมสีธรรมชาติ สีคัง(ก) สีแก่นฝาง(ข) สีมะกรูด+ส้ม(ค)

สีทองกวาว+สะนอย(M1YOBu, ง) สีทองกวาว+รากยอป่า(BM4, จ)

6.4.5 การย้อมเส้นด้ายใยกันซง ใช้วิธีย้อมเช่นเดียวกับการย้อมด้ายฝ้าย ได้สีติดเข้มและคงทนแบบเดียวกัน(รูปที่6.26)



ก



ข

รูปที่ 6.26 การย้อมเส้นด้ายใยกันซง(ก) และผ้าลินินมัดย้อม(ข) ด้วยสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป

6.5 สรุปผลการวิจัยการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ และข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปในรูปผงแห้งและอัดเม็ดกรนูลได้สูตรสีย้อมที่นำไปใช้ในงานย้อมผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ดีในระดับการย้อมในอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยย้อมด้ายฝ้ายหรือไหมหรือใยกันซงในลักษณะที่เป็นใจ ย้อมฝ้ายมากที่สุดครั้งละ 1 ห่อ หรือประมาณ 4.5 กิโลกรัม แต่ถ้าเป็นการย้อมในระดับโรงงานอุตสาหกรรมการย้อมจะเป็นการฉีดน้ำสีเข้าไปในหลอดด้ายหลอดใหญ่รูปโคน ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะย้อมยาก เพราะน้ำสีจะเข้าเส้นด้ายได้ยาก การปรับกระบวนการย้อมและสูตรที่

เหมาะสมอาจจะแก้ปัญหานี้ได้ อีกประการหนึ่งการผสมสูตรสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผ่านมานั้นยังได้เม็ดสีที่นำมาละลายหรือกระจายตัวในน้ำเพื่อเตรียมน้ำย้อมยังไม่ได้เท่าที่ต้องการ รวมทั้งความคงทนต่อแสงสำหรับสีบางสีโดยเฉพาะสีเหลืองยังต้องการการปรับปรุงอีกมากในอันที่จะแข่งขันกับสีสังเคราะห์ในเชิงพาณิชย์ได้

ความหลากหลายของชนิดสีและเฉดสีของสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งควรต้องทำการวิจัยให้สามารถผลิตได้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามแนวโน้มของแฟชั่นในแต่ละปี และการปรับปรุงเส้นใยต่างๆ เพื่อให้ดูดซับสีได้มากขึ้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องทำควบคู่กันไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติที่มีคุณค่าและราคาที่แข่งขันกับตลาดโลกได้ในอนาคต

บทที่ 7

การส่งเสริมการผลิตและการใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป

ปัจจุบันความสนใจเกี่ยวกับการใช้สีย้อมธรรมชาติมีเพิ่มมากขึ้นสืบเนื่องมาจากการตระหนักถึงพิษภัยอันเกิดจากการใช้สีสังเคราะห์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ผลิต ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เข้ามาส่งเสริมฝึกอบรมให้ผู้ประกอบการได้หันกลับมาผลิตและทอผ้าย้อมสีธรรมชาติกันมากขึ้น มีกลุ่มวิจัยการย้อมสีธรรมชาติทั้งในกลุ่มชาวบ้านและกลุ่มนักวิชาการเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่จะกลับไปส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นให้มีการผลิตสิ่งทอย้อมสีธรรมชาติกันอย่างยั่งยืนต่อไป ผลจากการวิจัยเหล่านั้นก็ยังมีปัญหาต่างๆ ที่จะต้องแก้ไขปรับปรุงอีกมากเพื่อให้มีข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการผลิตสารย้อมสีธรรมชาติบางชนิดที่มีศักยภาพในการแข่งขันได้กับ "สีวิทยาศาสตร์ โครงการวิจัย" การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติ(ระยะที่ 2)" นี้มุ่งประเด็นไปที่ (1) การขยายขนาดการผลิตสีแปรรูปที่เป็นสีหลัก 3 สี คือ แดง เหลือง น้ำเงินจากรากยอป่า ครั่ง ครามและฮ่อม เพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการได้ทดลองใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในแหล่งต่างๆ ในภาคเหนือและภาคอีสาน (2) การแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่ใช้สีธรรมชาติในเขตสีอื่น โดยเฉพาะสีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสง โดยเน้นการใช้พืชที่ส่งเสริมการปลูกง่ายและส่วนของพืชให้สีที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่าเช่น ใบ เปลือก เหง้า หัวและราก (3) การเพิ่มเจดสีของสีธรรมชาติแปรรูป โดยการผสมสารให้สีที่สกัดและแปรรูปตลอดจนการปรุงแต่งสีแปรรูปด้วยสารสกัดจากธรรมชาติให้อยู่ในลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมย้อมที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด (4) การหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บสีแปรรูปที่ผลิตได้ให้คงทนและสะดวกแก่การนำไปใช้ (5) การออกไปแนะนำส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำสีแปรรูปไปทดลองย้อมผลิตภัณฑ์และติดตามผล และ(6) การทำคู่มือการย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ตลอดจนการใช้สีอย่างคุ้มค่าจากน้ำทิ้งหลังการย้อม

ในระยะเวลาการวิจัยในช่วง 2 ปี นั้นคณะผู้วิจัยสามารถผลิตสารย้อมสีธรรมชาติสำเร็จรูปสีต่างๆ หลายสีและหลายเฉดพร้อมกับวิธีการย้อมสีสำเร็จรูปให้ติดสีเข้มและคงทนต่อการซักขัดถูและแสงได้ผลดีมากระดับหนึ่งถึงแม้ว่ามีบางส่วนที่จะต้องทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์สีย้อมสำเร็จรูปมีคุณภาพที่ดีขึ้น คณะผู้วิจัยได้วางแผนเป้าหมายในการเผยแพร่เพื่อส่งเสริมทั้งผู้ที่ลงทุนผลิตสีย้อมสำเร็จรูปทั้งในระดับตำบลและระดับอุตสาหกรรม ผู้ที่จะนำสีธรรมชาติสำเร็จรูปที่จะนำสีสำเร็จรูปไปย้อมสิ่งทอและอื่นๆ และกลุ่มผู้บริโภคให้หันมานิยมใช้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติกันมากขึ้น โดยมีโครงการที่จะออกไปประชาสัมพันธ์ทำการเผยแพร่ แนะนำส่งเสริมชุมชนให้ทดลองใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป สกัดและเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปไว้ใช้เองและ/หรือจำหน่ายแก่ผู้ต้องการใช้เป็นสีย้อมและเมื่อทำการวิจัยได้ผลระดับหนึ่งแล้วและมีปริมาณมากพอ นอกจากนี้ก็ยังมีโครงการที่จะจัดเตรียมคู่มือการผลิตและการใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปออกเผยแพร่ ซึ่งประการหลังนี้ต้อง

ขอให้ข้อมูลวิจัยครบสมบูรณ์ในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงดีแล้ว ดังนั้นในช่วงการวิจัยที่ผ่านมาเป็นระยะเวลา 2 ปี 9 เดือน ตั้งแต่ สิงหาคม 2544 ถึง เมษายน 2547 นี้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการส่งเสริมการผลิตและการใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปดังต่อไปนี้

7.1 การประชาสัมพันธ์การผลิตและการย้อมสีธรรมชาติสำเร็จรูป

7.1.1 เนื่องจากมีปัญหาเรื่องเครื่องมือและวัตถุดิบบางชนิดที่มีไม่ตรงตามฤดูกาลที่ทำการทดลองในช่วงแรก คณะผู้วิจัยยังผลิตสารสีย้อมสำเร็จรูปออกมาไม่ได้ปริมาณที่มากพอที่จะนำไปให้ทดลองใช้ แต่ได้ประชาสัมพันธ์ เมื่อพบกับกลุ่มผู้ย้อมและทอดผ้าตามงานต่างๆ ที่เขานำสินค้ามาแสดง และยังได้มีโอกาสแสดงนิทรรศการเรื่องสีย้อมธรรมชาติในงานวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติเมื่อเดือน สิงหาคม 2544 ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยให้ความรู้เรื่องสี สีย้อมธรรมชาติ แหล่งของสีธรรมชาติและการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ การสกัดและการผลิตสีย้อมสำเร็จรูป การเพิ่มปริมาณการผลิตสารสีโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ ทั้งยังให้นักเรียนและผู้เข้าชมงานได้ทดลองดูการเปลี่ยนแปลงของสีที่สกัดจากธรรมชาติต่อความเป็นกรด ด่าง ด้วยตนเอง เป็นต้น ได้แสดงผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติด้วย พบว่าได้รับความสนใจมาก (รูปที่ 7.1)



รูปที่ 7.1 นิทรรศการการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ สิงหาคม 2544

7.1.2 นอกจากนี้เมื่อปลายเดือนธันวาคม 2544 คุณกัมปนาท บัว สมบุรา แห่ง "บ้านทอฝัน" เลขที่ 110 ม.6 ต.หนองคู อ.สังขละบุรี จ.กาญจนบุรี ได้มาขอปรึกษาเกี่ยวกับการย้อมสีธรรมชาติเพื่อใช้ในโครงการ "บ้านทอฝัน" ซึ่งเป็นแหล่งเลี้ยงเด็กไม่มีบ้าน 130 คนตั้งแต่แรกเกิดจนถึงวัยรุ่น ไม่ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานใดๆทั้งภาครัฐและเอกชน มีคุณกัมปนาท และภรรยาดูแลอยู่บนเนื้อที่ 40 ไร่ ติตชายแดนพม่า เด็กๆเรียนรู้จากธรรมชาติและปลูกข้าวกินเอง มีการศึกษาหัตถกรรมทุกด้านรวมทั้งการมัดย้อมสีธรรมชาติ ซึ่งทำได้ดีแต่มีขีดจำกัดเรื่องสีที่มีไม่หลากหลายมีแต่สีออกน้ำตาล และข้อมูลเกี่ยวกับการย้อมสีธรรมชาติ ทางคณะผู้วิจัยได้ให้คำปรึกษาเรื่องการพัฒนาการผลิตสีย้อมใช้เองและปลูกพืชให้สีในเนื้อที่ที่มีอยู่โดยให้ต้นย้อมไปขายย้อมพันธุและจะหาเมล็ดครามให้ รวมทั้งสอนวิธีการหมัก

ครามและย้อมคราม และการสกัดและเตรียมน้ำย้อมสีอื่นๆ และการย้อม หากมีปัญหามาสามารถมาได้ ตามได้ตลอดเวลา แนะนำการใช้สีย้อมอย่างมีประสิทธิภาพ การย้อมสีกระดาษสาและให้เครื่องมือการทำ กระดาษสาไปทดลองทำ การย้อมโครงใบไม้ การผสมผงหินอ่อนและสีธรรมชาติเพื่อใช้ในการงานปั้น เป็นต้น ซึ่งทาง คุณกัมปนาทเองก็จะรับบุกเบิกในด้านนี้พร้อมกับหาตลาดรองรับเพื่อให้เด็กใน “บ้าน ทอฝัน” ได้มีอาชีพและอยู่ได้แบบพอเพียง หากมีโอกาสคณะผู้วิจัยจะนำสีสำเร็จรูปไปให้ทดลองใช้และ สอนการเตรียมสีสำเร็จรูปบางสีเพื่อใช้ย้อมหากมีเหลือก็จะได้ออกจำหน่ายได้ต่อไป และในวันปีใหม่นี้ ครอบครัวบ้านทอฝันก็ได้ส่ง ส.ค.ส. ประดิษฐ์เองจากผ้าย้อมสีธรรมชาติมาให้อด้วย (รูปที่ 7.2)



รูปที่ 7.2 สิ่งประดิษฐ์จากผ้าย้อมสีธรรมชาติของครอบครัว“บ้านทอฝัน”

7.1.3 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2545 คณะผู้วิจัยได้เดินทางไปประชาสัมพันธ์ และสำรวจแหล่งย้อมสีธรรมชาติและวัตถุดิบในภาคอีสานเหนือ 7 จังหวัดคือ ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด มุกดาหาร อุตรดิตถ์ หนองคาย สกลนคร (รูปที่ 7.3) จากการสำรวจผู้สนใจใช้สีธรรมชาติสำเร็จ รูปพบว่ามีความสนใจมากหากราคาไม่แพงกว่าสีสังเคราะห์มากนัก ได้เส้นไหมจากโรงงานย้อมและทอ ผ้าไหมมาทดลองย้อมและจะจัดส่งสีสำเร็จรูปไปให้ทางโรงงานทดลองย้อมด้วยหากผลิตได้ปริมาณ มากพอ ทางภาคอีสานเป็นแหล่งที่จะผลิตคราม paste ส่งให้ได้และมีการปลูกครามมากขึ้นหากมี ความต้องการใช้มากก็จะสามารถปลูกและผลิตได้มากขึ้น ทางจังหวัดแพร่ก็เริ่มนำครามจากอีสานมา ปลูกและในปี 2546 ที่ผ่านมานี้ได้ขยายการปลูกไปอีกหลายสิบไร่ การย้อมสีครามธรรมชาติทางภาค เหนือมีที่ท่าจะฟื้นคืนมาที่จังหวัดแพร่ซึ่งนับว่าเป็นนิมิตหมายที่ดีมาก



รูปที่ 7.3 ประชาสัมพันธ์ย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่โรงงานผ้าไหมจังหวัดขอนแก่น

7.1.4 เมื่อปลายเดือนกุมภาพันธ์ 2546 ที่ผ่านมานี้ทางคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสไปประชาสัมพันธ์ สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปในงานครบรอบ 10 ปี สกว. โดยนำสีผงสำเร็จรูปสูตรต่างๆ พร้อมกับผ้าตัวอย่างที่ย้อมได้จากสีเหล่านั้นไปแสดงด้วย (รูปที่ 7.4) ปรากฏว่าได้รับความสำเร็จอย่างดีเยี่ยม มีทั้งกลุ่มผู้บริโภค กลุ่มผู้ผลิตสีย้อมผ้า กลุ่มผู้ต้องการใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปในด้านต่างๆ อาทิ เช่น ย้อมผ้า ทาไม้ ย้อมกระดาษสา เขียนภาพ ทำภาชนะบรรจุอาหาร โครงใบไม้ ดินปั้น และผสมอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นต้น แต่ละกลุ่มได้แสดงความสนใจอย่างมากและรอที่จะนำไปใช้ จากการประชาสัมพันธ์ ณ ที่นี้ได้จุดประกายให้กลุ่มนักวิจัยเองมองเห็นทางที่จะพัฒนาสีผงธรรมชาติให้ใช้ในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากสีย้อมผ้าโดยเฉพาะสีผสมอาหารและเครื่องดื่ม

7.1.5 สืบเนื่องจากงานครบรอบ 10 ปี สกว. ได้มีผู้สนใจตามมาดูงานและขอทำแห้งสีธรรมชาติ มาปรึกษาเพื่อดูความเป็นไปได้ในการผลิตสีธรรมชาติที่ทำแห้งสีธรรมชาติ มาปรึกษาเพื่อดูความเป็นไปได้ในการผลิตสีธรรมชาติที่ทำแห้งเก็บไว้ใช้เองและจำหน่าย และเมื่อต้นเดือนมีนาคมที่ผ่านมา ฝ่ายข่าวช่อง 7 สี ได้ขอมาถ่ายทำขั้นตอนการทำโดยสังเขป(รูปที่ 7.5) เพื่อออกรายการคนไทยวันนี้ ซึ่งออกอากาศไปเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2546 นี้ เวลา 19.45 น. หลังจากนั้นก็มีผู้ติดต่อขอซื้อสีผง(ซึ่งยังไม่ขาย)และบางคนยังไม่เคยย้อมผ้าเลยก็อยากจะศึกษาวิธีย้อมสีธรรมชาติเหล่านี้เป็นต้น มีบริษัทที่สนใจจะลงทุนเดินทางมาสำรวจแหล่งวัตถุดิบโรงงานเครื่องมือ และความเป็นไปได้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

งานครบรอบ 10 ปี สกว. ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์



รูปที่ 7.4 แสดงผลงานวิจัย ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์เนื่องในงานครบรอบ 10 ปี สกว.

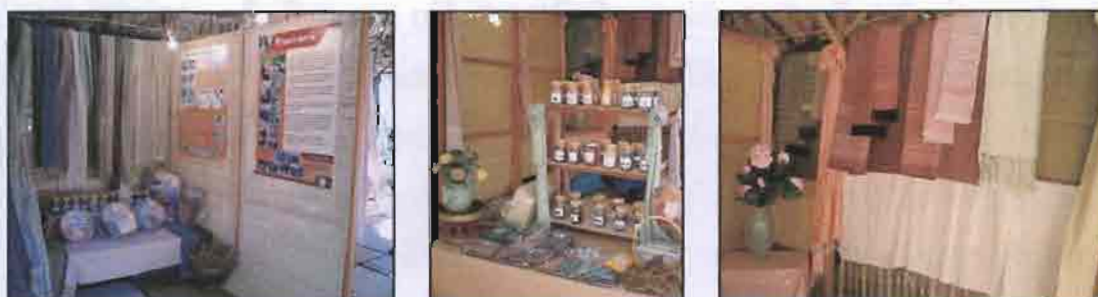


7.1.6 ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2546 ที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้แสดงนิทรรศการวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แนวทางในการพัฒนาสื่อธรรมชาติสำเร็จรูปเพื่อใช้ในงานด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต ผู้ชมงานและเยาวชนต่างๆ ได้ให้ความสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยทางด้านนี้เพิ่มขึ้นเพื่อนำไปผสมผสานกับผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่เขาคิดผลิตขึ้นมา (รูปที่ 7.6)



รูปที่ 7.6 นิทรรศการวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนสิงหาคม 2546

7.1.7 มอบผลงานวิจัยที่เป็นสื่อธรรมชาติสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ย้อมสีรวมทั้งแผนพับเพื่อประชาสัมพันธ์ให้ทางสกว. ซึ่งจัดสกว.สัญจร ภาคใต้ ภาคอีสาน และครั้งสุดท้ายในภาคเหนือ เมื่อเดือนธันวาคม 2546 ซึ่งในภาคเหนือนี้คณะผู้วิจัยได้นำผลงานทั้งหมดไปร่วมจัดแสดงและเปิดตัวสื่อธรรมชาติสำเร็จรูปให้ผู้สนใจได้นำไปทดลองใช้ (รูปที่ 7.7)



รูปที่ 7.7 นิทรรศการในงานสกว.10 ปี สัญจรภาคเหนือเมื่อเดือนธันวาคม 2546

7.2 การแนะนำส่งเสริมให้ชุมชนทดลองใช้สื่อสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น

7.2.1 ในการวิจัยช่วงที่สองในปีพ.ศ. 2545 มีปัญหาเรื่องวัตถุดิบที่จะใช้ปริมาณมากไม่เป็นไปตามที่ตั้งเป้าไว้ เช่นสั่งปลูกครามเมื่อต้นปีปรากฏว่าช่วงฤดูร้อนครามแห้งตายหมดได้ห่อตามพื้นที่บนดอยเพียงไม่กี่กิโลกรัม ครึ่งจะมีน้ำครึ่งซึ่งเป็นช่วงเดือนกันยายนและตุลาคมก็ตรงกับช่วงการวิจัยระยะที่ 2 ดังนั้นในการวิจัยช่วงที่ 2 นี้จึงได้พยายามผลิตตามวัตถุดิบที่หาได้และปรับปรุงสูตรสำเร็จ พร้อมทั้งหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ๆ สูตรสำเร็จใหม่ๆ เพื่อขยายการผลิตในช่วงที่ 3 ให้เพียงพอที่จะนำไปแจกจ่ายให้ชุมชนได้ทดลองใช้ ซึ่งในช่วงที่ 2 นี้ไม่สามารถจะทำได้เนื่องจากวัตถุดิบไม่พอ อย่างไรก็ตามในช่วง

ที่ผ่านมาได้มีโอกาสพบปะกับผู้ย้อมผ้าสีธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ ในงานแสดงสินค้าบ้าง ในการประชุมสัมมนาสีย้อมธรรมชาติบ้างก็ได้ประชาสัมพันธ์และเกริ่นให้ทราบล่วงหน้าแล้วว่าปลายปีพ.ศ. 2545 นี้จะได้นำสีย้อมไปให้ทดลองใช้แน่นอน

7.2.2 ในช่วงต้นเดือนและกลางเดือนกรกฎาคมที่ผ่านมาผู้วิจัยได้มีโอกาสไปร่วมประชุมกลุ่มผู้ย้อมสีครามธรรมชาติที่สวทช. เพื่อหาทางจัดตั้งศูนย์สำหรับการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียมและการย้อมสีคราม เผยแพร่และส่งเสริมในด้านแหล่งวัตถุดิบ การผลิตและการย้อมสีครามแก่ผู้สนใจและในวันที่ 19 กรกฎาคม 2545 ได้เข้าร่วมประชุมสัมมนาเกี่ยวกับการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติที่รัฐสภา ปรากฏว่าเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นยังไม่เหมาะที่จะใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับใช้ทั่วไปทั้งประเทศหรือเพื่อการส่งออก เนื่องจากเกณฑ์ที่กำหนดมานั้นค่อนข้างจะเป็นเกณฑ์ที่มุ่งเน้นอนุรักษ์ภูมิปัญญาและวิธีการดั้งเดิมโดยไม่มีการพัฒนา เกณฑ์ดังกล่าวจึงเหมาะที่จะใช้เฉพาะเป็นเกณฑ์ของกลุ่มที่เขาเลือกทำวิจัย 4 กลุ่มในภาคอีสานเท่านั้น

7.2.3 ได้ร่างคู่มือการเตรียมน้ำย้อมจากครามหรือฮ่อมและการพัฒนาการย้อมเส้นใยต่างๆ และวางแผนการเตรียมคู่มือการปรุงสูตรน้ำย้อมสีอื่นๆ และพัฒนาการย้อม แต่ยังไม่ได้พิมพ์ออกมา เพราะคณะผู้วิจัยต้องการให้มีข้อมูลส่วนต่างๆ จากการวิจัยที่จำเป็นครบสมบูรณ์ก่อนจึงพิมพ์ออกมา ซึ่งคิดว่าจะแยกเป็นเล่มเล็กๆ ตามสีที่เตรียมได้ เช่น สีครามธรรมชาติ สีแดงจากครั่งและรากยอป่า สีเหลืองจากขมิ้น เปลือกส้ม ผิวมะกรูด เปลือกหอมเป็นต้น และสีอื่นๆ เช่น เขียว ดำ น้ำตาล ส้ม ม่วง เป็นต้น จากการผสมสีจากพืชที่มีอยู่และการแสวงหาพืชให้สีดังกล่าว ผลการวิจัยทั้งหมดได้ผลดีมากระดับหนึ่งแต่ยังมีหลายอย่างที่ต้องปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่าเดิมทั้งในแง่การละลาย ความคงทนของสีต่อการซักและแสง การติดสีของเส้นใยชนิดต่างๆ ตลอดจนการเพิ่มสีให้หลากหลายได้ตามความต้องการของผู้บริโภคและกระบวนการผลิตสีผงสำเร็จรูปที่มีราคาการผลิตต่ำลงพอที่จะแข่งขันได้กับสีสังเคราะห์ คณะผู้วิจัยจึงยังไม่ออกคู่มือนี้จนกว่าผลงานวิจัยจะได้ผลดีตามที่คาดหวังไว้

7.2.4 สืบเนื่องจากการร่วมนิทรรศการงาน 10 ปี สกว.สัญจรภาคเหนือซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้นำผลงานวิจัยไปร่วมแสดงนั้นยังได้ทำการเปิดตัวให้ผู้สนใจได้ลองนำสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผลิตได้ไปทดลองใช้ด้วยโดยจัดแบ่งใส่ถุงๆ ละครึ่งกิโล และ 100 กรัมพร้อมวิธีการใช้กำกับไว้ด้วย (รูปที่ 7.8) แบ่งให้กลุ่มวิจัยเมื่องานของพระอาจารย์สมคิดได้ทดลองย้อมในงานนิทรรศการการมัดย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติในงานเดียวกัน และผู้สนใจที่มีแนวโน้มในการที่จะเป็นผู้ผลิต นอกนั้นจัดจำหน่ายในราคาต่ำกว่าทุนเพื่อให้ผู้สนใจทดลองนำไปย้อมและขอข้อมูลกลับ ปรากฏว่ามีผู้สนใจนำไปทดลองย้อมมากพอสมควรทั้งที่เป็นมือสมัครเล่น และในระดับที่จะผลิตสิ่งทอสีธรรมชาติขาย มีชาวลาวที่มีกิจการผ้าไหมที่เวียงจันทน์ได้ซื้อไปทดลองย้อมหลายสีด้วยกัน อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยก็ยังไม่ได้รับข้อมูลกลับคืนมาว่าผลการใช้เป็นอย่างไร



รูปที่ 7.8 รูปแบบของสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่จัดแสดงในงานและเผยแพร่ให้ทดลองใช้

7.2.5 เมื่อต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2547 นี้มีกลุ่มพัฒนาชุมชน จังหวัดขอนแก่นพาผู้ประกอบการผลิตผ้าไหมและฝ้ายมาดูงานและขอแบ่งสีย้อมธรรมชาติไปทดลองย้อมเช่นกันก็ยังไม่ได้ข้อมูลกลับ และยังบอกว่าถ้ามีสีอื่นเพิ่มเติมก็ขอให้แจ้งไปด้วย

7.2.6 เมื่อต้นเดือนมิถุนายน 2547 อาจารย์จากสถาบันราชภัฏ จังหวัดภูเก็ตที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการทำผ้าบาติกได้ขอแบ่งสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปไปทดลองทำ คณะผู้วิจัยเสนอแนะให้ใช้ร่วมกับการชุบผ้าด้วยน้ำเต้าหู้ก่อนเขียนลาย แต่ยังไม่ทราบผลคืบหน้าเช่นกัน

7.2.7 สำหรับผู้ที่ลงทุนผลิตสีผงสำเร็จรูปขายก็ได้เข้ามาปรึกษาดูงานและแบ่งสีไปทดลองหลายรายด้วยกันตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมาจนกระทั่งปัจจุบันก็ยังไม่มีการลงทุน ปัญหาคือต้นทุนในการลงทุนสูงต้องมีเครื่องมือและที่ที่จะตั้งโรงงานผลิตรวมทั้งยังไม่แน่ใจว่าการตลาดจะเป็นอย่างไร บางรายมาซื้อที่เชียงใหม่ไว้แล้วดูงานไปแล้วก็ยังไม่เริ่มดำเนินการ อีกปัญหาหนึ่งก็คือถ้ามีการผลิตและลงทุนไปแล้วจะมีวัตถุดิบมากพอที่จะป้อนโรงงานหรือไม่โดยที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งต้องมีการส่งเสริมการปลูกไม้ให้สีกันมากขึ้นเหล่านี้เป็นต้น

บทที่ 8

การเพิ่มผลผลิตสารสีจากธรรมชาติ

ปัจจุบันความสนใจในสีธรรมชาติเพิ่มขึ้นทุกขณะ สืบเนื่องมาจากการที่มนุษย์มีความใส่ใจต่อการป้องกันรักษาสีสิ่งแวดล้อมให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากขึ้น ในแง่ของสีย้อมนั้นสีสังเคราะห์เคมีที่ใช้กันอยู่มากจะเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นอันตรายต่อตับ ไต หัวใจ ผิวหนัง ตา ปอด และกระดูก นอกจากนี้ น้ำทิ้งจากการย้อมสีก็เป็นสารพิษก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมนอกเหนือจากมลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆที่เพิ่มพูนขึ้นทุกนาที่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวเรา และในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มนุษย์ได้ตระหนักถึงภัยอันเกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษกันมากขึ้น และได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อแก้ปัญหาและลดมลภาวะจากสิ่งแวดล้อมในทุกด้าน ด้วยเหตุนี้จึงมีการตื่นตัวกลับมาใช้สีย้อมธรรมชาติกันมากขึ้น ประเทศไทยเองก็มีการส่งเสริมการใช้สีธรรมชาติมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 มีการค้นคว้าทดลองและฝึกอบรมการย้อมสีธรรมชาติกันมากขึ้น และภาคอุตสาหกรรมเองก็เริ่มแสวงหาสารให้สีธรรมชาติในแนวทางเพื่อให้ได้เจดสีที่หายากและไม่สามารถจะสังเคราะห์ได้มาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นเทียบเท่ากับการใช้สีสังเคราะห์

ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่ให้สีและที่ทำให้สีติดมีมากมายหลายชนิดทั้งที่เป็นสีแดง เหลือง น้ำเงิน สีเปลือกไม้ สีดำ และอื่นๆ เช่น สีแดงอาจใช้สีครั่ง รากยอ แก่นฝาง รากฝาง สีส้มอาจใช้เมล็ดคำแสดหรือคำเงาะ สีเหลืองอาจจะใช้สีจากเหง้าขมิ้น ดอกดาวเรือง แก่นขมิ้น แก่นแกล ดอกคำฝอย ผิวเปลือกมะกรูด ผิวส้ม เปลือกต้นมะม่วงป่า สีดำจากผลมะเกลือ สีน้ำเงินจากครามและส้อม เป็นต้น ปัจจุบันวัตถุดิบให้สีธรรมชาติที่พบในประเทศไทยมีปริมาณไม่มากพอกับการขยายตัวของการผลิตและการใช้สีย้อมธรรมชาติ ไม่พอที่จะใช้ในการส่งเสริมให้เกิดผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมหรือแม้แต่ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมได้ พืชให้สีมีปริมาณน้อยลงทุกทีถึงแม้จะมีการส่งเสริมการปลูกควบคู่ไปกับการส่งเสริมการผลิตและการใช้ แต่ก็ยังไม่มีสิ่งที่เป็นรูปธรรมปรากฏขึ้นให้เห็นได้อย่างเด่นชัด ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติก็ยังมีไม่เพียงพอแก่ความต้องการของผู้บริโภค พืชให้สีนั้นมีปริมาณเนื้อสีไม่มากพอที่จะใช้ย้อมผ้าในปริมาณมากๆได้ ทำให้มีขีดจำกัดในการผลิตสารสีย้อม ดังนั้นการส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตสารสีจากธรรมชาตินั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วนและมีความสำคัญเทียบเท่ากับการส่งเสริมการพัฒนาการผลิตสารย้อมสีธรรมชาติและวิธีการย้อม คณะผู้วิจัยได้พยายามวางแนวทางขั้นต้นในการเพิ่มผลผลิตสารสีจากธรรมชาติไว้อย่างกว้างๆ สามแนวทางคือ การส่งเสริมการปลูกพืชให้สีและสารช่วยติดสี การเพิ่มผลผลิตสารให้สีโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี และการเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ รายละเอียดของผลการวิจัยมีตามลำดับดังต่อไปนี้

8.1 การส่งเสริมการปลูกพืชให้สีและสารช่วยติดสี

การรวบรวม ศึกษาวิจัย และพัฒนาสารสีจากธรรมชาติให้สามารถเข้าสู่ระบบการผลิตเชิงพาณิชย์หรือเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างยั่งยืนนั้นจะต้องทำคู่ขนานกันไปกับการอนุรักษ์ รวบรวมและขยายพันธุ์พืชให้สีให้มีความเพียงพอ ในประเทศไทยมีพืช สัตว์ และจุลินทรีย์จำนวนมากมาหลายชนิดที่ให้สีตามธรรมชาติได้ ซึ่งกลุ่มที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและภาคเกษตรกรรมที่ทำหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรน่าจะเป็นผู้รับผิดชอบโดยตรงในการวางโครงการและเป้าหมายหลัก เพื่อการส่งเสริมประสานงานกับกลุ่มวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติ และกลุ่มผู้ใช้สีธรรมชาติในการย้อมสิ่งทอต่างๆ ซึ่งจะเป็นผู้รับผิดชอบทางอ้อมเกี่ยวกับการให้ข้อมูลวัตถุดิบที่ให้สีธรรมชาติที่ใช้อยู่ และพยายามปลูกทดแทนตามกำลังและเนื้อที่ที่มีอยู่ ซึ่งก็เพียงพอสำหรับใช้ในกลุ่มเล็กๆ เท่านั้น ไม่มากพอที่จะให้ผลผลิตในเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรม หากปล่อยให้ไปแสวงหาเองในป่าพืชก็จะหมดป่าในที่สุด ในการประชุมเรื่องสารสีธรรมชาติเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน 2546 ณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริของสมเด็จพระเทพฯ ที่จังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้การศึกษวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ได้พิจารณาวางกรอบวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติให้ครอบคลุมถึงการรวบรวม อนุรักษ์ และขยายพันธุ์พืชให้สีมีให้สูญหายไปและมีปริมาณเพิ่มขึ้นให้เพียงพอแก่การผลิตสารสีธรรมชาติที่มีศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ให้มากขึ้น และสามารถขยายสู่ทางการใช้ประโยชน์จากสารสีธรรมชาติให้มากขึ้น เช่น การผลิตอาหาร เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอาง และสิ่งของเครื่องใช้อื่นๆ เป็นต้น ดังนั้นในช่วงเวลาการวิจัยของโครงการวิจัยการพัฒนาศาสตรสีธรรมชาติ(ระยะที่ 2) ที่ผ่านมานี้ คณะผู้วิจัยได้รวบรวมชนิดของพืชให้สีที่คัดเลือกมาใช้ในการผลิต และพืชที่ใช้สำหรับการปล่อยครั้งเพื่อให้ได้สารจากครั้ง เพื่อการอนุรักษ์และส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตพืชให้สีดังกล่าวให้ทันต่อการพัฒนาการผลิตสารสีธรรมชาติเชิงพาณิชย์ในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีกลุ่มที่รับผิดชอบโดยตรงทางด้านนี้มาพัฒนาส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตพืชให้สีธรรมชาติอย่างยั่งยืน ทั้งนี้รวมถึงพืชที่ผลิตสารช่วยติดสีและพืชที่ใช้ปล่อยครั้ง เช่น ต้นจำปา ซึ่งนับวันจะมีจำนวนน้อยลงทุกที

สำหรับคณะผู้วิจัยเองนั้นการส่งเสริมการปลูกทำได้เพียงแนะนำชุมชนที่มีโอกาสเข้าไปสัมผัสโดยเฉพาะกลุ่มผู้ย้อมผ้าสีธรรมชาติให้ปลูกพืชให้สีใช้เองและทดแทน และพยายามหาเมล็ดพันธุ์ส่งให้ ถ้าสามารถทำได้ ก็พบปัญหาระดับหนึ่ง พืชผลิตสีธรรมชาติที่ใช้มากและส่งเสริมการปลูกเป็นอันดับแรกคือ ฮ่อมและครามซึ่งให้สารสีอินดิโกที่มีสีน้ำเงินและมีสารสีแดงคืออินดิรูบินอยู่ด้วย หากมีการผลิตสีสำเร็จรูปในปริมาณมากคงต้องมีการส่งเสริมการปลูกพืชทั้งสองชนิดนี้ ฮ่อมเป็นพืชที่ชอบที่ร่มขึ้นในธรรมชาติขึ้นตามไต้ต้นไม้ใหญ่ริมลำธาร ส่วนครามปลูกในที่แจ้งต้องการแสงแดด ทั้งสองชนิดใช้เวลาปลูก 5 เดือนกว่าจะเก็บเกี่ยวมาใช้งานได้และเก็บผลได้ประมาณ 2-3 ครั้งสำหรับคราม ส่วนฮ่อมเป็น

ไม้พุ่มเมื่อเก็บเกี่ยวไปมาใช้แล้วต้องรอให้แตกใบใหม่ประมาณ 5 เดือนจึงจะเก็บได้อีกครั้ง ส้อมใช้ปักกิ่งชำขึ้นง่าย ส่วนครามใช้เพาะจากเมล็ด ในระดับการขยายการผลิตในการทำวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ส่งปลูกครามโดยจะรับซื้ออาทิตย์ละ 50-100 กิโลกรัมในเดือนพฤษภาคม ซึ่งได้บอกผู้ใหญ่บ้านในอำเภอคอยสะเกิด และอาจารย์บุญมีซึ่งรับปากจะปลูกให้ที่ไร่ในจังหวัดลำปาง ส่วนส้อมนั้นก็ให้เริ่มปักชำและขยายพันธุ์เช่นเดียวกัน ได้มอบพันธุ์ต้นส้อมให้แก่โครงการ "บ้านทอฝัน" ไปปลูกเพื่อขยายพันธุ์ด้วย ส่วนพืชอื่นๆที่ใช้มากก็จะดำเนินการต่อไป

พืชผลผลิตธรรมชาติที่ใช้มากในการทำสีสูตรสำเร็จรูปที่ได้ผลดีคือ ยอป่า ต้นสะนอย ชมื่นน้อย มะกรูด ผักเชียงดา ส้อมและคราม ส้อมนั้นได้บอกผู้ใหญ่บ้านบางหมู่บ้านให้ชาวบ้านหามาปลูกไว้ตามที่ร่มในบ้านซึ่งต้นส้อมนั้นเขาติดต่อขอได้จากสวนพฤกษชาติต่างๆ ที่เพาะพันธุ์พืชไว้แจกจ่ายซึ่งเขาก็กำลังดำเนินการ ส่วนครามทางอีสานปลูกมาก ทางภาคเหนือปลูกน้อยส่งเสริมให้ปลูกและรับซื้อที่จังหวัดลำปางและกำลังขอเมล็ดพันธุ์ครามดี จากจังหวัดสกลนครมาให้ผู้สนใจปลูกในที่ของตนเองในหมู่บ้าน ได้แจกเมล็ดครามที่ได้มาจากอีสานให้กับผู้สนใจนำไปปลูกขยายพันธุ์และสอนวิธีการหมักคราม เป็นที่น่ายินดีว่ากลุ่มผลิตผ้าทอมือที่จังหวัดแพร่ นำโดยคุณประนอม ทาแปง ได้เริ่มหันมาข้อมสีธรรมชาติและใช้ผลิตสิ่งทอมากขึ้นโดยเฉพาะสีครามธรรมชาติ เป็นการพลิกฟื้นสีครามธรรมชาติซึ่งชาวแพร่เคยทำมาก่อนในอดีตให้กลับคืนมาในวิถีทางที่ดีขึ้น และคุณประนอมได้ขยายพื้นที่ปลูกครามในปี พ.ศ.2546 นี้ออกไปอีกหลายสิบไร่

สำหรับครั้งนั้นควรส่งเสริมให้มีการปล่อยครั้งและปลูกต้นไม้ที่จะปล่อยครั้งได้และแนะนำให้มีการใช้สีย้อมจากน้ำล้างครั้งกันมากขึ้นโดยเฉพาะการย้อมฝ้ายในภาคเหนือเผยแพร่วิธีการเตรียมและการย้อมโดยนำออกมาเป็นคู่มือเล่มเล็กๆ ซึ่งจะจัดทำขึ้นหลังจากผลการวิจัยสมบูรณ์ดีแล้ว สำหรับสีครั้งนั้นทางโรงงานทำครั้งเม็ด (seed lac) ได้แจ้งว่าชาวบ้านเริ่มหันมาปลูกต้นจำจาเพื่อปล่อยครั้งกันมากขึ้น เพราะการปล่อยครั้งมีรายได้ดี ราคาตกต่ำอย่างไรก็ไม่ต่ำกว่ากิโลกรัมละ 20-30 บาท ซึ่งผลก็คือจะมีน้ำล้างครั้งมาผลิตสีสำเร็จรูปจากครั้ง ทางโรงงานเองก็จะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายน้ำล้างครั้ง แม้จะราคาถูกก็ยังดีกว่าปล่อยทิ้งไปเฉยๆ ซึ่งต้องมีการบำบัดและระวังมิให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

8.2 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี

การผลิตสารสีโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเพื่อเสริมจากพืชที่ได้ส่งเสริมการปลูกโดยเฉพาะส่วนของพืชที่ให้สีเป็นส่วนที่เป็นแก่นไม้และรากไม้และพืชที่ใช้เนื้อที่การปลูกมากและใช้เวลาการปลูกนาน ในโครงการวิจัยระยะที่ 1 ที่ผ่านมาทางคณะผู้วิจัยได้เพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากยอป่าเพื่อผลิตสีย้อมกลุ่มแอนทราควิโนนซึ่งเป็นสารให้สี พบว่ามอดค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายได้ดีในเอทานอลและวิเคราะห์โครงสร้างแล้วว่าเป็น morindone ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 282°C ส่วนอีกชนิดหนึ่งละลายได้ดีในน้ำต่างซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้

แยกบริสุทธิ์แล้วพบว่าได้เป็นผลึกสีเหลืองที่มีจุดหลอมเหลว $154-156^{\circ}\text{C}$ ซึ่งวิเคราะห์โครงสร้างด้วย $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$ และ Mass spectrometry รวมทั้ง UV-Visible Spectrum แล้วเป็น alizarin-1-methyl ether อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักนี้มีปริมาณน้อยกว่า morindone ประมาณ 1.5 เท่า ในการใช้ย้อมสีผ้ามี 2 ตัวอยู่ด้วยกันจะให้สีแดงส้มในต่างที่ใส่สารส้มด้วย

ในการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากยอบ้านั้นเริ่มจากรากปลอดเชื้อที่เพาะจากเมล็ดยอบ้านในสภาพปลอดเชื้อบนอาหารวุ้นสูตรของ Murashige และ Skoog จากนั้นนำรากที่งอกออกจากเมล็ดมาตัดเป็นชิ้นขนาด 2.5 มิลลิเมตรแล้วเลี้ยงในอาหารชนิดเดียวกันแต่เตรียมขึ้นใหม่จนได้กลุ่มเซลล์ จากนั้นก็นำกลุ่มเซลล์มาเลี้ยงในอาหารเหลว Gamborg's B₅ ซึ่งเติมกรดซัคซินิค 5 กรัม/ลิตร โคเคนติน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร auxin 0.2 มิลลิกรัม/ลิตรและชูโครส 20 กรัม/ลิตร เชย้า 100 รอบต่อนาทีที่ 25°C เป็นเวลา 3 เดือนได้เซลล์รากเพียง 0.14 กรัม น้ำหนักแห้ง แต่เมื่อเลี้ยงในอาหารวุ้นสูตรเดียวกัน ภาวะเดียวกันจะได้เซลล์แห้ง 1.22 กรัมภายใน 1 เดือน กลุ่มเซลล์รากยอบ้านที่เพาะได้ให้รงควัตถุสีเหลืองและแดงเมื่อนำมาสกัดและแยกด้วยโครมาโตกราฟีผิวบางโดยใช้ระบบตัวชะเหมือนกับที่ใช้ในการแยกสารสกัดจากรากต้นยอบ้านได้แถบสี 2 แถบ แถบหนึ่งมีค่า R_f เทียบได้กับสารสีแดงที่สกัดได้จากรากต้นยอบ้านซึ่งเป็น morindone อีกแถบหนึ่งมี R_f ตรงกับสารสีเหลืองที่สกัดจากรากยอบ้านด้วยน้ำค้างซึ่งยังไม่ได้หาโครงสร้าง เมื่อเปรียบเทียบการผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนนจากกลุ่มเซลล์ที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 5 เดือนจะมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเลี้ยง 3 เดือนประมาณ 1.4 เท่า ซึ่งคิดเป็น 0.6 เท่าของสีจากรากต้นยอบ้านที่ปลูกได้ 2-3 ปี ผลการทดลองชี้ให้เห็นถึงความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากยอบ้านเพื่อผลิตสีและมีแนวโน้มสูงที่จะสามารถเพิ่มการผลิตสารสีให้มากขึ้นโดยการปรับปรุงภาวะการเพาะเลี้ยงและอาหารซึ่งกำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการ

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้เริ่มเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีอื่นๆเช่น เซลล์เมล็ดคำแสดซึ่งย้อมผ้าได้สีส้มเพราะมี Bixin เซลล์ต้นหรือใบฮ่อมและครามที่มี indigo และ indirubin เซลล์แก่นหรือต้นฝางที่มีสารสีแดงกลุ่มฟลาโวนอยด์และเซลล์สีม่วงฝาง(saffron)ที่ผลิตสารสีกลุ่มคาร์โรทีนอยด์หลายชนิดซึ่งในขณะนี้กำลังศึกษาข้อมูลที่จะใช้เป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงและผลิตสารสีดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้เริ่มเพาะเซลล์เมล็ดคำแสดแล้วแต่ปรากฏว่าขึ้นเป็นต้นซึ่งถ้าต้องการให้เกิดเป็นกลุ่มเซลล์เท่านั้นต้องทำการทดลองต่อไป

ผลการวิจัยในช่วงที่ 1 นั้นคณะผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการเพาะกลุ่มเซลล์รากยอบ้านที่ผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนน และมีสารให้สีหลักสองชนิดคือ morindone และ alizarin-1-methyl ether ที่ผลิตในรากยอบ้านสายพันธุ์เดียวกัน กลุ่มเซลล์รากยอบ้านเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือนจะผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนนได้เป็น 0.6 เท่า ของสีจากรากต้นยอบ้านที่ปลูกเป็นเวลา 2-3 ปี ผลการทดลองชี้ให้เห็นแนวโน้มที่จะเพิ่มการผลิตสารสีให้มากขึ้นโดยใช้เวลาการเลี้ยงที่สั้นลง ในช่วงการวิจัยที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ศึกษาการปรับปรุงภาวะการเลี้ยงโดยการปรับสูตรอาหารที่เพาะเลี้ยงอาทิลีเลี้ยงในที่มืดเทียบกับการ

เลี้ยงในที่ที่มีแสงสว่างในห้อง วัดปริมาณการเจริญของกลุ่มเซลล์ในช่วงเวลาต่างๆ รวมทั้งการผลิตสารสีเปรียบเทียบกัน ขณะนี้กำลังรอการเก็บและวิเคราะห์ผลและขยายการผลิตเพื่อสกัดสีและทดลองย้อมผ้า รูปที่ 8.1 แสดงการเพาะเลี้ยงเซลล์รากยอป่าในปริมาณมากขึ้น



รูปที่ 8.1 การเพิ่มปริมาณการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากยอป่าเพื่อผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนน

ได้ทำการหาวิธีที่วัดปริมาณสีที่เหมาะสมเพื่อหาปริมาณสีที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบสีที่ผลิตจากการเลี้ยงเซลล์รากยอป่าในภาวะต่างๆ กัน เพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการเลี้ยงให้ได้เซลล์มาก และผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนนมากขณะนี้กำลังทดลองหาคอลัมน์ ตัวชะ และภาวะที่เหมาะสมในการตรวจสอบปริมาณสีดังกล่าวด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) และกำลังทดสอบการตรวจสอบปริมาณอินดิโกด้วยเครื่องมือดังกล่าวเพื่อรองรับการทดลองการเพาะเลี้ยงเซลล์ต้นและใบครามให้ผลิตสีอินดิโก ผลการทดลองที่ผ่านมาตั้งแต่ในช่วงการวิจัยระยะที่ 1 และระยะที่ 2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดลองการผลิตรงควัตถุสีแดงจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและขบวนการหมัก เริ่มจากการสกัดสารสีแดงจากรากยอป่าสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. มาทำการตรวจสอบกลุ่มของสารให้สีด้วยวิธีทางเคมีซึ่งพบว่าเป็นสารให้สีกลุ่มแอนทราควิโนน เช่นเดียวกับที่มีผู้พบว่าสารให้สีกลุ่มนี้ผลิตโดยพืชสกุล *Morinda* วงศ์ต่างๆ ที่พบในประเทศไทย เช่น *Morinda coreia* Ham. หรือสลักป่า กุย *Morinda citrifolia* Linn หรือยอบ้าน มะตาเสือ *Morinda lucida* หรือยอเถื่อน ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นพืชหลักที่ใช้ย้อมสีแดงบนผ้าฝ้าย ไหมและขนสัตว์ในประเทศอินเดียและไทย ซึ่งพืชในสกุล *Morinda* นี้จะผลิตสารให้สีที่เปลี่ยนรากในระยะเวลา 2-3 ปีแรกของการปลูก ผู้วิจัยได้คัดเลือกรากยอป่าสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. มาศึกษาเนื่องจากมีมากในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยตามที่ราบสูง เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กที่มีรากขนานไปตามพื้นดินและขยายพันธุ์ง่าย

เมื่อนำสารให้สีจากรากยอป่าที่สกัดด้วยเอทานอลมาทำการแยกและวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักพบว่า จะมีองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดที่ตรวจสอบได้อยู่ 2 ชนิดและมีอยู่เพียงชนิดเดียวที่มีปริมาณมากที่สุดคือประมาณ 1.5% โดยน้ำหนักของผงรากบด ในขณะที่สารสกัดหยาบที่รวมองค์ประกอบอื่นๆ จะมีประมาณ 14% ของน้ำหนักรากแห้ง เปอร์เซนต์สารให้สีที่ได้จากการสกัดจะใกล้เคียง

กับปริมาณสารให้สีที่พบทั่วไปในพืชให้สีในส่วนที่เป็นราก เมื่อทำการแยกบริสุทธิ์สารให้สีหลักที่มีปริมาณมากที่สุด จนได้ผลึกสารบริสุทธิ์เป็นผลึกรูปเข็มสีส้มมาทำการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีโดยการวัดด้วย UV-visible spectrum ใน absolute ethanol พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 446 นาโนเมตร และเมื่อนำไปตรวจสอบด้วย mass spectrophotometer พบ molecular ion (M-H) ที่ m/e เท่ากับ 269 ซึ่งเป็นผลที่วัดได้โดยใช้ FAB-(negative mode) ดังนั้นมวลโมเลกุลของสารนี้ควรเป็น 270 ส่วน C^{13} - NMR สเปกตรัมของสารประกอบนั้นจะเหมือนกันกับสารประกอบมาตรฐาน morindone ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าสารประกอบหลักของสารให้สีที่สกัดจากรากยอป่าสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. เป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลเป็น 270 ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{10}O_5$ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น morindone ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีตามพีเอช กล่าวคือในสารละลายกรดจะให้สีเหลืองและในสารละลายเบสจะให้สีส้มถึงแดงส้ม

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยเริ่มจากเซลล์รากยอป่าในภาควัสดุที่ชุดรากยอป่ามาล้างน้ำสะอาดและแช่ในน้ำยาฆ่าเชื้อ แล้วจึงเพาะในอาหารวุ้นไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในดิน การเก็บรากสดมาเพาะในห้องปฏิบัติการทำได้ยากเนื่องจากกว่าจะมาถึงห้องปฏิบัติการ รากที่สดได้มีลักษณะแข็งมากยากแก่การตัดชิ้นส่วน ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีใหม่ในการผลิตรากปลอดเชื้อโดยเริ่มจากการเก็บเมล็ดรากยอป่ามาเพาะบนอาหารวุ้น เมล็ดรากยอป่าจากหนึ่งดอกจะมีอยู่ 4 เมล็ด เมล็ดอ่อนสีเขียว เมล็ดแก่จะออกสีดำ ได้ทำการเพาะทั้งเมล็ดอ่อนและเปรียบเทียบกับ พบว่าเมล็ดแก่ที่มีลักษณะสีเขียวปนสีม่วงดำมีการเจริญเกิดรากงอกออกมาบนอาหารวุ้นที่เลี้ยงประมาณ 14-30 วัน ได้เป็นรากปลอดเชื้อซึ่งทำการขยายปริมาณเซลล์รากต่อ โดยตัดรากมาวางในอาหารวุ้นที่ประกอบด้วยสูตรอาหาร Gamborg's B₅ ในที่มืดที่ 25 °C เป็นเวลา 30 วัน ได้เซลล์รากเจริญออกมาเพิ่มขึ้น จากนั้นก็ทำการเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากดังกล่าวในอาหารที่มีสูตรกระตุ้นการผลิตสีโดยแบ่งเป็น 2 แบบ คืออาหารเหลว ทำการเขย่า 100 รอบต่อนาที ที่ 25 °C เป็นเวลา 30 วัน เทียบกับอาหารวุ้นที่เลี้ยงในที่มืด ที่ 25 °C เป็นเวลา 30 วัน พบว่าเซลล์เจริญช้ามากในอาหารเหลวเนื่องจากยังไม่ได้ภาวะการเลี้ยงที่เหมาะสม ในขณะที่การเลี้ยงเซลล์รากในอาหาร Gamborg's B₅ เซลล์เจริญเติบโตดีมากเป็นกลุ่มเซลล์รากที่มีทั้งสารสีแดงส้มและสีเหลืองปนกัน ซึ่งเมื่อสกัดและวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าเป็นสารกลุ่ม anthraquinone ซึ่งแยกเป็นสารประกอบหลัก 2 ชนิด เมื่อทำการแยกด้วย TLC พบว่าสารสีแดงมีค่า R_f เท่ากับสารให้สีมาตรฐาน morindone และสารสีเหลืองที่พบในสารสกัดหยาบจากรากยอป่า ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากลุ่มเซลล์รากยอป่าสายพันธุ์นี้ที่เลี้ยงบนอาหารวุ้น Gamborg's B₅ สามารถผลิตสารให้สีชนิดเดียวกับสารให้สีที่สกัดจากรากยอป่าสายพันธุ์เดียวกัน

การตรวจสอบปริมาณการผลิตสารให้สีกลุ่ม anthraquinone จากเซลล์รากที่เพาะเลี้ยง 3 เดือน เปรียบเทียบกับที่เลี้ยง 5 เดือน พบว่าการเลี้ยง 5 เดือน มีการเจริญของเซลล์เพิ่มขึ้นและมีการผลิตสารให้สีในกลุ่ม anthraquinone เพิ่มขึ้น กล่าวคือ เซลล์รากอายุ 3 เดือนอบแห้งได้ 0.15 มก. ขณะที่

ที่เซลล์รากอายุ 5 เดือน อบแห้งได้ 0.39 มก. ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณสารให้สีในกลุ่ม anthraquinone ที่เซลล์รากผลิตขึ้น โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารมาตรฐาน morindone เป็นตัวเทียบ พบว่าสามารถผลิตสารให้สีในกลุ่ม anthraquinone ได้ 0.65% และ 0.89% ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์สัดส่วนการเจริญ การผลิตสี และอายุของเซลล์รากในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณเท่ากัน พบว่า เซลล์รากที่มีอายุเพิ่มขึ้น 2 เดือน มีน้ำหนักเซลล์เพิ่มขึ้น 2.6 เท่า และมีการผลิตสีเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 เท่า อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองยังไม่สามารถชี้ชัดถึงระยะเวลาเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากเพื่อผลิตสารให้สีในปริมาณที่สูง ควรจะมีการทดลองต่อไปในแง่ภาวะที่เหมาะสม ระยะเวลาการเลี้ยง และสูตรอาหารที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เซลล์รากมีการผลิตสีในกลุ่ม anthraquinone เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองเลี้ยงเซลล์รากยอบา 5 เดือน ได้สารให้สีประมาณ 0.9% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ขณะที่รากยอบาที่ได้จากการปลูกนาน 2-3 ปี จะให้สารสีหลักเพียง 1.5% ของน้ำหนักรากแห้งเท่านั้น การเพิ่มปริมาณการผลิตสารให้สีโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์รากจึงมีแนวโน้มที่ดี เนื่องจากใช้เวลาและเนื้อที่น้อยกว่า และสามารถปรับปรุงให้ผลิตสารให้สีเพิ่มขึ้นโดยปรับภาวะการเลี้ยงและสูตรอาหารที่เหมาะสม และยังสามารถปรับได้ง่ายกว่าด้วย นอกจากนี้ควรหาวิธีเก็บเซลล์รากจากเชื้อที่ขยายได้ในลักษณะแห้งเพื่อให้เพาะเลี้ยงต่อไปโดยไม่ต้องเริ่มจากการเพาะเมล็ดรากยอบา เป็นสิ่งที่ควรที่จะทำอย่างยิ่ง

เซลล์รากที่มีลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์สีเหลืองได้ทำการสกัดสารให้สีด้วยคลอโรฟอร์ม และแยกด้วย TLC พบว่ามีสารให้สีหลัก 2 ชนิดที่มีค่า R_f ใกล้เคียงกับสารให้สีจากรากยอบาที่สกัดด้วยเอทานอล โดยชนิดหนึ่งเป็น R_f ของ morindone ส่วนอีกชนิดหนึ่งมีค่า R_f ตรงกับสารให้สีที่สกัดด้วยน้ำค้าง การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารให้สีโดยเทคนิค UV-visible spectroscopy จาก spectrum พบว่าสารให้สีที่สกัดจากรากและที่สกัดด้วยน้ำค้างมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารให้สีที่มีความยาวคลื่น 425 และ 412 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสารให้สีมาตรฐาน morindone ซึ่งดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 441 นาโนเมตร แสดงว่าสารให้สีจากทั้ง 2 แหล่ง เป็นสารในกลุ่ม anthraquinone ที่ไม่ใช่ morindone

การแยกสารให้สีจากการเพาะเลี้ยงเซลล์ราก และสารให้สีที่สกัดด้วยน้ำค้างโดย preparative TLC และชะด้วยคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (9:1) และวิเคราะห์โครงสร้างของสารให้สีหลักที่สกัดได้จากทั้ง 2 แหล่งมาทำการตรวจหานมูฟังก์ชันโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน และจากผลของ UV และ IR spectrum ที่ได้ใกล้เคียงกับสารในกลุ่ม anthraquinone ที่เป็นกรดแอนทราฟลาวิก (2,6-dihydroxyanthraquinone)²² ดังแสดงในรูป 4.1 โดยมีนมูฟังก์ชันคล้ายกัน แต่ข้อมูลที่ได้ยังไม่เพียงพอที่จะบอกโครงสร้างทางเคมีได้ ในการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารนั้นจะต้องใช้ข้อมูลจากทั้ง Mass Spectrometry (MS) ซึ่งจะทราบมวลโมเลกุล และ C^{13} Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (C^{13} -NMR) ของสารบริสุทธิ์มาประกอบกันจึงสามารถยืนยันได้

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารให้สีจากการเพาะเลี้ยงเซลล์รากยอป่า โดยนำเซลล์รากที่มีสีเหลืองมาทำการสกัดด้วยคลอโรฟอร์มและแยกด้วย TLC พบสารให้สีหลัก 2 ชนิด โดยที่ชนิดที่หนึ่ง (สีแดง) คือ มอรินโดน และอีกชนิดหนึ่ง(สีเหลือง)นั้นเมื่อนำมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยการวัดด้วย UV-visible พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 425 นาโนเมตร และมีจุดหลอมเหลว 178-179°C เมื่อนำไปตรวจสอบด้วย mass spectrometry พบค่า mass spectrum เท่ากับ 255.2 ซึ่งเป็นผลการวัดด้วย ion mode แบบ positive mode ดังนั้นค่ามวลโมเลกุลของสารสีเหลืองจึงมีค่าเท่ากับ 254.2 จากผลการวิเคราะห์ด้วย H^1 และ C^{13} -NMR spectrum ของสารนี้จะเหมือนกับ Alizarin-1-methyl ether ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{10}O_5$ Mulder-krieger et al.,1982 รายงานว่าการเพาะเลี้ยงแคลลัสเพื่อผลิตสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนนในพืชสกุล *Cinchona ledgeriana* พบ alizarin, alizarin-1-methyl ether และ 1,8-dihydroxyanthraquinone ซึ่งการเพาะเลี้ยงเซลล์รากยอป่าก็พบสารให้สี alizarin-1-methyl ether เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ในรากของ *Rubia tinctorum* พบสารให้สีในกลุ่มแอนทราควิโนน 16 ชนิด โดยใช้การแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี สารให้สีหนึ่งในนั้นก็คือ alizarin (1,2-dihydroxyanthraquinone) ซึ่งเป็นสารต่างชนิดกับสารให้สีที่พบในรากยอป่า (Derksen, G.C.H.et al.,2002)

สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากยอป่าสายพันธุ์ พันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* craib. สามารถผลิตสารให้สีในกลุ่มแอนทราควิโนน พบว่ามีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด เหมือนกับสารให้สีที่สกัดได้จากรากยอป่าสายพันธุ์เดียวกัน การทำให้บริสุทธิ์และวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีพบสารให้สี Morindone แล Alizarin-1-methyl ether

การศึกษากการเพิ่มผลผลิตสารให้สีจากรากยอป่า เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเสริมการเพิ่มผลผลิตสารให้สีให้เพียงพอที่จะใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อมธรรมชาติ ในการทดลองขั้นต่อไป จะทำการพัฒนานาหาภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้กลุ่มเซลล์พืชที่เพาะเลี้ยงผลิตสารสีได้ในปริมาณที่มาก ในระยะเวลาอันสั้นและศึกษาการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชชนิดอื่น เช่น ต้นครามและต้นฮ้อม

8.3 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ ในโครงการวิจัยระยะที่ 1 คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกจุลินทรีย์ผลิตสีจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ดิน ใบไม้ เปลือกไม้ ดอกไม้ ผักและผลไม้เน่าเสีย น้ำคองผักผลไม้ เติมน้ำหมักและได้จุลินทรีย์ที่ผลิตสีทั้งหมด 180 ไอโซเลท เป็นยีสต์ผลิตสี 81 ไอโซเลท ยีสต์สีดำ 11 ไอโซเลท ที่เหลือไม่ผลิตสี ยีสต์ที่ผลิตสีทั้ง 81 ไอโซเลทนั้นได้นำมาคัดเลือกแล้วจัดจำแนกพบว่ายีสต์ให้สีส่วนใหญ่เป็นพวก genus *Sporidiobolus*, *Rhodospiridium* และ *Rhodotorula* ส่วนใหญ่สร้างสีในกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ คือ เบต้าแคโรทีนและแอสทาแซนทีน นอกจากนั้นยังแยกยีสต์ เชื้อรา

และแบคทีเรียที่ผลิตสีได้จำนวนหนึ่งทั้งที่เป็นสีชมพู สีดำ ม่วง เขียว เหลือง ซึ่งได้ทำการคัดเลือกมาศึกษาการผลิตสีในรายละเอียดแต่ละชนิด

8.3.1 การผลิตสารสีกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ ได้ทำการคัดเลือกยีสต์ผลิตสีกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุดพบว่าเลือกได้ 4 ไอโซเลท คือ 3B1, 3F2, 3A1 และ 3R4 ทั้ง 4 ไอโซเลทได้รับการบ่งชี้ว่าเป็นยีสต์สายพันธุ์ *Rhodotorula glutinis* อย่างไรก็ตามปริมาณที่ผลิตได้ก็ยังคงต่ำกว่าที่มีผู้รายงานไว้ คณะผู้วิจัยได้คัดเลือก 3R4 มาทำการกลายพันธุ์และปรับปรุงสารอาหารให้เหมาะสมที่จะผลิตคาร์โรทีนอยด์ได้สูง พบว่ามีการผลิตคาร์โรทีนอยด์ได้เพิ่มขึ้นมากส่วนใหญ่คือ เบต้าแคโรทีนและแอสทาแซนทีนแต่ปริมาณก็ยังไม่สูงตามที่ต้องการ ทั้งสองตัวไม่ใคร่เสถียรมากใช้เป็นสีผสมอาหารเครื่องสำอางมากกว่าสีย้อม เบต้าแคโรทีนใช้เป็นสาร antioxidant ซึ่งป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็งและชะลอความแก่ เพิ่มภูมิคุ้มกันโรค และยังช่วยรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคขาดวิตามินเอ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาการผลิตสารกลุ่มคาร์โรทีนอยด์โดยใช้ยีสต์มิวแทนท์ 3R4 ในถังหมักและปรับปรุงสารอาหารและภาวะการเลี้ยงทำให้ยีสต์สามารถผลิตสารกลุ่มคาร์โรทีนอยด์เพิ่มขึ้นระดับหนึ่งซึ่งจะดำเนินการปรับปรุงให้ผลิตได้ปริมาณสูงต่อไป

8.3.2 การผลิตสารเมลานิน ยีสต์สีดำที่แยกได้ 3 ไอโซเลทคือ 2E1, B1 และ E ที่แยกจากดินผลิตสารสีน้ำตาลเข้มถึงดำ คือเมลานิน ซึ่งเกิดจากออกซิเดทีฟ พอลิเมอไรเซชันของสารฟีนอลิกและติดอยู่ที่ผนังเซลล์ จากการทดลองพบว่าเมื่อเลี้ยงยีสต์สีดำบนอาหารวุ้นที่มียีสต์สกัดและมอลท์สกัดจะผลิต เมลานินภายใน 5-7 วัน แต่ถ้าเลี้ยงในอาหารเหลวชนิดเดียวกัน พบว่าใช้เวลาถึง 13 วัน มีผู้ศึกษาพบว่าเมลานินไม่ได้เป็นสารจำเป็นสำหรับการเจริญของเซลล์แต่เซลล์ผลิตขึ้นเพื่อให้มีชีวิตรอดต่อสภาพแวดล้อมที่แร้นแค้น เช่น ความร้อนสูง ความหนาวเย็น และในที่ที่มีแสงอุลตราไวโอเลต ดังนั้นการปรับปรุงให้มีการผลิตเมลานินสูงขึ้นคงต้องอาศัยการเลี้ยงในภาวะดังกล่าวซึ่งจะได้ทดลองในโอกาสต่อไป

8.3.3 การผลิตสารสีจากเชื้อรา สารสีแดงและเขียวจากเชื้อราเป็นสารกลุ่ม naphthoquinone แต่สารสีเหลืองเป็น flavonoid เชื้อราไอโซเลทหนึ่งผลิตสารสีแดงกลุ่ม anthraquinone สารกลุ่ม naphthoquinone และ anthraquinone เป็นสารสีละลายน้ำและเซลล์ปล่อยออกมาในอาหารแต่ flavonoid เป็นสารสีอยู่ภายในเซลล์ ดังนั้นการสกัดสารกลุ่ม naphthoquinone และ anthraquinone ทำได้โดยใช้น้ำหรือเมทานอลจากอาหารแข็งแต่ flavonoid สกัดด้วยเมทานอล จากการทดลองพบว่าสารสีจากเชื้อราเหล่านี้ผลิตได้ในปริมาณสูงในอาหารที่เป็นยีสต์สกัดและมอลท์สกัด และอาหารวุ้นมันฝรั่งบดและน้ำตาลเด็กซ์โตรส และสารสีเหล่านี้มีความคงทนในบรรยากาศได้ดีกว่าคาร์โรทีนอยด์จากยีสต์จึงแนวโน้มที่จะนำมาใช้เป็นสีย้อมได้ รูปที่ 8.2 และ 8.3 แสดงการผลิตสีจากเชื้อราและแบคทีเรียที่แยกได้ ในการเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตสีนั้นในโอกาสต่อไปจะมีการปรับปรุงเลี้ยงในอาหารราคาถูกเพื่อลดต้นทุนการผลิตด้วย



รูปที่ 8.2 จุลินทรีย์ที่ผลิตสีต่างๆ (1) เชื้อรา *Fusarium* sp.; สีม่วง (2) แบคทีเรีย; สีเหลือง (3) เชื้อรา *Monascus purpureus*; สีแดงเข้ม (4) เชื้อรา *Penicillium* sp.; สีแดง



(ก)



(ค)



(ข)

รูปที่ 8.3 เชื้อรา *Monascus purpureus* ที่เลี้ยงบนอาหารวุ้น (ก) ลักษณะเส้นใยที่เจริญบริเวณผิวน้ำอาหารวุ้น (ข) สีแดงที่เชื้อราปล่อยออกมาในอาหาร (ค) สารสีที่สกัดด้วยเอทานอล

คณะผู้วิจัยทำการศึกษาสีจากเชื้อรา 3 ชนิดคือ *Fusarium* sp. (สีม่วง) *Penicillium* sp. (สีแดง) และ *Monascus purpureus* (สีแดงเข้ม) ในขั้นต้นได้ศึกษา เชื้อรา *Monascus purpureus* ที่มีสีแดงเข้ม โดยเฉพาะเลี้ยงเชื้อรานบนอาหารวุ้น PGY และอาหารเหลว PGY มีประกอบด้วย เปปโตน 1% (w/v) น้ำตาลกลูโคส 2% (w/v) ยีสต์สกัด 0.5% (w/v) และผงวุ้น 1.5% (w/v) ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) จากการทดลองพบว่าเชื้อรา *Monascus purpureus* ที่เลี้ยงบนอาหารวุ้นจะเจริญได้ช้ากว่าที่เลี้ยงในอาหารเหลวซึ่งในอาหารวุ้นใช้เวลานาน 3 สัปดาห์ เชื้อราจึงจะสามารถเจริญแผ่เต็มบนอาหารเลี้ยงเชื้อส่วนในอาหารเหลวใช้เวลาเพียง 9 วัน สามารถเจริญได้เต็มฟลask จากนั้นทำการสกัดสีจากเส้นใยที่เจริญบนอาหารทั้งสองชนิด โดยใช้ absolute ethanol และนำไปตรวจหาความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงของสารสีแดงที่สกัดได้ พบว่าสารสีแดงจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 400-507 นาโนเมตร และทำการศึกษหาองค์ประกอบหลักของสารสีสกัดเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) ที่มีซิลิกาเจล จี เป็นตัวดูดซับ และทดลองหาตัวชะที่เหมาะสมในการแยกองค์ประกอบหลักของสีสกัด จากการศึกษาโดยใช้ตัวชะเป็นโคโรฟอร์เมทานอล

ในอัตราส่วน 10:3 จะสามารถแยกองค์ประกอบหลักของสารสีได้ 2 สีคือสีแดง และสีเหลือง ซึ่งองค์ประกอบหลักทั้ง 2 สีที่ได้จะต้องนำไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อกำหนดกลุ่มของสารสีต่อไป

8.3.4 การผลิตสารสีจากแบคทีเรีย ในโครงการระยะที่ 1 นั้นได้ทำการแยกแบคทีเรียที่ผลิตสารสีแดงอมม่วงซึ่งบ่งชี้ได้ว่าอยู่ใน genus *Serratia* และสารสีแดงอมม่วงเป็นสาร tripyrrole ซึ่งมีผู้หาโครงสร้างทางเคมีแล้วว่าเป็น prodigiosin ซึ่งไม่ละลายน้ำ สกัดจากเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายด้วย acidic methanol (4 มล. 1 N-deglycosylation HCl + 96 มล. เมทานอล) เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เซลล์ตกตะกอนได้สารละลายสี ทดสอบการแยกด้วย TLC ได้สารสีแดงอมม่วง 2 แถบ เข้มและจาง ในโครงการระยะ 2 นี้ คณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการศึกษาภาวะการผลิต prodigiosin จากแบคทีเรียให้ได้ปริมาณมาก สกัด แยกและวิเคราะห์โครงสร้าง สมบัติตลอดจนแนวทางที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสีย้อม หรือสีธรรมชาติที่ใช้ในด้านอื่นๆต่อไป ผลการทดลองขั้นต้นพบว่าแบคทีเรียนี้สามารถเจริญที่อุณหภูมิระหว่าง 10 และ 36 °C ที่พีเอช 5-9 และในที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-4 % และในการศึกษาพบว่าแบคทีเรียสามารถผลิต prodigiosin ได้สูงสุด 3.07 กรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยงได้ 36 ชั่วโมง มีพีเอชเพิ่มขึ้นจากตั้งต้น 6.2 เป็น 8.0 เมื่อปรับพีเอชเริ่มต้นจาก 5.0-8.0 พบว่าท้ายสุดพีเอชจะเปลี่ยนเป็น 8.0 และในทุกๆพีเอชจะผลิต prodigiosin ได้สูงสุดเท่าๆกันเมื่อเลี้ยงได้ 48 ชั่วโมง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแบคทีเรียนี้ใน Nutrient broth อยู่ระหว่าง 28-30 °C

แบคทีเรียอีก 1 ไอโซเลทที่เลือกมาศึกษาคือแบคทีเรียที่ผลิตสารสีเหลืองซึ่งจะนำมาเลี้ยงและสกัดแยกสารสีออกมาทดสอบทางเคมีว่าเป็นสารสีกลุ่มใด มีสมบัติเบื้องต้นอย่างไรและมีแนวโน้มในการนำไปใช้ประโยชน์ทางใดได้บ้าง

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาการผลิต pigment จากแบคทีเรีย *Serratia* sp. RB ที่แยกได้จากเห็ดน้ำหมากโดยการปรับสูตรอาหารและภาวะการเลี้ยงโดยมีรายละเอียดดังนี้การผลิต pigment ของแบคทีเรีย *Serratia* sp. RB ที่แยกได้จากเห็ดน้ำหมาก (*Russula sanguinea* Fr.) ในอาหาร Modified Media (MM) ที่ประกอบไปด้วยมันฝรั่ง 20 % กลีเซอรอล 1.5% แอมโมเนียมซัลเฟต 0.3% โพตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.3% และไดโพตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.7% ในถังหมักขนาด 1.5 ลิตร working volume 1 ลิตร พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต pigment คือ การกวน 100 rpm และการให้อากาศ 1 vvm ผลิต pigment ได้สูงสุด 1.15 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 36 ชั่วโมง แต่ในสภาวะดังกล่าวนี้การผลิต pigment ยังคงต่ำเมื่อเทียบกับการทดลองในฟลาสก์ ขนาด 250 มิลลิลิตร ในอาหารชนิดเดียวกันที่มีปริมาตร 30 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 28°C โดยการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 rpm แบคทีเรียสามารถผลิต pigment ได้สูงสุด 9.73 กรัมต่อลิตร ที่เวลาเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ของแบคทีเรียมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ทำให้สามารถยึดเกาะกับวัตถุต่างๆได้ดีโดยเฉพาะวัตถุที่ทำด้วย hydrocarbon และ polystyrene ดังนั้นในการเลี้ยงในถังหมัก จะสังเกตเห็นว่าแบคทีเรียจะเจริญติดอยู่บริเวณขอบของถังหมัก ไม่ผสมลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ นอกจากนี้ยังชอบเจริญในสายยางที่ใช้

ในการดูดเก็บตัวอย่าง เป็นเหตุให้มีการเจริญและผลิต pigment ได้ต่ำ และเนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของแบคทีเรียในการยึดเกาะกับวัตถุต่างๆจึงทำให้ผู้วิจัยได้ทดลองตรึงเซลล์ของแบคทีเรียโดยใช้ฟองน้ำล้างจาน โดยเริ่มจาก subculture เชื้อแบคทีเรียในอาหารแข็ง Peptone glycerol agar (PGA) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเตรียม inoculum ในอาหารเหลว Modified Media (องค์ประกอบดังกล่าวข้างต้น) ที่มีปริมาตรอาหาร 30 มิลลิลิตร ในฟลาस्कขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาถ่ายเชื้อลงในอาหารชนิดเดียวกันที่มีปริมาตรอาหาร 30 มิลลิลิตร และมีฟองน้ำล้างจานขนาด 1.5x1.5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น โดยใช้ inoculum 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มโดยการเขย่าที่ 150 rpm อุณหภูมิ 28 °C ผลการทดลองพบว่า ในสภาวะดังกล่าวเซลล์สามารถผลิต pigment ได้มากขึ้น และการตรึงเซลล์นั้นทำให้สามารถสกัด pigment ออกจากเซลล์ได้ง่ายขึ้นโดยการนำฟองน้ำที่มีเซลล์ติดอยู่ บีบเบาๆแล้วนำมาวางในบีกเกอร์ แล้วเติมสารสกัด acetic ethanol ลงไป เขย่าทิ้งไว้สักครู่ ก็สามารถสกัด pigment ออกมาได้ แต่ปัญหาที่พบจากการใช้ฟองน้ำล้างจานก็คือ เซลล์แบคทีเรียยึดเกาะกับฟองน้ำได้ไม่ดีนักและการสกัดก็ไม่สามารถสกัดออกได้หมด โดยสังเกตจากฟองน้ำยังคงมีสีชมพูติดอยู่ผู้วิจัยจึงได้พยายามหา adsorbent ตัวอื่นแทนโดยได้ทดลองกับ polyester ที่ใช้เป็น adsorbent ให้กับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเริ่มทดลองในฟลาस्कขนาด 250 มิลลิลิตร ปริมาตรอาหาร 30 มิลลิลิตร มี polyester ขนาด 1.5x1.5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น เติม inoculum 1 มิลลิลิตร และบ่มโดยการเขย่าที่ 150 rpm อุณหภูมิ 28 °C เช่นเดียวกันพบว่า เซลล์แบคทีเรียสามารถผลิต pigment ได้มากขึ้นกว่าเดิมเกือบ 3 เท่า (26.84 กรัมต่อลิตร) ที่เวลาเดียวกัน คือ 36 ชั่วโมง ยิ่งกว่านั้นเซลล์แบคทีเรียสามารถยึดเกาะกับ polyester ชนิดดังกล่าวได้ดีกว่าฟองน้ำล้างจาน และการสกัดก็สามารถสกัด pigment ออกได้เกือบหมด ขั้นตอนต่อไปในการวิจัยก็คือหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรึงเซลล์ในถังหมัก เพื่อจะสามารถผลิต pigment ได้มากขึ้น pigment ที่แยกได้ได้ทดลองย้อมฝ้ายพบว่า ได้เป็นสีม่วงซึ่งค่อนข้างทน (รูปที่ 8.4)



รูปที่ 8.4 ฝ้ายที่ย้อมด้วย pigment สีแดงที่สกัดจากแบคทีเรีย *Serratia* sp. RB
(ยังไม่ได้ต้มฝ้ายกับโปรตีนก่อนทดลองย้อม)

จากการที่ได้ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสายพันธุ์ *Serratia* ที่แยกได้และผลิตสารสีประเภท Tripyrrole และได้ทดลองหาภาวะการผลิตให้มากขึ้นโดยวิธีตั้งเซลล์แบคทีเรียบนฟองน้ำ พบว่าสามารถผลิตเซลล์สร้างสีได้ปริมาณมากและสีที่ได้ก็สกัดออกจากเซลล์ง่ายโดยใช้ acidic ethanol ทำให้เข้มข้นโดยการระเหยไล่เอทานอลออกไป สีที่ได้มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ทดลองย้อมฝ้ายชิ้นตันติดสีม่วงแดงทนซักและทนแสง

ได้ทดลองแยกสีที่ผลิตได้ด้วยคอสมินโครมาโทกราฟีที่บรรจุซิลิกาเจล 60 และชะด้วย ethyl acetate และ methanol พบว่าแยกสารสีออกมาได้สองส่วนคือ สารสีส้ม(PB) แยกออกมาก่อน เมื่อชะด้วย ethyl acetate และสารสีม่วง(PA) แยกตามมาเมื่อชะด้วยเมทานอล สารสี PA และ PB มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่น 534 และ 463 นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นได้นำสารสีทั้งสองที่แยกได้มาทำให้บริสุทธิ์ และวิเคราะห์ต่อด้วย HPLC ESI-MS, ^1H -NMR และ ^{13}C -NMR ผลการวิจัยพบว่าสาร PA ไม่ใช่ prodigiosin แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ชัดเจนว่าเป็นสารอะไร ส่วนสารสี PB ได้นำมาแยกต่อโดยใช้ reverse phase HPLC และวิเคราะห์ด้วย ESI-MS สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้เทียบกับฐานข้อมูล พบว่าสารประกอบ PB เป็น prodigiosin

ในแง่การประยุกต์ใช้ได้ทดลองนำสารสีทั้ง PA และ PB ไปทดสอบผลการยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Human promyelocytic Leukemia, HL-60) โดยป้อนเซลล์ดังกล่าวกับสารสีปริมาณ 1, 2, 5 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบอัตราการรอดชีวิตของเซลล์มะเร็ง พบว่า เมื่อใช้สารสี PB ปริมาณ 10 $\mu\text{g/ml}$ จะมีผลในการทำให้การรอดชีวิตของเซลล์มะเร็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีเซลล์รอดชีวิตเมื่อป้อนนาน 72 ชั่วโมง

ในด้านการใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติ ใช้วิธีง่ายๆในการตรวจสอบขั้นต้นคือ การจุ่มด้ายฝ้ายลงในสารสีที่สกัดได้ (มีทั้ง PA และ PB รวมกัน) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วผึ่งให้แห้ง โดยเทียบระหว่างการจุ่มฝ้ายลงในมอแดนท์ก่อนย้อม และไม่จุ่ม มอแดนท์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ กรดแทนนิก และสารส้ม ผลการทดลองพบว่าด้ายฝ้ายติดสีม่วงน้ำเงิน น้ำย้อมที่มีมอร์แดนท์จะติดสีเข้มกว่าที่ไม่มี(รูปที่ 8.5) อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ยังไม่ได้มีการซักฝ้ายที่ย้อมแล้ว บอกไม่ได้ว่ามีความคงทนอย่างไร แต่เรื่องความคงทนต่อแสงคาดว่าอยู่ในระดับดี เนื่องจากทั้งไว้ในที่สว่างนานๆสียังไม่เปลี่ยน แต่ถ้าทดสอบจริงๆต้องทำการเตรียมน้ำย้อมให้เหมาะสม ย้อม ซักสีส่วนเกิน แล้วทดสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีตามมาตรฐานอุตสาหกรรมจึงจะบอกได้ชัดเจน



รูปที่ 8.5 ด้ายฝ้ายที่ชุบในสารสีสกัดจากแบคทีเรียเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (A) ด้ายฝ้ายที่ไม่ชุบมอร์แดนท์ (B,D) ด้ายฝ้ายที่ชุบกรดแทนนิกก่อนย้อม และ (C,E) ด้ายฝ้ายที่ชุบสารสั้มก่อนย้อม

8.4 สรุปผลการศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารสีจากธรรมชาติ

การเพิ่มผลผลิตสารสีจากธรรมชาติได้ทำเป็น 3 แนวทาง คือ การส่งเสริมการปลูกพืชให้สี และสารช่วยติดสี การเพิ่มผลผลิตสารให้สีโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชให้สี และการเพิ่มผลผลิตสารให้สีจากจุลินทรีย์ สำหรับแนวทางแรกเป็นแนวทางหลักแต่คณะผู้วิจัยทำได้เพียงทางอ้อมโดยส่งข้อมูลพืชให้สีที่น่าจะส่งเสริมการปลูกแก่นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงทางฝ่ายเกษตร และแนะนำชุมชนให้ปลูกพืชให้สีทดแทนที่เขาใช้ไป และให้พันธุ์ที่มีเท่าที่หาได้ เช่น เมล็ดครามจากอีสาน เป็นต้น ส่วนสองแนวทางหลังเป็นส่วนเสริมจากแนวทางแรกที่ต้องใช้เนื้อที่ในการปลูกและใช้เวลาในการปลูกนาน อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยได้ทดลองเพาะเลี้ยงเซลล์รากยอป่าเพื่อผลิตสีกลุ่มแอนทราควิโนนที่มีอยู่ในรากของต้นพืชที่ใช้เป็นสีย้อมจริงๆ พบว่ากลุ่มเซลล์รากที่เพาะเลี้ยงนี้สามารถผลิตสารสีหลักกลุ่มแอนทราควิโนนเหมือนกับรากของต้นพืช การทดลองนี้มีแนวโน้มสูงในการที่จะพัฒนาต่อไปโดยหาภาวะการเพาะเลี้ยงและอาหารที่เหมาะสมที่กลุ่มเซลล์รากจะผลิตสารสีได้ในปริมาณมากในระยะเวลาที่สั้นลงและเจริญในอาหารที่ราคาถูก ส่วนการผลิตสารสีจากจุลินทรีย์นั้นได้จุลินทรีย์หลายชนิด บางชนิดมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสีย้อมอาหาร และมีสีจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Serratia* ที่มีแนวโน้มสูงที่จะใช้ย้อมผ้าได้ จึงได้ทำการเพิ่มผลผลิตโดยเลี้ยงในภาวะตรึงเซลล์และในสารอาหารราคาถูก พบว่าสามารถผลิตสารสีได้มากขึ้นกว่าเดิม ส่วนสารสีจากเชื้อราที่กำลังดำเนินการทดลองอยู่ และในอนาคตอันใกล้คงจะได้เชื้อราที่ผลิตสารสีม่วงและเหลืองมาทดลองใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา ภูตะคาม. เกษษัตริย์ชาตินิยม. พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 41-53, 2538.

กองบรรณาธิการ. วารสารเกษตรกรรมชาติ, ฉบับที่ 3, 2544

จิราภรณ์ วรณยะนาถ. วารสารศิลปกร, 26 : หน้า 96-126, 2525

ชลอมพร รื่นฤทัย. การย้อมผ้าด้วยสีที่ได้จากธรรมชาติ. อดุลยกรรมสาร. ปีที่ 20 ฉบับที่ 6.

สุนันท์ เชาว์ดีและราศี จั้ววงศ์ชัย. การทำครามและย้อมในจังหวัดแพร่. กลีกร ปีที่ 12, เล่มที่ 6, 2471.

เต็ม สมิตินันท์. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ชื่อพฤกษศาสตร์-ชื่อพื้นเมือง). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด ฟันนี้พับลิชชิง, 2523.

เต็ม สมิตินันท์ "ไม้มีค่าทางเศรษฐกิจของไทย" ตอนที่ 2 พ.ศ. 2518 หอพรรณไม้ กรมป่าไม้ หน้า 7-8

เต็ม สมิตินันท์ "ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย" (ชื่อพฤกษศาสตร์-ชื่อพื้นเมือง) พ.ศ. 2525 ห้างหุ้นส่วน จำกัด ฟันนี้พับลิชชิง กรุงเทพฯ

ณอมศรี วงศ์รัตนสถิตย์. ยาวและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ. ภาควิชาเกษตรอินทรีย์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้า 25-98, 2524.

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโสภาส "เคมีของสีธรรมชาติและย้อม" วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 50 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม- มิถุนายน พ.ศ. 2539

นภัส ศิริสัมพันธ์ กอร์ดอนและคณะ "รายงานการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคกลางของประเทศไทย" กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540

นภัส ศิริสัมพันธ์ "รายงานสรุปการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคต่างๆ ของประเทศไทย" พ.ศ. 2540

ดร.นันทยา ยานุมาศ เนื้อหาการบรรยายวิชา "Advanced Textile Technology" พฤศจิกายน พ.ศ. 2527

นิจศรี เรืองรังษี พะยอม ดันติวัฒน์ "พืชสมุนไพร" พ.ศ. 2534 โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์ หน้า 93-104

หนังสือคู่มือหมายเลข 1 : บทรายงานของกลุ่มสตรีทอผ้าเพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับปฏิบัติการย้อมและสิ่งแวดล้อม ที่สตูดิโอในเนนนา, 21-23 ตุลาคม พ.ศ. 2539

บรรณาร วรพจน์, พระยา.บันทึกเรื่องสีย้อมผ้าและย้อมเส้นด้ายของไทย. วิทยาศาสตร์ ปีที่ 6, ฉบับที่ 4

ประทีป มีศิลป์. ไม้ย้อมสีที่มีคุณค่าของไทย. เอกสารเผยแพร่ งานสัปดาห์หนังสือการเกษตรแห่งชาติ: ศูนย์วิจัยหม่อนไหมศรีสะเกษ สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร. 2530.

เพียว เหมือนวงษ์ญาติ. สีธรรมชาติและสีสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ฟ้า สี กรุ๊ป, 2525
พรพรรณ รัตนาคินทร์ "สีผสมอาหารจากพืชสมุนไพร" วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 50 ฉบับที่ 4
กรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2539

พูลทรัพย์ สวนเมือง ตูลาพันธุ์. การย้อมสีไหมด้วยวัสดุธรรมชาติในภาคอีสานของไทย. สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม.

แน่น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, หน้า 27-110, 2534.

มอก. เล่ม 1 วิธีการทดสอบความคงทนของสีแต่แสง ก2. วิธีที่ 2 พ.ศ. 2518

มอก. 12 เล่ม 3 วิธีการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก วิธีที่ 1 พ.ศ. 2518

มนตรี กรรพุมมาลย์และคณะ "รายงานการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคเหนือของประเทศไทย" พฤษภาคม พ.ศ. 2540

วนิดา สุบรรณเสน. ของป่าในประเทศไทย. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2539.

สะอาด บุญเกิด, จเร สดากกร และทิพย์พรรณ สดากกร. ชื่อพรรณไม้ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: พ. จี ระการพิมพ์, 2525.

สนธิ์ลักสน์ ม.สินาคโยธารักษ์. การย้อมผ้าด้วยสีพื้นเมือง. วิทยาศาสตร์ปีที่ 9, ฉบับที่ 1. 2487.

สุนิสา สุจิตานนท์และคณะ" รายงานการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 12 จังหวัด" กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540

สุรีย์ พุตระกูล รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน พ.ศ. 2543

อัจฉรา ไสละสุต. การออกแบบลวดลายผ้าและเทคนิคการพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: หสน. สหประชาพานิชย์, หน้า 113-119, 2524.

อัจฉรา ไสละสุต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เทคนิค 19 การพิมพ์, 2527.

อนรรตน์ สายทอง. วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 55, ฉบับที่ 1, หน้า 55-60, 2544.

อนุรัตน์ สายทอง. วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 55, ฉบับที่ 2, หน้า 103-110, 2544.

อัมพร ศรประสิทธิ์และคณะ "รายงานการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคใต้ของประเทศไทย" กุมภาพันธุ์ พ.ศ. 2540.

อนันต์เสวก เหลืองเจริญ รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาระบบการย้อมสีธรรมชาติในอุตสาหกรรมครัวเรือน พ.ศ. 2543.

Aloso, G.L., Varon, R., Gomez, R., Navarro, F. and Salinas, M.R., (1990) J. of Food Sciences, 55, 595-596.

Ballica, R., Ryu, D.D.Y. and Kado, C.I. (1993) Biotechnol. Bioeng., 41, 1075-1081.

Bassetti, L. and Tramper, T. (1995) Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 43, 93-95.

Ben, B.L., (1985) " Column chromatographic-spectrophotometric determination of indigo and indirubin in Qingdai, and traditional Chinese medicine", Chin Trad Herb Drugs., 12, pp. 11-15.

Bird, C.L. and Boston, W.S. (1975) The Theory of Coloration of Textiles.

Booth, Q. (1988) The Manufacture of Organic Colorants and Intermediates Soc. Dyers Colour, Bradford, p 39.

Carvalho, J.C.T., Teixeira, J.R.M., Souza, P.J.C., Bastos, J.K., Filho, D.D.S. and Sarti, S.J. (1996) J. of Ethnopharmacology, 53, 175-178.

Conway, S., (1992) Thai Textiles, New Interlitho SpA, Milan, p. 71-75

Cram, D.J. and Hammond, G.S., (1959) Organic Chemistry, McGrawHill, USA, p. 645-647.

Czako', M. and Ma'rton, L. (2001) Phytochemistry, 57, 1013-1022.

Datte', J.Y., Traore', A., offoumou, A.M. and Ziegler, A. (1998) J. of Ethnopharmacology, 60, 149-155.

Derksen, G.C.H., Niederlander, H.A.G. and Van Beek, T.A. (2002) J. of Chromatography A, 978, 119-127.

Doernengurg, H. and Knorr, D. (1994) Food Biotechnol., 8, 57-65.

Dufresne, C., Cormier, F. and Dorion, S. (1997) *Planta Medica*, 63, 150-153.

Eaton, R.W. and Chamman, P.J., (1995) " Formation of indigo and related compounds from indolecarboxylic acids by aromatic acid-degrading bacteria: chromogenic reaction for cloning genes encoding dioxygenases that act on aromatic acids", *J. Bacteriol.*, 177(23), pp. 6983-6988.

Eilert, U., Constable, F. and Kurz, W.G.W. (1986) *J. Plant Physiol.*, 125, 167-172.

Eilert, U. (1987) Elicitation: Methodology and aspects of application. In: *Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants Vol. 4* (Constable, F. and Vasil, I.K., Eds.). Academic Press, San Diego, 153-196.

Elderfield, R.C. (1952) In: *Heterocyclic compounds*, John Wiley and Sons, New York, Vol.3, pp.205-252.

Escribano, J., Ri'os, I. and Ferna'ndez, J.A. (1999) *Biochimica et Biophysica Acta*, 1426, 217-222.

Escribano, J., Piqueras, A., Medina, J., Rubio, A., Orti', M.A. and Ferna'ndez, J.A. (1999) *J. of Biotechnology*, 73, 53-59.

Etsuko, K. Mitsuko, I., Kumiko, K. and Sachiko, H. (1989) *Collected Essays by Members of the Faculty, Kyoritsu Women's Junior College, Department of Domestic Science*, No.32, 69-79.

Technical Chemists and Colourists (1987) vol.54

"The Fading of Xenon Reference Fabric: The Weather-Ometer vs. the QUV Tester" (1983) *Textile Chemistry and Colourist*, 15(6), 109

Farnsworth, N.R. (1966) *Biological and Phytochemical Screening of Plants*, *J. of Pharmaceutical Science*, 55(3), 225-269.

Flick, E.W. (1990) *Textile Finishing Chemicals, An Industrial Guide*, Noyes Publications, Park Ridge.

- Fowler, M.W.(1983) Commercial application and economic aspects of mass plant cell culture. In: Plant Biotechnology (Mantell, S.H. and Smith, H., Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 3-37.
- Fuke, C., Yamahara, J., Shimokawa, T., Kinjo, J.E., Tomimatsu, T. and Nohara, T.(1985) *Phytochemistry*, 24, 2403-2405.
- Gan, W.J., Yang, T.Y., Wen, S.D., Liu, Y.Y., Tan, Z., Deng, C.A., Wu, J.X. and Liu, M.P., (1985) " Studies on the mechanism of indirubin action in treatment of chronic myelocytic leukemia (CML). II. 5'-Nucleotidase in the peripheral white blood cells of CML", *Chin J Hematol.*, 6, pp. 611-613.
- Gloria, M.B.A., Vale, S.R. and Bobbio, P.A.(1995) *Food Chemistry*, 52, 389-391.
- Gurley, S.(1996) Derwent Info Ltd. Patent Assignee: (ALLE-) ALLEGRO NATURAL DYES INC: NO.004
- Hagendoorn, M.J.M. and Linus, H.W. (1994) *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 38, 227-234.
- Haila, K.M., Lievonen, S.M. and Heinonen, M.I.(1996) *J. Agric. Food Chem.* 44, 2096-2100.
- Hayase, N., Kouno, K. and Ushio, K.,(2000) " Isolation and Characterization of *Aeromonas* sp. B-5 Capable of Decolorizing Various Dyes", *J of Bioscience and Bioengineering.*, 90(5), pp. 570-573.
- Heumann, K. *Ber.*23, 3043, 3431 (1890)
- Herbst, W. and Hunger, K.,(1993) *Industrial Organic Pigments: Production, Properties, Application*, VCH Verlagsgesellschaft, Germany.
- IES Lightina Handbook 2nd Edition (1952)
- Indirubin Cooperative Group, (1980)" Clinical study of indirubin in the treatment of 314 patients with chronic granulocytic leukemia", *Chin J Hematol.*, 1, pp.132.
- Ji, X.J., Zhang, F.R., Lei, J.L. and Xu, Y.T.,(1981) " Studies on the antineoplastic effect and toxicity of synthetic indirubin", *Acta Pharm Sin.*, 16, pp. 146-148.
- Jiang, R.W., But, P.P.H., Ma, S.C. and Mak, T.C.W.(2001) *Phytochemistry*, 57, 517-521.

- Jones, B.L. and Porter, J.W.(1986) CRC Critical Reviews in Plant Sciences, 3, 295-324.
- Joseph, B.L.(1976) Organic Structure Analysis, 1st ed., Macmillan Publishing Co.Inc.New York, p. 325.
- Kamat, S.Y. and Alat, D.V.(1990) The Indian Textile Journal, March, 66-70
- Karrer, P. and Milki, K.(1929) Helv. Chim.Acta, 12, 985.
- Kim, D.J. and Chang, H.N.(1990) Biotechnol. Lett., 12, 443-446.
- Kim, J.H., Shin, J.H., Lee, H.J., Chung, I.S. and Lee, H.J.(1997) J. Ferment.Bioeng., 83, 206-208.
- Kim, Ji-Hec.(1998) "Traditional dyeing process with natural indigo in Korea", Revival Natural Indigo dye. pp. 20-39.
- Kokubun, T., Edmonds, J. and John, P., (1998) Indoxyl derivatives in woad in relation to medieval indigo production", Phytochem., 49(1), pp. 79-87.
- Kyoritsu, J., Tanki, D., Seikatsu, K., Kagakuka, K.(1993) Annual Bulletin.Dept. of the Science of Living, Kyoritsu Women's Junior College, 36, 59-65.
- Kuria, K.A.M., Coster, S.D., Muriuki, G., Masaengo, W., Kibwage, I., Hoogmartens, J. and Laekeman, G.M.(2001) J. of Ethnopharmacology, 74, 141-148.
- Lal, R.A.(1994) textile processing : colourage, January, 11-20
- Lauro, G.M.(1991) Cereal Foods World, 36, 949.
- Lee, C.-Y. and Kim, W.-J. (1988) In: Natural spices and pigments (in Korean), Hyangmoon Publishing Co. Seoul. Pp.81-85.
- Lemmens, R.H.M.J. and Wulijami-Soetjioto, N.(1992) " Dye and Tannin –producing plants" Bogor Indonesia
- Leistner, E.(1973) Mode of incorporation of precursors into Alizarin (1,2-dihydroxy-9,10-anthraquinone), Phytochemistry, 12, 337-345.
- Liles, J.N.(1990) The Antibodies and Craft of Natural Dyeing: Traditional Recipes for Modern Use, The University of Tennessee Press Knoxville, pp. 102-144.

- Linus, H.W., Eijkelboom, C. and Hagendoorn, M.J.M.(1995) *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 43, 111-116.
- Loskutov, A.V., Beninger, C.W., Hosfield, G.L. and Sink, K.C.(2000) *Food Chemistry*, 69, 87-95.
- Lubs, H.A.,(1972) *The chemistry of synthetic dyes and pigments*, Robert E. Krieger Publishing Co., Inc., Huntington, New York, p.561-562.
- Maier, W., Schumann, B. and Groger, D.(1990) *Phytochemistry*, 29, 817-819.
- Marero, L.M., Jin, J.H., Shin, J.H., Lee, H.J. Chung, I.S. and Lee, H.J. (1997) *Enzyme and Microbial Technology*, 21, 97-101.
- Mercadente, A.Z., Steck, A., Amaya, D.R., Pfander, H. and Britton, G.(1996) *Phytochemistry*, 41, 1201-1203.
- Mercadente, A.Z., Steck, A. and Pfander, H.(1997) *Phytochemistry*, 46, 1379-1383.
- Mercadente, A.Z., Steck, A. and Pfander, H.(1999) *Phytochemistry*, 52, 135-139.
- Mermoud, N., Harayama, S. and Timmis, K.N., (1986) " New route to bacterial production of indigo", *Bio/Technology*, 4, pp. 321-324.
- Minami, Y., Shigeta, Y., Tokumoto, U., Tanaka, Y., Yonekura, K.-S., Oh, H.-O. and Matsubara, H.(1999) *Plant Science*, 142, 219-226.
- Minami, Y., Takao, H., Kanafuji, T., Miura, K., Kondo, M., Hara, I.-N., Nishimura, M. and Matsubara, H.(1997) *Plant Cell Physiology*, 38, 1069-1074.
- Minami, Y., Kanafuji, T. and Miura, K.(1996) *Biosci. Biotech. Biochem.*, 60, 147-149.
- Moeyes, M. (1993) *Natural Dyeing in Thailand*, White Lotus, Bangkok, p.51-63.
- Morimoto, S., Umezaki, Y., Shoyama, Y., Saito, H., Nishi, K. and Irino, N.(1994) *Planta Medica*, 60, 438-440.
- Mulder-Krieger, T., Verpoorte, R., de Water, A., Van Gessel, M., Van Oeveren, B.C.J.A. and Svendsen, B.A. (1982) *Planta Med.* 46, 19-24.

- Murdock, D., Ensley B.D., Serdar C. and Thalen M.,(1993) " Construction of metabolic operons catalyzing the de novo synthesis of indigo in *Escherichia coli*", *Bio/Technology.*, 11, pp. 381-386.
- Namikoshi, M., Nakata, H. and Saitoh, T.(1987) *Phytochemistry*, 26, 1831-1833.
- O'Connor, K.E., Dobson, A.D. and Hartmans, S., (1997) " Indigo Formation by Microorganisms Expressing Styrene Monooxygenase Activity", *Appl. Environ. Microbial.*, 63 (11), pp. 4287-4291.
- Oh, S.R., Kim, D.S., Lee, I.S., Jung, K.Y., Lee, J.J. and Lee, H.K.(1998) *Planta Medica*, 64, 456-458.
- Oh, J.H., Kang, Y.M., Chung, I.S., Lee, H.J. and Chae, Y.A.(1993) *Kor, J. Biotechnol. Bioeng.*, 8, 295-299.
- Perry, M.L.(1980) *Medicinal Plants of East and Southeast Asia Attributed, Properties and Uses*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, and London, England, pp. 352-354.
- Pfander, H. and Wittwer, F.(1975) *Helv. Chim. Acta*, 58, 1608-1620.
- Pfander, H. and Wittwer, F.(1979) *Helv. Chim. Acta*, 62, 1944-1951.
- Pfander, H. and Schurtenberger, H.(1982) *Phytochemistry*, 21, 1039-1042.
- Pouchert, C.J.(1975) *The Aldrich of Infrared Spectra*, 2nd ed., Aldrich Chemical Company, Milwaukee.
- Preston, H.D. and Rickard, M.D.(1980) *Food Chem.*, 5, 47.
- Raina, B.L., Agarwal, S.G., Bhatia, A.K. and Gaur, G.S.(1996) *J. of the Science of Food and Agricultural*, 71, 27-32.
- Roengsumran, S., Limsuwankesorn, S., Ngamrojnavanich, N., Petsom, A., Chaichantipyuth, C. and Ishikawa, T.(2000) *Phytochemistry*, 53, 841-844.
- Rosbach, V.W., การบรรยายเรื่อง "วิกฤตการณ์ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศของสิ่งทอและสีย้อม" ในการประชุมสัมมนา การวิจัยสีย้อมธรรมชาติ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539.
- Rouette, H.K.(1995) *Lexikon der Textilveredlung*, vol. 1, Laumann-Verlag, Dillmen, p 587-588.

- Rij, K.V.(1984) The yeasts, a Taxonomic Study, Third revised and enlarged edition.
- Sato, K., Yamazaki, T., Okuyama, E., Yoshihira, K. and Shimomura, K.(1991) Phytochemistry, 30, 1507-1509.
- Schmid, J.and Amrhein, N.(1995) Phytochemistry, 39, 737-749.
- Scotter, M.J.(1995) Food Chemistry, 53,177-185.
- Scotter, M.J., Wilson, L.A., Appleton, G.P. and Castle, L.(1998) J. Agric. Food Chem., 46, 1031-1038.
- Shim, J.-Y., Chang, Y.-J. and Kim, S.-U.(1998) Biotechnology Letters, 20, 1139-1143.
- Shin, J.H. and Lee, J.H.(1993) Kor. J. Biotechnol.Bioeng., 8, 193-199.
- Shiritsu, S., Seikatsu, D. and Kiyo K.(1987) Annual Report of the Sciences of Living, Osaka City University, 35, 71-84.
- Silverstein, R.M., Bassler, T.C. and Morrill, T.C.(1981) Spectrometric Identification of Organic Compounds, 4th ed. John Wiley & Son.
- Simantiras, M. and Leistner, E.(1989) Phytochemistry, 28, 1381-1382.
- Simantiras, M., Schmidt, K. and Leistner, E.(1991) Phytochemistry, 30, 823-824.
- Solaiman, Daniel K.Y. and Somkuti, G.A.(1996) " Expression of a Rhodococcal Indigo Gene in Streptococcus thermophilus", Biotechnology letters, 18(1), pp.19-24.
- Storey, J.,(1985) Dyes and Fabrics, Thames and Hudson, London, p.57-75.
- Straubinger, M., Bau, B., Eckstein, S., Fink, M. and Winterhalter, P.(1998) J. of Agric. And Food Chemistry, 46, 3238-3243.
- Tang, T.(1987) Determination of indirubin in Qingdai (*Baphicacanthus cusia* Brem) and Chinese medicines containing it. Chin J. Pharm.Anal, 7, 40-42
- Tang, W. and Eisenbrand, E.(1992), Chinese Drugs of Plant Origin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, p. 805-812.
- Tarantilis, P.A., Beljebbar, A., Manfait, M. and Polissiou, M.(1998) Spectrochimica Acta Part A, 54, 651-657.

Tarantilis, P.A., Tsoupras, G. and Polissiou, M.(1995) J. of Chromatography A, 699, 107-118.

Taylor, M.A.(1972) Technology of Textile Properties, A.T.I.

Tsatsaroni, E. and Liakopoulouky riakides, M.(1995) Dyes and Pigments, 29(3), 203-209.

Venkataraman, K.(1977), The analytical chemistry of Synthetic Dyes, Wiley-Interscience Publication, USA, p. 400.

Wijnsma, R., Verpoorte, R., Mulder-Krieger, Th. and Baerheim Svendsen, A.(1984)

Anthraquinone in call culture of *Cirichoma ledgeriane*, 23, 2307-2311.

Windholz, M.,(1976) Merck index, USA: Merck & Co., Inc.

Xu, J. and Yadan, J.C.(1996) Tetrahedron Letters, 37, 2421-2424.

Ying, R.-D.(1995) In: Proceeding of Korea-Sino international symposium on traditional medicines and development of new natural drugs, Natural Products Research Institute, Seoul National University. Pp. 154-165.

Yuxing, W. and Jian, Y.U., (1999) " Laccase-catalyzed decolorization of synthetic dyes", Wat. Res., 33(16), pp. 3512-3520.

Zollinger, H., (1991) Color Chemistry, VCH Publishers Inc., Weinheim, p. 187-245.

ภาคผนวก

การทดสอบความทนของสีย้อมต่อการซักฟอก ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ISO 105(001 – 005) 1982 หรือ มอก. 121/2518 เล่มที่ 3 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องซัก ใช้ Incubator Shaker INNOVA 4080 ของบริษัท New Brunswick Scientific แทนเครื่องซัก Launder Ometer ซึ่งได้ผ่านการเปรียบเทียบผลของการซักด้วยเครื่อง Launder Ometer ที่หมุนด้วยความเร็ว 40 ± 2 รอบต่อนาที เทกับการซักด้วย Incubator Shaker ที่ปรับค่าการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

1.2 ผ้าขาว 2 ชั้นขนาด 4×10 เซนติเมตร ชั้นที่ 1 เป็นผ้าที่มีเส้นใยชนิดเดียวกับตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างเป็นเส้นใยฝ้าย ดังนั้นผ้าขาวชั้นที่ 1 จึงเป็นผ้าฝ้าย ชั้นที่ 2 เป็นผ้าที่ทำจากเส้นใยตามที่กำหนดในตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 ถ้าชั้นที่ 1 เป็นผ้าฝ้าย ชั้นที่ 2 จะเป็นผ้าขนสัตว์

1.3 Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล.

1.4 เกรย์สเกล สำหรับอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงสี และการเปื้อนสี (Gray Scale for Colour Change and Gray Scale for Staining)

ตารางที่ 1 ชนิดของผ้าขาวที่ใช้ประกอบชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการซักฟอก

ผ้าขาวชั้นที่ 1	ผ้าขาวชั้นที่ 2
ฝ้าย	ขนสัตว์
ขนสัตว์	ฝ้าย
ไหม	ฝ้าย
ลินิน	ขนสัตว์
วิสโคสเรยอน (viscose rayon)	ขนสัตว์
เซลลูโลสอะซีเตต (cellulose acetate)	วิสโคสเรยอน
โพลีเอมด์ (polyamide)	ขนสัตว์ หรือวิสโคสเรยอน
โพลีเอสเตอร์ (polyester)	ขนสัตว์ หรือฝ้าย
อะคริลิก (acrylic)	ขนสัตว์ หรือฝ้าย

2. สารเคมี

สบูมาตรฐาน นำมาเตรียมน้ำสบู่โดยใช้สบู่ 5 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

3. การเตรียมชิ้นทดสอบ

3.1 ถ้าตัวอย่างเป็นผ้าผืน ให้ตัดชิ้นทดสอบขนาด 4×10 เซนติเมตร แล้วใช้ผ้าขาว 2 ชิ้น ตามข้อ 1.2 ปิดด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นทดสอบ และเย็บริมทั้ง 4 ด้าน

3.2 ถ้าตัวอย่างเป็นเส้นด้าย ตัดเส้นด้ายให้มีขนาดความยาวเส้นละ 10 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักเส้นด้ายให้ได้ประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักรวมของผ้าทั้ง 2 ชิ้น ใช้ผ้าขาวทั้ง 2 ชิ้นประกบเส้นด้ายโดยวางเส้นด้ายให้ขนานตามความยาวของผ้าขาว แล้วเย็บริมทั้ง 4 ด้าน

4. การทดสอบ

4.1 ใส่ชิ้นทดสอบลงใน erlenmeyer flask เติมน้ำสบู่ โดยให้อัตราส่วนระหว่างผ้าต่อน้ำสบู่เป็น 1:50 น้ำหนักต่อปริมาตร ปิด erlenmeyer flask ด้วยจุกยาง นำไปใส่ใน incubator shaker เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ปรับอุณหภูมิ 40 ± 2 °C ใช้เวลาในการซัก 30 นาที

4.2 เมื่อได้เวลาตามที่กำหนด นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องซัก ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลาเป็นเวลา 10 นาที บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ เลาะด้ายที่เย็บออก 3 ด้าน เหลือด้านกว้างไว้ 1 ด้าน ผึ่งชิ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิในการผึ่งไม่ควรเกิน 60° C) โดยการกางผ้า 3 ชิ้น ออกจากกัน

4.3 หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ และการเปื้อนสีบนผ้าขาว โดยเทียบกับเกรย์สเกล

5. การรายงานผล

รายงานค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ และค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวว่าคุณภาพอยู่ในระดับใด ระดับชั้นความคงทนของสีต่อการซักฟอกมีอยู่ 5 ระดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับชั้นคุณภาพความคงทนต่อการซัก

ระดับคุณภาพ	ความหมาย	
1	คุณภาพต่ำมาก (very poor)	มีการซีดของสีผ้าหลังการซักมากขึ้น หรือมีการติดสีบนผ้าขาวหลังการซักมากขึ้น
2	คุณภาพต่ำ (poor)	มีการซีดของสีผ้าหลังการซักมาก หรือมีการติดสีบนผ้าขาวหลังการซักมาก
3	ปานกลาง (fair)	มีการซีดของสีผ้าหลังการซักปานกลาง หรือมีการติดสีบนผ้าขาวหลังการซักปานกลาง
4	ดี (good)	มีการซีดของสีผ้าหลังการซักเล็กน้อย หรือมีการติดสีบนผ้าขาวหลังการซักเล็กน้อย
5	ดีมาก (excellent)	ไม่มีการซีดของสีผ้าหลังการซัก หรือไม่มีการติดสีบนผ้าขาวหลังการซัก

ลักษณะความคงทนต่อการซักล้างในระดับที่พอยอมรับได้ คือตั้งแต่ ระดับ 3 ขึ้นไป

การทดสอบคุณภาพความคงทนของสีย้อมต่อแสง (แสงแดด) ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ มอก. 121/2518 เล่ม 1 มาตรฐานนี้กำหนดวิธีทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของสิ่งทอทุกชนิด ในทุกลักษณะ โดยวิธีทดสอบด้วยแสงแดด

การทดสอบ

1. เครื่องมือ

1.1 ผ้าสีมาตรฐาน ขนแกะสีน้ำเงิน (Blue wool light – Fastness Standard) ซึ่งย้อมด้วยสีดังในตารางที่ 3 เป็นผ้ามาตรฐานที่ใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพสีต่อแสง โดยกำหนดเป็นระดับชั้นคุณภาพจากระดับ 1 (มีความคงทนต่อแสงต่ำสุด) ถึงระดับ 8 (มีความคงทนต่อแสงสูงสุด) ในแต่ละระดับชั้นคุณภาพจะมีความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงสีที่ใช้ย้อมผ้ามาตรฐานขนแกะสีน้ำเงิน ระดับคุณภาพต่างๆ

ลำดับที่	สีที่ใช้ย้อม
1	C.I. Acid Blue 104
2	C.I. Acid Blue 109
3	C.I. Acid Blue 83
4	C.I. Acid Blue 121
5	C.I. Acid Blue 47
6	C.I. Acid Blue 23
7	C.I. Solubilized Vat Blue 5
8	C.I. Solubilized Vat Blue 8

C.I. = Colour Index

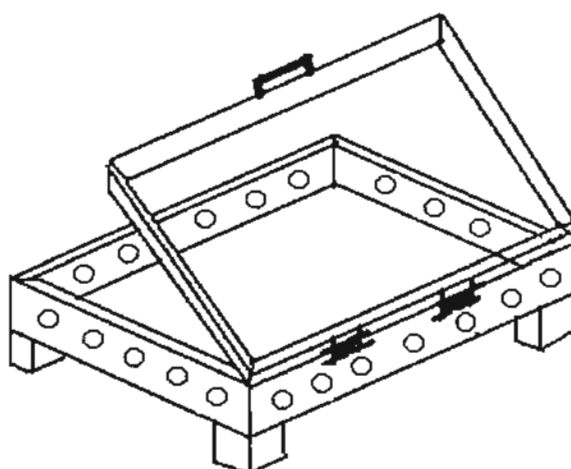
ตารางที่ 4 ความคงทนต่อแสงของผ้าสีมาตรฐานระดับคุณภาพต่างๆ

ระดับคุณภาพผ้าสีมาตรฐาน	อัตราความคงทนของผ้าสีมาตรฐานต่อแสง (ชั่วโมง)
1	5
2	10
3	20
4	40

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ระดับคุณภาพผ้าสีมาตรฐาน	อัตราความคงทนของผ้าสีมาตรฐานต่อแสง (ชั่วโมง)
5	80
6	160
7	320
8	640

1.2 ตู้สำหรับวางขึ้นทดสอบอบแสงแดด เป็นตู้ไม้สี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น 60 x 70 x 10 เซนติเมตร มีช่องระบายอากาศด้านข้างโดยรอบทั้ง 4 ด้าน มีกระจกใสปิดอยู่ข้างบน เพื่อป้องกัน น้ำค้างและฝน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ตู้สำหรับวางขึ้นทดสอบอบแสงแดด

1.3 กระดาษทึบแสง และกระดาษแข็ง

1.4 เกรย์สเกล สำหรับเปลี่ยนแปลงสี (Gray Scale for Colour Change)

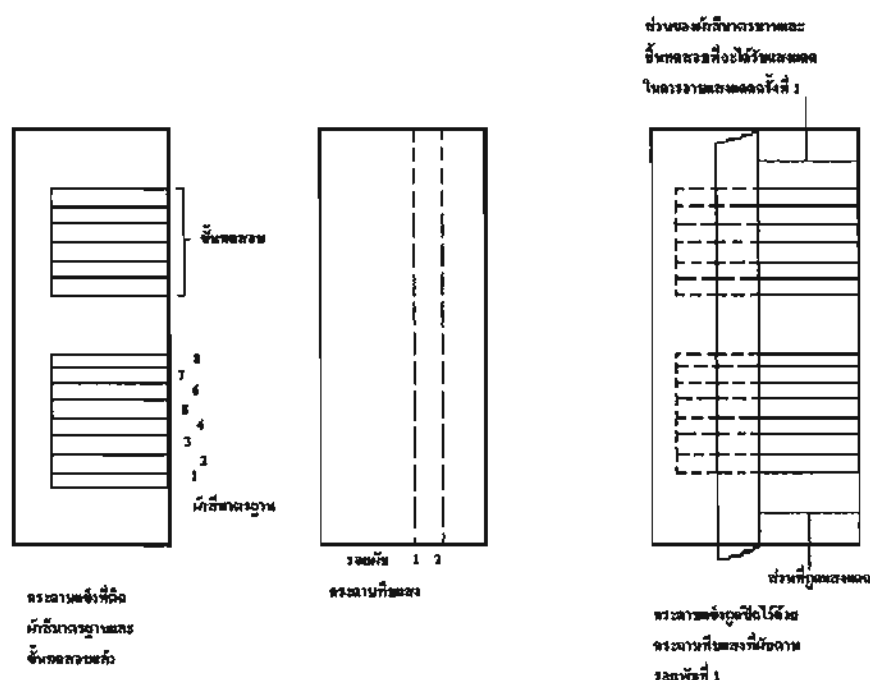
2. การเตรียมขึ้นทดสอบ

2.1 เตรียมกระดาษแข็งขนาด 4 x 9 นิ้ว สำหรับตรึงผ้าสีมาตรฐาน และขึ้นทดสอบ

2.2 ตัดผ้าสีมาตรฐานขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ใช้กาบแท่งติดผ้าสีมาตรฐานบนกระดาษแข็งโดยให้แนวยาวของผ้าทาบไปตามแนวกว้างของกระดาษแข็ง และให้แนวกว้างของผ้าสีมาตรฐานชิดกับแนวยาวด้านใดด้านหนึ่งของกระดาษแข็ง ติดผ้าสีมาตรฐานเรียงชิดกันตามลำดับจากระดับคุณภาพ 1 จนถึง 8 จากนั้นนำขึ้นทดสอบขนาดเดียวกับผ้าสีมาตรฐานมาติดบนแผ่นกระดาษแข็งลำดับถัดๆ ไปจากผ้าสีมาตรฐาน โดยทิ้งช่องว่างพอสมควรระหว่างผ้าสีมาตรฐานกับชั้น

ทดสอบ ถ้ามีชั้นทดสอบมากกว่า 1 ชั้น ให้ติดชั้นทดสอบเรียงติดๆ กันไป ถ้าตัวอย่างเป็นเส้นด้ายให้นำเส้นด้ายมาพันบนแผ่นกระดาษแข็งจนได้ขนาดความกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร เท่ากับขนาดความกว้างของผ้าสีมาตรฐาน

2.3 ใช้กระดาษทึบแสงอีกแผ่นที่มีขนาด 3.5×9 นิ้ว ที่พับเป็นรอยบานพับขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ไว้ 2 แนว ปิดกระดาษทึบแสงบนกระดาษแข็ง โดยพับตามแนวรอยเย็บที่ 1 ทบไว้บนกระดาษทึบแสง ใช้คลิปยึดติดกับแผ่นกระดาษแข็ง ตอนนี้มีผ้าสีมาตรฐาน และชั้นทดสอบบางส่วนถูกปิดไว้ด้วยแผ่นทึบแสง ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ไม่ถูกแสงแดดเลย บางส่วนจะเปิดไว้ ซึ่งส่วนนี้จะได้รับการอาบแสงแดด (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 วิธีการเตรียมชั้นทดสอบ

3. วิธีการทดสอบ

นำแผ่นกระดาษแข็งที่เตรียมได้ในตอนที่ 2 ไปวางไว้ในตู้อบแสงแดด ตลอดเวลาทั้งกลางวัน กลางคืน (ตำแหน่งที่วางแผ่นกระดาษต้องไม่มีเงาตกกระทบในทุกช่วงเวลาที่แสงแดด) จนกระทั่ง สามารถหาค่าความคงทนของสีต่อแสงของชิ้นทดสอบได้โดยเปรียบเทียบกับผ้าสีมาตรฐาน

4. วิธีการสังเกตเพื่อรายงานผล

เมื่อผ้าสีมาตรฐานระดับคุณภาพ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจนสังเกตเห็นได้ ให้ตรวจดูชิ้นทดสอบและหาค่า ระดับความคงทนของสีต่อแสง โดยเปรียบเทียบกับสีที่เปลี่ยนไปของผ้าสีมาตรฐานระดับ 1 2 และ 3 นำแผ่นกระดาษแข็งไปอบแสงแดดต่อไปจนกระทั่งผ้าสีมาตรฐาน 4 เปลี่ยนสีเท่ากับเกรด 4 ของเกรย์สเกล

พับกระดาษทึบแสงตามแนวพับที่ 2 ปิดทับลงมามบนกระดาษแข็ง ใช้คลิปยึดติดกับแผ่นกระดาษ แข็ง นำแผ่นกระดาษแข็งไปอบแสงแดดต่อไป จนกระทั่งสังเกตเห็นผ้าสีมาตรฐาน 6 เปลี่ยนสีเท่ากับ เกรด 4 ของเกรย์สเกล สังเกตการเปลี่ยนสีของชิ้นทดสอบแล้วประเมินผล ถ้ายังมีชิ้นทดสอบที่ยังไม่มี การเปลี่ยนสีให้ทดสอบติดไปอีก โดยกดคลิปที่ยึดกระดาษทึบแสงกับกระดาษแข็ง คลี่กระดาษทึบแสง ที่พับตามรอยพับที่ 2 ออก แล้วทาบกระดาษทึบแสงทั้งแผ่นลงบนกระดาษแข็งใช้คลิปยึดกับกระดาษ แข็ง นำแผ่นกระดาษแข็งไปอบแสงแดดต่อไปอีกจนกระทั่งเห็นผ้าสีมาตรฐาน 7 เปลี่ยนสีเท่ากับเกรด 4 ของเกรย์สเกล หรือชิ้นทดสอบชิ้นที่มีความคงทนต่อแสงสูงสุด เปลี่ยนสีเท่ากับเกรด 3 ของเกรย์สเกล แล้วแต่กรณีไหนจะเกิดขึ้นก่อน (รูปที่ 3)

ประเมินความคงทนของสีต่อแสงของชิ้นทดสอบ โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้น ทดสอบ กับผ้าสีมาตรฐาน

5. การรายงานผล

5.1 ถ้าสีของชิ้นทดสอบจางกว่าผ้าสีมาตรฐาน 1 ให้รายงานผลเป็นระดับ 1

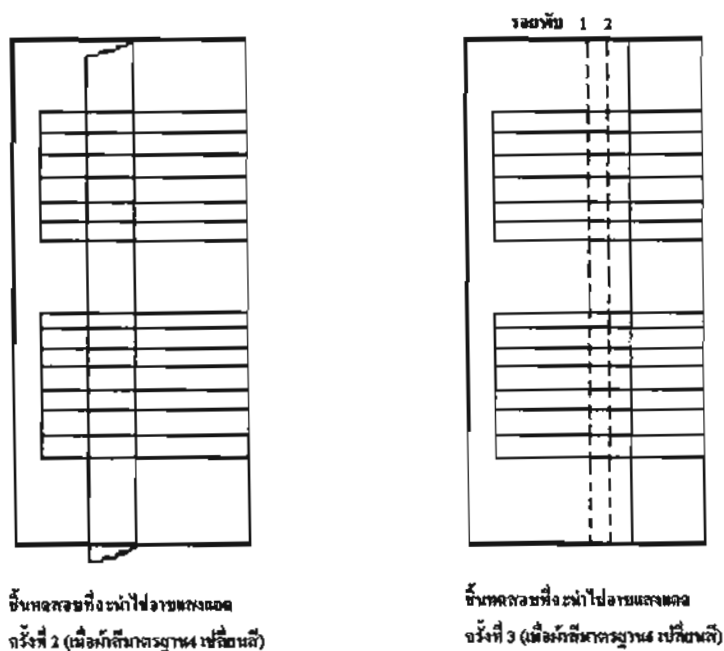
5.2 ถ้าชิ้นทดสอบแสดงการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ระหว่างผ้าสีมาตรฐานสองระดับ ให้รายงานผลเป็น ค่าระหว่างผ้าสีมาตรฐานทั้งสอง เช่น ความคงทนของสีเป็น 3 - 4 หมายถึง ชิ้นทดสอบมีความคงทน ไม่ถึง 4 แต่มีความคงทนมากกว่าระดับ 3

การจัดระดับคุณภาพของสีต่อแสงแบ่งออกเป็น 8 ระดับ คือ

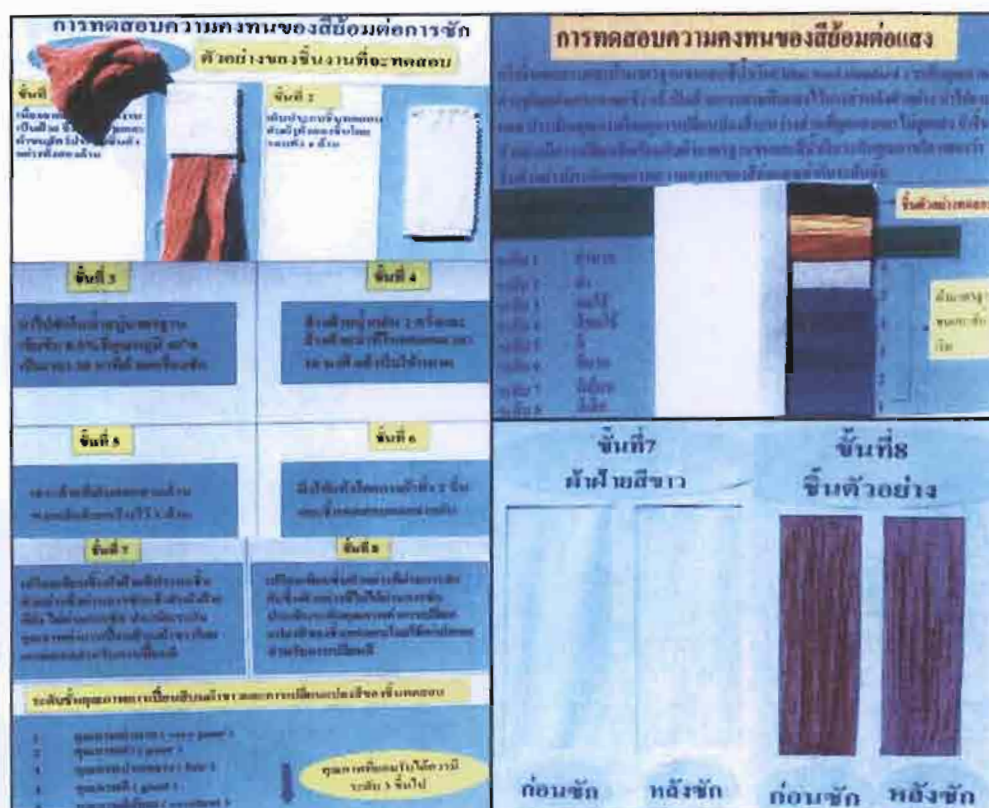
ระดับคุณภาพ	ความคงทน
1	ต่ำมาก
2	ต่ำ
3	พอใช้
4	ดีพอใช้

5	ดี
6	ดีมาก
7	ดีเยี่ยม
8	ดียอดเยี่ยม

ระดับความคงทนของสีต่อแสงในระดับที่พอยอมรับได้คือระดับ 3 ขึ้นไป ตัว
 อย่างของวิธีตรวจสอบความคงทนของสีต่อการซักและแสงแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การปิดกระดาดสีบนกระดาดสีในการอาบแสงแดดครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3



รูปที่ 4 ตัวอย่างวิธีตรวจสอบความคงทนของสีต่อการซักและแสง