

แบบ ข. วิธีนี้มีการหมักใบพืชสด จากนั้นทำให้แห้งจะได้ลักษณะเหมือนปุ๋ยหมักเพื่อสะดวกต่อการขนส่งและการเก็บรักษา

วิธีนี้นิยมใช้กับพืชให้สีครามประเภท

Polygonum tinctorium ในญี่ปุ่น

Isatis tinctoria ในยุโรป

และ *Lonchocarpus cyanescens* และ *Indigofera* ในแถบประเทศกลุ่มอัฟริกาตะวันตก

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

3.1.3.1 การผลิตเนื้อสีคราม

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

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

3.1.3.2 การก่อก้อนครามหรือการเตรียมหม้อย้อมคราม

การก่อก้อนครามนั้นจะมีกรรมวิธีในการก่อหลายแบบส่วนผสมที่ใช้ก็แตกต่างกันตามความเชื่อและสิ่งแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น การก่อก้อนครามที่ใช้ย้อมเส้นฝ้ายก็จะมีลักษณะที่แตกต่างจากหม้อครามที่ใช้ย้อมไหม อย่างไรก็ตามก้อนครามของแต่ละท้องถิ่นก็จะมีเกณฑ์ในการก่อที่คล้ายคลึงกันดังตัวอย่างที่นำเสนอ

ส่วนผสมที่ใช้ในการก่อก้อนคราม

ก. เนื้อคราม

ข. น้ำกรดหรือน้ำส้ม เช่น น้ำมะนาวซึ่งมีกรดซิตริก น้ำมะเดื่อซึ่งมีกรดฟอร์มิกและน้ำมะขาม

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

สารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อผิวหนัง ทำให้เกิดมลพิษสูงในการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมสีเคมีทำให้ดินและน้ำเสียจึงทำให้มีการหันกลับมาใช้วัตถุจากธรรมชาติมากขึ้น

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

- ฟองซึ่งได้จากการคนและการตักน้ำครามขึ้นมาเทกลับลงไปในหม้อเหมือนเดิมฟองจะเกาะอยู่ด้านบนของหม้อครามนานไม่แตกง่าย
- ด้านบนของหม้อครามจะเกิดฝ้าสีน้ำเงินเข้ม
- น้ำครามจะมีสีเขียวและต่อมาถ้าในหม้อเปลี่ยนจากสีเขียวน้ำเงินไปเป็นสีเขียวเหลืองหรือสีเหลืองเทา ก็แสดงว่าหม้อครามกำลังจะเสียให้เติมน้ำมดแดงและน้ำด่างลงไปเพื่อให้หม้อครามดีเหมือนเดิม

อย่างไรก็ตามมีรายงานการวิจัยของอรุณรัตน์สายทองและคณะพบว่าน้ำสีที่มีพีเอช อยู่ในช่วง

10-10.5 ทำให้การย้อมติดสีน้ำเงินเข้มดี

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

3.1.3.3 การชุบสีครามหรือการย้อมสีคราม

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

จากนั้นจึงนำมาซักด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส ปิดให้หมดกระตุกเส้นฝ้ายหรือไหมให้ตึงเพื่อเป็นการคลี่เส้นใยและนำไปผึ่งในร่มหรือผึ่งแดดก็ได้ จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมสีน้ำเงินตามต้องการ

3.2 การวิจัยเพื่อเตรียมสีย้อมครามจากธรรมชาติและพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูปจากพื้นฐานภูมิปัญญาดั้งเดิม

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

3.2.1 ผลการสกัด วิเคราะห์ และแปรรูปสารสีน้ำเงินจากครามและฮ่อมจากการวิจัยระยะที่ 1

จากงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการเตรียมสีย้อมครามในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม จากใบครามและใบฮ่อมให้อยู่ในรูปสีสำเร็จรูป เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ย้อม ให้หันกลับมานิยมย้อมผ้าหรือเส้นใยด้วยสีย้อมธรรมชาติอีกครั้งหนึ่ง ได้ผลการวิจัยเพื่อการพัฒนากระบวนการเตรียมสีย้อมครามดังต่อไปนี้

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

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบปริมาณสีย้อมที่ได้จากการหมักใบฮ่อมสด 1 วันและ 3 วัน

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

นอกจากนี้ยังพบว่าระยะในการหมักวัตถุดิบ 1 วัน จะได้น้ำสีที่ไม่มีกลิ่นเหม็น ต่างจากการหมัก 3 วันที่เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องมาจากการสลายโปรตีนและไขมันในครามหรือฮ่อมโดยแบคทีเรียเกิดสาร

ประกอบประเภทคีโตน (ketones) ผลการวิจัยของอนุรัตน์สายทองและคณะพบว่า การแช่ครามไว้ 18 ชั่วโมงจะให้เนื้อครามและสีครามมากที่สุด

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบปริมาณสีครามที่ได้จากการหมักใบฮ่อมและใบคราม อย่างละ 100 กรัมในน้ำเป็นเวลา 1 วัน

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

กระบวนการสลายอินดิแคนให้ได้อินดอกซิล แยกตัวออกจากกลูโคสเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานจากแบคทีเรีย งานวิจัยนี้ให้สำรวจพบแบคทีเรีย 3 ชนิดในน้ำหมัก และได้ทดลองหมักตามธรรมชาติกับการหมักโดยเพิ่มแบคทีเรียชนิดใดชนิดหนึ่งลงไป ปรากฏผลว่าปริมาณสีครามที่ได้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปริมาณแบคทีเรียในธรรมชาติที่ช่วยในกระบวนการหมักมีมากพอแล้ว อย่างไรก็ตามเอนไซม์ในพืชเองก็น่าจะมีความสำคัญมากกว่าจุลินทรีย์ในอากาศในขั้นตอนการหมักครามนี้ เพราะใบสดให้เนื้อครามมากเนื่องจากมีเอนไซม์จากใบพืชมาก

ก. กระบวนการผลิตสีคราม

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

ข. การเปรียบเทียบขององค์ประกอบหลักของสารสีที่สกัดจากครามและฮ่อม

ผลการแยกวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารสีที่สกัดจากครามและฮ่อมด้วยวิธีต่างๆ โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีมีบางพบว่าประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด เหมือนกันหมดทั้งครามและ

ฮ่อมกล่าวคือ ประกอบด้วยสารสีน้ำเงินคือ อินดิโกและสารสีแดงเป็นอินดิรูบินซึ่งยืนยันได้ด้วยการแยกบริสุทธิ์และนำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีจากการศึกษาสมบัติทาง spectroscopy

ค. การแปรรูปตะกอนครามเปียกให้เป็นผงสีแห้งและเม็ดแกรนูล

ค1. การผลิตสีผงแห้ง

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

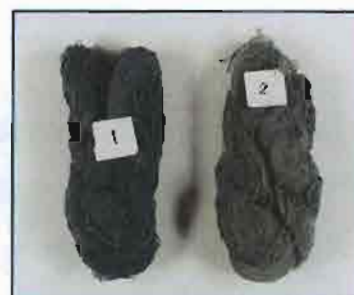
ตารางที่ 3.4 ปริมาณของผงสีแห้งที่ได้จากการอบตะกอนเปียกจากฮ่อมหรือครามอย่างละ 100 กรัม

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

ค2. ผลการย้อมด้วยสีย้อมที่สกัดได้ในรูปที่ 3.5, 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.5 ผ้าที่ทำความสะอาด(1)และผ้าที่ไม่ได้ทำความสะอาด(2) ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสดในน้ำ 24 ชม.



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



รูปที่ 3.7 ผ้าที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากการหมักใบฮ่อมสด(1) ใบฮ่อมแห้ง(2) และใบฮ่อมแห้ง(3)

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

ค3. การผลิตเป็นเม็ดแกรนูล

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

ในการทำเม็ดแกรนูล ผู้วิจัยได้ทดลองปรับสูตรใช้แป้งแทนแลคโตสในการช่วยให้เกิดการจับตัว
 เป็นก้อนง่ายต่อการอัดเม็ดแกรนูล เพื่อลดต้นทุน เพราะแป้งมีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า

จ. สมบัติของสารสีย้อมจากสีครามธรรมชาติ

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

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

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

จ. สรุปผลการทดลองการเตรียมสีครามธรรมชาติจากโครงการระยะที่ 1

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

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

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

3.2.2 รายละเอียดผลงานวิจัยการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปจากโครงการพัฒนาสีธรรมชาติระยะที่ 2

ผลงานวิจัยของโครงการวิจัยระยะที่ 1 ที่ผ่านมาเป็นเพียงการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ และได้ผลการทดลองเบื้องต้นเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาปรับปรุงและขยายขนาดการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปให้เพียงพอที่จะเผยแพร่ให้ทดลองใช้ได้จริงในภาคสนามต่อไป

3.2.2.1 การหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับผงสีสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูล

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

3.2.2.2 การทำเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ จากผงสีครามและห่อหุ้มปริมาณเนื้อสี

และทดสอบการละลาย

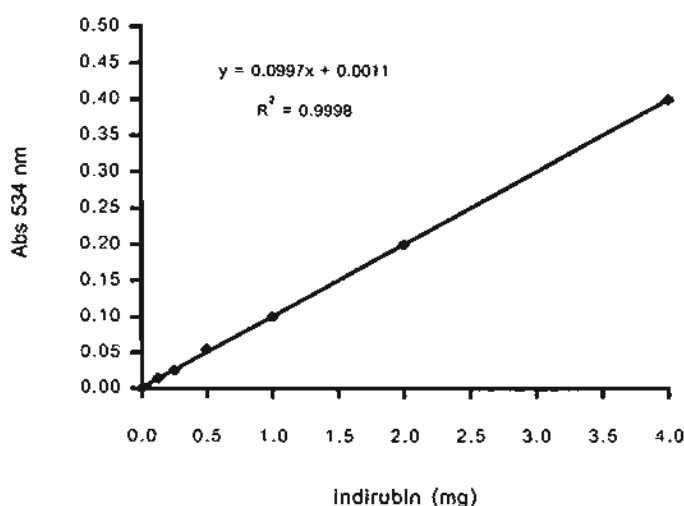
จากการแปรรูปสารสีสกัดที่อยู่ในลักษณะตะกอนเปียกเป็นผงแห้งเกิดปัญหาตรงขึ้นได้ง่ายจึงได้ทดลองแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยซึ่ง indigo paste จากใบฮ่อม 200 กรัมต้องใช้น้ำตาลแลคโตส ถึง 845 กรัม ในการผสมให้เนื้อสีมีลักษณะหยาบคล้ายกะปิ เพื่อให้สามารถบดแล้วรีดให้เป็นตัวหนอนอบที่ 60°C 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบดผ่านตะแกรงเบอร์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

ก่อนที่จะแปรรูปสูตรต่างๆ ต้องมีวิธีหาปริมาณสารสีในสีแปรรูปซึ่งจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารสีสกัดมีสารสีน้ำเงินและสีแดง ซึ่งสารสีน้ำเงินน่าจะเป็นอินดิโกและสารสีแดงน่าจะเป็นอินดิรูบิน จึงได้หาปริมาณอินดิโกและอินดิรูบินในผงสีแห้งและเม็ดแกรนูล

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

ก. การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณอินดิรูบิน

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



รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิรูบิน

ข. ตัวอย่าง ผลการหาปริมาณสารสีที่แยกได้ในเม็ดแกรนูล

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

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

จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงน่าจะเตรียมเม็ดแกรนูลจากผงสีแห้งเพราะปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลมีมากกว่า ไม่ต้องใช้เม็ดสีมากในการย้อมแต่ละครั้ง

ค. ผลการทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตอินดิโกในรูปของเม็ดแกรนูลและ

ทดสอบสมบัติการละลายน้ำ

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

ง. ผลการทดลองย้อมด้วยสีอินดิโกจากฮ่อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

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

ตารางที่ 3.4 การเตรียมเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ

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

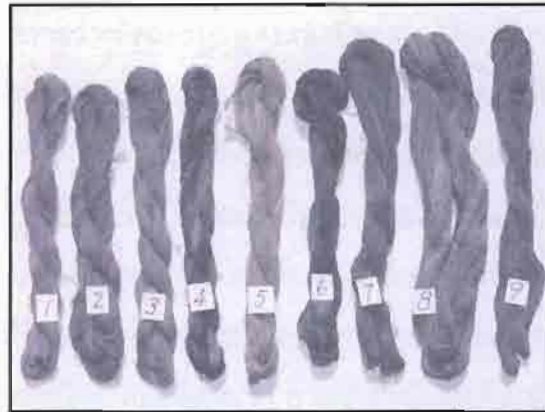
ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการละลายของเม็ดแกรนูลในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆโดยนำเม็ดแกรนูลแต่ละสูตรมา 30 มิลลิกรัม ละลายน้ำ 5 มิลลิตรที่อุณหภูมิต่างๆกัน

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

- คือไม่ละลาย, + คือละลายได้บ้าง, ++ คือละลายได้มากขึ้น

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

ในรูป reduced from ได้ดีขึ้น ซึ่งจริงๆ แล้วการย้อมผ้าด้วยสีอินดิโกอาจจะย้อมเย็นได้โดยเฉพาะในกรณีที่เม็ดแกรนูลมีส่วนผสมเป็นแป้งมันเพราะถ้าใช้น้ำย้อมจะมีลักษณะเป็นแป้งเปียกเคลือบบนเส้นด้ายฝ้ายไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดเป็นรอยต่าง



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการติดสีของฝ้ายเมื่อย้อมด้วยเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ

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

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

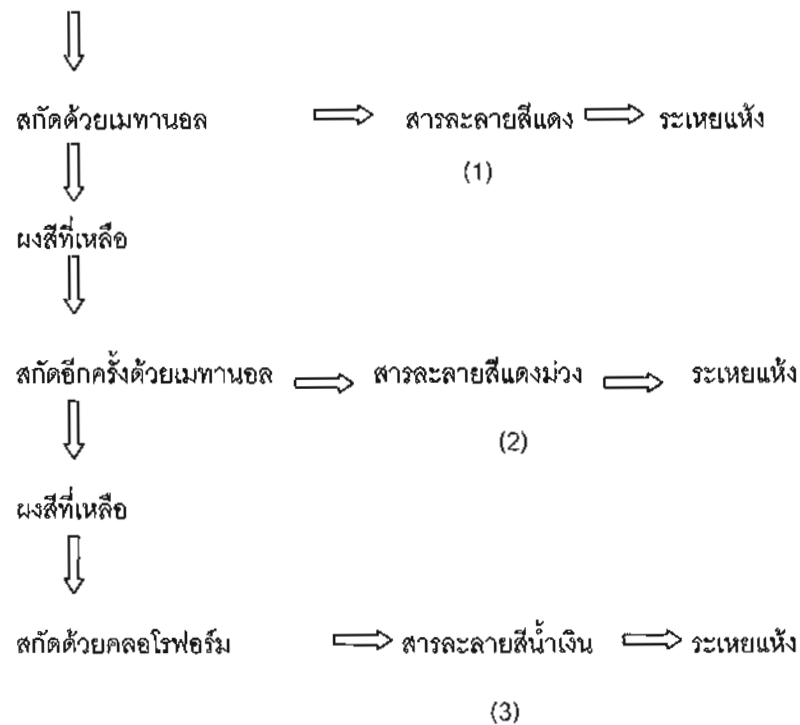
สรุป

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

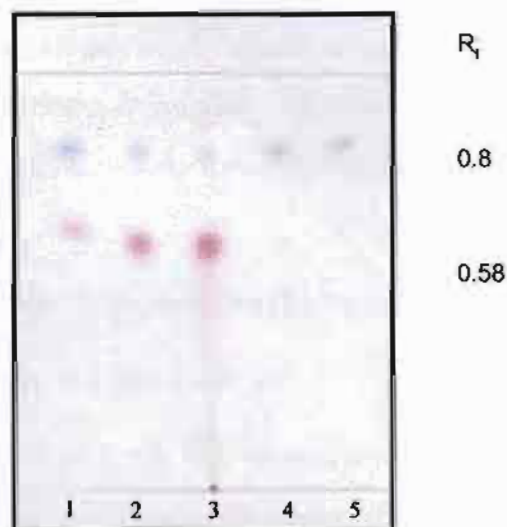
3.2.2.3 ผลการศึกษาวิธีการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป

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

Paste หรือผงสีแห้งจากครามและฮ่อม



แล้วทำการตรวจสอบสารสีที่สกัดได้ทั้ง 3 ตอนเปรียบเทียบกันโดยวิธีและโครมาโทกราฟีฉิวบางผลแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 TLC แสดงผลการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป

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

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าในสีสกัดจากใบครามและใบส้มมีองค์ประกอบของสารให้สีหลัก 2 ชนิดคือสีแดงและน้ำเงิน โดยเฉพาะสีแดงมีปริมาณมากคงทนในบรรยากาศได้ดีกว่าสีน้ำเงินจึงได้ทดลองสกัดโดยแยกสารสีทั้งสองโดยวิธีง่ายๆเพื่อให้ได้สีย้อมน้ำเงินและแดงเพิ่มอีกหนึ่งสี

สรุป

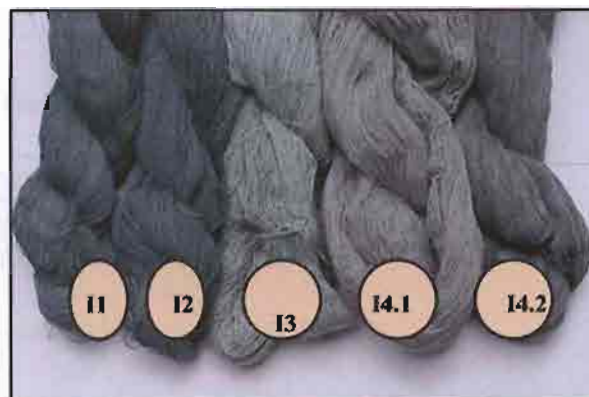
การศึกษาวิธีการแยกสารสีน้ำเงินและแดงเพื่อการแปรรูป พบว่า สารสีแดงสามารถละลายได้ดีในเมทานอล สารสีน้ำเงินละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้เมทานอลสกัดสีแดงจากผงสีแห้งครั้งที่ 1 จะมีสีน้ำเงินปนออกมากับสีแดงเพียงเล็กน้อย จากนั้นนำสารละลายนี้ไประเหยแห้งแล้วสกัดด้วยเมทานอลอีกครั้ง พบว่าสีน้ำเงินปนออกมาน้อยลงเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยเมทานอลครั้งแรก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

3.2.2.4 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากสูตร 11, 12, 13, 14.1 และ 14.2

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

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

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

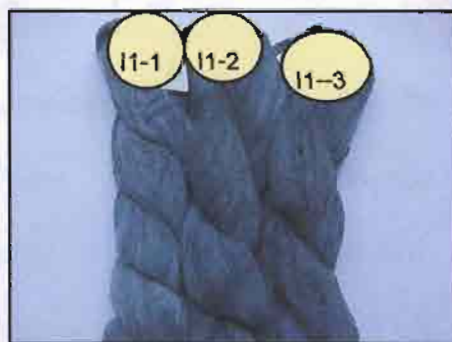


รูปที่ 3.11 ฝ้ายที่ย้อมสีอินดิโกสูตรต่างๆ

ก. การเตรียมสีอินดิโกจากฮ่อมสูตร I1

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

สูตรนี้มีเนื้ออินดิโกมาก การย้อมซ้ำจะติดสีเข้มขึ้น



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

ข. การเตรียมสีอินดิโกจากหม้อมสูตร 12

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

ต้นทุนเม็ดแกรนูล 1 กิโลกรัมเป็นเงิน 1,132 บาท

หมายเหตุ - สูตรนี้ต่างจาก I1 ตรงที่ไม่เติมสารส้มแต่เพิ่มปริมาณกรดซิดริกและเกลีโอแกง เป็นอย่างละ 200 กรัม

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

ค. การเตรียมสีอินดิโกจากหม้อมสูตร 13

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

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

หมายเหตุ ได้เนื้อสีมากไม่ว่าใครมีสิ่งเจือปนมาก

ง. การเตรียมสีอินดิโกจากฮ่อมสูตร 14

ใช้ผงอินดิโกจากฮ่อมที่สกัดอินดิกริบออกบางส่วนแล้วด้วยคลอโรฟอร์ม และผงที่เหลือผึ่งให้แห้ง มี 2 สีปนกัน

แยกผงสีน้ำเงิน 300 กรัม

ผงสีแดงมีสีน้ำเงินปนบ้าง 400 กรัม

สูตร 14.1

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

สูตร 14.2

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

ตารางที่ 3.6 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากฮ่อม การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์

ภัณฑ์ที่ย้อมสีและราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

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

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

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

3.2.2.5 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครามธรรมชาติ

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

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

คราม paste สกลนคร 10 กิโลกรัม(มีปูนขาวปน)

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

ในการย้อมครามนั้นบางครั้งผู้บริโภคต้องการสีครามที่เป็นสีน้ำเงินคล้ำเกือบดำ คณะผู้วิจัยได้พยายามทดลองผสมสูตรให้ได้น้ำย้อมสีน้ำเงินเกือบดำและพยายามหาสารธรรมชาติมาช่วยเป็นตัววิติวซ์เพิ่มขึ้นในขณะนั้นคณะผู้วิจัยได้นำโพลสกัคน้ำมันออกแล้วมา 35 ลิตร

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

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

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

การเตรียมน้ำย้อมสูตร 16

ได้ทดลองเตรียมน้ำย้อมครามธรรมชาติคล้ายๆ สูตร 15 จากส่วนประกอบต่อไปนี้

คราม paste จากสกลนคร	17.7	กิโลกรัม
น้ำมะเกลือเหลว	13	ลิตร
น้ำโพลสกัคน้ำมันออกแล้ว	8	ลิตร

กรดซิตริก	300	กรัม
Wetting agent	100	กรัม

ผสมให้เข้ากันแล้วกรองผ่านตะแกรงถี่ๆ นำมาทำแห้งได้ผงแห้ง 3550 กรัม

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

การเตรียมน้ำย้อมสูตร I7

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

สรุป

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



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปสูตรต่างๆ

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

3.3 สรุปผลการวิจัยเพื่อการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูปและแนวทางการพัฒนาปรับปรุง

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

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

3.3.3 อินดิโกมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่นของแสงที่มองเห็นได้คือ ที่ 611 นาโนเมตรสามารถใช้เป็นตัววัดในการหาปริมาณอินดิโกในสูตรสำเร็จได้โดยการวัดเทียบหาปริมาณจากค่าการ

ดูดคลื่นแสงของอินดิโกมาตรฐานที่ทราบปริมาณแล้วและวัดที่ความยาวคลื่นเดียวกัน การหาปริมาณอินดิโกที่มีอยู่ในสารสีสกัดหรือในสูตรสีย้อมสำเร็จรูปนั้น ควรทำทุกครั้งที่มีการผลิตแต่ละครั้งเพื่อให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของเนื้อสีอินดิโกในผงสีสำเร็จรูป

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

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

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

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

ข้อสังเกต

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

3.3.3 การผสมสีครามสำเร็จรูปกับสีอื่นเพื่อเพิ่มเจดสีให้หลากหลายนั้นได้นำสูตรสำเร็จรูปสูตร 12 ที่ปรับปรุงล่าสุดมาทำการผสมกับสารสีอื่นๆ ที่เป็นสีหลักเช่นสีแดงได้สีม่วง และผสมสีเหลืองได้สีเขียวซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 6 ของรายงานนี้

บทที่ 4

การเตรียมสีแดงจากธรรมชาติเป็นสีย้อมสำเร็จรูป

4.1 สารให้สีแดงในธรรมชาติ

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

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

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

4.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า

4.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยอป่าที่คัดเลือกมาใช้ศึกษา

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

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

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



รูปที่ 4.1 ลักษณะต้นยอสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb.var.*scabridula* Craib. และรากที่ให้สี

4.2.2 การย้อมสีจากรากยอป่า

ในบรรดาสีย้อมธรรมชาติที่ให้สีแดง สีจากรากยอป่าเป็นสีตัวแรกที่ทีมงานวิจัยให้ความสนใจเป็นพิเศษ ด้วยกรรมวิธีการย้อมที่ซับซ้อนดังชุดให้คณะผู้วิจัยใคร่ศึกษาหาข้อเท็จจริงและหลักการทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายสนับสนุนเพื่อหาทางพัฒนาเป็นสีแปรรูป

4.2.2.2.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมฝ้ายด้วยสีจากรากยอ

จากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นในกระบวนการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติจากรากยอของชุมชนในเขตภาคเหนือตอนบน พบว่าประกอบด้วยขั้นตอนการย้อม 2 ขั้นตอนคือ

ก. การย้อมรองพื้นด้วยน้ำมัน

ข. การย้อมด้วยน้ำย้อมสกัดจากรากยอ

ในขั้นตอนการย้อมรองพื้นด้วยน้ำมัน แต่ละท้องถิ่นมีการใช้น้ำมันที่แตกต่างกันตามแต่จะสามารถหาได้ในท้องถิ่นนั้นๆ ดังสรุปในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของน้ำมันที่ใช้ย้อมรองพื้นในแหล่งต่างๆ

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

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

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

4.2.2.2 การสำรวจเอกสารกระบวนการย้อมสีจากรากยอ

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

ก. การทำมอร์แดนต์ด้วยน้ำมัน ขั้นนี้เป็นการนำฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วเป็นอย่างดีมาแช่ในส่วนผสมที่ประกอบด้วย น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์(น้ำมันหมู) โซดาซักผ้า(โซดาแอช) และน้ำ และมักจะผสมมูลสัตว์ลงไปด้วยในครั้งแรก โปรตีนในมูลสัตว์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำมอร์แดนต์ด้วยน้ำมัน ขยำฝ้ายแล้วบิดนำไปพักไว้ในภาชนะปิดในสภาพที่หมาดๆ 1 คืน หลังจากนั้นจึงนำไปตากในที่โล่งเป็นเวลา 3 วัน ให้ฝ้ายได้รับแสงแดดในเวลากลางวันและน้ำค้างในเวลากลางคืน ทำมอร์แดนต์ด้วยน้ำมันซ้ำอีก 6-7 ครั้ง ในขั้นตอนนี้กรดไขมันจากน้ำมันจะเกิดออกซิเดชัน(เดิมออกซิเจน) และพอลิเมอร์เซชัน (เกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลให้มีขนาดยาวขึ้น) จับติดอยู่กับเส้นใยเซลลูโลสของฝ้าย หลังจากนั้นนำฝ้ายมาล้างน้ำมันส่วนเกินออกโดยใช้สารละลายโซดาซักผ้า จนกระทั่งน้ำมันส่วนเกินที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลุดออกจากเส้นใยฝ้ายจนหมด ล้างน้ำจนครบโซดาซักผ้าออกไปหมดตากจนแห้ง

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

ค. การทำมอร์แดนต์ด้วยเกลืออะลูมิเนียม นำฝ้ายที่ผ่านการทำมอร์แดนต์ด้วยแทนนินมาแช่ในสารละลายอะลูมิเนียมอะซิเตตหรืออะลูมิเนียม ซัลเฟตเป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง บิดและตากทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน แล้วทำมอร์แดนต์ซ้ำอีก 1 ครั้ง

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

จ. การย้อมด้วยสีจากรากยอ นำฝ้ายที่ผ่านขั้นตอน (ง.) มาย้อมในน้ำย้อมที่ประกอบด้วยรากยอผสมแทนนิน และแคลเซียมอะซิเตทหรือผงชอล์ค โดยเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ จนถึง 77°C ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ต้มที่อุณหภูมินี้ต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของหม้อย้อมเกินกว่า 82°C บิดล้างฝ้ายด้วยน้ำ ตากให้แห้งถ้าต้องการให้ได้สีแดงที่สดใสขึ้นให้นำฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากรากยอแล้วนำไปนึ่งใน autoclave หรือหม้อนึ่งความดันไอ

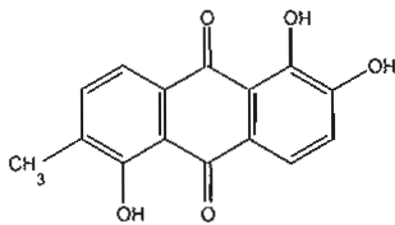
กระบวนการย้อมสีจากรากยอตามขั้นตอนทั้ง 5 นี้ ทีมวิจัยได้ทดลองย้อมแล้วได้ผลดีให้สีแดงเข้ม แต่ขั้นตอนเหล่านี้มีความยุ่งยากและใช้เวลานาน อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นนี้ได้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาการย้อมสีและการแปรรูปสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอในลำดับถัดไป

4.2.3 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์สารสีจากรากยอ

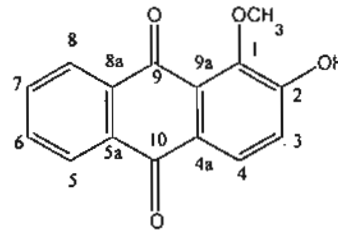
ในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ทำการศึกษาหาข้อมูลในการสกัด วิเคราะห์ ศึกษาสมบัติ และวิธีการแปรรูปสารสีแดงจากรากยอป่าในระดับห้องปฏิบัติการ

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

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



Morindone



Alizarin-1-methyl ether

รูปที่ 4.2 สูตรโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของสารสีจากรากยอติณ สายพันธุ์

Morinda angustifolia Roxb.var. *scabridula* Craib.

นอกจากนี้สารสีหลักทั้งสองชนิดยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลือโลหะชนิดต่างๆ เช่น เกลือของอะลูมิเนียมให้สีแดงส้มสด เกลือของแมกนีเซียมให้สีแดงม่วงและเหล็กจะทำให้สีข้มคล้ำลง

4.2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดและแปรรูปสารสีจากรากยอ

สำหรับการแปรรูปสารให้สีนั้นในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นทำเป็น 3 รูปแบบคือ ผงพืชบด ผงสกัดด้วยน้ำฉีดพ่นแห้ง สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ ทั้งสามแบบนี้มาอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาและการใช้ย้อม จากการวิจัยพบว่าสีแปรรูปที่ผลิตโดยวิธีต่างๆ นั้นถ้าอยู่ในลักษณะผงโดยเฉพาะจากการทำแห้งด้วยเครื่องฉีดพ่นแห้ง(spray dryer) จะเก็บไว้ไม่ได้นาน เมื่อมีความชื้นจะเกาะเป็นก้อนแข็ง การสกัดด้วยน้ำผสมน้ำต่างจากปูนขาวจะได้ผงสีผสม Ca(OH)_2 ซึ่งเก็บได้นานขึ้นและใช้งานได้เลยในการย้อมผ้าฝ้าย อย่างไรก็ตามการอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจะเก็บไว้ได้นานที่สุดและเมื่อนำมาย้อมก็จะละลายน้ำได้ดี การสกัดด้วยน้ำต่างในระยะแรกใช้วิธีต้มและพบว่าที่อุณหภูมิสูงสารที่มีลักษณะคล้ายยางไม้จะถูกสกัดมาด้วยยากแก่การทำแห้งและเวลานำน้ำย้อมไปย้อมจะทำให้ผ้าด่าง การสกัดโดยการแช่น้ำต่างที่อุณหภูมิปกตินาน 24 ชั่วโมงจึงเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

สีแปรรูปที่ได้เมื่อนำไปทดลองย้อมตามกรรมวิธีที่ได้พัฒนาไว้ดีแล้ว(บทที่ 2) พบว่าได้ผลเช่นเดียวกับการสกัดสดแล้วย้อม คุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงอยู่ในระดับดี อย่างไรก็ตามการวิจัยในระยะที่ 1 นี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการแต่มีแนวโน้มสูงในการพัฒนาขยายขนาดการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

4.2.5 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า

การขยายขนาดการผลิตและแปรรูปสีธรรมชาตินั้นแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการสกัดสารสีจากวัตถุดิบธรรมชาติให้ได้ปริมาณมาก และตอนที่ 2 ทดลองหาสูตรผสมผงสีเพื่ออัดเป็นเม็ด

แกรนูล คัดขนาดทดสอบการละลายของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสำเร็จรูป ปริมาณเนื้อสีต่อกรัมเม็ดสี การทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพ วัตถุดิบที่ให้สารสีแดงที่ใช้คือรากยอป่าและครั่ง

4.2.5.1 การสกัดสีจากรากยอป่าบดแห้ง

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

เมื่อทดลองคิดต้นทุนการสกัดสีจากรากยอป่าโดยวิธีนี้

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

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

4.2.5.2 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดแกรนูลของสารสกัดจากรากขมิ้นทดสอบสมรรถนะการละลายน้ำ

สารสกัดจากรากขมิ้นด้วยน้ำค้างและฉีดพ่นแห้งเป็นผงสีน้ำตาลเมื่อลองทำเม็ดแกรนูลโดยผสมกับน้ำตาลแลคโตสพบว่าใช้ปริมาณแลคโตสมากทำให้มีปริมาณเนื้อสีมากต่อกรัมของเม็ดแกรนูลยิ่งถ้าเป็นสารสกัดด้วยเอทานอลแล้วทำเป็นสีเข้มข้นยิ่งใช้น้ำตาลแลคโตสมากขึ้นและการละลายของเม็ดแกรนูลก็ไม่ค่อยดีด้วย คณะผู้วิจัยจึงพยายามหาวัสดุอื่นที่มากกว่าน้ำตาลแลคโตส เช่น แป้งและสารอื่นๆ ที่จำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมมาทดลองผสมหลายสูตรแล้วตรวจสอบสมรรถนะการละลายได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

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

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

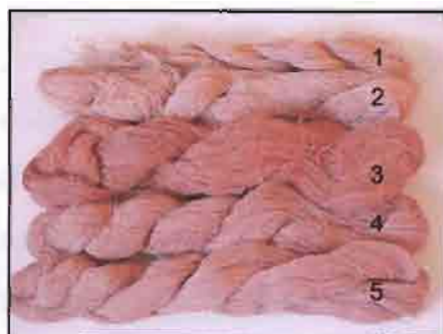
สูตรที่ 3 สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ (95% เอทานอล) เติม wetting agent เพิ่มขึ้น แป้งเพิ่มขึ้น เพราะสารสกัดเข้มข้นเหนียวมาก เติมสารส้ม 1 กรัมและผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์อีก 5 กรัม พบว่าเป็นส่วนผสมที่ผสมง่ายไม่เกาะตัว เติม wetting agent ลงไปการเกาะตัวดีขึ้น ตัวหนอนอ่อนลงบดง่ายขึ้น การละลายดีขึ้น สารละลายมีฤทธิ์เป็นด่างเพิ่มขึ้นพีเอช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

เม็ดแกรนูลจากผงสีรากขมิ้นทั้ง 5 สูตรนี้ได้นำไปทดสอบการย้อมต่อไป

ตารางที่ 4.2 การเตรียมเม็ดแกรนูลของผงสีจากรากยอป่าสัดด้วยน้ำต่างชนิดพ่นแห้งเป็นผงและสาร
สกัดอัลกอฮอล์เข้มข้นด้วยสูตรสำเร็จแบบต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

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

* สูตร 3 ใช้สารสีสกัดจากรากยอป่าด้วย 95 % เอทานอลแล้วระเหยแห้งได้สารสีเข้มข้นเหนียวเหนียว



รูปที่ 4.3 การย้อมฝ้ายด้วยสีสำเร็จจากรากยอป่าสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

สูตร 1 แป้ง 120 กรัม สารสั้ม 0.3 กรัม

สูตร 2 แป้ง 150 กรัม wetting agent 25 กรัม

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

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

ครีมออฟทาทาร์ 5 กรัม

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

กรดซิตริก 5 กรัม

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

4.2.5.3 การทดลองย้อมด้วยสีจากรากยอป่าแปรูปสูตรต่างๆ

ฝ้าย ใช้เบอร์ 40/2 ทำความสะอาดโดยต้มกับผงซักฟอกแล้วต้มกับน้ำด่างเหลือ 30 นาที ก่อนนำมา ย้อม

น้ำสี ใช้ส่วนผสมของสีสูตรต่างๆ โดยใช้เม็ดแกรนูลสูตรละ 100 กรัม ละลายในน้ำต่างปูนใส พีเอช 11.0 ปริมาตร 1 ลิตร

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

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

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

สามารถสกัดสีและปรุณ้ำย้อมก่อนทำแห้งได้โดยเมื่อแห้งแล้วเป็นแผ่นกึ่งบดและคัดขนาดเม็ดเล็กลง อาจลดขั้นตอนและต้นทุนลงได้มาก

4.2.6 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าสูตรต่างๆ

ในการวิจัยที่ผ่านมาได้ทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียมสีย้อมกิ่งสำเร็จรูปและอัดเป็นเม็ดแกรนูลได้จากสีของย้อม รากยอป่า และค้นพบว่าแป้งมันเป็นส่วนผสมที่ไม่เหมาะสมจะใช้กับสีย้อมแบบย้อมร้อนเพราะแป้งจะเกาะฝ้ายเป็นก้อน น้ำตาลแลคโตสอาจจะใช้ได้แต่ทำให้ปริมาณเนื้อสีในผงสีตอกรับลดลง ข้อมูลเหล่านี้คณะผู้วิจัยได้ใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปเพื่อทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลในลำดับต่อไป

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

4.2.6.1 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M1

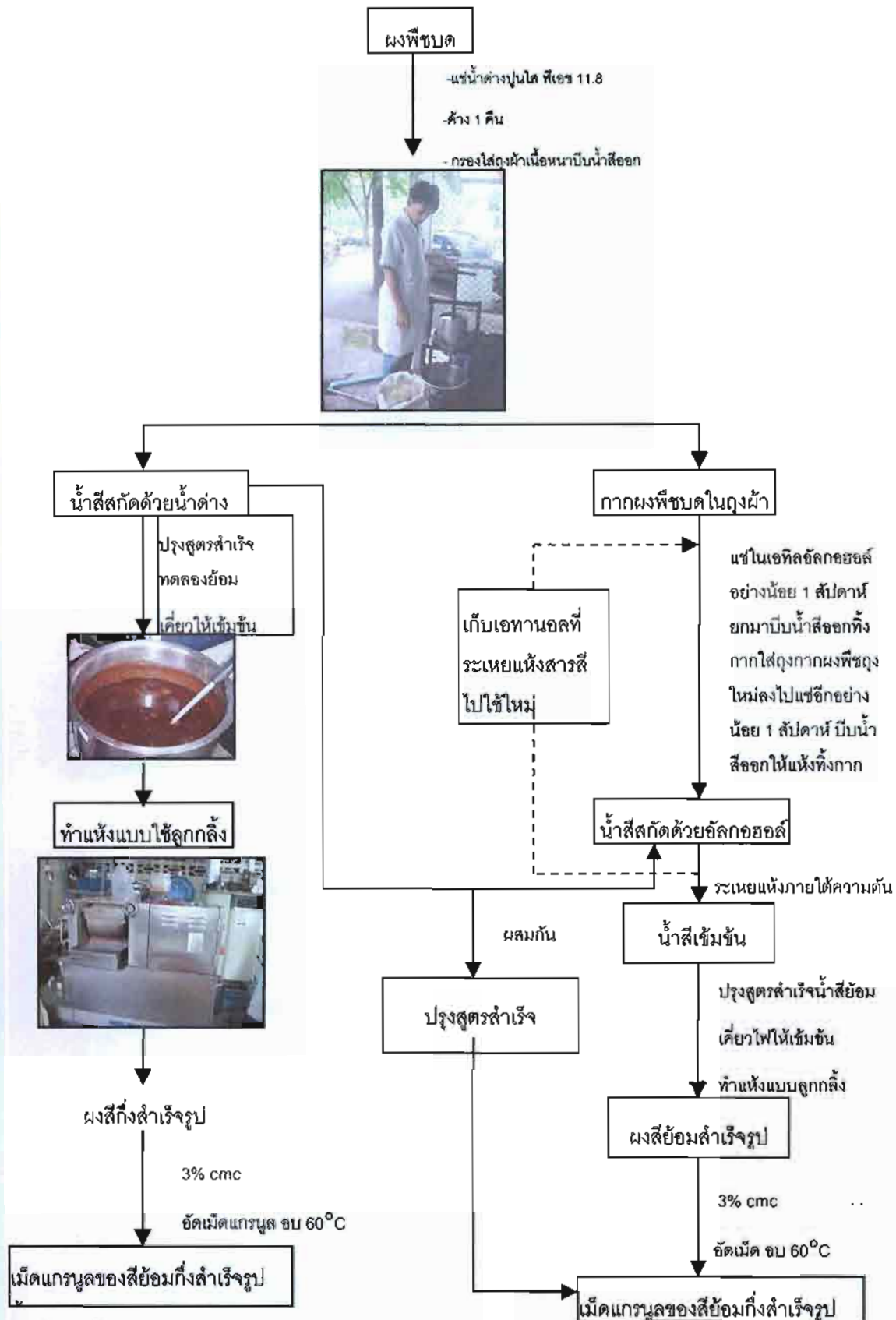
- ผงแห้งรากยอป่าบด 9 กิโลกรัม แช่น้ำต่างปูนใส 35 ลิตร 1 คืน
- กรองผ่านถุงผ้าหนาๆ บีบน้ำสีออกให้แห้ง แยกกากในถุงผ้าในเอทานอล
- เคี่ยวน้ำสีให้งวดจนปริมาตรเหลือ 25 ลิตร
- เติมน้ำส้ม 3 กิโลกรัม
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กิโลกรัม
- คนให้เข้ากันแล้วต้มเดือด 1 ชั่วโมง
- กรองกากที่ไม่ละลายด้วยถุงผ้าหนาๆ บีบน้ำสีออกให้แห้ง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

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

- คิดเป็นต้นทุนการผลิตเม็ดแกรนูลของสีย้อมกิ่งสำเร็จรูปสูตร M1 กิโลกรัมละ 3,182 บาท

ตารางที่ 4.3 การย้อมด้วยสีสำเร็จรูปสูตรสำเร็จของสีจากรากยอป่า

สูตรที่	ลักษณะของน้ำย้อมที่ได้	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
			การซีดสี	การตกสี	ต่อแสง
1	สารแขวนลอยเกิดขึ้นช้าๆ ได้น้ำสีน้ำตาลแดงเข้มแล้วแบ่งจับตัวเป็นก้อนต้องเติมน้ำต่างอีก 3 ลิตรและต้มไฟอ่อนๆ จนครบ 30 นาที	ครีมออกน้ำตาลสีอ่อน 	4-5	5	2-3
2	สารแขวนลอยเกิดขึ้นช้าๆ ต้มแบ่งกระจายตัวขึ้นแต่ยังคงจับตัวเป็นก้อนเมื่อต้มเดือดต้องเติมน้ำต่าง 3 ลิตร ต้มไฟอ่อนๆ ครบ 30 นาที	ครีมออกน้ำตาลแดงเข้มขึ้นเล็กน้อย 	4-5	5	2-3
3	สารแขวนลอยเกิดเร็วขึ้นได้น้ำสีน้ำตาลออกม่วงเข้มแบ่งจับตัวเป็นก้อนเมื่อต้มเดือดเติมน้ำต่าง 3 ลิตรต้มไฟอ่อนๆ และคนให้เข้ากัน 30 นาที	สีน้ำตาลแดงเข้ม 	3-4	4	2
4	ได้น้ำสีออกแดงละลายช้าๆ ต้มมีการจับตัวของแป้งน้อยลงต้มไฟอ่อนๆ เติมน้ำต่าง 3 ลิตรจนครบ 30 นาที	สีน้ำตาลอมม่วงอ่อน 	4-5	5	3-4
5	ได้น้ำสีเช่นเดียวกับสูตรที่ 4 ต้มเดือดมีการจับตัวของแป้งน้อยเติมน้ำต่าง 3 ลิตร ต้มไฟอ่อนจนครบ 30 นาที	สีน้ำตาลอมม่วงเข้มกว่าสูตร 4 เล็กน้อย 	4-5	5	3-4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนทั่วไปของการสกัดสารสีจากผงพืชบด การเตรียมน้ำย้อมกิ่งสำเร็จรูป

และอัดเม็ดแกรนูล

4.2.6.2 การเตรียมสีย้อมจากรากขมิ้น M2, M3, M4 และ M5 เป็นการทดลองดูสีจากสูตรผสมและทดลองย้อมยังไม่ได้ทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูล

ก. การเตรียมสูตร M2

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

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ข. การเตรียมสูตร M3

- ผงรากขมิ้นสกัดด้วยน้ำต่างทำแห้งด้วย spray dry ผสมกับที่ทำแห้งด้วย drum dry 250 กรัม

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

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ค. การเตรียมสูตร M4

- ผงรากขมิ้นสกัดอัลกอฮอล์แล้วระเหยอัลกอฮอล์ออก
- ได้น้ำสีเข้มข้นนำมา 220 กรัม
- สารส้ม 200 กรัม

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

หมายเหตุ ไม่ได้ทำแห้ง

ง. การเตรียมสูตร M5

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

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

4.2.6.3 การเตรียมน้ำย้อมสีจากรากยอป่าสูตร M6

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

1:1 โดยปริมาตร

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

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

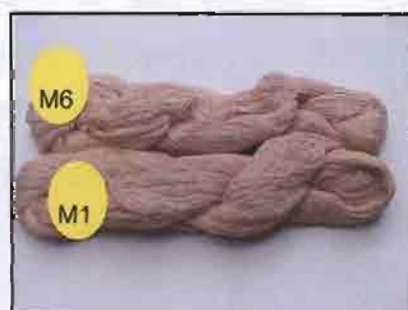
= 4,922 บาท

หมายเหตุ กรณีที่ใช้รากยอป่าสกัดอัลกอลกอฮอล์แล้วระเหยอัลกอลออกไปไม่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าปกติ เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการผลิตหากไม่คิดค่าใช้จ่ายจุดนี้จะตกประมาณกิโลกรัมละ 3,000 บาท โดยนำสารสกัดเอทานอลไประเหยแห้งเก็บเอทานอลไว้ใช้ใหม่แล้วนำน้ำสกัดเข้มข้นมาผสมจะดีกว่าทั้งในด้านความเข้มข้นของสีและการประหยัดเวลาในการเคี่ยวน้ำสีให้งวดก่อนทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ตารางที่ 4.4 เม็ด แกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากรากยอป่า การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสีและราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

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

หมายเหตุ สูตร M2-M5 ไม่ได้ทำแห้งและอัดเม็ดแกรนูลเพราะมีปริมาณน้อย



รูปที่ 4.5 ผ้ายที่ย้อมด้วยสีจากรากยอป่าสูตร M1 และ M6

4.2.7 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า

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

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

4.2.7.1 การพัฒนาสูตรสำเร็จสีย้อมรากยอป่าสูตร M1

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

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

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

จากผลที่นำมาคำนวณต้นทุนการผลิตอย่างคร่าวๆคือ

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

สารสีสูตร M1 ที่ปรับปรุงใหม่นี้ใช้เป็นสูตรกลางสำหรับสีจากรากยอป่าในการใช้เป็นสีย้อมสำเร็จรูปและใช้ในการผสมกับสูตรสีย้อมอื่นๆ เพื่อปรับเปลี่ยนเฉดสี การทดสอบการนำน้ำสีสูตรสำเร็จนี้ไปทดลองย้อมไหมและฝ้ายพบว่าได้ผลดี สีสคงทนต่อการซัก ซักดูและแสงอยู่ในระดับดี

4.2.7.2 การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสีย้อมสำเร็จรูป

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

ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วเขียนเป็นกราฟมาตรฐานปริมาณมอลินโดน (ตัวอย่างจากการหาปริมาณในสิ่งมีชีวิต)

4.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากครั่ง

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

4.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับครั่งและสีครั่ง

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

เมื่อผู้เพาะเลี้ยงครั่งตัดกิ่งไม้ที่มีรังครั่งหุ้มและแกะเอารังครั่งออกจากกิ่งไม้แล้วครั่งที่ได้เรียกว่า ครั่งดิบ (stick lac) ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ

ก. ครั่งสด เป็นครั่งดิบที่เมื่อกระเทาะดูจะพบน้ำเมือกสีแดงหรือที่เรียกว่าเลือดครั่ง ซึ่งประกอบด้วย ตัวครั่ง และไขที่ยังไม่ฟักตัว และครั่งนี้ซื้อขายกันในช่วงต้นของฤดูกาลผลิต

ข. ครั่งแห้ง เป็นครั่งดิบที่ได้ผ่านการตากแห้งหรือเก็บรักษาจนน้ำเมือกสีแดงแห้งแล้ว

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

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

4.3.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมสีครั้ง

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

4.3.3 การสกัดวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและศึกษาสมบัติของสารสีจากครั้ง

ผลการศึกษาการสกัดสารสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ทดลองหาความเข้มข้นของเบสที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดสีครั้งออกจากน้ำล้างครั้งด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 M จะได้สารสีแดงออกมามากกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 M

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

การศึกษาผลของไอออนโลหะต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีจากครั่งโดยโลหะที่ใช้นั้นใช้ในรูปเกลือโลหะความเข้มข้น 2.5% w/v พบว่าเหล็กจะทำให้สารละลายสีครั้งเปลี่ยนเป็นสีคล้ำออกดำ เกลืออะลูมิเนียมจะให้สีแดง จุนสีหรือคอปเปอร์ซัลเฟตจะให้สีม่วงเทา โพแทสเซียมไดโครเมตได้สีน้ำตาลแดงและเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ได้สีม่วงแดง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสีจากครั่งกับโลหะส่วนใหญ่จะให้สีมืดทึบยกเว้น อะลูมิเนียมที่ให้สีแดง ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ในการเปลี่ยนโทนสีจากครั่งให้มีสีตามความต้องการของผู้บริโภคอีกทั้งเกลือโลหะยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี (มอร์แดนท์) ได้ดีช่วยทำให้สีย้อมติดทนนาน อย่างไรก็ตามโลหะบางประเภทเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เฉพาะอะลูมิเนียมในการปรับปรุงสีย้อมให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อไป

4.3.4 การศึกษาการแปรรูปสีจากครั่งในโครงการวิจัยระยะที่ 1

ในการศึกษาการสกัดและแปรรูปสารสีจากครั่งในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้ใช้น้ำสีที่สกัดจากครั่งแห้งและครั่งเม็ดและน้ำล้างครั่งที่ได้จากโรงงานทำครั่งเม็ด โดยการสกัดจากครั่งแห้งนั้นนำครั่งแห้งมาบดก่อนแล้วนำมาล้างจนน้ำล้างไม่มีสี แล้วนำน้ำล้างมาสกัดด้วย 0.5 M โซเดียมคาร์บอเนตเติมสารส้ม(potassium aluminium sulfate) ความเข้มข้น 5%w/v ลงไปปริมาตรเท่ากับปริมาตรของน้ำล้างครั่งแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องฉีดพ่นแห้ง (spray dryer) ส่วนครั่งเม็ดยังสกัดสีด้วยสารละลาย 0.5M โซเดียมคาร์บอเนตโดยตรง คน 1 ชั่วโมง เติมสารส้มกรองแล้วนำน้ำสีมาทำแห้งเช่นเดียวกับครั่งแห้ง น้ำสีที่สกัดได้โดยเริ่มจากครั่งแห้งจะมีประมาณสารสีแดงมากกว่าการสกัดจากครั่งเม็ดที่เขาเนื้อสีออกไปบ้างแล้ว

วิธีที่สะดวกที่สุดคือใช้น้ำล้างครั่งจากโรงงานทำครั่งเม็ดมาโดยตรงซึ่งได้ผ่านขั้นตอนจากโรงงานที่ได้ไม่ครั่งดิบเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วปล่อยน้ำผสมโซดาแอช 5% โดยน้ำหนักไปชะล้างสีแดงออกจากเม็ดครั่งแช่ทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงแล้วเปิดน้ำทิ้งซึ่งเป็นน้ำสีที่คณะผู้วิจัยนำมาทดลองต่อโดยนำมากรองกากครั่งที่ติดมาออก แล้วนำเข้าเครื่องฉีดพ่นแห้งได้ผงสีแดงเข้ม เบา ซึ่งเป็นผงแห้งที่มีสารสีรวมอยู่กับโซดาแอชและผงแห้งนี้นำมาอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยวิธีเดียวกันกับการทำเม็ดแกรนูลของสารสีจากรากยอป่า และทดลองย้อมฝ้ายพบว่าผลิตภัณฑ์ย้อมสีมีความคงทนต่อการซักและแสงในระดับดี การศึกษานี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการซึ่งควรต้องศึกษาการผลิตในระดับที่มีสเกลใหญ่ขึ้นให้เพียงพอแก่การนำไปใช้ทดลองปฏิบัติจริงในภาคสนาม

4.3.5 การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากครั่ง

ในโครงการวิจัยระยะที่ 2 นี้มุ่งประเด็นมาที่การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้เพียงพอแก่การทดลองใช้สำหรับสีครั้งนั้นมีข้อได้เปรียบตรงที่มีแหล่งของสารสีที่ได้จากโรงงานทำ

ครั้งเกิดในปริมาณที่จะรองรับการผลิตในขนาดใหญ่ได้ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำงานทดลองตามลำดับต่อจากผลการแปรูปที่ได้จากผลการวิจัยระยะที่ 1 ดังนี้

4.3.5.1 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดแกรนูลของสารสีสกัดจากครั่ง

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

ตารางที่ 4.5 การเตรียมเม็ดแกรนูลของผงสีจากครั่งด้วยสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

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

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

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

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

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



รูปที่ 4.6 การย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีสำเร็จรูปจากครั้งสูตรต่างๆ ใช้ผงสีสูตรละ 100 กรัม

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

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

ครีมออฟทาทาร์ 10 กรัม

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

กรดซิตริก 10 กรัม



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจาก ช่อม รากยอป่า และครั้ง

ตารางที่ 4.6 การย้อมด้วยน้ำย้อมด้วยสูตรสำเร็จของสีจากครั่ง

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

ผลการทดลองย้อมด้วยน้ำย้อมสำเร็จรูปจากครั่งพบว่าการเติมสารที่จำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมสามารถจะกระทำได้ แต่การใช้แป้งมากๆ มีปัญหาในการต้มและทำให้เมื่อนำมาย้อมแล้วฝ้ายต่าง หากสามารถใช้สารอื่นแทนแป้งได้ก็จะดี ผลการทดลองมีแนวโน้มที่จะสามารถปรุงน้ำย้อมให้ได้สีและความเป็นกรดต่างตามต้องการ เติมน้ำช่วยติดสีแล้วทำแห้งก็น่าจะกระทำได้และพยายามทำให้มีเนื้อสีต่อกรัมมากขึ้นด้วย

4.3.5.2 การเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากครั่ง

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

มากกว่าการทำแห้งแบบฉีดพ่นแห้งไม่ต้องกังวลเรื่องการอุดตันของหัวฉีดและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าด้วย ในการทดลองเตรียมสูตรสำเร็จของสารสีย้อมจากครั้งได้สูตรสำเร็จ 2 สูตรดังนี้

ก. สีครั้งสูตร L1 (L แทน Laccaic acid ซึ่งเป็นสารให้สีหลักในน้ำครั่ง)

ส่วนประกอบในสูตร L คือ

ผงสีครั้งทำแห้งแบบ spray dry (มี Na_2CO_3 ปน) 800 กรัม

น้ำต่างปูนใส 3 ลิตร ละลายให้เข้ากันเติมแทนนิน (สกัดจากใบไม้รสฝาด) 110 กรัม

สารส้ม 400 กรัม

ผสมให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบผ้าให้แห้งเติม wetting agent 50 กรัม

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

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

ข. สีครั้งสูตร L2

ใช้ผงสีครั้งจาก spray dry 775 กรัม

น้ำต่างปูนใส 4 ลิตร ละลายผงสีให้เข้ากันเติมแทนนิน 90 กรัม

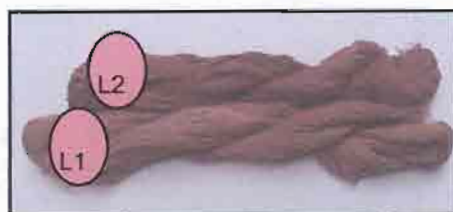
เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ 100 กรัม ผสมให้เข้ากันได้ น้ำสีม่วง แดงคล้ำกรองน้ำสีด้วยผ้าเนื้อละเอียดบีบให้แห้ง

น้ำยา wetting agent 50 กรัม

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

การทำแห้ง ไม่ได้ทำเพราะเกิดจากผิดพลาดทางเทคนิคน้ำย้อมเสียไป

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



รูปที่ 4.8 ฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครึ่งสูตร L1 และ L2

ตารางที่ 4.7 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีย้อมจากครึ่ง การละลายพีเอชการย้อม ความคงทนของสีที่ย้อมได้และราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

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

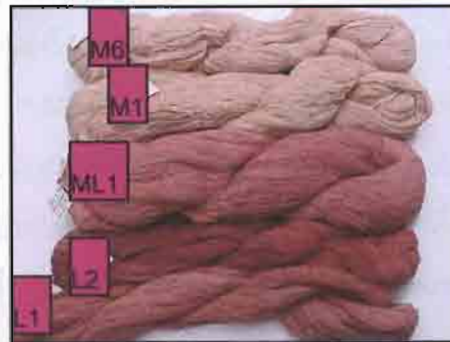
-หมายถึงไม่ได้ทดลองเพราะไม่ได้ทำแห้งสีและไม่ได้อัดเม็ดแกรนูล

* ดูการคำนวณในหน้า115

4.3.5.3 การทดลองผสมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครึ่ง

เนื่องจากสีรากยอป่าย้อมได้สีออกส้มและสีครึ่งออกสีแดงม่วงคณะผู้วิจัยจึงทดลองเอาน้ำย้อมจากรากยอป่าสูตร M1 ผสมกับสีน้ำย้อมจากครึ่งสูตร L1 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรแล้วทดลองย้อมฝ้ายได้ผลเปรียบเทียบกับสีที่ย้อมได้ในรูป 4.9 ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการปรับเฉดสีโดยปรับสูตรผสมระหว่างสีที่สกัดจากวัสดุต่างๆ กันในโทนสีร้อนเหมือนกันให้เป็นเฉดสีตามต้องการได้ซึ่งคณะผู้

วิจัยได้ใช้ผลการทดลองนี้ในการปรับปรุงผสมสีย้อมจากวัตถุดิบให้สีต่างๆต่อไป สำหรับฝ้ายที่ย้อมด้วยสูตร ML1 นี้เมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซัก ชัดดูและแสงนั้นพบว่าอยู่ในระดับดีเหมือนเดิม กล่าวคือการทนซักและชัดดูอยู่ในระดับ 5 และการทนแสงอยู่ในระดับ 4 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติจากผู้บริโภค



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

4.3.6 การปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้ง

ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปที่ผ่านๆ มานั้นได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการละลาย สีของที่เหมาะสมและผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ว่ามีความคงทนมากน้อยเพียงใดและคัดเลือกเบื้องต้นมาทำการศึกษาแบบเจาะลึกในรายละเอียดของแต่ละสูตรและพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อการขยายขนาดผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป สำหรับการพิจารณานั้นดูแต่ละสีโดยที่สีย้อมที่มีเฉดสีใกล้เคียงกันแต่องค์ประกอบแตกต่างกันจะพิจารณาความจำเป็นและเหมาะสมของแต่ละองค์ประกอบในสูตรน้ำย้อม ความยากง่ายในการเก็บรักษาและการทำเป็นเม็ดแกรนูล การละลายตะกอนที่เหลืออยู่ การย้อม ความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสม ตลอดจนต้นทุนต่อกิโลกรัมของการผลิตเป็นต้น

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

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

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

4.3.6.1 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L1

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

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

4.3.6.2 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L2

ผงสีครั้ง spray dry	775 กรัม
น้ำต่างปูนใส	4 ลิตร

แทนนินสกัด	90 กรัม
แมกนีเซียมคลอไรด์	100 กรัม

ผสมองค์ประกอบให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าเนื้อละเอียด เติมน้ำยา wetting agent 50 กรัม ทดลองย้อมผ้า ได้สีแดงคล้ำ (แต่ไม่ได้ทำแห้งเพราะเกิดความผิดพลาดบางประการ) ผ้าที่ย้อมได้มีความคงทนต่อการซักและขัดถูดีมาก (5) แต่การทดสอบแสงต่ำ (2)

สรุป ทั้งสองสูตรนี้เป็นน้ำย้อมที่เริ่มจากสีครั้งที่ได้จากการฉีดพ่นแห้งซึ่งในช่วงหลังไม่มีเครื่อง spray dry ใช้และเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง อย่างไรก็ตามทั้งสองสูตรนี้เวลาเตรียมไม่ได้วัดพีเอชของน้ำย้อม เมื่อทำแห้งแล้วมาละลายน้ำพีเอชน้ำย้อมไม่เหมาะแก่การย้อมเพราะเป็นกรดมากไปเกิดตะกอนที่ไม่ละลาย คณะผู้วิจัยจึงไม่พัฒนาสูตรทั้งสองต่อและในรายงานครั้งที่ 3 นี้ได้ทำการปรุงน้ำย้อมสีครั้งใหม่โดยเริ่มจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานครั้งเม็ดโดยตรง

4.3.7 การเตรียมสูตรสีย้อมจากครั้งโดยเริ่มจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานครั้งเม็ด

ได้นำน้ำล้างครั้งที่จากโรงงานทำครั้งเม็ดโดยนำน้ำล้างสีครั้งหลังจากบดก่อนการเติมโซดาแอชมาทั้งหมด 20 ถังๆ ละประมาณ 30 ลิตร ก่อนเก็บเข้าห้องเย็นได้เติมปูนขาวดังละครึ่งกิโลกรัมและสารส้ม 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการบูดเน่าของโปรตีนที่ปนมาแล้วทยอยออกมาปรุงสูตรน้ำย้อมและทำแห้งที่ละถัง

4.3.7.1 สูตรน้ำย้อมสีครั้งสูตร L3

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

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

4.3.7.2 สูตรน้ำย้อมสีครั้งสูตร L4

การเตรียมสูตรน้ำย้อมสีครั้งจากน้ำล้างครั้งที่ได้จากโครงการครั้งอัดเม็ด ทำแห้งโดยมีส่วนประกอบของน้ำย้อมคล้าย L3 แต่เติมโซดาแอสไปสกัดสีออกมาในน้ำย้อมและกรองหยาบตามด้วยกรองละเอียดผ่านผ้าขาวบาง และวัดพีเอชของน้ำย้อมก่อนทำแห้งประมาณ 10-11 โดยมีส่วนผสมดังนี้

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

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

ก. การทดสอบผงสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้งสูตร L4

นำผงสีย้อมมาทดลองละลายน้ำ พบว่าละลายได้ดีในระยะแรกสีบางส่วนจะจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว บางส่วนละลายน้ำออกมาเป็นน้ำสีแดงเข้ม เมื่อคนหรือใช้มือขยี้นานๆ จะละลายได้เกือบหมด กรองกากที่ไม่ละลายออกทิ้งบางส่วนก่อนย้อม วัดพีเอชของน้ำย้อมได้ประมาณ 10.8 ผงแห้งเก็บได้นานไม่เกาะเป็นก้อนเหนียว แต่เพื่อให้เก็บได้นานขึ้นและละลายดีขึ้นได้ทดลองทำเป็นเม็ดแกรนูลซึ่งผงสีจะเกาะกันเป็นก้อนหลวมๆ

ข. การทำผงย้อมสีครั้งเป็นเม็ดแกรนูล

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

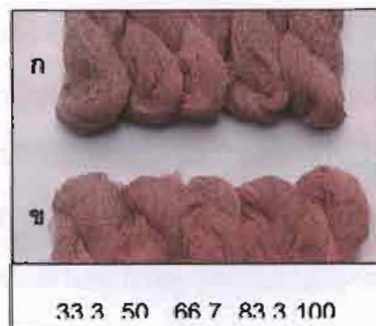
ค. การทดลองย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยผงสีครั้งสูตร L4

4.3.8 การหาความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อม

ในการทดลองย้อมผ้าด้วยสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปนั้นเกิดคำถามขึ้นว่าสีย้อมปริมาณเท่าใด หรือมีความเข้มข้นของสีน้ำย้อมเท่าใดที่ควรใช้ในการย้อม คณะผู้วิจัยได้ทดลองย้อมผ้าที่ทำความ

สะอาดแล้ว และฝ้ายที่ทำความสะอาดและด้อมกับน้ำเต้าหู้ที่มีปริมาณโปรตีน...

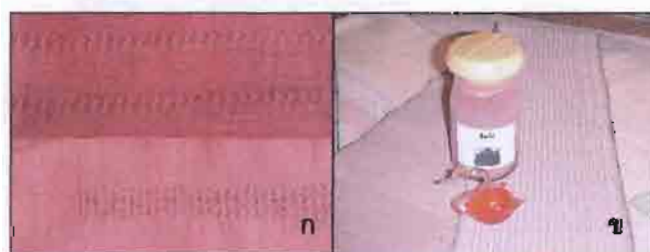
เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในน้ำย้อมที่เตรียมจากปริมาณสีผงต่าง ๆ กันคือ 33.3 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร 50 กรัมต่อลิตร 66.7 กรัมต่อลิตร 83.3 กรัมต่อลิตร และ 100 กรัมต่อลิตร โดยแช่ฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้ว และที่ทำความสะอาดและด้อมน้ำเต้าหู้แล้วอย่างละชุดบิดหมาดและลงย้อมในน้ำย้อมในหม้อสีย้อมความเข้มข้นต่างกัน 5 ความเข้มข้น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



ปริมาณสีผงที่ใช้ (กรัม/ ลิตร)

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

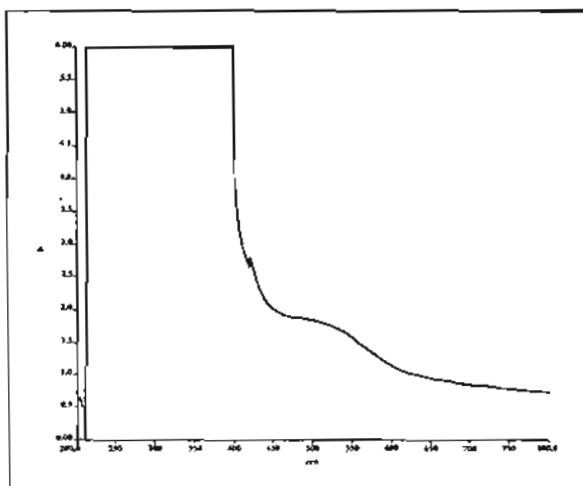
ซึ่งพบว่า ถ้าใช้สีผง 33.3 กรัมต่อลิตรสีจะติดฝ้ายสีอ่อนและเมื่อย้อมในน้ำย้อมที่มีปริมาณสีย้อม 50 กรัมต่อลิตรขึ้นไปจะได้ฝ้ายติดสีเข้มข้นทั้งสองกรณีและเมื่อน้ำย้อมเข้มข้นกว่า 50 กรัมต่อลิตรขึ้นไปก็ไม่ได้ทำให้ติดสีย้อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการย้อมฝ้ายให้ติดสีชมพูเข้มต้องใช้ปริมาณสีครั้งสำเร็จรูปอย่างน้อย 50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



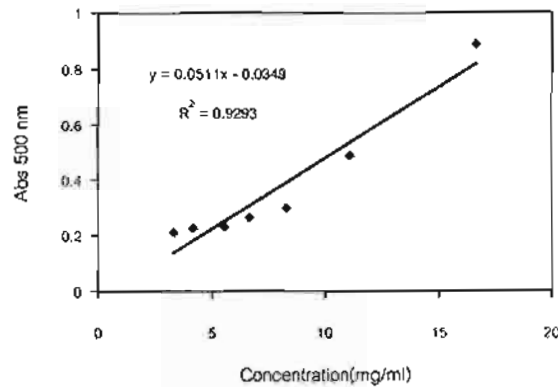
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ย้อมสีครั้งสำเร็จรูปแล้วได้สีแดงเข้มโดยวิธีย้อมทับผ้าที่ย้อมด้วยสีน้ำตาลแล้ว(ก) และตัวอย่างสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้งและผลิตภัณฑ์จากฝ้ายย้อม(ข)

4.3.9 การหาปริมาณเนื้อสีจากครั้งในสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูป

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



รูปที่ 4.12 visible spectrum ของสารสีจากครั้งละลายในต่างปูนใสพีเอช 11.2



รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานของการหาปริมาณสารสีครามสูตร L4

4.3.10 การย้อมไหมและเส้นใยอื่นๆ ด้วยสีครามสำเร็จรูป

นอกจากการย้อมด้ายฝ้ายคณะผู้วิจัยได้ทดลองย้อม ด้ายไหม ด้ายฝ้ายเกลียวสำหรับปัก ด้ายเปลือกไหม ด้ายไหมประดิษฐ์ ผ้าไหม ผ้าฝ้าย เชือกป่านปอ และโครงใบไม้ พบว่าสามารถย้อมได้ติดสีแตกต่างกัน สำหรับด้ายไหมประดิษฐ์จะย้อมยากต้องย้อมซ้ำ 2 ครั้งจึงจะติดสีเข้มเท่ากับอย่างอื่น (รูปที่ 4.14) คณะผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกน้ำย้อมสีครามสูตร L4 เป็นสูตรเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 4.14 ผลิตภัณฑ์ย้อมสีครามสำเร็จรูป L4

4.3.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตสีครามสูตร L4

- สีครามนั้นได้น้ำสีจากโรงงานเป็นน้ำทิ้งที่ไม่คิดค่าใช้จ่ายแต่มีค่าขนส่งจากลำปางมาเชียงใหม่ ตกถังละ 200 บาท (30 ลิตร)
ค่าใช้จ่ายในการผสมต่างและมอร์แดนท์ 200 บาท
ค่าทำแห้งแบบตากกลางแจ้งและทำเม็ดแกรนูล (ค่าไฟและน้ำมัน) 600 บาท
ได้ผงสีสำเร็จรูป 3,400 กรัม

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

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

4.3.12 สูตรสีย้อมสำเร็จรูปผสมระหว่างสีครั้งและรากยอป่า

สีสำเร็จรูปจากครั้งสูตร L1 ให้สีม่วงแดงและสีรากยอป่าสูตร M1 ออกแดงส้ม เพื่อให้ได้สูตรน้ำย้อมออกสีแดงอีกเฉดหนึ่ง คณะผู้วิจัยได้ทดลองผสมสีแดงจากครั้งและรากยอป่าเข้าด้วยกัน โดยการทดลองที่ผ่านมาใช้เตรียมสูตรน้ำย้อม ML1 โดย

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

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

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



รูปที่ 4.15 สีผงสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครึ่งสูตรต่างๆ

4.4 สรุปผลการพัฒนาการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากรากยอป่าและครึ่ง

การพัฒนาการผลิตสีย้อมสีแดงสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครึ่งนั้นได้ศึกษาปรับปรุงวิธีการตั้งแต่การสกัด ศึกษาสมบัติ ศึกษาวิธีการย้อม ให้สีติดดีและมีความคงทน การแปรรูปเป็นผงแห้งและเม็ด แกรนูลทดสอบการย้อมการละลายและคุณภาพของสีที่ได้นำมาสู่การพัฒนาเป็นสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นในแง่การละลาย การย้อมและคุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงตลอดจนความสะดวกในการใช้และเก็บรักษาและประเมินสูตรต่างๆ ที่ใช้ได้ดีเหมาะที่จะนำมาพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นและใช้ผสมกับสีอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของสีต่อไป

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

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

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

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

บทที่ 5

การผลิตสีย้อมธรรมชาติสีเหลืองสำเร็จรูป

5.1 วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองและการย้อม

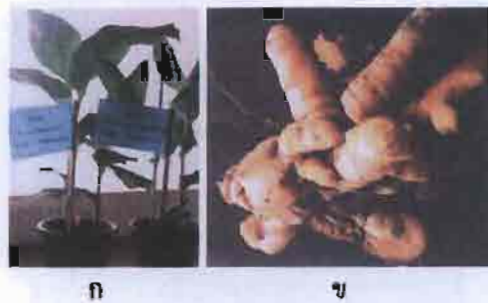
สารสีย้อมสีเหลืองส่วนใหญ่ได้มาจากพืชที่ใช้กันมากในภาคเหนือได้แก่ ขมิ้นใช้ส่วนหัว มีปลูกกันทั่วไป รากยอป่าในสภาพกรดก็ให้สีเหลือง นอกนั้นก็ยังมีเปลือกต้นมะนอด เปลือกต้นจิก แก่นและเปลือกขนุน เปลือกต้นรูกฟ้า มะม่วงป่า เปลือกผลทับทิม เปลือกผลมังคุด เป็นต้น คณะผู้วิจัยได้เลือกขมิ้นเป็นวัตถุดิบให้สารสีเหลืองเพราะมีปริมาณมาก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

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

5.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จจากขมิ้น

5.2.1 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้น

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



รูปที่ 5.1 ต้นขมิ้นอ้อยและขมิ้นชัน(ก) และเหง้าขมิ้นชัน(ข)

สารสีเหลืองในเหง้าขมิ้นมีองค์ประกอบหลักเป็น curcumin เมื่อละลายน้ำจะให้สีเหลืองอ่อนและสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อยเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดและละลายได้ดีมากเมื่อน้ำมีสภาพเป็นด่างซึ่งจะได้สีเหลืองอมส้มและเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลถ้าเป็นด่างมากๆ การข้อมสารสีจากขมิ้นนั้นใช้วิธีข้อมร้อน กล่าวคือ เตรียมน้ำข้อมโดยการสกัดสารสีเหลืองจากขมิ้นเต็มสารช่วยติดสีเช่นเกลือโซเดียมคลอไรด์ หรือแทนนินสกัดจากพืช ถ้าเต็มสารส้มจะทำให้สีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีส้ม การเติมต่างมากน้อยเท่าใด ขึ้นอยู่กับเจตสีที่ต้องการ ถ้าต้องการสีเหลืองสดอาจเติมกรดมะนาว น้ำมะขาม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พีเอชของน้ำข้อมไม่ควรเป็นกรดมากเพราะฝ้ายจะเปื่อย อีกประการหนึ่งหลังจากข้อมแล้วมาซักด้วยผงซักฟอกซึ่งมีพีเอชตั้งแต่ 7 - 8 จะทำให้สีเหลืองที่ข้อมนั้นเปลี่ยนสีไปด้วย คณะผู้วิจัยได้เคยทดลองแปรรูปสารสีจากขมิ้นโดยสกัดสารสีในสภาวะกรดและสภาวะต่างแล้วทำแห้งโดย spray dry แล้วอัดเม็ดแกรนูล พบว่าการสกัดด้วยน้ำด่างจะเก็บได้นานกว่าโดยสีไม่ซีด เมื่อนำมาละลายเตรียมน้ำข้อมและทดลองข้อมฝ้ายและไหมได้สีเหลืองสดได้ดีและ**ความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีแต่ความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับต่ำ**(รายงานการวิจัยระยะที่ 1) อย่างไรก็ตามผงสีที่สกัดได้ก็ยังไม่สะดวกต่อการนำไปใช้เท่าที่ควรในการวิจัยระยะที่ 2 คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองเตรียมน้ำข้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นโดยอาศัยข้อมูลข้างต้นเป็นส่วนประกอบ

5.2.2 การเตรียมสีข้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น

จากการทดลองพบว่า ขมิ้นชันจะให้สีเหลืองสด ส่วนขมิ้นชันไมโครมีสีการเตรียมสูตรสำเร็จจากขมิ้นจึงใช้ขมิ้นชันมีหลายสูตรด้วยกันเริ่มจากผงขมิ้นบดแห้งสกัดโดยใส่ถุงผ้าแช่ในน้ำด่างปูนใสใส่เกลือแกง 100 กรัม กรดซิตริก 250 กรัม ต้มแล้วยางและน้ำมันออกมามาก สารละลายเหนียวหนืดทำ**แห้งไม่ได้จึงต้องทดลองสกัดโดยใส่สารสกัดรากยอป่าด้วยเอทานอลลงไปทำสูตรต่างๆ C1-C4 ต่อมา****ใช้ผงขมิ้นชันที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาเตรียมน้ำข้อมสูตร C5-C7 ได้น้ำสีขมิ้นที่ทำแห้งได้ไม่เหนียวหนืด** ใช้สูตรเป็นอักษร C หมายถึง curcumin จากขมิ้น รูปที่ 5.2 แสดงการข้อมฝ้ายด้วยสีจากขมิ้นสูตรต่างๆ และข้อมูลเกี่ยวกับ**แกรนูลของสูตรสำเร็จจากสีขมิ้น**สรุปไว้ในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 ฝ้ายย้อมสีจากขมิ้นสูตรต่างๆ

5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C1

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

5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C2

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

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

ข้อสังเกต ได้ผงสีนํ้อย สีที่ย้อมได้ทนแสงได้น้อยกว่าสูตรอื่น

5.2.2.3 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C3

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

5.2.2.4 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C4

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

หมายเหตุ สูตรเหมือน C3 แต่ C3 กรองครั้งเดียวส่วนสูตร C4 กรองก่อนทำแห้งอีกครั้งหนึ่ง

5.2.2.5 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C5

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

หมายเหตุ ควรลดสารส้ม

5.2.2.7 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C6

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

5.2.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C7

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

หมายเหตุ - ขมิ้นมีน้ำมันปนมากการทำแห้งนั้นจะเป็นยางเหนียวหนืดและได้เป็นก้อนแข็ง

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

ตารางที่ 5.1 เม็ดแกรนูลของสูตรสำเร็จสีขมิ้น การละลาย การย้อม ความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสี และราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

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

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

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

5.2.3 การปรับปรุงสูตรสีเหลืองสำเร็จรูปจากขมิ้น

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

ต่อมาได้ทำสูตร C5-C7 โดยใช้น้ำสีสกัดจากผงขมิ้นชันที่กลั่นน้ำมันออกแล้วมาปรุงสูตรและทำแห้งได้ผงแห้งไม่เหนียวมาก

องค์ประกอบของน้ำสีขมิ้นสูตร C5 มีดังนี้

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

5.2.3.1 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C6

เป็นสูตรทดลองใช้น้ำสีสกัดจากขมิ้นชันด้วยอัลกอฮอล์มาผสมน้ำสีสกัดที่เหลือจากการผสมสูตร C5 เติมน้ำ cream of tartar และเพิ่มกรดซิตริกเป็น 2 กิโลกรัม ย้อมผ้าได้สีเหลืองทองไม่ได้ทำแห้งและไม่ได้วัดพีเอชของน้ำย้อม ผ้าที่ย้อมได้ไม่ทนซักและแสงจึงไม่เลือกมาทำสูตรสีย้อมสำเร็จรูป

5.2.3.2 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C7

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

การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้นชันให้สีเหลืองสวยแต่สีมีความคงทนต่อแสงต่ำมากซึ่งเป็นสมบัติโมเลกุลของสารสีและยากแก่การปรับปรุง อย่างไรก็ตามก็น่าจะอยู่ในวิสัยที่พอจะทำได้ซึ่งหากมี

โอกาสคณะผู้วิจัยจะปรับปรุงในจุดนี้ต่อไป ในการวิจัยระยะที่ 2 นี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการแสวงหาวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองต่อเพิ่มเติมจากขมิ้น ดังมีรายงานตามลำดับต่อไป

5.3 การหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองเพิ่มเติมจากขมิ้น

ตามที่สีขมิ้นมีปัญหาในเรื่องความคงทนต่อแสงต่ำ คณะผู้วิจัยจึงมองหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสงมากขึ้นทดลองสกัดขมิ้นและทำแห้งเพื่อคัดเลือกไว้สกัดปรุงน้ำย้อม ทำแห้งและขยายขนาดการผลิตต่อไป

5.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผักเชียงดา

ผักเชียงดาเป็นผักพื้นบ้านทางภาคเหนือ มีผู้นำมาสกัดเพื่อศึกษาสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ถ้าสกัดด้วยเอทานอลจะมีสีเขียวเข้มเพราะมีคลอโรฟิลล์ปนมาก คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองมาสกัดเพื่อย้อมฝ้ายโดยใช้ผักเชียงดาสด 1 กิโลกรัมละ 50 บาท หั่นและนำมาปั่นให้ละเอียดในน้ำกรองได้น้ำสีเขียวเข้มจึงเติมเกลือแกงและตั้งไฟย้อมฝ้ายได้สีเขียวอมเหลือง เมื่อเติมสารส้มและน้ำต่างปูนใส่ต้มจะได้น้ำย้อมสีเหลืองซึ่งเป็นสมบัติของสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ ทดลองย้อมฝ้ายได้สีเหลืองอ่อน สีเข้มขึ้นได้สีเหลืองเข้มขึ้นจนละเอียดกับสีจากขมิ้นจึงได้ทดลองสูตรผสมเป็น G1, G2 ที่ใช้ G เนื่องจากครั้งแรกได้สีเขียว (Green) ผลการทดลองย้อมฝ้ายสูตรสำเร็จจากผักเชียงดาแสดงในรูปที่ 5.3 ส่วนผลการทำเป็นเม็ดแกรนูลสรุปไว้ในตารางที่ 5.2

5.3.1.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G1

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

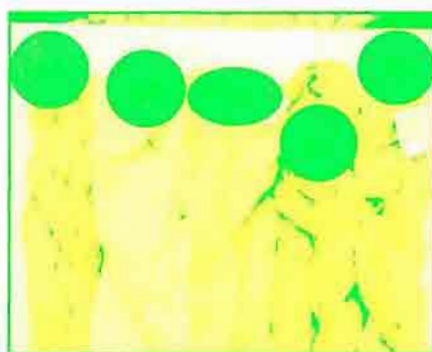
5.3.1.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G2

- กากผักเชียงดาที่กรองจาก G1 ต้มในน้ำต่าง 50 ลิตร
- เติมน้ำขาว 100 กรัม
- สารส้ม 1 กิโลกรัม

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

ตารางที่ 5.2 เม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา การละลาย พิเศษของสารละลาย สีที่ย้อมได้ และความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสี ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

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



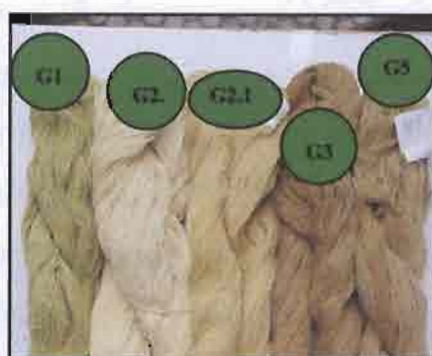
รูปที่ 5.3 ฝ่ายที่ย้อมสีจากผักเชียงดาสูตร G1, G2 และสูตร G2 ที่เข้มข้น 1 เท่า (G2.1)

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

ตารางที่ 5.2 เม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา การละลาย สีของสารละลาย สีที่ย้อมได้

และความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสี ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัม

สูตร สำเร็จ	ราคา(บาท)/กิโลกรัม*	ลักษณะแกรนูล และการละลายน้ำ	สีของน้ำสี หลังละลาย	สีที่ย้อมได้	ความคงทน		
					การ ขัดสี	การ ตากสี	ทน แสง
G1	1,515	ละลายเล็กน้อย มีตะกอน 	9.3	เขียวอ่อน 	3-4	5	1
G	488	ละลายได้ดี มีตะกอนเล็กน้อย 	6.0	เหลืองอ่อน 	3	5	1



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

5.3.1.3 การตรวจสอบสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา

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

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

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

หมายเหตุ - การใช้ผักเชียงดาเป็นวัตถุดิบในการเตรียมสูตรสำเร็จของสีย้อมที่เป็นสีเหลืองและสีเขียวอาจจะทำได้แต่ควรปรับปรุงให้มีความทนต่อแสงเพิ่มขึ้นและต้นทุนการผลิตต่ำลง

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

5.3.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด

5.3.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมะกรูด

มะกรูด มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Leech Lime , Kaffier Lime และชื่อ

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



รูปที่ 5.4 ใบและผลมะกรูด

5.3.2.3 การสกัดสารสีเหลืองออกจากเปลือกผลของมะกรูด

นำผลมะกรูดสดมาปอกแยกเก็บเฉพาะส่วนของผิวเปลือกผลและปั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยเครื่องปั่นบดละเอียด ได้ผิวเปลือกผลทั้งหมดจำนวน 1,657 กรัม หากนำไปอบแห้งจะได้น้ำหนักของผิวเปลือกแห้งประมาณ 24.32 % ของน้ำหนักสด

ทำการสกัดผิวเปลือกผลมะกรูดด้วยเอธานอลจำนวน 8 ลิตรโดยวิธีการ reflux จนได้น้ำยาสกัดตอนท้ายๆ สีซีดจางจึงสิ้นสุดการสกัด

รวมน้ำยาสกัดเอธานอลที่ได้ทั้งหมดเข้าด้วยกันและระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ จะได้น้ำยาสกัดเข้มข้นที่มีสภาพเป็นของเหลวและมีตะกอนดำ ทำการกรองแยกตะกอนดำทิ้งไปจะได้น้ำยาสกัดเอธานอลเข้มข้นที่ผ่านการกรองแล้วมีสีเหลือง

5.3.2.3 การแยกหาสารประกอบหลักสีเหลืองจากน้ำยาสกัดเอธานอลของผิวเปลือกผลมะกรูด

การตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของน้ำยาสกัดเอธานอล

ก. เมื่อหยดด้วยน้ำยาด่าง dil. NaOH ⁽¹⁾ น้ำยาสกัดเอธานอลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

ข. ทำการทดสอบด้วยปฏิกิริยา Cyanidin's test ⁽²⁾ โดยนำน้ำยาสกัดเอธานอลที่ได้มาระเหย

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

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

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

5.3.2.4 การแยกสารประกอบหลักสีเหลืองให้มีความบริสุทธิ์

ก. การกำจัดน้ำตาลอิสระออกจากน้ำยาสกัดเข้มข้นเอธานอล

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

ข. การแยกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์

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

ค. การทำให้สารประกอบหลักสีเหลืองมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น

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

5.3.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักสีเหลือง

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักสีเหลืองซึ่งทราบว่าเป็นสารประกอบเคมีกลุ่ม Flavonoid ชนิด Flavanone จากการทดสอบทางเคมีเบื้องต้นนั้น กระทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทาง Spectroscopy ดังนี้คือ

ก. การวิเคราะห์ด้วย Ultraviolet - visible spectroscopy

*การตรวจสอบน้ำตาลอิสระนั้นใช้ปฏิกิริยาของ Benedict's test

ข. การวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry

ค. การวิเคราะห์ด้วย ^1H Nuclear Magnetic Resonance

ง. การวิเคราะห์ด้วย ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance

ผลการวิเคราะห์ของ Spectroscopy ทั้งสี่มีดังต่อไปนี้

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

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

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

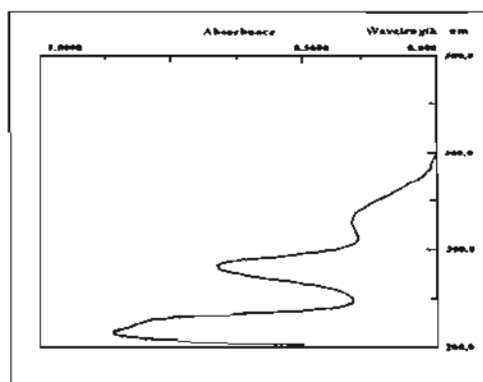
ค. สารประกอบหลักสีเหลืองแสดงฟีกของค่า Chemical Shift ของ ^1H ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้าง ดังรูปที่ 5.7 โดยเฉพาะฟีกที่แสดงถึงกลุ่ม ^1H ของหมู่ น้ำตาลที่ค่า Chemical shift ช่วง 3.11-3.61 ppm. ค่า Chemical shift ของตำแหน่ง ^1H มีดังต่อไปนี้⁽⁵⁾

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

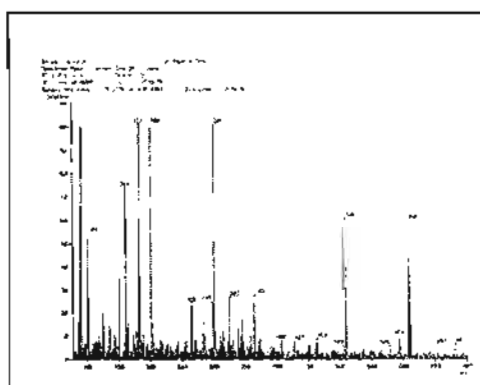
ง. สารประกอบหลัก Flavanone แสดงฟีกของค่า Chemical Shift ของ ^{13}C ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้างหลัก ดังรูปที่ 5.8 คือต่อไปนี้⁽⁶⁾

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

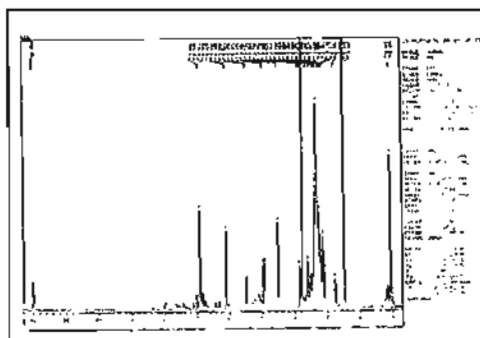
-
- Harborne, J.B. ; T.J. Mabry and Helga Mabry (1975) : The Flavonoids , Part 1 , Academic Press, USA , p. 50-51.
 - Stecker , P.G. et al (1968) : The Merck Index ; An encyclopedia of Chemical and Drugs , 8th Edn, Merck & Co . Inc , USA , pp. 525 , 926 .
 - Mabry , T.J. ; K.R. Markham and M.B. Thomas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



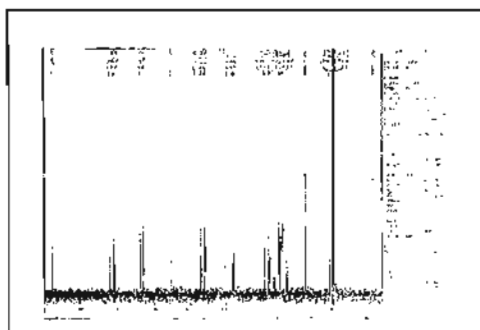
รูปที่ 5.5 UV spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลายเมทานอล



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



รูปที่ 5.7 1H NMR spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลาย DMSO



รูปที่ 5.8 ^{13}C NMR spectrum ของสารประกอบหลักสีเหลืองในตัวทำละลาย DMSO

5.3.2.6 สรุปผลการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบหลักสีเหลือง

จากข้อมูลของการตรวจสอบทางเคมีและวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีสรุปได้ว่า

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

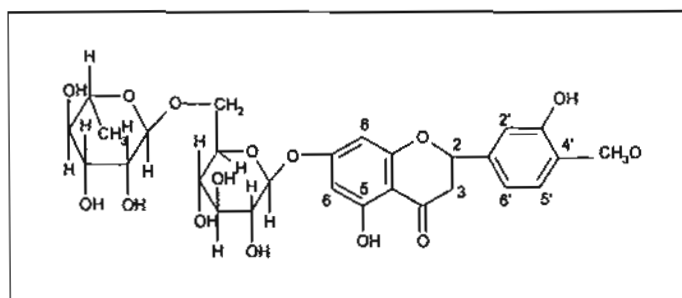
ข. การวิเคราะห์ด้วย Ultraviolet - Visible spectroscopy พบว่าสารประกอบหลักสีเหลืองนี้มีการดูดกลืนคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่น 283 และ 325 นาโนเมตรเมื่อละลายในเมทานอลและให้ลักษณะของสเปกตรัมเป็นลักษณะเฉพาะของสาร Flavonoid ชนิด Flavanone ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในข้อ 1.8.5.1

ค. การวิเคราะห์ด้วย Mass spectrometry พบว่าสารประกอบหลักสีเหลืองนี้มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 610 และคาดว่าสารประกอบนี้คือ Hesperidin

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

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

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



รูปที่ 5.9 โครงสร้างทางเคมีของ Hesperidin ซึ่งเป็นสารสีเหลืองในส่วนของผิวเปลือกผลมะกรูด

5.3.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด

น้ำผิวมะกรูดที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกรูดออกแล้วพบว่ามะกรูด 400 กิโลกรัม น้ำผิวมะกรูดมากลั่นน้ำมันออกได้น้ำมัน 5 ลิตร ได้น้ำมะกรูดเข้มข้น 65 ลิตร ทดสอบการเติมกรดสีเหลืองอมเขียวจางๆ แต่เมื่อเติมต่างจะให้สีเหลืองสดซึ่งเป็นสมบัติของสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีผู้พบอยู่ในผิวมะกรูด คณะผู้วิจัยได้นำผิวมะกรูดส่วนหนึ่งไปอบแห้งเพื่อสกัดด้วยเมทานอล แยกและวิเคราะห์องค์