

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 ผ้าที่ย้อมด้วยสีสูตร 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 ปลูกผิวเปลือกมากลั่นน้ำมันออกได้ 5 ลิตร น้ำและกากเมื่อกรองบีบน้ำสีได้น้ำสีเข้มข้น 65 ลิตร แบ่งทำสูตร Y6 35 ลิตรและสูตร Y7 30 ลิตรแต่ไม่ได้ทดลองย้อม สูตรใหม่นี้ได้ปริมาณผงสีค่อนข้างมากผลเปรียบเทียบกับยังเติมลงในตารางไม่ได้ 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 และแก่นเข้ ต้องการความเป็นกรดจึงจะให้สีเหลืองนวลสวย อย่างไรก็ตามสารสีเหลืองจากผิวมะกรูดก็ยังมีความทนแสงต่ำเช่นเดียวกับสารสีเหลืองในธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งเป็นสมบัติโมเลกุลของสารสีเองที่ต้องหาทางปรับปรุงต่อไป

ในผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างแต่ไม่เหมาะจะให้ปนอยู่กับน้ำสีสกัดเนื่องจากมีปัญหาการเกาะเป็นก้อนแข็งเวลาเก็บนานๆ คณะผู้วิจัยได้ทำการสกัดน้ำมันจากผิว

มะกรูดผลใหญ่ 5,000 ผลด้วยไอน้ำกลั่นน้ำมันออก 5 ลิตร ได้น้ำส้มมะกรูดเข้มข้น 65 ลิตร ทดสอบโดยการเติมกรดได้สีเหลืองอมเขียวจางๆ แต่เมื่อเติมด่างจะให้สีเหลืองสดซึ่งเป็นสมบัติของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ตามที่ได้ศึกษาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงนำน้ำมันมะกรูดเข้มข้นนี้มาปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปและเนื่องจากเน้นสีเหลืองจึงให้สูตรเป็น Y โดยก่อนหน้านี้ได้มีการเตรียมสีเหลืองจากไพลสูตร 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 มีการใช้ในแง่การแก๊ภูมิแพ้ใช้ใน 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 วัดคุณสมบัติส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่างๆของพืชและสัตว์ วัดคุณสมบัติที่ใช้กันมากในภาคเหนือและภาคอีสานในการย้อมเส้นใยธรรมชาติ และวิธีการย้อมได้รวบรวมไว้ในรายงานการวิจัยระยะที่ 1 เช่น วัดคุณสมบัติที่ให้น้ำตาล ได้แก่ เปลือกผลมะพร้าว เปลือกไม้สะแก ใบสัก ใบสตาร์แอปเปิล รากฮ่อม เปลือกต้นไม้ค้ำแดง เปลือกต้นไม้ป้วย เปลือกต้นลูกวาง เปลือกไม้ประดู่ เปลือกต้นสมอให้น้ำตาลอมเขียว ส่วนเปลือกมะม่วงให้สีกาบิและเหลือง เปลือกไม้เพกาให้สีกาบิ 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 แต่วิธีนี้สีมักจะด่าง 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 ถ้าสกัดจากใบสดจะได้น้ำสีเขียวอมน้ำตาลย้อมฝ้ายติดสีเขียวซีม้อ่อนแต่ถ้าสกัดจากผงใบแห้งบดละเอียดสกัดด้วยน้ำค้างปูนใสจะได้น้ำสีน้ำตาลย้อมฝ้ายได้สีน้ำตาล 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 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตรสำเร็จที่ผ่านมาก็คือสูตร E1 มีส่วนประกอบดังนี้

ผงใบยูคาลิปตัสอบแห้งป่น 10 กิโลกรัม สกัดน้ำมันออกโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ กรองกากทิ้งด้วยถุงผ้าหนาๆ 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)

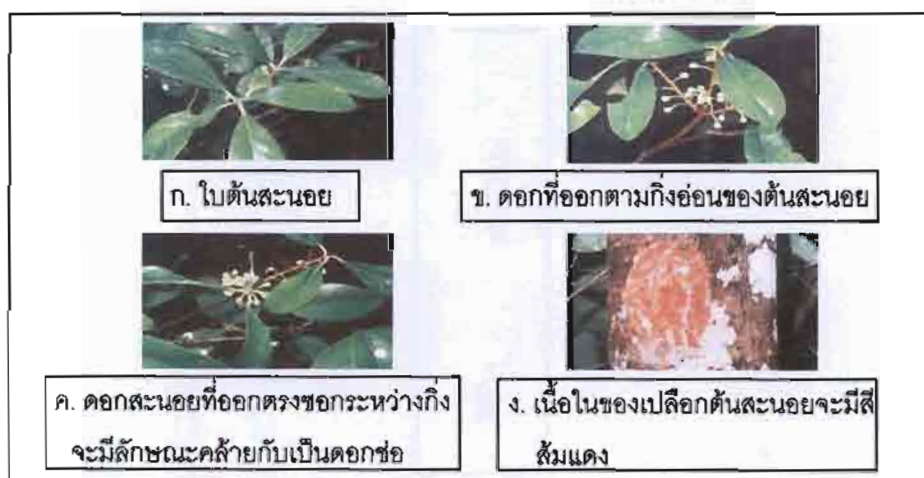
จากการทดลองหาแหล่งวัตถุดิบในการวิจัยครั้งที่ 1 พบว่าเปลือกไม้สะนอยเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ นำมาสกัดได้น้ำสีมากและน้ำสีย้อมได้สีชมพูแดงจนถึงน้ำตาลแล้วแต่ส่วนผสมและไม้สีหาได้ในปริมาณมากตามป่าตั้งแต่ดอยสุเทพไปจนถึงแม่สะเรียง คณะผู้วิจัยได้พยายามเดินทางไปแม่สะเรียงเพื่อเก็บตัวอย่างใบและถ่ายรูปลักษณะลำต้นเพื่อหาชื่อทางวิทยาศาสตร์ 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

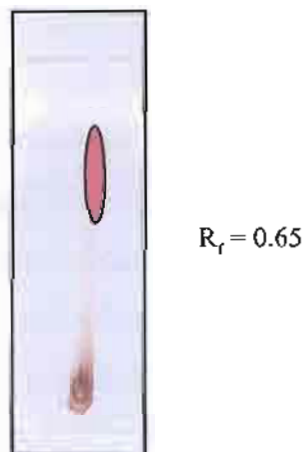
- นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้จากข้อ ก. มาละลายด้วยเมทานอลจะได้น้ำยาสกัดสีส้ม-เหลือง และหยดด้วยกรดเกลือเข้มข้น 1 นอร์มอล ผลการตรวจสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีของน้ำยาสกัด

- 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 คำนวณเป็นปริมาณน้ำหนักร่วมกับ 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)

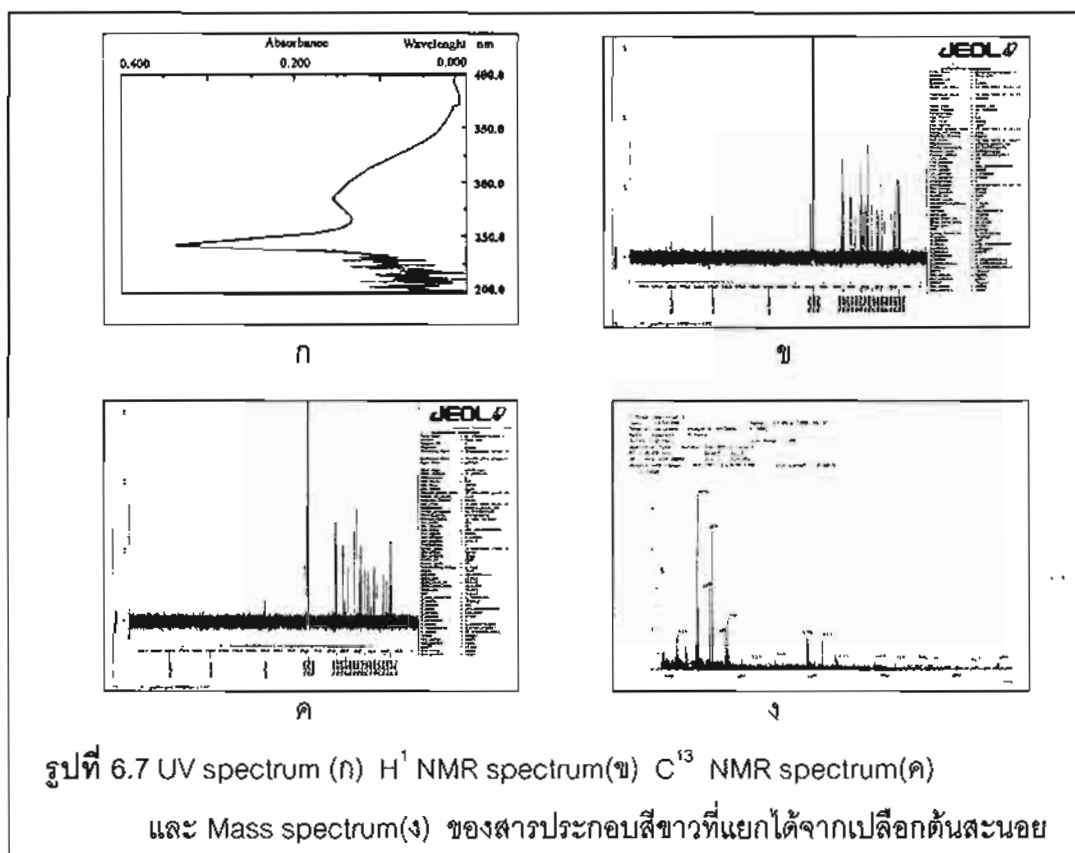
ง. การวิเคราะห์ด้วย Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance สารประกอบนี้แสดงค่า Chemical Shift ของ C^{13} ในโครงสร้างด้วยพีคต่างๆ ดังแสดงด้วยสเปกตรัม (รูปที่ 6.7ค)

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

6.2.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารผลิตภัณฑ์ที่แยกได้จากน้ำยาสกัดเอธานอลของเปลือกต้นสะนอย

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

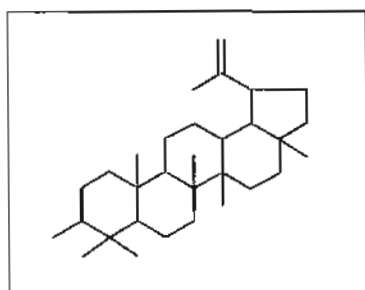
ข. มีค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต 2 ค่าที่ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร และ 287 นาโนเมตร

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. ทำการสกัดแยกเอสารประกอบหลักที่ให้สีแดงออกจากเส้นด้วยที่ผ่านการข้อมจากข้อ ค. ด้วยเอทานอลจนสีของเส้นด้วยที่ชัดเจน

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
- ให้ผลลบกับการทดสอบหาคาร์ทีนอยด์
- 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 คีน
- 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

* น้ำสีสกัดด้วยน้ำต่างเคี้ยวให้ชื้นแล้วทำแห้ง

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

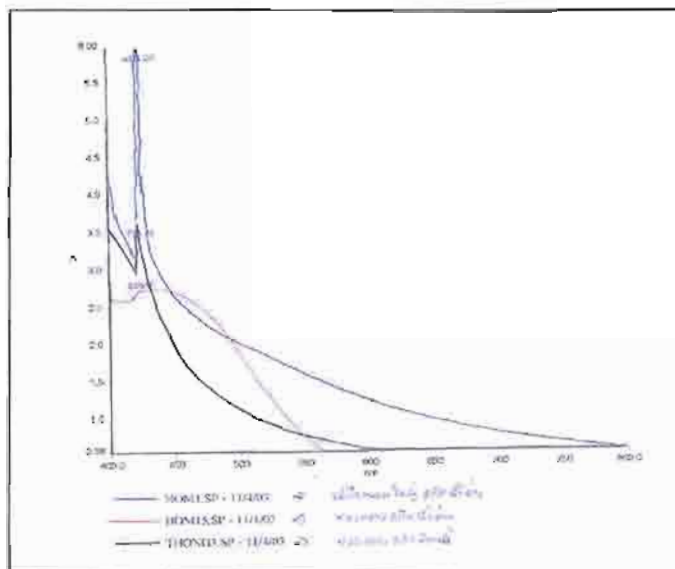


รูปที่ 6.12 สีสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสนอย (ไก่อแดง)

6.2.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากดอกทองกวาวและเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม

6.2.3.1 สีจากดอกทองกวาว (*Butea monosperma* Lamk.)

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



รูปที่ 6.13 สเปกตรัมของสารสีจากดอกทองกวาวและหอมใหญ่สกัดด้วยน้ำต่างปูนใส

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



รูปที่ 6.14 ผ้าฝ้ายย้อมสีสูตรสำเร็จจากดอกทองกวาว (ก) ผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดอย่างเดียวกันและ (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 ผ้าฝ้าย ผ้าเปลือกไหม และผ้าไหมประดิษฐ์ย้อมสีจากดอกทองกวาว สูตรต่างๆ กัน

(ภาพบน) สูตร M1YO1Bu (ภาพกลาง) ผ้าฝ้ายย้อมสีสูตร 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)

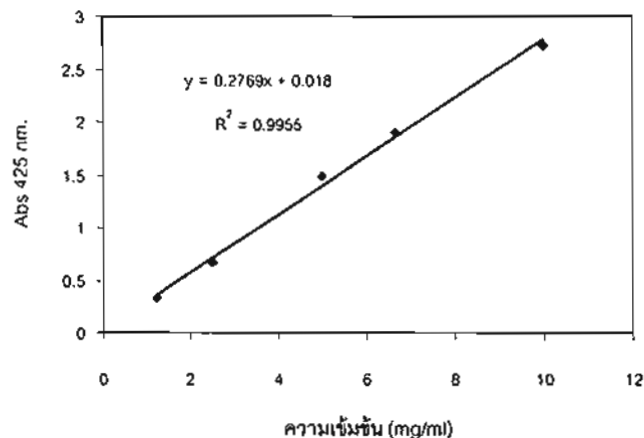
- ดอกทองกวาว 2 กิโลกรัม แช่น้ำค้าง 35 ลิตร 1 คืน
- กรองน้ำสีออกทิ้งกาก น้ำสี ค่าพีเอช 5.2
- เติมเกลือแกง 500 กรัม
- สารส้ม 500 กรัม
- วัดค่าพีเอชของส่วนผสมได้ 11.2 สีเปลี่ยนจากเหลืองเป็นเหลืองส้ม
- ทดลองย้อมฝ้าย 2 ใจ (รูปที่ 6.14) ไม่ทนแสง
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 1,600 กรัม

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 เกลือแกง 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 การเปลี่ยนกลับมาย้อมสีเหลืองทับสีน้ำเงินเพื่อให้ได้สีเขียวก็ได้ผลดีระดับหนึ่ง 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

- คิดเป็นต้นทุนกิโลกรัมละ ~ 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

- คิดเป็นต้นทุนอัดเม็ดแกรนูลกิโลกรัมละ 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
- เคี้ยวให้วัดท่าแห้งได้ผงแห้ง 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
- ท่าแห้งได้ผงแห้ง 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
- ท่าแห้งได้ผงแห้ง 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
- ท่าแห้งได้ผงแห้ง 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
- ลอยย้อมฝ้าย 1 ใจ สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 2,225 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบแกรนูลิกิโลกรัมละ 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
- ย้อมฝ้าย 1 ใจ ได้สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 290 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบแกรนูลิกิโลกรัมละ 2,400 บาท

6.3.1.11 สูตรผสมสีจากฮ่อมสูตร I3 และผิวมะกรูด(Y4) เป็นสูตร G7

- เช่นเดียวกับ G6 แต่สีจากฮ่อมเป็น I3 แทน I2
- ย้อมได้สีเขียวอ่อน
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 290 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลิกิโลกรัมละ 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
- ผสมให้เข้ากันย้อมฝ้ายได้สีน้ำตาลออกส้ม
- ทำแห้งได้ผงแห้ง 685 กรัม
- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลิกิโลกรัมละ 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 เม็ดแกรนูลของสีย้อมสูตรสำเร็จ การละลาย พีเอช สีที่ย้อมได้ ความคงทนของสี และต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม(ต่อ)

สูตรสำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม	ลักษณะเม็ดแกรนูลและการละลายน้ำ	พีเอชของน้ำสีหลังละลาย	สีที่ย้อมได้	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 การประเมินผลการเตรียมเม็ดแกรนูลของสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

ผลการทดลองที่ผ่านมาในการทำสูตรสำเร็จรูปของสีย้อมธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ และสีย้อมนั้นมีบางสูตรก็ได้ผลดี บางสูตรยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ และบางสูตรก็ไม่เหมาะที่จะผลิต ทั้งนี้ดูจากต้นทุนการผลิต แหล่งและปริมาณของวัตถุดิบ คุณภาพของสีย้อมสูตรสำเร็จรูปที่ผลิตได้ ความยากง่ายของการผลิตและการนำผลผลิตไปใช้งานโดยคัดเลือกจากสีย้อมสูตรสำเร็จที่ผลิตได้แต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบในตารางที่ 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) ทั้งสามสูตรต่างก็มีส่วนของปริมาณคราม 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

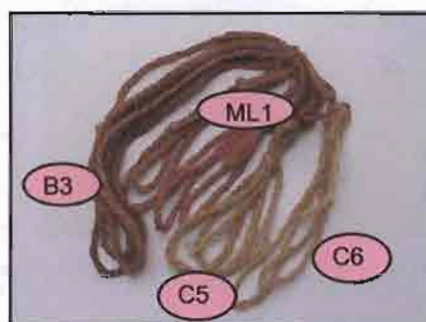
สรุป สูตรสีม่วงทั้ง 4 สูตร เป็นสูตรที่ใช้ได้และยืนยันโดยการทดสอบการละลายและการย้อมแล้ว ตัวอย่างผงสีสำเร็จรูปสูตรสีม่วงแสดงในรูปที่ 6.20



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 รังๆแข็ง ใช้สำหรับขัดถ้วยชามหรือขัดตัว นำรังบวบที่พอกนุ่มแล้วมาย้อมแบบย้อมผ้าหรือเส้นใย ก็ได้รังบวบติดสีสันท่านำไปทำประโยชน์ได้หลายอย่าง (รูปที่ 6.23)



ก



ข

รูปที่ 6.23 รังบวบ(ก) และรังไหม(ข) ที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป

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



รูปที่ 6.24 การดาษที่ทำจากเยื่อย้อมสีธรรมชาติ สีครั่ง(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

ผลการวิจัยการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปในรูปผงแห้งและอัดเม็ดแกรนูลได้สูตรสีย้อมที่นำไปใช้ในงานย้อมผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ดีในระดับการย้อมในอุตสาหกรรมครัวเรือน 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 หากมีปัญหามาสามารถมาได้ตามได้ตลอดเวลา แนะนำการใช้สีย้อมอย่างมีประสิทธิภาพ การย้อมสีกระดาษสาและให้เครื่องมือการทำกระดาษสาไปทดลองทำ การย้อมโครงใบไม้ การผสมผงหินอ่อนและสีธรรมชาติเพื่อใช้ในการงานปั้น เป็นต้น ซึ่งทาง คุณกัมปนาทเองก็จะรับบุกเบิกในด้านนี้พร้อมกับหาตลาดรองรับเพื่อให้เด็กใน “บ้านทอฝัน” ได้มีอาชีพและอยู่ได้แบบพอเพียง หากมีโอกาสคณะผู้วิจัยจะนำสีสำเร็จรูปไปให้ทดลองใช้และสอนการเตรียมสีสำเร็จรูปบางสีเพื่อใช้ย้อมหากมีเหลือก็จะได้ออกจำหน่ายได้ต่อไป และในวันปีใหม่นี้ครอบครัวบ้านทอฝันก็ได้ส่ง ส.ค.ส. ประดิษฐ์เองจากผ้าย้อมสีธรรมชาติมาให้อด้วย (รูปที่ 7.2)



รูปที่ 7.2 สิ่งประดิษฐ์จากผ้าย้อมสีธรรมชาติของครอบครัว“บ้านทอฝัน”

7.1.3 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2545 คณะผู้วิจัยได้เดินทางไปประชาสัมพันธ์และสำรวจแหล่งย้อมสีธรรมชาติและวัตถุดิบในภาคอีสานเหนือ 7 จังหวัดคือ ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด มุกดาหาร อุตรดิตถ์ หนองคาย สกลนคร (รูปที่ 7.3) จากการสำรวจผู้สนใจใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปพบว่ามีความสนใจมากหากราคาไม่แพงกว่าสีสังเคราะห์มากนัก ได้เส้นไหมจากโรงงานย้อมและทอผ้าไหมมาทดลองย้อมและจะจัดส่งสีสำเร็จรูปไปให้ทางโรงงานทดลองย้อมด้วยหากผลิตได้ปริมาณมากพอ ทางภาคอีสานเป็นแหล่งที่จะผลิตคราม paste ส่งให้ได้และมีการปลูกครามมากขึ้นหากมีความต้องการใช้มากก็จะสามารถปลูกและผลิตได้มากขึ้น ทางจังหวัดแพร่ก็เริ่มนำครามจากอีสานมาปลูกและในปี 2546 ที่ผ่านมานี้ได้ขยายการปลูกไปอีกหลายสิบไร่ การย้อมสีครามธรรมชาติทางภาคเหนือมีที่ท่าจะฟื้นคืนมาที่จังหวัดแพร่ซึ่งนับว่าเป็นนิมิตหมายที่ดีมาก



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 นอกเหนือจากสีย้อมผ้าโดยเฉพาะผสมอาหารและเครื่องดื่ม

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.



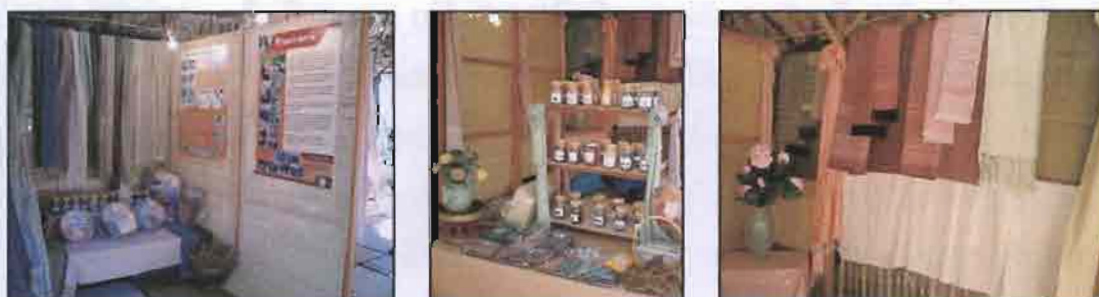
รูปที่ 7.5 ขั้นตอนการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ย้อมสี

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) แบ่งให้กลุ่มวิจัยเมื่อนานของพระอาจารย์สมคิดได้ทดลองย้อมในงานนิทรรศการการมัดย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติในงานเดียวกัน 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 บางรายมาซื้อที่เชียงใหม่ไปแล้วดูงานไปแล้วก็ยังไม่เริ่มดำเนินการ อีกปัญหาหนึ่งก็คือถ้ามีการผลิตและลงทุนไปแล้วจะมีวัตถุดิบมากพอที่จะป้อนโรงงานหรือไม่โดยที่จะไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า 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 ไม่มากพอที่จะให้ผลิตในเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรม 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 ฮ่อมและครามซึ่งให้สารสีอินดิโกที่มีสีน้ำเงินและมีสารสีแดงคืออินดิโรบินอยู่ด้วย 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 ส้อมนั้นได้บอกผู้ใหญ่บ้านบางหมู่บ้านให้ชาวบ้านหามาปลูกไว้ตามที่ร่วมในบ้านซึ่งต้นส้อมนั้นเขาติดต่อขอได้จากสวนพฤกษชาติต่างๆ 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 พบว่ามีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายได้ดีในเอทานอลและวิเคราะห์โครงสร้างแล้วว่าเป็น morindone ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 282°C ส่วนอีกชนิดหนึ่งละลายได้ดีในน้ำต่างซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้

แยกบริสุทธิ์แล้วพบว่าได้เป็นผลึกสีเหลืองที่มีจุดหลอมเหลว 154-156°C ซึ่งวิเคราะห์โครงสร้างด้วย ^1H NMR และ ^{13}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 มะดาเลื่อ *Morinda lucida* หรือยอเถื่อน ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นพืชหลักที่ใช้ย้อมสีแดงบนผ้าฝ้าย ไหมและขนสัตว์ในประเทศอินเดียและไทย ซึ่งพืชในสกุล *Morinda* นี้จะผลิตสารให้สีที่เปลี่ยนจากในระยะเวลา 2-3 ปีแรกของการปลูก ผู้วิจัยได้คัดเลือกรากยอป่าสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. มาศึกษาเนื่องจากมีมากในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยตามที่ราบสูง เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กที่มีรากชอนไชไปตามพื้นดินและขยายพันธุ์ง่าย

เมื่อนำสารให้สีจากรากยอป่าที่สกัดด้วยเอทานอลมาทำการแยกและวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักพบว่า จะมีองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่ตรวจสอบได้อยู่ 2 ชนิดและมีอยู่เพียงชนิดเดียวที่มีปริมาณมากที่สุดคือประมาณ 1.5% โดยน้ำหนักของผงรากบด ในขณะที่สารสกัดหยาบที่รวมองค์ประกอบอื่นๆ จะมีประมาณ 14% ของน้ำหนักรากแห้ง เปอร์เซ็นต์สารให้สีที่ได้จากการสกัดจะใกล้เคียง

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 และยังแยกสีออกได้ง่ายกว่าด้วย นอกจากนี้ควรหาวิธีเก็บเซลล์รากจากเชื้อที่ขยายได้ในลักษณะแห้งเพื่อให้เพาะเลี้ยงต่อไปโดยไม่ต้องเริ่มจากการเพาะเมล็ดรากยอบา เป็นสิ่งที่ควรจะทำอย่างยิ่ง

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 แหล่งมาทำการตรวจหานมูฟังก์ชันโดยวิธีอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี 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 และ 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 ทั้งสองตัวไม่ใคร่เสถียรมักใช้เป็นสีผสมอาหารเครื่องสำอางมากกว่าสีย้อม 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* ที่เลี้ยงบนอาหารร่วน (ก) ลักษณะเส้นใยที่เจริญบริเวณผิวหน้าอาหารร่วน (ข) สีแดงที่เชื้อราปล่อยออกมาในอาหาร (ค) สารสีที่สกัดด้วยเอทานอล

คณะผู้วิจัยทำการศึกษาสีจากเชื้อรา 3 ชนิดคือ *Fusarium* sp. (สีม่วง) *Penicillium* sp. (สีแดง) และ *Monascus purpureus* (สีแดงเข้ม) ในขั้นต้นได้ศึกษา เชื้อรา *Monascus purpureus* ที่มีสีแดงเข้ม โดยเฉพาะเลี้ยงเชื้อรบนอาหารร่วน 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* ที่เลี้ยงบนอาหารร่วนจะเจริญได้ช้ากว่าที่เลี้ยงในอาหารเหลวซึ่งในอาหารร่วนใช้เวลานาน 3 สัปดาห์ เชื้อราจึงจะสามารถเจริญแผ่เต็มบนอาหารเลี้ยงเชื้อส่วนในอาหารเหลวใช้เวลาเพียง 9 วัน สามารถเจริญได้เต็มฟลask จากนั้นทำการสกัดสีจากเส้นใยที่เจริญบนอาหารทั้งสองชนิด โดยใช้ absolute ethanol และนำไปตรวจหาความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงของสารสีแดงที่สกัดได้ พบว่าสารสีแดงจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 400-507 นาโนเมตร และทำการศึกษหาองค์ประกอบหลักของสารสีสกัดเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) ที่มีซิลิกาเจล จี เป็นตัวดูดซับ และทดลองหาตัวชะที่เหมาะสมในการแยกองค์ประกอบหลักของสีสกัด จากการศึกษาโดยใช้ตัวชะเป็นโคโรฟอร์ม:เมทานอล

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 sangunea* 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 เติมนoculum 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 ทดลองย้อมฝ้ายชั้นต้นติดสีม่วงแดงทนซักและทนแสง

ได้ทดลองแยกสีที่ผลิตได้ด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟีที่บรรจุซิลิกาเจล 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 และวิเคราะห์ด้วย 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. อุบลราชธานี. ปีที่ 20 ฉบับที่ 6.

สุนันท์ เชาว์ดีและราศี จั้ววงศ์ชัย. การทำครามและย้อมในจังหวัดแพร่. กสิกร 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 เมฆพรรณโอบาส "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

นิจศิริ เรืองรังษี พะยอม ต้นติ้ววัฒน์ "พืชสมุนไพร" พ.ศ. 2534 โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์ หน้า 93-104

หนังสือคู่มือหมายเลข 1 : บทรายงานของกลุ่มสตรีทอผ้าเพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับปฏิบัติการย้อมและสิ่งแวดล้อม ที่สตูดิโอในแน่นหนา, 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.

สุนิสีต 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 สหประชาชาติแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ 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., Lievonon, 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 Physiol.*, 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
โพลีเอมิด (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 น้ำหนักตอปริมาตร 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

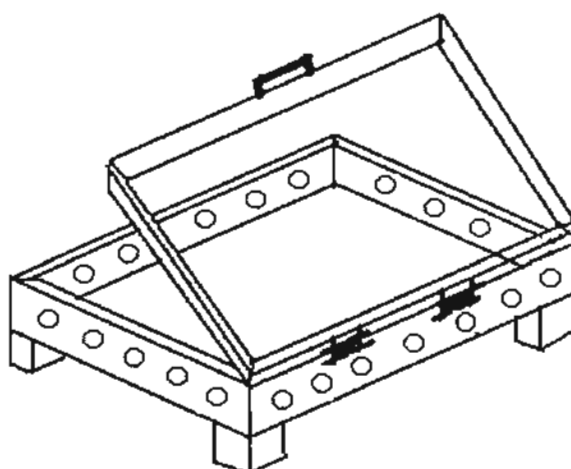
ตารางที่ 4 ความคงทนต่อแสงของผ้าสีมาตรฐานระดับคุณภาพต่างๆ

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



รูปที่ 1 ตู้สำหรับวางขึ้นทดสอบอาบแสงแดด

1.3 กระดาษทึบแสง และกระดาษแข็ง

1.4 เกรย์สเกล สำหรับเปลี่ยนแปลงสี (Gray Scale for Colour Change)

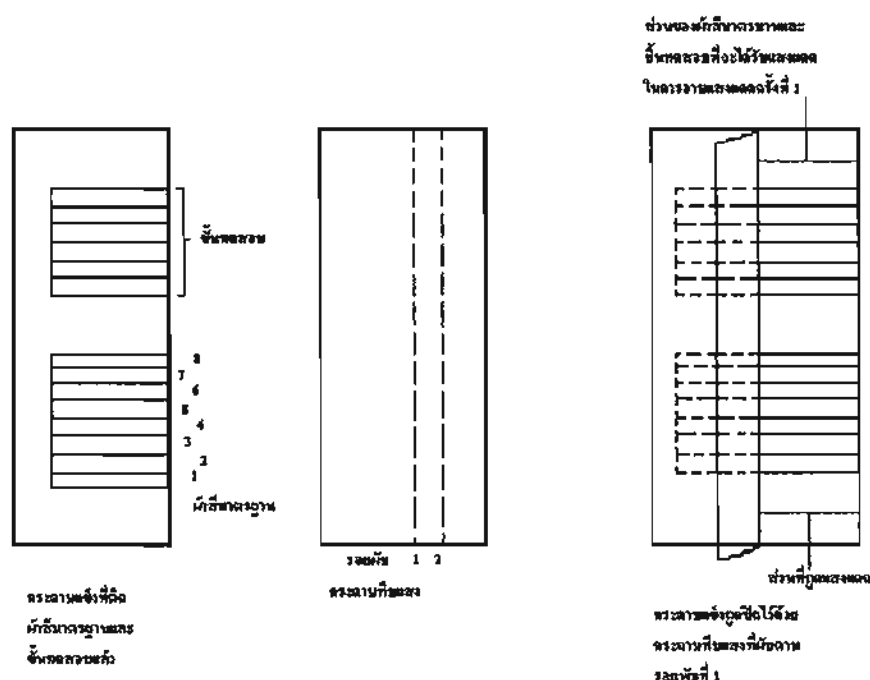
2. การเตรียมขึ้นทดสอบ

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 โดยทิ้งช่องว่างพอสมควรระหว่างผ้าสีมาตรฐานกับขึ้น

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 (ตำแหน่งที่วางแผ่นกระดาษต้องไม่มีเงาตกกระทบบนทุกช่วงเวลาที่แสงแดด) 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

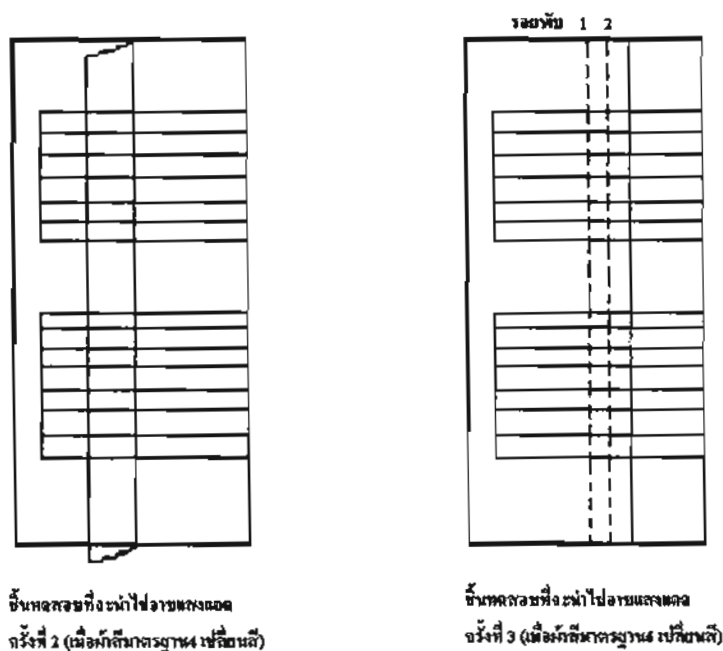
5.2 ถ้าชิ้นทดสอบแสดงการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ระหว่างผ้าสีมาตรฐานสองระดับ ให้รายงานผลเป็น ค่าระหว่างผ้าสีมาตรฐานทั้งสอง เช่น ความคงทนของสีเป็น 3 - 4 หมายถึง ชิ้นทดสอบมีความคงทน ไม่ถึง 4 แต่มีความคงทนมากกว่าระดับ 3

การจัดระดับคุณภาพของสีต่อแสงแบ่งออกเป็น 8 ระดับ คือ

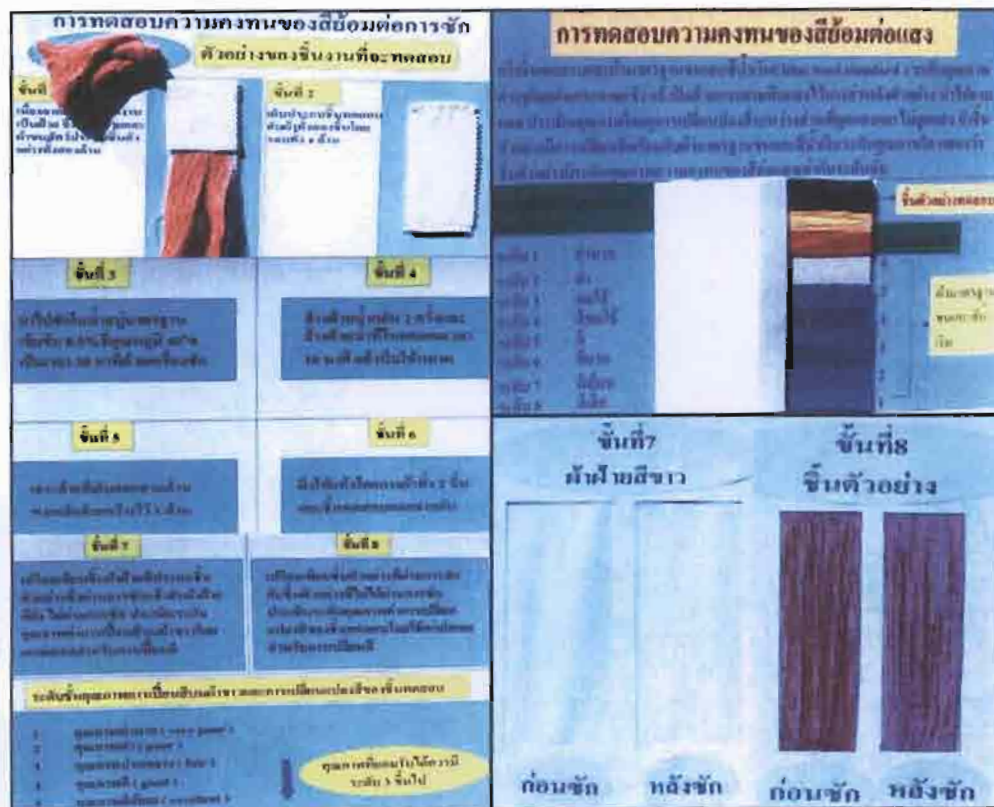
ระดับคุณภาพ	ความคงทน
1	ต่ำมาก
2	ต่ำ
3	พอใช้
4	ดีพอใช้

5	ดี
6	ดีมาก
7	ดีเยี่ยม
8	ดียอดเยี่ยม

ระดับความคงทนของสีต่อแสงในระดับที่พอยอมรับได้คือระดับ 3 ขึ้นไป ตัว
 อย่างของวิธีตรวจสอบความคงทนของสีต่อการซักและแสงแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การปิดกระดานที่บ่งแสงบนกระดานแข็งในการอาบแสงแดดครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3



รูปที่ 4 ตัวอย่างวิธีตรวจสอบความคงทนของสีต่อการซักและแสง