

รายงานการวิจัย

เรื่อง

“การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติใน

เขตภาคเหนือตอนบน”

“Development of Natural Dyes in Upper

North Region”

สัญญาเลขที่ RDG 4120024

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 2

โดยคณะผู้วิจัย

- | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1. รศ.ดร. สุรีย์ | ฟูตระกูล | หัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ. สรศักดิ์ | เหลียวไชยพันธุ์ | นักวิจัย |
| 3. อาจารย์ สุปราณี | เสียงใส | นักวิจัย |
| 4. อาจารย์ อนงค์ | จิระโสทธิกุล | นักวิจัย |
| 5. อาจารย์ ฐานิส | บุตรเพชรรัตน์ | นักวิจัย |
| 6. อาจารย์ อัจฉรา | สายหยุด | นักวิจัย |
| 7. นาง ศิริวรรณ | วิชัย | นักวิจัย (ลูกจ้างโครงการ) |
| 8. นาง สุรารักษ์ | จันทนเสถียร | เจ้าหน้าที่ธุรการ(ลูกจ้างโครงการ) |

กันยายน พ.ศ. 2543

สัญญาเลขที่ RDG 4120024

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

“การพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน”

“Development of Natural Dyes in Upper North Region”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | | |
|--------------------|-----------------|---|
| 1. รศ.ดร. สุรีย์ | ฟูตระกูล | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. รศ. สรศักดิ์ | เหลียวไพยพันธุ์ | ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3. อาจารย์ สุปราณี | เสียงใส | ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 4. อาจารย์ อนงค์ | จีระโสติดิกุล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพ |
| 5. อาจารย์ ฐานิส | บุตรเพชรรัตน์ | สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยพายัพ |
| 6. อาจารย์ อัจฉรา | สายหยุด | โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ เชียงใหม่ |
| 7. นาง ศิริวรรณ | วิชัย | นักวิจัย (ลูกจ้างโครงการ) |
| 8. นาง สุรารักษ์ | จันทนเสถียร | เจ้าหน้าที่ธุรการ (ลูกจ้างโครงการ) |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการ สีย้อมธรรมชาติ

กันยายน พ.ศ. 2543

สารบัญ

	หน้า
Executive summary	A1
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	จ
สารบัญ	๗
บทที่ 1 บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.1 เคมีของสารให้สีและสีย้อม	3
1.2 แหล่งชนิดและเคมีของสีย้อม	5
1.2.1 สีสังเคราะห์	5
1.2.2 สีธรรมชาติ	8
1.3 การสกัดและวิเคราะห์สารให้สีธรรมชาติจากพืช	15
1.1.1 การสกัด	15
1.1.2 การแยกบริสุทธิ์	15
1.1.3 การวิเคราะห์	17
1.1.4 การตรวจสอบสมบัติสารให้สี	19
1.4 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ	19
1.4.1 ชนิดของเส้นใย	19
1.4.2 กรรมวิธีในการย้อม	21
1.5 การตรวจสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ	23
1.5.1 ความคงทนของสีต่อการซักและวิธีทดสอบ	24
1.5.2 ความคงทนของสีต่อการแสงและวิธีทดสอบ	26
1.6 สถานการณ์ปัจจุบันของสีย้อมธรรมชาติ	28
1.7 แนวโน้มใหม่ของการวิจัยและพัฒนาสีธรรมชาติและสีย้อม	29
บทที่ 2 การย้อมฝ้ายและไหมด้วยสีธรรมชาติ : ภูมิปัญญาไทยเพื่อการพัฒนา	31
2.1 ข้อมูลสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคต่างๆของประเทศไทยและการสืบทอด	31

	หน้า
2.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีธรรมชาติ	33
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับความรู้และภูมิปัญญาในการใช้สีย้อม ธรรมชาติในแง่ วัตถุดิบให้สี วิธีการย้อม คุณภาพผลิตภัณฑ์ การสืบทอดปัญหา และความต้องการของกลุ่มทอผ้าย้อม สีธรรมชาติ	35
2.2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งและปริมาณของวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้ สารสีแดง เหลือง และสีน้ำเงินในเขตภาคเหนือตอนบน	40
2.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมฝ้ายให้เป็นสีแดงด้วยรากข่อยป่าและครั่ง	42
2.2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมสีเหลืองจากขมิ้น	47
2.2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมสีน้ำเงินจากครามและฮ่อม	49
2.2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับการย้อมมะเกลือ	52
2.2.7 การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการสำรวจวิธี การย้อมฝ้ายด้วยรากข่อยป่า ขมิ้น คราม และฮ่อม	53
2.3 การสำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบให้สีแดง(รากข่อยป่าและครั่ง) เหลือง(ขมิ้น) และสีน้ำเงิน(ครามและฮ่อม)	55
2.3.1 รายละเอียดของวัตถุดิบที่ให้สีแดงที่คัดเลือกแล้ว	55
2.3.2 รายละเอียดของวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่เลือกใช้ใน การพัฒนาสีแปรรูปและการย้อม	62
2.3.3 รายละเอียดของวัตถุดิบที่ให้สีน้ำเงินที่เลือกใช้ใน การพัฒนาสีแปรรูปและการย้อม	64
2.3.4 รายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดิบให้สีดำที่เลือกใช้ใน การพัฒนาสีแปรรูปสำหรับเป็นสีรองพื้นหรือย้อมทับ และสารช่วยติดสี	65
บทที่ 3 การสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีแดงจากรากข่อยป่าและครั่ง	66
3.1 การสกัดและเตรียมน้ำสีจากรากข่อยป่าและการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของสารให้สี	66
3.1.1 การเก็บวัตถุดิบ	67
3.1.2 การสกัดหรือเตรียมน้ำสีเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ และแยกองค์ประกอบหลัก	67

หน้า

3.1.3 การตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีเพื่อหาชนิดของกลุ่ม องค์ประกอบหลักที่ให้สีในรากยอป่า	67
3.1.4 การแยกองค์ประกอบหลักของสารให้สีในรากยอป่า	68
ก. การทดลองหาระบบตัวชะ	68
ข. การแยกหาองค์ประกอบหลักของสารให้สี ในสารสกัดเข้มข้นจากข้อ 3.1.2 ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี	69
3.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบหลัก ของสารให้สีที่แยกได้จากรากยอป่า	70
3.1.5.1 การทำให้สารประกอบมีความบริสุทธิ์	70
ก. การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์	70
ข. การตกผลึกซ้ำ	70
3.1.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี	71
3.2 การสกัดสารให้สีจากครั้ง การแยกองค์ประกอบหลักและศึกษา โครงสร้างทางเคมี	74
3.2.1 การหาความเข้มข้นของเบสที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัด	74
3.2.2 การแยกองค์ประกอบหลักของรงควัตถุสีแดงจากครั้ง และทดสอบทางเคมีเบื้องต้น	75
3.3 การตรวจสอบสมบัติของสารให้สีแดงจากรากยอป่าและครั้ง	78
3.3.1 การศึกษาสมบัติของสารให้สีแดงจากรากยอป่า	78
3.3.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของ สารให้สีแดงจากครั้ง	78
3.3.3 การศึกษาผลของไอออนโลหะต่อการเปลี่ยนแปลง สีของสารสีแดงจากครั้ง	80
3.4 การแปรรูปสารสีจากรากยอป่า	80
3.4.1 การแปรรูปจากผงรากลบ	80
3.4.2 การแปรรูปจากผงแห้งชนิดฉีดพ่น	81
3.4.3 การแปรรูปจากสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล	85

	หน้า
3.5 การแปรรูปสารให้สีจากครั้ง	87
3.5.1 การสกัดรงควัตถุสีแดงจากครั้ง	87
3.5.2 การแปรรูปสีจากน้ำครั้งที่ได้จากโรงงานครั้งเม็ดเป็นสีผงชนิด พ่นแห้ง	88
บทที่ 4 การสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้นและการศึกษา	
สารช่วยติดสีจากใบพืชบางชนิด	92
4.1 การสกัดและเตรียมน้ำสีจากเหง้าขมิ้นชั้น	93
4.1.1 วัตถุดิบ	93
4.1.2 การสกัดและการเตรียมน้ำสีเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ และแยกหาองค์ประกอบหลัก	93
4.1.3 การแยกหาองค์ประกอบหลักของสารให้สีเหลืองจาก สารสกัดเข้มข้นเอทานอลของเหง้าขมิ้นชั้น	93
4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารให้สีหลักจากเหง้าขมิ้นชั้น	95
4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลัก ให้สีเหลืองจากเหง้าขมิ้นชั้น	95
4.4 การแปรรูปสารย้อมสีธรรมชาติจากขมิ้น	96
4.4.1 การผลิตเม็ดแกรนูลของสารสีเหลืองจากผงปั่นเหง้า ขมิ้นชั้น	96
4.4.2 การผลิตเม็ดแกรนูลของสารให้สีเหลืองจากสารสกัด เข้มข้นด้วยเอทานอล	97
4.4.3 การผลิตเม็ดแกรนูลจากสารให้สีเหลืองผงแห้งชนิดฉีดพ่น	98
4.4.4 การเปรียบเทียบสีจากขมิ้นแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลจาก ผงแห้งบด สารสกัดด้วยเอทานอลและผงสีแห้งจากน้ำสกัด ด้วยสารละลายกรดและด่าง	100
4.5 การศึกษาสารช่วยติดสีจากใบพืชบางชนิด	100
บทที่ 5 การสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารให้สีจากครามและฮ่อม	104
5.1 การสกัดสารให้สีหลักจากครามและฮ่อม	105
5.1.1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณอินดิโกจาก น้ำสกัดครามและฮ่อม	105

	หน้า
5.1.2 การทดลองการสกัดอินดิโกจากคราม	106
5.1.3 การสกัดอินดิโกจากส้อม	107
5.1.3.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด	108
5.1.3.2 การศึกษาผลของกรดและเบสที่เรียใน การช่วยไฮโดรไลส่น้ำตาลออกจากอินดิโก	110
5.1.3.3 สรุปวิธีการและลักษณะ paste ของอินดิโกที่ ได้จากการหมักครามและส้อมวิธีต่างๆ	110
5.1.4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารให้สีในน้ำหมัก ส้อมและครามจากการหมักด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้ โครมาโทกราฟีผิวบาง(TLC)	113
5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารสีจากครามและส้อม	114
5.2.1 การเตรียมน้ำสีเข้มข้น(paste) จากใบส้อมเพื่อการวิเคราะห์	114
5.2.2 การวิเคราะห์และแยกองค์ประกอบหลักของสารสี จาก paste ที่เตรียมได้	114
5.2.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง	114
5.2.2.2 การแยกหาองค์ประกอบหลักสีแดงของ น้ำสีเข้มข้นจากใบส้อม	115
5.2.2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ สารให้สีแดงที่แยกได้จากใบส้อม	115
5.2.2.4 การเปรียบเทียบโครงสร้างของสาร ประกอบหลักในใบส้อมและใบครามสด	118
5.3 การแปรรูปสีย้อมจากใบครามและใบส้อมสด	119
5.3.1 การแปรรูปสีย้อมจากใบครามและใบส้อมสด	119
5.3.2 การหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูล	120
5.3.3 การตรวจสอบสมบัติสารสีย้อมในเม็ดแกรนูล	121
5.3.3.1 การทดสอบการละลายของอินดิโก	121
5.3.3.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารให้ สีใน paste ผงแห้ง และเม็ดแกรนูลของสาร สกัดจากครามและส้อมโดยเทคนิค TLC	121

5.3.3.3 การเปรียบเทียบ UV-visible spectrum ขององค์ประกอบของสารสีใน paste สารสีน้ำเงินและสีแดงที่แยกบริสุทธิ์แล้ว	122
5.3.4 การศึกษาวิธีการแยกสารสีน้ำเงินและแดงเพื่อการแปรรูป	123
บทที่ 6 การพัฒนาวิธีการย้อมสีแดง เหลืองและน้ำเงินเพื่อย้อมสีแปรรูปที่ผลิตได้	125
6.1 การศึกษาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับสีแปรรูปที่ผลิตได้ ตลอดจนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อหาข้อสรุปขั้นต้น	125
6.1.1 การเตรียมฝ้าย	125
6.1.2 การเตรียมน้ำย้อมและการย้อม	126
6.2 การพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมเพื่อย้อมสีแปรรูปจาก รากยอป่าและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์	128
6.2.1 การตรวจสอบวิธีการย้อมและองค์ประกอบ ที่จำเป็นที่ประเมินได้จากการย้อมภาคสนาม โดยใช้ผงรากยอป่าแห้งบดละเอียด	130
6.2.2 การพัฒนาวิธีการย้อมสีแปรรูปจากรากยอป่า ในรูปผงรากยอป่าอัดเม็ดแกรนูล ผงสีสกัดด้วยแอลกอฮอล์ อัดเม็ดแกรนูล ผงสีสกัดด้วยน้ำร้อนผสมน้ำด่างชนิดฟั่นแห้ง และตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์	135
6.2.2.1 การเปรียบเทียบการย้อมด้วยความเข้มข้น ของน้ำสีตั้งต้นต่างกัน	135
6.2.2.2 การย้อมซ้ำหลายครั้ง	136
6.2.2.3 การย้อมฝ้ายด้วยสีสกัดจากรากยอป่าด้วย แอลกอฮอล์และอัดเม็ดแกรนูล	136
6.2.2.4 การย้อมฝ้ายด้วยสีสกัดจากรากยอป่า ด้วยน้ำร้อนชนิดฟั่นแห้งและอัดเม็ดแกรนูล	137
6.2.3 การศึกษา shade สีที่สามารถทำได้โดยอาศัยสมบัติ ของสารให้สีจากรากยอป่า ทำการทดลองย้อมและ ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์	137

หน้า

6.2.4 การศึกษาการติดสีของรากยอป่าบนเส้นใยชนิดอื่น นอกจากฝ้ายและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์	139
6.2.5 การศึกษาการลดมลภาวะจากน้ำทิ้งสีย้อมโดยใช้สี อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดปริมาณน้ำสีในน้ำทิ้ง	140
6.2.5.1 ในการย้อมสีเข้มทำโดยการย้อมซ้ำ หลายๆครั้งหรือใช้น้ำย้อมเหลือเพื่อย้อมสีอ่อน	140
6.2.5.2 ทดลองย้อมเยื่อกระดาษสาซึ่งมีโรงงานผลิตขาย ทั่วไปในเชียงใหม่ ลำปาง และน่าน	140
6.2.6 การทดสอบการยอมรับและความนิยมของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ	141
6.3 การพัฒนาวิธีการย้อมสีแปรรูปที่ผลิตได้	142
6.3.1 การทดลองย้อมฝ้ายด้วยสีผง spray dry จากน้ำล้างครั้งและ การตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสี	142
6.3.2 การทดลองใช้สีสกัดจากขมิ้นย้อมฝ้ายและ การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสี	149
6.3.3 การทดลองย้อมฝ้ายด้วยสีสกัดจากฮ่อมและคราม	152
6.4 การย้อมฝ้ายที่ทำ premordanting ด้วยมอร์แดนท์ต่างๆ ด้วย สีแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง และขมิ้น	160
6.4.1 การย้อมสีจากรากยอป่า	160
6.4.2 การย้อมฝ้ายด้วยสีสกัดจากขมิ้น	163
6.4.3 การย้อมสีสกัดจากฮ่อมแห้ง	165
6.5 การทดลองย้อมฝ้ายด้วยสีแปรรูปที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม ขนาดย่อม	166
6.6 ผลิตภัณฑ์ย้อมสีจากฝ้ายที่ทดลองและการเพิ่มเนคสีโดย การย้อมผลิตภัณฑ์สิ่งทอโดยวิธีที่เลือกจากการทดลองขั้นต้น	168
6.6.1 ผลิตภัณฑ์ย้อมสีจากฝ้ายที่ทดลองย้อมสีต่างๆ	168
6.6.2 การย้อมสิ่งทอสำเร็จรูปด้วยสีธรรมชาติ	168
บทที่ 7 การศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติเพื่อการแปรรูป	169

	หน้า
7.1 การศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารสีแดงจากรากขมิ้นโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์รากที่ผลิตสี	169
7.1.1 การตัดเนื้อเยื่อรากขมิ้นและการเพาะเลี้ยงเซลล์ราก	171
7.1.2 ผลการทดลอง	174
7.1.3 สรุปผลการทดลอง	178
7.2 การศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารสีจากจุลินทรีย์	179
7.2.1 การผลิตสีจากยีสต์	179
7.2.2 การตรวจหาจุลินทรีย์สร้างสีเพื่อเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติเพิ่มเติม	185
7.2.3 สรุปผลการศึกษาดูแลจุลินทรีย์สร้างสี	188
เอกสารอ้างอิง	189
ภาคผนวกที่ 1	192

Executive Summary

ชื่อโครงการ “การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน”

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุตระกูล

ปัญหาและความสำคัญ

ปัจจุบันสัณนิศาสตร์หรือสีสังเคราะห์ทางเคมี ได้เข้ามาบิบทบพทในชีวิตประจำวันมากขึ้น และก่อให้เกิดมลภาวะอันเนื่องจากการใช้สีสังเคราะห์ซึ่งเป็นผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากมลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆที่เพิ่มพูนขึ้นทุกนาที่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวเรา ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้สนใจและตระหนักถึงคุณค่าของสีธรรมชาติกันมากขึ้น เพราะสีธรรมชาติมีจุดเด่นหลายๆจุดที่น่าติดตาม อาทิ สีธรรมชาติเป็นสีที่มีลักษณะพิเศษ มีเสน่ห์อยู่ในตัว มีโทนสีขรึมดูแล้วสบายตา การย้อมสีธรรมชาติมีแบบฉบับที่มีเอกลักษณ์เฉพาะและเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สั่งสมมาหลายชั่วอายุคน เคล็ดลับและวิธีการตลอดจนวัตถุดิบในแหล่งที่ใช้ในการผลิตที่สืบทอดกันมาตั้งแต่สมัยโบราณกำลังจะเลือนหายไป หากไม่ได้รับการเก็บรวบรวม อนุรักษ์ ภูมิปัญญาเหล่านี้จะถูกลบเลือนไปได้ในที่สุดซึ่งจะเป็นที่น่าเสียดายเป็นอย่างยิ่ง การย้อมสีธรรมชาติถ้าได้รับการสนับสนุนและปรับปรุงพัฒนาอย่างถูกทางแล้วก็จะมิตักยภาพที่จะเป็นมรดกทางวัฒนธรรมอันทรงคุณค่า และสามารถพัฒนาเป็นอาชีพที่หารายได้เป็นกอบเป็นกำสู่คนในชาติได้

ในปัจจุบันข้อมูลด้านสีธรรมชาติยังมีน้อยและกระจัดกระจาย ไม่มีการจัดเก็บรวบรวมอย่างเป็นระบบทำให้พัฒนาการด้านสีธรรมชาติเป็นไปอย่างเชื่องช้า โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสำรวจรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านสีธรรมชาติในแถบภาคเหนือตอนบนบางพื้นที่ เพื่อการอนุรักษ์ ปรับปรุง แลกเปลี่ยนและถ่ายทอดความรู้แขนงนี้ออกสู่ชุมชน ในขณะเดียวกันก็จะทำการศึกษาภูมิปัญญาของชุมชนเกี่ยวกับขบวนการย้อมสีธรรมชาติและสภาพปัญหาที่พบในการย้อมสีธรรมชาติในแต่ละท้องถิ่น เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกพัฒนาขบวนการย้อม การผลิตวัตถุดิบสีธรรมชาติและ วัตถุดิบที่ทำให้สีติดจากธรรมชาติ อาทิเช่นการย้อมสีฝ้ายด้วยเปลือกไม้ รากไม้ ดอก ใบ และผล ซึ่งจะเป็นการช่วยสนับสนุนให้เกิดผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมสีธรรมชาติที่มีคุณภาพได้มากขึ้น

จากการศึกษาค้นคว้าเบื้องต้นเกี่ยวกับสีธรรมชาติในการย้อมฝ้ายและไหมจากผ้าโบราณของอำเภอแม่แจ่ม จอมทอง และฮอด ซึ่งมีพื้นที่ติดต่อกันพบว่า มรดกทางวัฒนธรรมที่ร่วมกันของชุมชนแถบนี้มีเอกลักษณ์ที่สืบเนื่องมายาวนานคือผ้าขึ้นดินจกซึ่งมีเชิงชั้นสีแดงกล้าที่สดสวยติดทนทาน (สังเกตจากเชิงชั้นจกบางผืนอายุมากกว่าร้อยปีแล้วสียังสดอยู่) นอกจากนี้ผ้าแถบสีแดงกว้างประมาณ 22 นิ้ว ยาว 30 นิ้ว ที่ใช้ในพิธีกรรมสำคัญของชุมชนกลุ่มนี้ก็เป็นสีแดงที่ย้อมแบบเดียวกัน สีแดงที่ว่านี้ เป็นสีย้อมจากเมื่อเทียบกับสีย้อมธรรมชาติอื่นๆ สีแดงดังกล่าวนี้ย้อมด้วยรากยอป่า ซึ่งมีชื่อทาง

พฤษศาสตร์เป็น *Morinda coreia*, Rubiaceae-Madder เป็นรากไม้ที่แผ่สาขากว้างขวางรอบต้นชาวบ้านจะเลือกตัดบางส่วนนำมาทาบและต้มจนได้น้ำข้อมสีแดง ซึ่งต้องนำมาผสมกับน้ำมันที่ได้จากพืชอีก 5 ชนิด คือ มะหาง่าน มะเคาะ มะแตก สบู่ดำ และละหุ่ง ขบวนการย้อมมีวิธีการที่สลับซับซ้อนและเคล็ดลับที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านที่ถ่ายทอดกันมาหลายชั่วอายุคน และเนื่องจากปัจจุบันสีย้อมเคมีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน เคล็ดลับและวิธีการย้อมสีธรรมชาติกำลังจะถูกกลืนหายไป อย่างไรก็ตามการย้อมสีจากรากข่อยป่านี้นี้ ยังมีผู้สูงอายุซึ่งส่วนใหญ่อายุเกิน 60 ปี ยังคงมีความทรงจำและกระตือรือร้นที่จะรื้อฟื้นและถ่ายทอดวิธี เพื่อเป็นมรดกแก่ลูกหลานไทยสืบไปก่อนที่จะสาบสูญไป อีกประการหนึ่งพืชพรรณทั้ง 6 ชนิดนี้ยังพบบ้างได้ไม่ยากในอำเภอแม่แจ่มและบริเวณใกล้เคียง ชาวบ้านรู้จักคุ้นเคยกับพรรณไม้เหล่านี้เป็นอย่างดี จึงน่าจะเป็นโอกาสที่ดีในการศึกษาทางด้านนี้

ผลจากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในแถบภาคเหนือตอนบนบางพื้นที่ใน 10 จังหวัด คือ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย พะเยา ลำปาง แพร่ น่าน สุโขทัย อุตรดิตถ์ และแม่ฮ่องสอน ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก สกว. ในช่วงเดือนสิงหาคม 2539 ถึงเดือนเมษายน 2540 โดยเน้นภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสืบทอดเกี่ยวกับกระบวนการย้อมสีย้อมสีธรรมชาติ แหล่งและชนิดของวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีและที่ทำให้สีติดตลอดจนปัญหาที่พบและความต้องการแก้ปัญหาและการวิจัยเพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ ได้พบประเด็นสำคัญซึ่งจะนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์และส่งเสริมดังต่อไปนี้

1. ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมสีธรรมชาติ ผู้รู้วิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุดิบให้สีที่เป็นสีหลักและเคยใช้มาแต่อดีตยังมีหลงเหลืออยู่บ้างในที่ต่างๆ แต่ส่วนมากมักจะเป็นผู้มียัย ตั้งแต่ 60-80 ปีขึ้นไป ส่วนใหญ่เลิกทำแล้วเหลืออยู่แต่ความทรงจำเก่าๆ ที่เคยช่วยเหลือหรือเห็นพ่อแม่ปู่ย่าตายายทำในสมัยเด็ก ที่มีการย้อมสีธรรมชาติอยู่ในปัจจุบันได้มาจากการอบรมและส่งเสริมจากโครงการพัฒนาต่างๆซึ่งมักมีสีสังเคราะห์ปนอยู่ด้วยเล็กน้อยเพื่อให้สีเข้มขึ้นและตัวทำให้สีติดก็มักจะเป็นสารเคมีผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่พึงประสงค์ของลูกค้าต่างประเทศหรือแม้แต่ชาวไทยเองที่ต้องการผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติล้วนๆ ดังนั้นน่าจะมีการรวบรวมภูมิปัญญาดั้งเดิมเกี่ยวกับการย้อมสีธรรมชาติเพื่ออนุรักษ์อย่างมีระบบในฐานข้อมูลของ สกว. สมทบกับข้อมูลที่ได้จากภาคอื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการวิจัยพัฒนาและส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติให้ก้าวหน้าต่อไป

ข้อสังเกต จากการสำรวจพบว่า วิธีการย้อมสีจากวัตถุดิบชนิดเดียวกันในที่ต่างกันจะมีขั้นตอนและการใช้สารที่ทำให้สีติดต่างกัน เช่น ขั้นตอนการย้อมสีน้ำเงินจากย้อม การย้อมสีแดงจากรากข่อยป่านี้นี้ เป็นต้น น่าจะมีการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อดีและข้อด้อยของวิธีดังกล่าว

2. การสืบทอด จากที่สำรวจมาพบว่ามีการสืบทอดน้อยมาก ชาวชนรุ่นหลังไม่มีใครสนใจจะยืดอกอาชีพการย้อมสีธรรมชาติแม้แต่การเป็นอาชีพเสริม ทั้งนี้เพราะการย้อมสีธรรมชาติมีขั้นตอนมาก ทำยากและใช้เวลานานทำให้รายได้ต่ำ วัตถุดิบที่ให้สีมีแนวโน้มจะหายากขึ้นทุกที และมีเป็นฤดูกาลไม่สามารถจะกักตุนทีละมากๆ เพื่อหมุนเวียนใช้ได้ตลอดปีได้เพราะขาดแคลนทุนทรัพย์ เส้นใยต่างๆ มีราคาแพงและขาดแคลน ใช้เวลาในการย้อมมากและสิ้นเปลืองทั้งเชื้อเพลิงและน้ำ ผลผลิตที่ได้สีไม่คงทนและไม่คงที่ รับงานสั่งทีละมากๆ ไม่ได้ ทำให้รายได้ไม่ดีเท่าที่ควรและตลาดไม่กว้าง

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่ายินดีว่า ยังมีผู้สนใจจะสืบทอดที่มีอายุน้อยช่วง 25-40 ปี เหลืออยู่บ้างและพร้อมที่จะรับการถ่ายทอดและส่งเสริมเพราะตระหนักถึงภัยจากการย้อมสีสังเคราะห์ แต่ก็มีข้อแม้ว่าสีธรรมชาติควรจะอยู่ในรูปที่ใช้งานง่ายแบบสีสังเคราะห์ที่มีปริมาณและสัดส่วนของสีตั้งต้นที่เป็นมาตรฐาน ขั้นตอนการย้อมใช้เวลาไม่นานและเมื่อย้อมด้วยสัดส่วนเดิมอีกครั้งจะได้สีเหมือนเดิมเพื่อรับงานสั่งมากๆ ได้และมีที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์

3. ขบวนการย้อมสีธรรมชาติ ขั้นตอนการย้อมสีธรรมชาติส่วนใหญ่ยังใช้เวลานานและไม่สะดวก เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเส้นใยและการย้อม ยังไม่มีวิธีมาตรฐานใดๆ ที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ จุดเด่นของการย้อมสีธรรมชาติมีอยู่แง่เดียวที่สำคัญคือด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่เป็นพิษภัยต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคมากเท่ากับการใช้สีสังเคราะห์ การวิจัยและพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีธรรมชาติเพื่อการส่งเสริมยังมีความจำเป็นมากสำหรับการจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค

4. วัตถุดิบที่ให้สีและที่ทำให้สีติด ในการย้อมสีธรรมชาตินั้น วัตถุดิบจากธรรมชาติที่ให้สีและที่ทำให้สีติดมากมายทั้งที่เป็นสีหลักสามสี (น้ำเงิน เหลือง แดง) สีเปลือกไม้ สีดำและอื่นๆ ตัวอย่างเช่น สีเหลืองอาจใช้ขมิ้น ดอกดาวเรือง แก่นไม้ขนุน แก่แสด ดอกคำฝอย และผลมะตูม เป็นต้นสิ่งเหล่านี้มีตามฤดูกาลและมีไม่มากพอที่จะใช้ย้อมผ้าในปริมาณมากๆ ได้ ทำให้มีขีดจำกัดในการผลิตสีย้อม ต้องมีการส่งเสริมการปลูกหรือขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ผลิตสารให้สีหรือหาพืชชนิดอื่นๆ ที่ให้สีแบบเดียวกันแต่มีในฤดูกาลที่ต่างออกไปและมีในปริมาณมาก นอกจากนี้ความคงทนของสียังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมักจะซีดขาวเมื่อเก็บไว้นานๆ หรือโดยการซักดู ในแง่การกักตุนวัตถุดิบที่ให้สีเพื่อหมุนเวียนใช้ได้ตลอดปีทำยากเพราะต้องใช้ที่เก็บและเงินลงทุนสูง

สิ่งที่เป็แรงจูงใจผู้ผลิตในด้านวัตถุดิบก็คือ พยายามหาชนิดของวัตถุดิบที่ให้สีให้มีความหลากหลายชนิดเพื่อเพิ่มเฉดสีให้มากขึ้นและหมุนเวียนใช้ได้ตลอดปี หาวิธีสกัดและแปรรูปสารที่ให้สีและสารที่ช่วยให้สีติดให้อยู่ในรูปที่ใช้ได้ง่ายแบบสีสังเคราะห์ และสามารถกำหนดสัดส่วนของสีและน้ำในการย้อมเส้นใยในปริมาณที่ต้องการแล้วได้สีออกมาคงที่และมีความคงทนต่อการซักดู ซักล้าง แสง และความร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เส้นใยต่างๆ เช่น ผ้าฝ้าย ลินิน ไหม ปัจจุบันมีราคาแพง เพราะ

มีการปลูกและเลี้ยงกันน้อยลงควรมีการส่งเสริมทางด้านนี้ด้วยในขณะเดียวกัน

5. ปัญหาการตลาด ตลาดของผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติจะขยายตัวขึ้นได้ถ้าได้รับการส่งเสริม นอกเหนือจากการพัฒนาปรับปรุงด้านวัตถุดิบและขบวนการย้อม รสนิยมของผู้บริโภคมีทั้งที่ชอบสีธรรมชาติทั่วไปและสีที่สดสวยซึ่งการเพิ่มเจดสีโดยใช้สีธรรมชาติด้วยกันในการผสมแทนที่จะเติมสีสังเคราะห์จะช่วยทางด้านนี้ แต่ประการสำคัญคือรสนิยมของผู้ผลิตที่ยังเข้ากันไม่ได้กับผู้บริโภคส่วนใหญ่โดยเฉพาะตลาดต่างประเทศ อาจเป็นเพราะการขาดความรู้เรื่องการให้สีหรือเลือกใช้สีที่กลมกลืนหรือเข้ากันได้ดีและเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ตลอดจนความพิถีพิถันในการตัดแต่งชิ้นงานหลังการผลิตให้ดูดีจะเป็นอีกประการหนึ่งที่จะทำให้สินค้าย้อมธรรมชาติมีราคาดีและเป็นที่ยอมรับ

6. ปัญหาสิ่งแวดล้อม ผู้ย้อมสีส่วนใหญ่ไม่มีใครคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากนัก น้ำทิ้งที่ได้จากการย้อมมักทิ้งในบริเวณใกล้ที่ย้อม ยังไม่มีระบบจัดการที่ดีเพื่อรักษาสีสิ่งแวดล้อม ควรมีการวิจัยและพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

ประเด็นสำคัญที่พบข้างต้นหลายประเด็นที่เป็นประเด็นร่วมที่พบในหมู่ผู้ทอผ้าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยเฉพาะวิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุดิบให้สีที่เป็นสีหลักและเคยใช้มาในอดีต จากประเด็นที่พบเหล่านี้นักวิจัยกลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีจากภาคต่างๆ ได้ร่วมกันวางแผนงานวิจัยโดยมีเป้าหมายร่วมคือ **“พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ ให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีสิ่งแวดล้อม”** และมีหัวข้อวิจัยหลักครอบคลุมสิ่งต่อไปนี้คือการค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสี การปลูกและขยายพันธุ์ การศึกษาองค์ประกอบของสารติดสีสารช่วยติดสี การเตรียมวัตถุดิบสารให้สี สารช่วยติดสี สารติดสี (เน้นแม่สี) กระบวนการย้อมสี คุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์โดยรวมและการแปรรูปสารให้สี สารช่วยติดสี การรักษาสิ่งแวดล้อม

จากข้อสรุปดังกล่าวโครงการวิจัยนี้ได้วางแผนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีให้ครอบคลุมปัญหาหลักต่างๆ ในขอบข่ายที่สามารถจะทำได้และพัฒนาส่งเสริมแบบครบวงจรโดยการวิจัยจะเป็นลักษณะสหสาขาวิชาระหว่างนักวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์และสาขาวิทยาศาสตร์ โดยเน้นการสำรวจและรวบรวมองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของผู้ทอผ้าสีธรรมชาติเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมและวัตถุดิบที่ใช้ในขบวนการย้อมสีธรรมชาติของชุมชนในแถบภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด คือ เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุดรดิตถ์ โดยรวบรวมเป็นฐานข้อมูลอย่างมีระบบเพื่อการอนุรักษ์ และเพื่อให้กลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ

รับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมเพื่อการส่งต่อไป ดังนั้นงานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นมุ่งประเด็นหลักที่ (1) การค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบ สารให้สี สารช่วยติดสีจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มขึ้นในฤดูกาลต่างๆกันโดยเน้นสีหลักสามสีคือ สีแดง น้ำเงิน และเหลือง ส่วนสีอื่นๆ เช่น สีเปลือกไม้ สีดำ เป็นผลพลอยได้ (2) ศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของสารให้สีและสารติดสีจากแหล่งวัตถุดิบที่ค้นพบโดยสืบค้นจากฐานข้อมูลและวิเคราะห์เพิ่มเติม ศึกษาหากรรมวิธีการใช้วัตถุดิบให้สีอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพตลอดจนการแปรรูปวัตถุให้สีได้อยู่ในรูปที่ใช้ได้ง่าย สะดวกและมีมาตรฐานโดยกำหนดวิธีการทดสอบความเข้มข้นของน้ำย้อมอย่างง่ายและพัฒนากรรมวิธีมาตรฐานสำหรับวิธีการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้สีธรรมชาติโดยกรรมวิธีดั้งเดิม วิเคราะห์ผลการวิจัยและพัฒนาที่ได้เพื่อการเผยแพร่และส่งเสริมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจวิธีการย้อมฝ้าย แหล่งและปริมาณวัตถุดิบสารให้สี และสารช่วยให้สีติดโดยเน้นสารธรรมชาติที่ให้สีแดงจากรากข่อยป่า (สภาพต่าง) และครั้ง สีเหลืองจากขมิ้นและรากข่อยป่า (สภาพกรด) และสีน้ำเงินจากข้อมและคราม เพื่อประเมินวิธีการย้อมและสารให้สี สารช่วยให้สีติดที่เหมาะสมต่อการผลิตและพัฒนา โดยไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า และสารสีย้อมที่ได้ต้องมีสมบัติเป็นที่ยอมรับของตลาด
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบ โครงสร้าง และสมบัติสารวัตถุดิบที่ให้สีแดง เหลือง และน้ำเงินเฉพาะที่เข้าเกณฑ์ที่กำหนด โดยค้นคว้าจากเอกสารที่มีผู้ศึกษาไว้ และศึกษาเพิ่มเติมในส่วนที่ขาดเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาวิธีการย้อมให้เหมาะสมต่อไป
3. เพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณการผลิตสารให้สีจากวัตถุดิบธรรมชาติ การสกัด และแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บและใช้งานง่าย สะดวก และมีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับของตลาด รวมทั้งการพิจารณาต้นทุนตามสภาพความเป็นจริง
4. เพื่อพัฒนากรรมวิธีที่เหมาะสมและเป็นมาตรฐานในการย้อมสีแปรรูปที่ผลิตได้ โดยเน้นความยอมรับของตลาดในแง่ความปลอดภัย และมีคุณภาพในแง่ความติดทนของสีย้อม

การดำเนินงานและผลวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นไปตามกิจกรรมหลัก 3 กิจกรรม คือ การสำรวจองค์ความรู้ และภูมิปัญญาชาวบ้าน การผลิตสีและการนำไปประยุกต์ใช้ โดยทั้งสามกิจกรรมนั้นจุดเน้นอยู่ที่การผลิตและการเพิ่มผลผลิตสารให้สีย้อมจากธรรมชาติเพื่อนำไปใช้ได้เพียงพอในรูปที่ง่ายและสะดวกแก่การเก็บรักษาโดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การสำรวจองค์ประกอบความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน แพร่ ลำปาง อุตรดิตถ์ สุโขทัย และแม่ฮ่องสอน เน้นที่กรรมวิธีการย้อมผ้าโดยสีหลัก 3 สี คือ แดง เหลือง และน้ำเงิน รวมทั้งวัตถุดิบให้สี และสารช่วยติดสีที่ใช้ ในขณะเดียวกันทำการสำรวจแหล่งและปริมาณของวัตถุดิบให้สีและสารช่วยติดสี การสำรวจใช้วิธีสัมภาษณ์เป็นรายบุคคลและในบางพื้นที่มีการสาธิตกรรมวิธีการย้อม

ผลการสำรวจได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ทางภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติตลอดจนวัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสีมารวบรวมไว้ โดยเฉพาะการย้อมสีหลักสามสีคือแดง เหลือง และน้ำเงินและสามารถนำข้อมูลเปรียบเทียบจากวิธีการย้อมสีเดียวกันในแต่ละถิ่นมาประเมินเพื่อพัฒนากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้โดยสีแดงได้เลือกผลิตจากรากยอป่า และครั่ง สีเหลืองจากขมิ้น และสีน้ำเงินจากครามและฮ่อม การสำรวจแหล่งและปริมาณที่ใช้ย้อมทั้ง 3 สีได้คัดเลือกพันธุ์พืชที่พบมากทั่วไปในเขตภาคเหนือ ปลูกง่าย ใช้เวลาปลูกไม่นานและใช้ส่วนของพืชที่ให้สีที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่าเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการแปรรูป กล่าวคือ รากยอป่า ใช้ยอป่าพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. ครั่งใช้น้ำล้างครั่งจากโรงงานผลิตครั่งเม็ด ขมิ้นใช้ขมิ้นอ้อยและขมิ้นชันซึ่งมีอยู่ทั่วไป ส่วนครามและฮ่อมก็มีมากในภาคเหนือและส่งเสริมการปลูกง่าย วัตถุดิบสารให้สีที่รวบรวมได้ ได้ทำการรวบรวมไว้ทั้งชื่อสามัญ ชื่อท้องถิ่น ชื่อวิทยาศาสตร์ และจัดหมวดหมู่ของอวัยวะพืช (แมลงหรือสัตว์) ที่เป็นแหล่งของสารให้สีโดยจำแนกเป็น ใบ ดอก ผล กิ่งก้าน เปลือก ราก แก่น รวมทั้งฤดูกาลเก็บเกี่ยวพืชเหล่านั้น

2. ได้ทำการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ให้สีและที่ทำให้สีติด ตลอดจนวัตถุดิบอื่นที่เกี่ยวข้องในขบวนการย้อมสีทุกขั้นตอน เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการย้อมสีเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนากรรมวิธีการย้อม และวัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติที่มีคุณภาพดีในอนาคต ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารให้สี ได้แก่ การเกิดสีและเฉดสี การละลาย ความเป็นกรด-เบสในตัวทำละลายที่เป็นน้ำและอัลกอฮอล์ที่สัมพันธ์กับการเกิดสี องค์ประกอบเคมีหลักหรือโครงสร้างทางเคมีของสารที่ให้สีโดยการสืบค้นจากฐานข้อมูลและวิเคราะห์เพิ่มเติมถ้าเป็นแหล่งสีใหม่และวัตถุดิบใหม่

ผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบหลักของสารให้สีแดงจากรากยอป่าและครั่งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนน (anthraquinone) โดยในรากยอป่าจะมีโครงสร้างเคมีเป็นมอร์อินโดน (morindone) และจากครั่งเป็นกรดแลคเคอิก (laccic acid) ซึ่งสารในกลุ่มนี้มีการเปลี่ยนสีตามสภาพกรดเบสของสารละลายคือ ในสภาพกรดจะมีสีเหลืองและส้มอ่อนในสภาพเป็นกลางถึงเป็นด่างจะมีสีแดงส้มและแดงม่วงตามลำดับ สารให้สีทั้งสองชนิดจะปรับเปลี่ยนเฉดสีได้เมื่อเติมเกลือโลหะ เช่น แมกนีเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม เป็นต้น สารให้สีทั้งสองชนิดสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะอะลูมิเนียมได้

สีแดงสด (Turkey red) สารให้สีแดงกล่าวละลายได้ดีในน้ำค้างร้อนและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล

สารประกอบหลักที่ให้สีเหลืองในขมิ้นคือ เคอร์คูมิน (curcumin) ซึ่งมีโครงสร้างเคมีเป็น สารฟีนอลิกละลายได้ในน้ำร้อนและอัลกอฮอล์ อยู่ในสารละลายกรดให้สีเหลืองอ่อน สารละลายที่เป็น กลางสีเหลืองเข้มและในสารละลายด่างสีจะเข้มออกเขียวขี้น้ำตามสภาพความเป็นด่างที่มากขึ้นสีของ สารละลายมีความคงทนต่อแสงต่ำตั้งทิ้งไว้กลางแสงแดดสีจะซีดจาง

สารประกอบหลักที่ให้สีน้ำเงินในครามและฮ่อมเป็นสารกลุ่มเดียวกันคือสารในกลุ่มอัลคา-ลอยด์ (alkaloid) ในธรรมชาติอยู่ในรูปของกลูโคไซด์อินดิแคน (glucoside indican) ซึ่งละลายได้ในน้ำ ไม่มีสี อินดิแคนประกอบด้วยกลูโคสและอินดอกซิล (indoxyl) เมื่อนำพืชมาหมักน้ำแบคทีเรียจะช่วย ตัดกลูโคสออกจากอินดิแคนและได้สารประกอบอินดิโกทีนดังสมการ



สีอินดิโกในรูปออกซิไดซ์จะมีสีน้ำเงินอมม่วงไม่ละลายน้ำ สารละลายกรดอ่อนและน้ำค้าง แต่เมื่ออยู่ ในรูปรีดิวซ์จะเป็น indigo white หรือ leucoindigo ซึ่งไม่มีสีและละลายได้ในสารละลายด่าง อินดิโก ทีนที่สกัดได้จากครามและฮ่อมด้วยเอทานอลจะประกอบด้วยสารให้สีหลัก 2 ชนิด คือ อินดิโก (indigo) ให้สีน้ำเงินและสารสีแดงคือ อินดิรูบิน (indirubin) ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของอินดิโกและจะมี ปริมาณมากกว่าอินดิโกในอัตราส่วน 5 : 2 มีความคงตัวในบรรยากาศได้ดีกว่าสารสีน้ำเงิน

พืชที่ใช้ช่วยติดสีหรือเป็นมอร์แดนต์ (mordant) ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นมีหลากหลาย แล้วแต่จะพบมากในท้องถิ่นใด ส่วนใหญ่เป็นพืชที่รู้จักดีและมีอยู่ทั่วไป อาทิเช่น ใบฝรั่ง ใบยูคาลิปตัส ใบมะไฟ ใบสาบเสือ ใบเหมือดโสด ใบจี้เหล็ก ผลหมาก ดันและใบโสมหนาม แก่นสีเสียดเทศ ซึ่ง ส่วนใหญ่จะมีรสฝาดและมีแทนนินสูง แทนนินเป็นมอร์แดนต์ที่นิยมใช้ในการย้อมสีธรรมชาติทั้งไหม และฝ้าย ผลการตรวจสอบแทนนินในพืชที่ใช้เป็นมอร์แดนต์พบว่า ผลหมาก สีเสียดเทศ ใบเหมือด โสด ใบฝรั่ง ใบมะไฟ ใบจี้เหล็ก ใบยูคาลิปตัส และใบสาบเสือ จะมีปริมาณแทนนินมาก ทั้งนี้ใบ เหมือดโสดจะมีปริมาณแทนนินมากที่สุดจึงนำมาสกัดและแยกแทนนินโดยการต้มใบกับน้ำแล้วแยก โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

3. ได้ศึกษาการเตรียมวัตถุดิบสารให้สี สารช่วยติดสี สารติดสี (เน้นแม่สี) เพื่อให้ได้กรรมวิธี การเตรียมที่มีประสิทธิภาพ ใช้เวลาน้อยและได้น้ำสีตั้งต้นที่มีความเข้มข้นเป็นมาตรฐาน โดยศึกษา กรรมวิธีการสกัดสารที่ให้สีเพื่อให้ได้เนื้อสีมาก ใช้เวลาน้อย และการเตรียมน้ำสีสำหรับย้อมฝ้ายศึกษา วิธีการทดสอบความเข้มข้นของน้ำย้อมอย่างง่าย และศึกษาวิธีการตรวจสอบความเป็นกรด-เบส ศึกษา

วิธีการทดสอบความเข้มข้นของน้ำเชื่อมอย่างง่าย และศึกษาวิธีการตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของน้ำเชื่อมอย่างง่าย

ผลการทดลองสกัดสารให้สีจากรากขมิ้นและขมิ้นพบว่า สามารถสกัดได้ดีโดยใช้น้ำค่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือน้ำปูนใสที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C หากเกินกว่านั้นจะมีสารที่มียางเหนียวหลุดติดออกมาด้วยและควรอยู่ในลักษณะผงฟุ้งบด กากที่เหลือจากการสกัดสามารถนำไปสกัดสารให้สีต่อได้ด้วยเอทานอล สารให้สีที่สกัดได้มีเนื้อสีประมาณ 1.5 % ของน้ำหนักผงบดแห้ง ส่วนสีจากครามและขมิ้นนั้นใช้วิธีหั่นใบเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถุงผ้าแล้วหมักด้วยน้ำ 1 คืบ ถายน้ำสกัดออกแล้วหมักต่อด้วยน้ำใหม่อีก 1 คืบ น้ำสกัดที่ได้นำมาเติมน้ำค่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาตร 2 ใน 3 ส่วน และป้อนให้อากาศยาน 1 ชั่วโมงตั้งทิ้งไว้ 1 คืบจะได้ตะกอนสีน้ำเงินแล้วจึงรินน้ำใสออก ใบครามและขมิ้นที่ใช้นั้นต้องเป็นใบสด ถ้าแห้งจะไม่ได้ตะกอนสีน้ำเงินของอินดิโกใบขมิ้นสด 8 กิโลกรัมหมักแล้วได้ตะกอนสีเข้มข้น (paste) ประมาณ 345 กรัม

4. ได้ศึกษาการแปรรูปสารให้สีหลักจำนวน 3 สี คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน โดยใช้วัตถุดิบแม่แบบสีละหนึ่งตัวอย่าง กล่าวคือ สีผงชนิดฉีดพ่นแห้ง (spray drying) ได้ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของกรรมวิธีฉีดพ่นแห้งของการแปรรูปสารให้สีแต่ละชนิด ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ผลิตได้และหาวิธีหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และทดลองหากรรมวิธีย้อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ผลิตได้ สีเม็ดแกรนูล (granules) ได้ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของกรรมวิธีการผลิตตามกระบวนการผลิตแกรนูลในการแปรรูปของสารให้สีแต่ละชนิด ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ผลิตได้และหาวิธีการหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทดลองหากรรมวิธีย้อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ผลิตได้ ผงฟุ้งบด (Crude powder) ได้ทดลองบดอวัยวะของพืช (แมลงหรือสัตว์) ที่เป็นแหล่งของสารให้สีป่นเป็นผงในขนาดเม็ดผงที่มีขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษานาณของเม็ดผง (particle size) ที่มีขนาดเหมาะสมต่อการให้น้ำสีที่เข้มข้นมากที่สุด ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเก็บรักษาและการคงสภาพของผลิตภัณฑ์ และทดลองหากรรมวิธีย้อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ผลิตได้

ในการสกัดและเตรียมน้ำสีเพื่อการแปรรูปสารให้สีจากรากขมิ้นและขมิ้นนั้นได้กำหนดการแปรรูปสารให้สีอยู่ในสภาพของการแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลจาก ผงฟุ้งบด ผงสกัดแห้งชนิดฉีดพ่นและสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล การแปรรูปผงฟุ้งบดใช้ผงละเอียดซึ่งร่อนผ่านตะแกรงแล้วมีขนาดผงประมาณ 10-30 ไมครอน นำมาผสมกับแลคโตสในปริมาณที่เหมาะสมคือ ผงฟุ้งบด 300 กรัม ผงแลคโตส 50 กรัม และน้ำร้อนดื่มเดือดจัด 300 มิลลิลิตร ใช้เครื่องบดผสมให้เข้ากันอัดออกมาเป็นตัวนอนขนาดความยาว 0.8-1.5 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร แล้วอบตัวนอนที่

อุณหภูมิไม่เกิน 60 °ซ ประมาณ 20 ชั่วโมง เมื่อแห้งสนิทนำมารีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 จะได้เม็ดแกรนูลมีขนาดค่อนข้างกลมและเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.2-3.0 มิลลิเมตร การนำไปเตรียมน้ำย้อมใช้น้ำค้างร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 °ซ สกัดสีออกแล้วกรองกากผงพืชทิ้งก่อนย้อม การแปรรูปวิธีนี้ต้นทุนการผลิตต่ำเหมาะสำหรับการเก็บวัตถุดิบไว้ใช้ได้นานๆ แต่ต้องสกัดสารให้สีออกมาเวลาเตรียมน้ำย้อม การผลิตเม็ดแกรนูลจากผงแห้งชนิดฉีกผงใช้อัตราส่วนของผงแลคโตสเพิ่มขึ้นคือ ผงแห้ง 150 กรัม แลคโตส 200 กรัมและน้ำเย็น 60 มิลลิตร ส่วนการแปรรูปเม็ดแกรนูลจากสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลนั้นใช้แลคโตส 460 กรัม โดยไม่ต้องเติมน้ำ การแปรรูปสารให้สีเข้มข้นจากครามและส้มเป็นเม็ดแกรนูลใช้แลคโตสถึง 845 กรัมต่อตะกอนสีเข้มข้น 200 กรัมทำให้ได้เนื้อสีน้อยต่อน้ำหนักสีแปรรูปที่ใช้ย้อม ดังนั้นควรอบตะกอนสีให้แห้งก่อนนำมาผสม การแปรรูปสารให้สีที่สกัดแล้วสามารถนำไปใช้เตรียมน้ำย้อมได้โดยตามสัดส่วนที่ต้องการ ลดเนื้อที่ในการเก็บสารให้สีไว้นานๆแต่ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่าการแปรรูปผงพืชสด

5. ได้ศึกษาการเพิ่มปริมาณการผลิตสารให้สีธรรมชาติให้เพียงพอแก่การใช้นอกเหนือจากการส่งเสริมการปลูกซึ่งใช้เวลานานและเนื้อที่ในการปลูกมาก จึงได้ทดลองศึกษาการเพิ่มปริมาณการผลิตสารสีแดง (anthraquinone) จากรากขมิ้นโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์รากเพื่อผลิตสารให้สี ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้เนื้อเยื่อรากปลอดเชื้อมาเพาะในอาหารวุ้นจะได้กลุ่มเซลล์รากที่สามารถกระตุ้นให้ผลิตสารสีแดง แอนทราควิโนน โดยเติมสารอาหารที่เหมาะสมและใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 3-6 เดือนซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปว่าสารอาหารที่เหมาะสมที่จะเลี้ยงเซลล์รากให้ผลิตสารให้สีมากๆโดยใช้เวลาในการเลี้ยงสั้นและสกัดสารให้สีที่ได้มาทดลองย้อมเทียบกับสารสกัดจากรากขมิ้น นอกจากการศึกษารากขมิ้นเพาะเลี้ยงเซลล์พืชส่วนให้สียังได้ทำการศึกษาการผลิตสารให้สีจากจุลินทรีย์โดยทำการแยกจุลินทรีย์ผลิตสีได้หลายชนิดทั้งยีสต์ รา และแบคทีเรีย และได้เลือกยีสต์ผลิตสีส้มมาศึกษาพบว่าเป็นสารในกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ (carotenoid) ได้แก่ บีต้าแคโรทีน (β -carotene) และแอสทาแซนทิน (astaxantin) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ทนต่อแสงและการถูกออกซิไดซ์ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสีย้อมแต่เหมาะในการใช้เป็นสีผสมอาหารหรือสารเพิ่มคุณค่าในอาหาร จึงทดลองศึกษาการผลิตสารสีแดงจากแบคทีเรียพบที่สามารถผลิตสารให้สีแดงที่สกัดได้ง่ายด้วย acidic methanol มีความคงทนต่อการตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศน่าจะเหมาะในการเป็นสีย้อมและสามารถทำให้แบคทีเรียเกิดการฆ่าเชื้อและผลิตสารให้สีมากขึ้น สารให้สีที่ผลิตได้เป็นรงควัตถุในกลุ่ม tripyrrole ที่มีสูตรทางเคมีเป็น $C_{20}H_{25}ON_3$ (2-methyl-3-amyl-6-methoxyprodigiosene) เรียกสั้นๆว่า prodigiosin ส่วนสารให้สีจากจุลินทรีย์อื่นๆจะได้ศึกษาต่อไป

6. ได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมจากสีแปรรูปที่ผลิตได้ ใช้เวลาและพลังงานน้อย และได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติที่มีคุณภาพสีคงทนและคงที่ตลอดจนการเพิ่มเจดสีให้สดใสโดยการผสมระหว่างสีธรรมชาติกับสีธรรมชาติแทนการเติมด้วยสีสังเคราะห์ โดยเริ่มจากการศึกษาต่อไปนี้คือ

ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นฝ้ายและตรวจสอบ wax และ oil ก่อนการย้อม เพื่อให้ย้อมสีติดอย่างสม่ำเสมอ และติดทน เส้นใยอ่อนนุ่มไม่แข็งกระด้างหลังการย้อม ศึกษาวิธีการเตรียมสีย้อมและสารช่วยติดสีที่มีความเข้มข้นของสีเป็นมาตรฐานและมีวิธีการตรวจสอบง่ายๆ เพื่อให้ได้สีคงที่ในการย้อมครั้งต่อไปในสัดส่วนเดิม และพยายามหาวิธีลดขั้นตอนการย้อมทับหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้สีเข้มตามต้องการ พัฒนากรรมวิธีมาตรฐาน วิธีการย้อมสำหรับแต่ละสีและศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการย้อม อาทิเช่น อุณหภูมิ เวลา สารช่วยติดสี ระดับ pH คุณภาพน้ำ สารช่วยติดสีและเทคนิคพิเศษสำหรับแต่ละสี ศึกษาวิธีการใช้สีย้อมอย่างคุ้มค่า และลดปริมาณสีและสารช่วยติดสีในน้ำทิ้งจากการย้อม ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาดั้งเดิมและเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับจากผู้บริโภค

ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนสำคัญในการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติสามชั้น คือ การเตรียมฝ้ายก่อนย้อม การเตรียมน้ำย้อมและวิธีการย้อม การเตรียมฝ้ายก่อนย้อมนั้นการทำความสะอาดฝ้ายด้วยผงซักฟอกก็เพียงพอที่จะใช้ย้อมหากต้องการสีอ่อนในสัปดาห์ที่ฟอกแล้ว การทำpre-mordanting โดยการต้มฝ้ายที่ซักสะอาดแล้วด้วยน้ำสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองจะช่วยทำให้ฝ้ายติดสีธรรมชาติได้ดีและติดสี เข้มการเตรียมน้ำย้อมสีสกัดจากรากขมิ้นและครั้งใช้เตรียมในน้ำค้างและปรับเฉดสีให้แดงส้มด้วยสารประกอบอะลูมิเนียมหรือสารส้ม ตามด้วยการเติม wetting agent จะทำให้สีกระจายในน้ำย้อมได้ดีเมื่อย้อมสีจะติดฝ้ายสม่ำเสมอไม่ค้าง การย้อมต้มฝ้ายในน้ำย้อม 30 นาทีทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบิดตากให้แห้ง แล้วซักสีส่วนเกินออกด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงทนต่อการซักและแสงอยู่ในระดับดี การย้อมขมิ้นนั้นน้ำย้อมเป็นสีสกัดจากขมิ้นหรือขมิ้นผสมรากขมิ้นเดิม wetting agent น้ำค้างปูนขาวสกัดแทนนิน กรดซิตริก ได้สีเหลืองเข้ม ต้มกับฝ้าย 30 นาที ทิ้งให้เย็นบิดตาก แล้วจึงซักสีส่วนเกิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงทนต่อการซักและจัดอยู่ในระดับดีแต่ความคงทนต่อแสงต่ำมากต้องปรับปรุง สำหรับการเตรียมน้ำย้อมสีจากครามและฮ้อมนั้น ใช้ indigo paste ละลายในน้ำค้างปูนขาว เติมกรดซิตริก สารส้มและ wetting agent นำฝ้ายที่เตรียมไว้ลงขยำน้ำย้อมจนสีซึมเข้าเนื้อฝ้ายสม่ำเสมอแล้วต้มต่อให้เดือด 10-15 นาทีแล้วบิดตามสีครามในน้ำย้อมจะซึมเข้าเนื้อฝ้ายหมด หลังจากการซักสีส่วนเกินออกแล้วได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีถึงดีมาก การคงทนต่อแสงอยู่ในระดับที่ใช้ได้ การทดลองย้อมฝ้ายปริมาณ 1 ห่อ (~ 4.5 กิโลกรัม) ด้วยสีจากรากขมิ้นและครั้งด้วยวิธีนี้พบว่าได้ผลดีเช่นเดียวกัน สำหรับการเพิ่มเฉดสีได้ทดลองผสมสีจากขมิ้นและอินดิโกจากครามได้สีเขียว สีรากขมิ้นใส่สารส้มมากได้สีส้ม สีครั้งใส่สารส้มได้สีชมพูแดงใส่เกลือแมกนีเซียมได้สีม่วงแดง สีครั้งผสมสีรากขมิ้นในน้ำค้างจะได้สีชมพูเข้ม ความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีเหมือนกันหมด ความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับที่ใช้ได้ยกเว้นสีจากขมิ้นผสมรากขมิ้นหรือครามการทนแสงอยู่ในระดับต่ำมาก ดังนั้นในกรณีที่ใช้ขมิ้นผสมอาจจะต้องย้อมสีขมิ้นก่อนแล้วตาม

ด้วยสีที่มีความคงทนต่อแสงได้ดีกว่า

การลดมลภาวะของน้ำสีทางอ้อม คือการพยายามใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ย้อมซ้ำด้วยฝ้ายที่ต้องการติดสีอ่อนหรือนำไปใช้ย้อมเยื่อกระดาษสาซึ่งพบว่าดูดสีดีมาก สีจากน้ำย้อมติดเยื่อหมดทำให้ไม่ต้องใช้สีสังเคราะห์ในการย้อมเยื่อกระดาษอีกด้วย

ผลการวิจัยได้ผลงานเป็นที่น่าพอใจ สามารถหาวิธีแปรรูปสารให้สีที่สกัดจากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการใช้งานและเก็บรักษา เมื่อทดลองนำไปย้อมฝ้าย คุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีอยู่ในระดับดี นอกจากนี้ยังได้พบวิธีทำ premordant ฝ้ายด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองแล้วทำให้ฝ้ายนั้นย้อมสีติดเข้มและมีความคงทนต่อการซักขัดถูและแสงอยู่ในระดับดี พบวิธีใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพเป็น การลดมลภาวะทางอ้อมและยังพบวิธีเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติโดยการเพาะเนื้อเยื่อและสีจากจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามผลงานทั้งหมดในช่วงวิจัยระยะแรกนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการแต่มีแนวโน้มสูงในการพัฒนาขยายขนาดการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากองค์กรและบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ตลอดจนคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและบุคลากรสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและความสะดวกในการติดต่อประสานงานด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้ให้ความสนับสนุนทุกๆ ด้าน ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและทีมงานการพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมครบวงจรที่ให้ความสะดวกเรื่องสถานที่การประชุมและแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น ขอขอบคุณภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพที่อนุญาตให้บุคลากรเข้าร่วมทีมตลอดจนสถานที่และเครื่องมือในการทดลองบางส่วน ขอขอบคุณกลุ่มทอผ้าทุกกลุ่มในภาคเหนือและภาคอีสานที่ได้ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติตลอดจนวัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสีและแหล่งของวัตถุดิบดังกล่าว

ขอขอบคุณ Professor Dr. Kazuo Yamasaki และ Assoc. Prof. Dr. Ryuji Kasai จาก Department of Medicinal Chemistry of Natural Product, Institute of Pharmaceutical Sciences, School of Medicine, Hiroshima University, Hiroshima และ Dr. Emi Okuyama, laboratory of Natural Product Chemistry, Chiba, University Chiba, Japan ที่ช่วยตรวจวัดสารให้สีจากวัตถุดิบที่ใช้ทดลองด้วย Mass spectrometry และ C^{13} -NMR spectrometry เพื่อหาโครงสร้างเคมีของสารให้สี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ใกล้ชิดของทีมงาน ที่เป็นกำลังใจให้แก่ทุกคนในทีมงานตลอดเวลา 2 ปีครึ่งที่ผ่านมา

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2543

บทคัดย่อ

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนโดยเน้นหนักสีหลักสามสี คือ สีแดงจากรากขมิ้นและครั่ง สีเหลืองจากขมิ้น และสีน้ำเงินจากครามและฮ่อม ได้ทำการสกัดสารให้สี แยกบริสุทธิ์ ศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางเคมีและกายภาพ ศึกษาการแปรรูปสารให้สีให้อยู่ในรูปที่ใช้งานได้ง่ายและสะดวกแก่การเก็บรักษาและขนส่ง ศึกษาการเตรียมน้ำย้อมและวิธีการย้อมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคตลอดจนการใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาวิธีการเพิ่มผลผลิตสารให้สีโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์รากขมิ้นและการผลิตสารให้สีจากจุลินทรีย์

ได้ทำการสกัดสารให้สีจากรากขมิ้นและขมิ้นด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ในชุดสกัดแบบต่อเนื่องและแยกสารให้สีหลักโดย คอลัมน์โครมาโทกราฟีพบว่า มีปริมาณ 1.5 % และ 5.8 % ของผงพืชบดแห้งตามลำดับ สารให้สีจากครั่งสกัดด้วย 0.5 M Na_2CO_3 ได้สารให้สีหลักประมาณ 9 % ของน้ำหนักครั่งแห้ง สารให้สีหลักจากครามและฮ่อมที่ได้จากการหมักด้วยน้ำมีอยู่ประมาณ 2.8 % ของใบพืชสด การศึกษาทางเคมีและกายภาพของสารให้สีของวัตถุดิบดังกล่าวพบว่า สารให้สีแดงจากรากขมิ้นและครั่งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนนซึ่งมีโครงสร้างเป็นมอร์อินโดนและกรดแลคเคอิก ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น (λ_{max}) 446 และ 518 นาโนเมตร ตามลำดับ ละลายได้ดีในน้ำค้าง อยู่ในสารละลายกรดให้สีเหลืองและส้ม อยู่ในสภาพด่างให้สีแดงและสามารถปรับเปลี่ยนเฉดสีโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอออนโลหะหลายชนิดเช่นกับอะลูมิเนียมให้สีแดงส้ม แมกนีเซียมสีม่วงแดง เหล็กให้สีแดงคล้ำออกดำ เป็นต้น มีความคงทนต่อความร้อนและแสง สารให้สีหลักในขมิ้นคือเคอร์คูมิน ละลายได้ดีในน้ำค้าง อยู่ในสารละลายกรดมีสีเหลืองอ่อน สารละลายด่างมีสีเหลืองเข้มออกเขียวปนน้ำตาล มีค่า λ_{max} 423 นาโนเมตร มีความคงทนต่อความร้อนแต่ไม่ทนแสง สารให้สีหลักที่สกัดได้จากครามและฮ่อม คือ อินดิโกทิน ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 2 องค์ประกอบ คือสารให้สีน้ำเงินและสารให้สีแดง โดยสารให้สีแดงจะมีอยู่เป็นปริมาณมากกว่าสารให้สีน้ำเงินในอัตราส่วน 5:2 และมีความคงตัวในบรรยากาศได้ดีกว่าสารสีน้ำเงิน สารสีน้ำเงินคืออินดิโกมีค่า λ_{max} 611 นาโนเมตร ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและมีความคงทนต่อแสงน้อย ส่วนสารสีแดงมีโครงสร้างเคมีเป็นอินดิรูบิน (indirubin) มีค่า λ_{max} เป็น 535 นาโนเมตร ละลายได้ดีในเมทานอลและคลอโรฟอร์ม มีความคงทนต่อความร้อนและแสงได้ดี การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของสารช่วยติดสีในใบพืชชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในการย้อมสีธรรมชาติพบว่า เป็นสารประกอบแทนนินซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ปริมาณอออนโลหะในน้ำค้างขี้เถ้าไม้ที่ใช้เตรียมน้ำย้อม พบว่าจะมีปริมาณแคลเซียมอออนมากที่สุดและมากเป็น 8-9 เท่าของปริมาณโซเดียมอออนที่เป็นอันดับรองลงมา นอกนั้นก็ยังมีแมกนีเซียมเหล็ก และทองแดงในปริมาณที่ต่ำมาก ดังนั้นน้ำค้างที่ใช้ส่วนใหญ่จึงเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ได้ทำการสกัดและแปรรูปสารให้สีโดยสกัดสารสีแดงจากรากขมิ้นและสารสีเหลืองจากขมิ้น โดยใช้น้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 10 ลิตรต่อผงพืชสด 1 กิโลกรัม ต้มที่อุณหภูมิ 50-60 °C นาน 1 ชั่วโมง น้ำสีที่ได้นำไปฉีดพ่นแห้งด้วยเครื่อง spray dry ส่วนผงพืชที่เหลือสกัดต่อโดยการแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน ก่อนนำมาระเหยแห้งภายใต้ความดันได้เป็นสารสกัดเข้มข้น สีจากครั้งใช้น้ำล้างครั้งแรกจากโรงงานครั้งเม็ดมากรองแล้วฉีดพ่นแห้งด้วยเครื่อง spray dry ส่วนสีจากครามและฮ้อมนั้น นำใบพืชสดมาหั่นใส่ถุงผ้าแล้วหมักน้ำ 1 คืนเติมน้ำด่าง ให้อากาศได้ตะกอนสีแล้วอบแห้ง การแปรรูปสารให้สีผงแห้งจาก spray dry ดูดความชื้นง่ายทั้งไว้นานเกาะเป็นก้อนแข็งไม่สะดวกต่อการใช้ ตะกอนสีจากครามและฮ้อมในลักษณะเปียกใช้ยากและมักขึ้นราจึงอบระเหยน้ำออกเกือบแห้ง แล้วนำมาแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยใช้ผงสีละเอียดขนาด 10-30 ไมครอน 300 กรัม ผสมผงแลคโตส 50 กรัม น้ำร้อนต้มเดือดจัด 300 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในเครื่องบดผสมจนได้ของผสมที่มีความหนืดและเหนียวพอที่จะรีดออกมาในสภาพตัวหนอนโดยใช้เครื่องบดผสมเม็ดไปปลาที่มีขนาดรูตะแกรงประมาณ 0.3 เซนติเมตรได้ตัวหนอนที่มีขนาดความยาว 0.8-1.5 เซนติเมตร โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร อบตัวหนอนให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C นานประมาณ 20 ชั่วโมงแล้วนำมารีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ได้เม็ดแกรนูลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยตั้งแต่ 1.25-3.00 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมแก่การละลายเพื่อเตรียมน้ำย้อมและการเก็บรักษา

การพัฒนากระบวนการย้อมสีแปรรูปที่ผลิตได้อาศัยการประเมินผลการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นพื้นฐานและใช้ฝ้ายปั่นมือและฝ้ายเบอร์ 10/1 ที่หาซื้อได้จากร้านค้าในท้องตลาดโดยแบ่งขั้นตอนสำคัญเป็นการเตรียมฝ้ายก่อนย้อม การเตรียมน้ำย้อม และการย้อม ได้ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมและสะดวกในการเตรียมฝ้ายก่อนย้อมด้วยการทำความสะอาดฝ้ายด้วยวิธีต่างๆ พบว่า การทำความสะอาดฝ้ายด้วยสบู่หรือผงซักฟอกก็เพียงพอสำหรับเส้นด้ายที่ใช้ทดสอบ การใช้สารช่วยติดสีก่อนย้อมนั้นพบว่า การต้มฝ้ายที่สะอาดแล้วกับน้ำถั่วเหลืองนาน 30 นาที เป็นวิธีที่ทำให้สีติดฝ้ายเข้มและทนกว่าปกติ การเตรียมน้ำย้อมนั้นใช้ผงสีละลายในน้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือน้ำปูนใส เติม wetting agent เพื่อให้โมเลกุลของสีกระจายตัวในน้ำย้อมได้ดีพาสีซึมเข้าเนื้อฝ้ายได้สม่ำเสมอทำให้สีไม่ต่างโดยเฉพาะสีจากรากขมิ้น และครั้ง ส่วนการย้อมสีน้ำเงินจากครามและฮ้อมนั้นการใส่กรดซิตริกในน้ำย้อมช่วยให้สีเข้าฝ้ายได้ดีขึ้น การเติมสารช่วยติดสีเช่น แทนนิน กลีโกลช่วยทำให้สีติดทน การเติมสารส้มมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ทำให้ได้สีย้อมที่สดใสขึ้น ถ้าต้องการสีคล้ำเติมเกลือของเหล็ก ได้ทำการทดสอบคุณภาพความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติแปรรูปด้วยวิธีข้างต้นพบว่าความคงทนต่อการซักขจัดดูและแสงอยู่ในระดับดียกเว้นสีเหลืองจากขมิ้นความคงทนต่อแสงต่ำเนื่องจากธรรมชาติโมเลกุลของสารให้สีเอง ผลการทดลองใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพพบว่าทำได้โดยคำนวณสัดส่วนของสารให้สีและปริมาณฝ้ายที่จะใช้ย้อมให้เหมาะสม น้ำสีที่เหลือสามารถใช้อย้อมฝ้ายที่ต้องการสีอ่อนหรือใช้ย้อมวัสดุ

ที่ดูดซับสีได้ดีเช่นเยื่อกระดาษสาเป็นต้นเป็นการช่วยประหยัดสีและลดมลภาวะจากน้ำทิ้งสีย้อมทางอ้อม

ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารให้สีจากรากขมิ้นโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์รากและกระตุ้นด้วยสารที่ทำให้เซลล์รากผลิตสารให้สี พบว่าสามารถผลิตสารให้สีได้เป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนนเช่นเดียวกับรากต้นขมิ้นโดยใช้เวลาเลี้ยงนานประมาณ 3-6 เดือน ได้เนื้อสีประมาณ 1 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งเป็น 2 ใน 3 ของปริมาณที่ได้จากรากต้นขมิ้นที่มีอายุการปลูกตั้งแต่ 2-3 ปีขึ้นไป อย่างไรก็ตามการสกัดสีจากเซลล์รากทำได้ง่ายและมีสิ่งเจือปนน้อยกว่าสีสกัดจากรากต้นขมิ้น การศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์นั้นได้ทำการแยกจุลินทรีย์ที่ผลิตสีจากแหล่งธรรมชาติและอาหารหมักสามารถแยกจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด 81 ไอโซเลทประกอบด้วยยีสต์ที่ให้สีชมพู ชมพูแดง และชมพูอมส้มได้ทั้งหมด 73 ไอโซเลท และสามารถแยกยีสต์ที่ให้สีดำ 3 ไอโซเลท 4 ไอโซเลทเป็นรา และอีก 1 ไอโซเลทเป็นแบคทีเรียที่ผลิตสารสีแดง ผลการวิเคราะห์สารให้สีด้วยวิธีทางเคมีพบว่าสารสีชมพูอมแดงและชมพูอมส้มที่ผลิตโดยยีสต์เป็นสารพวกคาร์โรทีนอยด์(carotenoid)และฟลาโวนอยด์(flavonoid) สารสีดำเป็นเมลานิน(melanin) เชื้อรา 2 ไอโซเลทผลิตสารในกลุ่ม naphthoquinone และ 1 ไอโซเลทผลิตสารในกลุ่ม แอนทราควิโนนและฟลาโวนอยด์ สารสีแดงจากแบคทีเรียเป็นสารในกลุ่ม tripyrrole สารกลุ่มคาร์โรทีนอยด์มีความคงทนน้อยในบรรยากาศไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติ ส่วนสารสีแดงจากแบคทีเรียมีความคงทนต่อบรรยากาศได้ดีมีแนวโน้มสูงในการใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติจึงได้เลือกเพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณการผลิต การสกัดและการทดลองย้อมเพื่อพัฒนาเป็นสีธรรมชาติแปรรูปต่อไป

Abstract

The research and development of natural dyes in upper north region emphasized on three main colours, the red colour from the root of *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. and lac dye, the yellow colour from *Curcuma longa* Linn, and indigo blue from *Indigofera tinctoria* Linn. and *Baphicacanthus cusia* Brem. The dyestuffs were extracted, purified, analyzed the chemical structures and studied the chemical and physical properties. Modification of the dyestuff into the form that easy to use and store was studied along with the development of a suitable dyeing process of each colour to get the acceptable quality of the dyed products and the effective use of the dyestuff. Increasing of the production of natural dyes by morinda root cells cultures and pigmented microorganisms were also studied.

The dyes were extracted from madder farn's root and turmeric with ethyl alcohol in Soxhlet's apparatus and major components of the dyes were separated by column chromatography which contained 1.5 % and 5.8 % w/w of dry plant powder respectively. The lac dye was extracted by 0.5 M Na_2CO_3 which gave dyestuff about 9 % w/w of the dry stick lac. The major components of the dye from indigo and indigo room were obtained by fermenting the fresh leaves in water over night which contained about 2.8 % w/w of the fresh leaves. Chemical and physical studies of the extracted dyes indicated that the dyes from madder farn's root and stick lac were in the group of anthraquinone which had chemical structure as morindone and laccaic acid with the maximum absorption (λ_{max}) at 446 and 518 nm respectively. They dissolved well in alkali solution. They were yellow and orange in acidic solution and turned to red in alkali solution. They could also change the colour shade by complex formation with metal ions such as with aluminium ion gave orange-red, with magnesium gave violet-red and iron gave deep red to black. They were stable to heat and light. The major component of the turmeric dye was curcumin which dissolved well in alkali solution with brownish-yellow and pale yellow in acidic solution. It had λ_{max} at 423 nm. It was stable to heat but not to light. Indigotin was the major dye extracted from indigo and indigo room. It contained two major components with blue and red colour. The amount of the red component was higher than the blue one in the ratio of 5:2 and it was more stable to the atmosphere than the blue colour, The blue component was found to be indigo with λ_{max} at 611 nm, dissolved well in chloroform and was less stable to light. The red component had chemical structure as indirubin with λ_{max} at 535 nm. It dissolved well in both methanol and chloroform and could be stable to heat and light. Analysis of mordant in plants' leaves which normally used in dyeing of natural dyes found that they contained tannin in different quantities. Analysis of metal ions in alkali solution made from wood ash found calcium ion in the most abundant which was 8-9 times of the amount of sodium ion. It also contained magnesium, iron and copper ions in trace amount. Therefore, alkali solution which nomally used in dyeing process could be calcium hydroxide.

Extraction and modification of the dyestuffs were performed by extracting the red pigment from madder farn's root and yellow pigment from Turmeric with 10 L of calcium hydroxide solution pH 9 per 1 kg of dry plant powder and warmed at 50-60°C for 1 h. The extracted dye solution was passed through spray dryer to get dye powder and the residue of the plant powder was soaked in ethyl alcohol for at least 3 days before evaporating to dryness by rotary evaporator. The lac dye powder was obtained by spray

drying of the first washed solution of stick lac from the industry producing seed lac. Indigo paste was obtained by fermenting the crushed leaves of the indigo and indigo room in water over night and aerated the extract in calcium hydroxide solution. The dyestuffs powder was granulated by using 300 g of fine powder (10-30 micron), 50 g of lactose and 300 ml of boiled water and mixed well until the mixture was sticky enough to be extruded through the sinter with the holes of 0.3 cm in diameter. The sizes of the granules were 0.8-1.5 cm in length with diameter of 0.3 cm. The granules then were dried in the oven at 60 °C for 20 h and pressed on the sinter no. 9 to get granulated dye stuffs with average diameter between 1.25-3.00 mm which was the suitable size for dissolving in the preparation of dye solution as well as for storing with long shelf life.

Development of the dyeing process for the modified dyestuffs based on the evaluation of the methods obtained from the local knowledge on natural dye dyeing. Two kinds of cotton yarns, hand spun yarn and yarn no. 10/1 were used and they were all commercial available. The method was divided into 3 main steps, preparation of cotton yarn, preparation of dye solution and dyeing. The optimum and convenient conditions for cleaning and mordanting the yarn prior to dyeing were studied and found that cleaning the cotton yarn by boiling in water with soap or detergent was enough for the tested yarn. Premordanting of the cleaned cotton yarn with soya bean milk resulted in markedly increase in the dye uptake in all cases compared to the corresponding untreated yarn and the pretreated yarns with various mordants. The dye solution was prepared by dissolving the dye stuff in calcium hydroxide solution (pH~9) in the presence of wetting agent which made good distribution of the dye molecules in the dye bath led to evenly dye absorption into the yarn especially the dye from madder yarn and lac dye. Addition of citric acid into the indigo dye solution resulted in the good uptake of the dye and addition of some mordant such as tannin or metallic salts significantly affected the shade values of the dyed cotton yarns. Good wash and light fastness were met by this dyeing process. The effective use of the dye solution was done by calculating the suitable amount of the dye stuff per the amount of cotton yarn, reused the left dye solution for dyeing the new yarn which needed pale colour or some materials that had high capacity in absorption of the dye such as the fibre of Sa paper.

The increase production of the red dye from the *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. was obtained by culturing the root cells in suitable agar medium and could produce the same anthraquinone pigment as in the root of madder plant. Root cells cultured for 3-6 months could produce the red dye about 1 % w/w of dry cells which was 2:3 of the amount found in the root of 2-3 years plant. Extraction of the dye from root cells cultured was also easier. Another alternative way to increase the production of natural dyes by pigmented microorganisms was also studied. Eighty-one isolates of pigmented microorganisms were isolated from natural sources, 73 isolates of yeasts produced carotenoids and some isolates could also produce flavonoid, 3 isolates of yeasts produced melanin, 4 isolates of molds produced naphthoquinone, anthraquinone and flavonoid and one isolate of bacterium produced red pigment in pyrrole group. The carotenoid pigments were less stable to the atmosphere and were not suitable for dyeing. The red pigment from bacterium was easy to be extracted and stable to the atmosphere indicated high potential for using as natural dye. This bacterium was selected for studying the increase production of the dye, extraction and modification of the dyestuff.

บทที่ 1

บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สืบทอดมาจากการดำรงชีวิตของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์เพราะนอกจากจะทำให้เกิดสีสันชวนมองแล้วยังเป็นสิ่งที่ยังบอกถึงอารมณ์และแนวความคิดอีกด้วย ในสมัยโบราณมนุษย์รู้จักการใช้สีธรรมชาติจากพืชและสัตว์มาตกแต่งสีอาหาร เครื่องมือเครื่องใช้ ที่อยู่อาศัย ใช้ย้อมเครื่องนุ่งห่มและเป็นเครื่องสำอางค์เห็นได้จากการแต่งหน้าด้วยสีสันทนของชนเผ่าต่างๆและจากการค้นพบภาพสีฝาผนังถ้ำและโบราณสถานต่างๆทั่วโลกตลอดจนการค้นพบผ้าโบราณที่บ่งบอกได้ว่ามนุษย์รู้จักนำวัสดุในธรรมชาติ เช่น น้ำยฝ้าย ป่าน ปอ จากพืช ขนสัตว์ รังไหม มาปั่นเป็นเส้นด้ายและทำให้เกิดสีสันโดยนำมาย้อมสีที่ได้จากธรรมชาติจากส่วนของพืชชนิดต่างๆ เช่น ใบ ดอก ผล ราก แก่นไม้ เปลือกไม้ และจากสัตว์ เช่น รังครั่ง ปัสสาวะวัว เป็นต้นมาถักทอเป็นเครื่องนุ่งห่มใช้เองและการค้นคว้าพัฒนาขบวนการย้อมและถักทอขึ้นมาตามลำดับ มีการค้นพบพันธุ์พืชที่ให้สีมากกว่าพันชนิด รวมทั้งวิธีการสกัดและการย้อม ภูมิความรู้เหล่านี้ได้ถูกถ่ายทอดกันเฉพาะภายในแต่ละครอบครัวหรือชนกลุ่มเดียวกันเป็นเอกลักษณ์ของแต่ละกลุ่ม การถ่ายทอดลักษณะนี้ความรู้บางส่วนจึงสูญหายไปในช่วงการสืบทอด ภูมิปัญญาด้านนี้ค่อยๆสูญหายไปมากขึ้นเมื่อสีสังเคราะห์เริ่มเข้ามามีบทบาทตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมาหลังจากที่นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้พบวิธีสังเคราะห์สีทางเคมีและมีการพัฒนาต่อมาเรื่อยๆทำให้สีธรรมชาติหมดความนิยมไป ทั้งนี้เพราะสีสังเคราะห์มีส่วนดีเหนือสีธรรมชาติส่วนใหญ่ตรงที่มีสีสดใสสามารถเตรียมให้มีสีต่างๆได้ตามใจชอบ สีคงทนไม่ตกสีง่าย ทนต่อการซักฟอกและตากแดด นอกจากนี้สีสังเคราะห์ยังเลือกย้อมให้เหมาะกับเส้นใยกลุ่มต่างๆได้ดี สะดวกต่อการใช้และเก็บรักษา การผลิตสีสังเคราะห์จึงกลายเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมสิ่งทอและใช้กันแพร่หลายทั่วโลก^(1,2) ประเทศไทยเองหัตถกรรมสิ่งทอและการย้อมสีธรรมชาติก็เป็นภูมิปัญญาที่สั่งสมและสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคนและภูมิปัญญาเหล่านี้ก็ค่อยๆเลือนหายไปตามความเจริญของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการนำเข้าสีสังเคราะห์ปีละมากๆเพื่อนำมาย้อมสีเส้นใยแล้วถักทอเป็นผืนผ้าเพื่อใช้ในครัวเรือนและจำหน่ายเป็นรายได้เสริมสำหรับครอบครัวซึ่งส่วนใหญ่มีอาชีพด้านเกษตรกรรมเป็นหลักจนกระทั่งสามารถพัฒนางานหัตถกรรมไปเป็นอาชีพรองได้

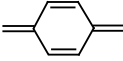
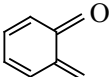
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสีสังเคราะห์เพื่อเป็นสีย้อมสิ่งทอ สีทาสีต่างๆและผสมพลาสติก เป็นต้นได้พัฒนาไปจนถึงจุดสูงสุดและมีสีสังเคราะห์คุณภาพต่ำ ราคาถูกหลายชนิดที่ใช้เป็นสีย้อมที่ไม่ปลอดภัย สีเหล่านี้จำนวนมากเป็นสีที่เป็นสารก่อมะเร็งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และเป็นมลภาวะอันเกิดจากน้ำทิ้งสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เจดสีที่หาได้ยากยังพบได้ในสีย้อมธรรมชาติซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะน้อยมากในการใช้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการตื่นตัวกลับมาใช้สีธรรมชาติกันมาก

จีน อุตสาหกรรมผลิตสีย้อมเองก็เริ่มแสวงหาสีย้อมจากธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ควบคู่กับหลักการที่ใช้กับ สีสั่งเคราะห์กล่าวคือใช้ควบคู่กับสารช่วยติดสีและสารที่ทำให้สีติดทนต่อการซักล้างที่เหมาะสมกับหมู่ ไฮดรอกซีของสารประกอบฟีนอลซึ่งพบอยู่ในสารให้สีธรรมชาติส่วนใหญ่ และเพื่อเพิ่มความคงทน ของการติดสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสจากวัตถุดิบต่างๆ เช่น ฝ้ายอาจจะต้องปรับ สภาพผิวของเส้นใยด้วยโปรตีนจากธรรมชาตินอกจากนี้การปรับปรุงทางเคมีของสีธรรมชาติเพื่อให้สี คุณภาพที่ดีขึ้นก็เป็นอีกแนวโน้มหนึ่งซึ่งเป็นที่สนใจในระดับอุตสาหกรรม^(3,4) เพื่อให้ประเทศไทยก้าว ท้นต่อสถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคตการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติและ การทอผ้าด้วยมือควบคู่ไป กับการเพาะปลูกขยายพันธุ์พืชให้สีธรรมชาติจึงน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้เกิดการอนุรักษ์ธรรมชาติ และฟื้นฟูศิลปวัฒนธรรมโบราณอันเป็นเอกลักษณ์ของไทย กองอุตสาหกรรมในครอบครัวกรมส่งเสริม อุตสาหกรรมจึงได้เริ่มโครงการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยได้ศึกษาหาข้อมูล จากท้องที่ต่างๆและจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและได้ทำการค้นคว้าทดลองและฝึกอบรมให้แก่ราษฎรใน หลักสูตรเบื้องต้นไปแล้วซึ่งได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการในระดับหนึ่งและยังพบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ในด้านความคงทนของสี ข้อจำกัดด้านเจดสีและความสดใสของสี วัตถุดิบสารให้สีที่หายากและมีเป็นฤดูกาล การเตรียมน้ำย้อมและการย้อมใช้เวลานานและมีขั้นตอน ซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่เป็นที่นิยม ขายไม่ได้ราคาเกิดปัญหาเรื่องการตลาดตามมา

สืบเนื่องจากปัญหาดังกล่าวประกอบกับการที่รัฐบาลไทยได้กำหนดนโยบายส่งเสริมและพัฒนา อาชีพชาวชนบทด้านอาชีพสิ่งทอทุกสาขาในแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่3-8 เป็นต้นมาและได้พบปัญหา และอุปสรรคต่างๆดังกล่าวข้างต้น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.ฝ่าย 2) จึงได้สนับสนุน เครือข่ายการวิจัยในระบบสหสาขาวิชาภายใต้กลุ่มโครงการฟอกย้อมสีธรรมชาติขึ้นเมื่อต้นปีพ.ศ. 2538 โดยจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง “การประเมินความต้องการ การแก้ปัญหาและการวิจัยเพื่อพัฒนา ส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ” เพื่อเป็นเวทีให้ผู้สนใจและเกี่ยวข้องในระดับต่างๆเช่น ผู้ทอผ้า นักวิจัย และนักส่งเสริม/องค์กรเอกชนได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนข้อมูล ข้อคิดเห็นและการค้นหาภาพรวมของ ปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการย้อมสีธรรมชาติ รวมทั้งการเสริมสร้างความชัดเจนในหัว ข้อวิจัยและประเด็นปัญหาวิธีวิจัย ผลการสัมมนาพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้า ย้อมสีธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคต่างๆของประเทศ ดังนั้นเพื่อสร้างฐานข้อมูลให้แก่ักวิจัยทางสกว.ฝ่าย 2 จึงสนับสนุนการสำรวจภาคสนามกลุ่มทอผ้าใช้สีธรรมชาติใน 4 ภาคของประเทศในปี 2539 และนำ ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันในปีพ.ศ. 2540 เพื่อแสวงหาเป้าหมายร่วมและหัวข้อวิจัยซึ่งสามารถ พัฒนาเป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ปัญหาการฟอกย้อมสีธรรมชาติในระดับชุมชนได้ในที่สุด⁽⁵⁻⁸⁾

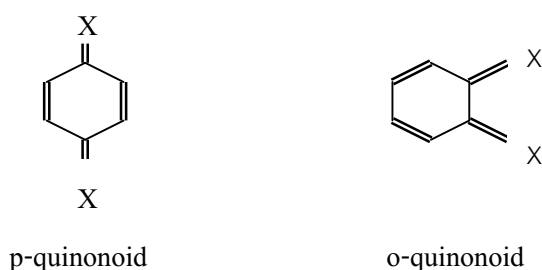
1.1 เคมีของสารให้สีและสีย้อม⁽⁹⁾

สารให้สีนั้นมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ที่ให้สีมักจะเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะ หรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่นออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น สีประเภทนี้เคยใช้เป็นสีย้อมในอดีตโดยที่สารให้สีเหล่านี้จะเกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่มีความคงทนต่อแสงมาก ในประเทศไทยมีการย้อมสีในกลุ่มนี้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยการหมักโคลนและดินแดงซึ่งมีสารพวกอะลูมิเนียมซิลิเกตและส่วนให้สีเป็นออกไซด์ของโลหะที่มีอยู่ในโครงสร้างของดินส่วนมากโลหะที่ใช้ได้แก่ เหล็ก ตะกั่ว นิเกิล ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์และโครเมียม ตัวอย่างเช่น สีเหลืองจากตะกั่วโครเมต สีกาที่ที่ใช้ย้อมฝ้ายในอดีตได้จากออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสีจากแร่โลหะดังกล่าวเป็นโลหะหนักซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในปัจจุบันจึงหมดความนิยมไป ส่วนสารให้สีในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์นั้นมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยธาตุคาร์บอนต่ออยู่กับอะตอมของธาตุอื่นๆซึ่งส่วนมากเป็นไฮโดรเจน ในโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงเบนซีน (benzene ring) หรือเบนโซควิโนอยด์ (benzoquinoid) ตามปกติเบนซีนไม่มีสีแต่หากมีกลุ่มของอะตอมอื่นๆที่เหมาะสมมาแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมใดอะตอมหนึ่งหรือหลายอะตอมในเบนซีนจะได้สารประกอบที่มีสี สารให้สีอาจจะประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนวงเดียวหรือมากกว่า ลักษณะและสมบัติของสารให้สีขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งที่กลุ่มของอะตอมอื่นๆมาเกาะติดอยู่บนตำแหน่งต่างๆของโครงสร้างนั้นๆ การที่สารประกอบดังกล่าวให้สีได้เนื่องจากมีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีมีการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆกลุ่มของอะตอมเหล่านี้เรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophors) ได้แก่

หมู่ไนโตร (nitro)	ซึ่งมีสูตรเคมี	NO_2
หมู่ไนโตรโซ (nitroso)		$-\text{N}=\text{O}$
หมู่เอโซ (azo)		$-\text{N}=\text{N}$
หมู่แอลฟาไดคีโตน (α -diketone)		$\begin{array}{c} \text{---C}=\text{O} \\ \\ \text{---C}=\text{O} \end{array}$
หมู่พาราควิโนอยด์ (p-quinonoid)		
หมู่ออร์โทควิโนอยด์ (o-quinonoid)		

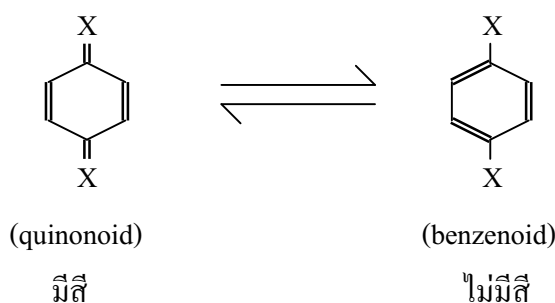
สารประกอบที่มีกลุ่มเหล่านี้เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) ซึ่งจะใช้เป็นสีย้อมได้ยังต้องมีกลุ่มของอะตอมอีกจำพวกหนึ่งเรียกว่า อ็อกโซโครม (auxochrome) ซึ่งจะช่วยให้สีเข้มขึ้นและมีสมบัติเป็นกรดหรือด่างเพื่อที่จะได้เกาะติดแน่นบนวัสดุที่ใช้ย้อมหมู่ อ็อกโซโครมที่สำคัญได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) หมู่อะมิโน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

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



X คือ กลุ่มของอะตอม

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



ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการที่สีย้อมตกสี หรือซีดจางเมื่อได้รับแสง สบู่ ผงซักฟอก และสาเหตุอื่นๆ

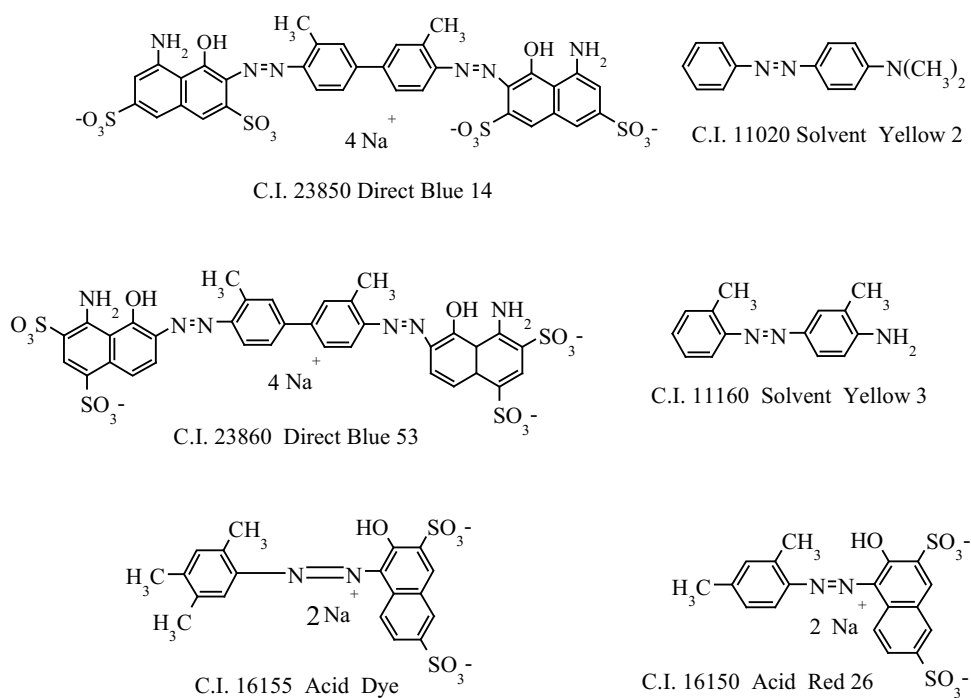
สีย้อมหลายชนิดเมื่อได้รับไฮโดรเจนเข้ามาเติมที่โมเลกุล จะได้สารเคมีที่ไม่มีสีเรียกว่าสารประกอบลิวโก (leuco compound) ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ (oxidize) จะได้สารเคมีที่มีสี เช่น สีอินดิโก (indigo) ขณะย้อมตอนแรกจะยังไม่มีสีแต่เมื่อนำขึ้นมาจากภาชนะที่ย้อมจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศได้เป็นสารสีน้ำเงิน เพราะฉะนั้นโครงสร้างของโมเลกุลของสีย้อมมีความสำคัญต่อการเกิดสี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

1.2 แหล่ง ชนิดและเคมีของสีย้อม

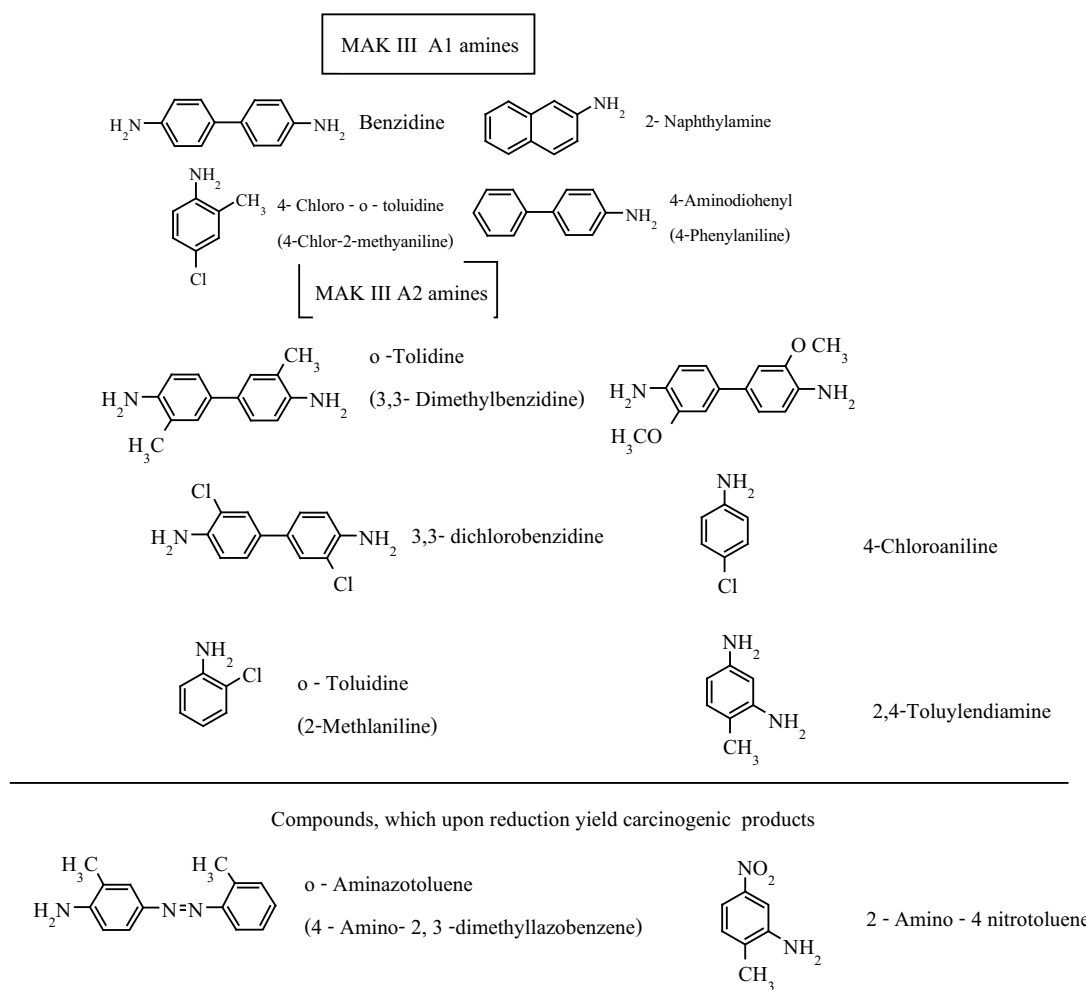
สีย้อมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกตามแหล่งที่มาได้ 2 แหล่งคือ สีสังเคราะห์ (synthetic dye) และสีธรรมชาติ (natural dye)

1.2.1 สีสังเคราะห์ เป็นสารสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่างๆ ได้มากมาย มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสด มีความคงทนไม่ตกสีง่าย ทนต่อการซักฟอกและตากแดด สามารถปรับให้เลือกย้อมกับเส้นใยต่างๆ ได้ดี ใช้งานและเก็บรักษาได้ดี สามารถผลิตได้ในปริมาณมากเพียงพอแก่การใช้และราคาไม่แพง สีสังเคราะห์จึงเป็นที่นิยมเหนือสีธรรมชาติตลอดมาและมีการพัฒนาจนถึงจุดอิ่มตัวทางด้านเคมีและวิธีการย้อม อย่างไรก็ตามเคมีที่หายากจากสีธรรมชาติยังไม่สามารถจะสังเคราะห์ให้เหมือนได้และในช่วงเวลา 5-10 ปีที่ผ่านมาได้มีผลการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับอันตรายของสีย้อมหลายชนิดต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าสีย้อมที่มีสารประกอบเอมีน (amine) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง benzidine ที่เป็นสารก่อมะเร็งระหว่างการย้อมสีและเมื่อมีการทิ้งน้ำย้อมลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือตามพื้นดิน สารประกอบเอมีนในตัวสีและในตะกอนของสีที่ตกค้างอยู่จะผ่านห่วงโซ่อาหาร (food chain) เข้าไปสะสมอยู่ในตัวสัตว์เลี้ยง ในพืชหรือในสัตว์ปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากสีย้อม เมื่อเรารับประทานผัก ผลไม้หรือเนื้อสัตว์ที่มีเอมีนนี้สะสมอยู่ ตัวเอมีนเองจะเข้าไปสะสมในร่างกายแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารก่อมะเร็ง ยิ่งเอมีนนี้มีการสะสมมาหลายช่วงก็ยิ่งอันตรายมากขึ้น⁽¹⁰⁾ ตัวอย่างของสีย้อมที่มีสารก่อมะเร็งในโครงสร้างแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นสารสีย้อมเอโซที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง⁽¹¹⁾ สารเหล่านี้เมื่อเกิดการสลายจะให้สารประกอบเบนซิดีน ($\text{benzidine}, \text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง มีสารสีย้อมอีกหลายที่เมื่อถูกกรดจะให้สารประกอบที่เป็นสารก่อมะเร็ง ตัวอย่างของสีย้อมเหล่านี้แสดงในรูปที่ 1.2 ดังนั้นสีย้อมทุกชนิดที่สังเคราะห์จากสารประกอบเอมีนเหล่านี้จึงเป็นสิ่งต้องห้ามไม่ควรใช้และควรเป็นสีควบคุมจากการวิจัยของ Prof. Rossbach⁽³⁾ เกี่ยวกับสีสังเคราะห์ที่มีขายในตลาดอำเภอเมืองเชียงใหม่ พบว่ามีมากมายหลายชนิดที่โครงสร้างเคมีของสีย้อมที่ใช้ย้อมผ้าเป็นสารก่อมะเร็ง ตารางที่ 1.1 เป็นตัวอย่างสีย้อมผ้าที่มีขายในตลาดเมืองเชียงใหม่ที่มีสารประกอบที่เป็นสารก่อมะเร็งซึ่งส่วนใหญ่เป็น

สารประกอบเบนซิดีน ด้วยเหตุผลดังกล่าวในปัจจุบันจึงมีการตื่นตัวเกี่ยวกับการใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้นและภาคอุตสาหกรรมเองก็เริ่มแสวงหาสารให้สีธรรมชาติในแนวกว้างเพื่อให้ได้เจดสีที่หายากและไม่สามารถสังเคราะห์ได้มาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นแบบสีสังเคราะห์

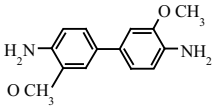
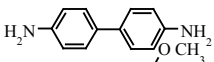
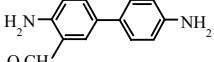
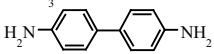


รูปที่ 1.1 สีข้อมกลุ่ม Azo ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง⁽¹¹⁾

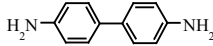
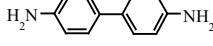
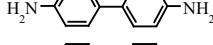
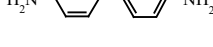


รูปที่ 1.2 ตัวอย่างสารประกอบซึ่งเมื่อถูกกรดรีดิวซ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง⁽¹¹⁾

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างสีย้อมผ้าที่มีขายในท้องตลาดที่มีสารก่อมะเร็ง

เคมี	สารก่อมะเร็งที่พบ	โครงสร้างทางเคมี
ม่วง	3,3'-dimethoxybenzidine	
ดำ	benzidine	
คราม	3,3'-dimethoxybenzidine และ benzidine	 

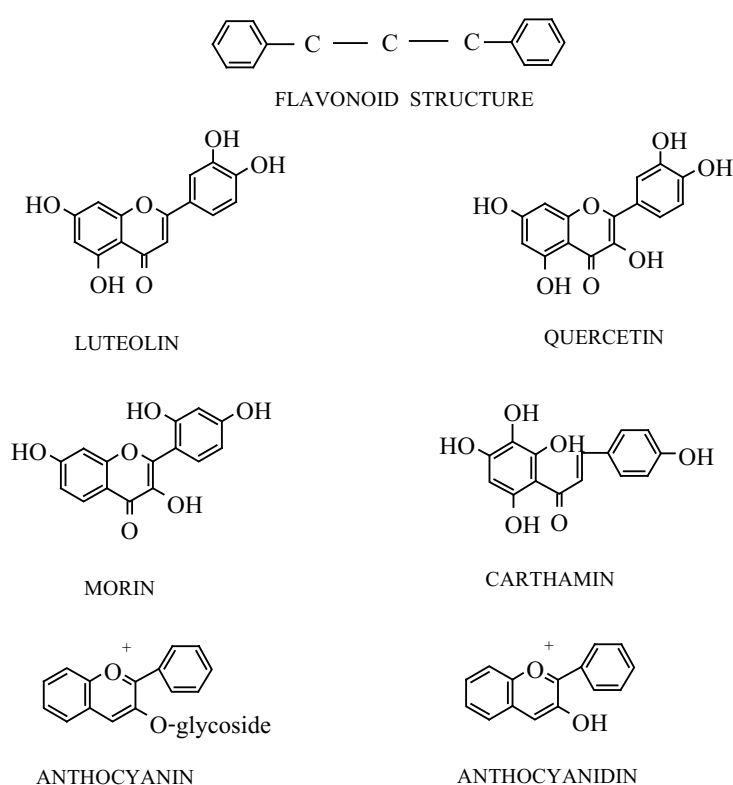
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างสีย้อมฝ้ายที่มีขายในท้องตลาดที่มีสารก่อมะเร็ง(ต่อ)

เจดสี	สารก่อมะเร็งที่พบ	โครงสร้างทางเคมี
กากี	benzidine	
เขียวอ่อน	benzidine	
เขียวแก่	benzidine	
น้ำตาล	benzidine	

1.2.2 สีธรรมชาติ เป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ สีที่ได้จากพืชมักเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่างๆของพืชตั้งแต่ราก เปลือกกราก ลำต้น เปลือกต้น แก่นไม้ ใบ ดอก ผลและเมล็ด สีจากสัตว์มักเป็นสีที่ได้จากแมลงตากแห้งเช่น โคชินิล เป็นสีแดงส้มที่ได้จากตัวแมลง *Coccus cacti* จากแมงกิ้งก่า และเคอร์มัสเป็นสีแดง-แดงส้มที่ได้จากแมลงเปลือกแข็งขนาดเล็ก *Coccus illicis* พบมากในยุโรป ส่วนสีจากครั่งซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้นเป็นสีในกลุ่มสีแดงที่ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifera lacca* หรือเรียกกันทั่วไปว่าครั่ง นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สีจากจุลินทรีย์พบมากในรา ยีสต์และแบคทีเรีย สีแดงจากรา *Monascus sp.* ได้จากการหมักราบนข้าว ประเทศจีนทำเป็นอุตสาหกรรมสีผงใช้เป็นสีผสมอาหารและได้รับการพิสูจน์แล้วว่าไม่มีสารพิษเจือปน สารที่ให้สีจากธรรมชาติจัดประเภทตามลักษณะ โครงสร้างดังนี้^(2,12,13)

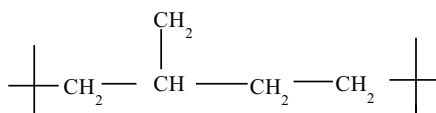
1.2.2.1 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นกลุ่มสารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมกันมาก มักมีสีเหลืองถึงส้มเหลือง มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น C₆-C₃-C₆ ตัวอย่างเช่น Luteolin จากต้น Weld (*Reseda luteola*) ให้สีเหลือง Quercetin จากเปลือกหอมหัวใหญ่ ให้สีเหลืองเข้ม Morin จากแก่นขนุน แก่นแกลให้สีเหลืองเข้ม และCarthamin จากดอกคำฝอยให้สีเหลืองปนน้ำตาล(รูปที่ 1.3) ส่วนที่เป็น C₆ ส่วนมากเป็นวงเบนซีน และ C₃ จะต่อกับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นวงวิวิธพันธ์ (heterocyclic ring) ถ้ามีหมู่คาร์บอนิลอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวน(flavone) และถ้ามีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวนอล(flavonol) สารในกลุ่มนี้จะละลายได้ดีในน้ำมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันมากมาย ทำให้เห็นเป็นทุกสียกเว้นสีเขียว เช่นสารพวเคนโทไซยานินจะให้สีม่วง สีน้ำเงินและสีแดง มักพบในพืชชั้นสูง ในรูปของสารประกอบกลัยโคไซด์(glycoside) เมื่อสลายตัวด้วยน้ำจะให้น้ำตาล และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลเรียกว่าแอนโทไซยานิดิน(anthocyanidin) ในธรรมชาติมักพบในรูปกลัยโคไซด์ซึ่งมีน้ำตาลมาเกาะที่ตำแหน่ง C₃ หรือ C₅ และยังพบเป็นจำนวนมากที่

น้ำตาลมาเกาะทั้งสองตำแหน่งได้เป็น 3,5-diglycosides ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่พบในฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นๆ สีแดงในดอกไม้บางชนิดไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน แต่เป็นเบต้าไซยานิน(betacyanins) เช่น สีแดงของดอกเฟื่องฟ้า หงอนไก่ บานเย็น และหัวบีทรูต ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Nyctaginaceae, Amaranthaceae และ Centrospermae เป็นต้น สีแดงของแอนโทไซยานินจะมีคุณสมบัติเป็น indicator ในตัวเอง ทั้งนี้เพราะแอนโทไซยานินมีลักษณะเป็นประจุ(ionic) สีที่เกิดขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นกรดแอนโทไซยานินจะให้สีแดงปนส้ม ในสารละลายที่เป็นกลางจะอยู่ในสภาพ pseudobase ซึ่งไม่มีสี ในด่างจะอยู่ในสภาพ anhydrobase ซึ่งให้สีม่วง-น้ำเงิน เมื่อ pH เปลี่ยนปฏิกิริยาเหล่านี้จะเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ แต่ถ้า pH สูงมากๆปฏิกิริยาก็จะไม่เปลี่ยนกลับมา แอนโทไซยานินในสารละลายที่เป็นด่างจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยอากาศและถูกทำลาย จึงมักทำให้สารละลายอยู่ในภาวะที่เป็นกรด แอนโทไซยานินชนิดต่างๆ จะต่างกันที่กลุ่ม OH บน ring B ทำให้สีแดงต่างกันที่สำคัญแอนโทไซยานินอาจถูก methylated ที่ตำแหน่ง 3' และ 5' มีผลทำให้ความแดงของสีเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามการเติมกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) จะเพิ่มความเป็นสีน้ำเงินมากยิ่งขึ้น ส่วนสารพวกฟลาโวนและฟลาโวนอล จะให้สีเหลืองมักพบในพืชบางชนิดและในกลีบของดอกไม้

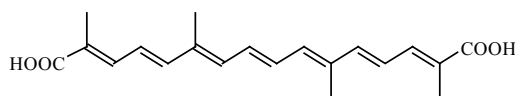


รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิด

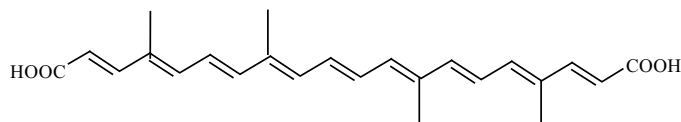
1.2.2.2 คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นสารประกอบลิพิดชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เทอร์ปีน (terpene) เมื่อมีออกซิเจนในโมเลกุลด้วยเรียก เทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) หรือ ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) สารในกลุ่มนี้มีชีวสังเคราะห์มาจากหน่วยไอโซเพนเทน (isopentane unit, C_5) เช่น crocetin จากหญ้าฝรั่น (saffron) มีสีเหลือง Bixin จากเมล็ดคำแสดให้สีส้ม-แดง สารในกลุ่มนี้จะมีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวมาก (รูปที่ 1.4) บิกซินเป็นผลึกสีน้ำตาลแดง ก่อนข้างคงตัวต่อแสง ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ต่อกกรด และค้างรวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ สารประกอบคาโรทีนอยด์อีกชนิดหนึ่งคือ β -carotene ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้เป็นครั้งแรกในระดับอุตสาหกรรมเป็นสารที่มีคุณค่าทางอาหารเนื่องจากเอนไซม์ในตับจะเปลี่ยนเบต้า-คาโรทีนเป็นวิตามินเอ เบต้า-คาโรทีนเป็นสารที่มีผลึกสีม่วงปนแดงไม่ละลายน้ำ เอทานอล กลีเซอริน ละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่คงตัวต่อแสง อากาศ แสง และอุณหภูมิสูงๆ ประมาณ 45°C จะถูกทำลายภายใน 6 สัปดาห์ ส่วน lycopene เป็นเตตระเทอร์ปีน (tetraterpene) ที่มีสีแดง



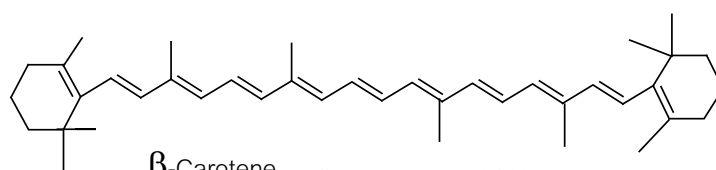
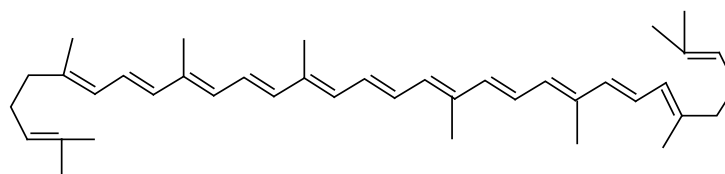
ISOPENTANE UNIT



CROCETIN



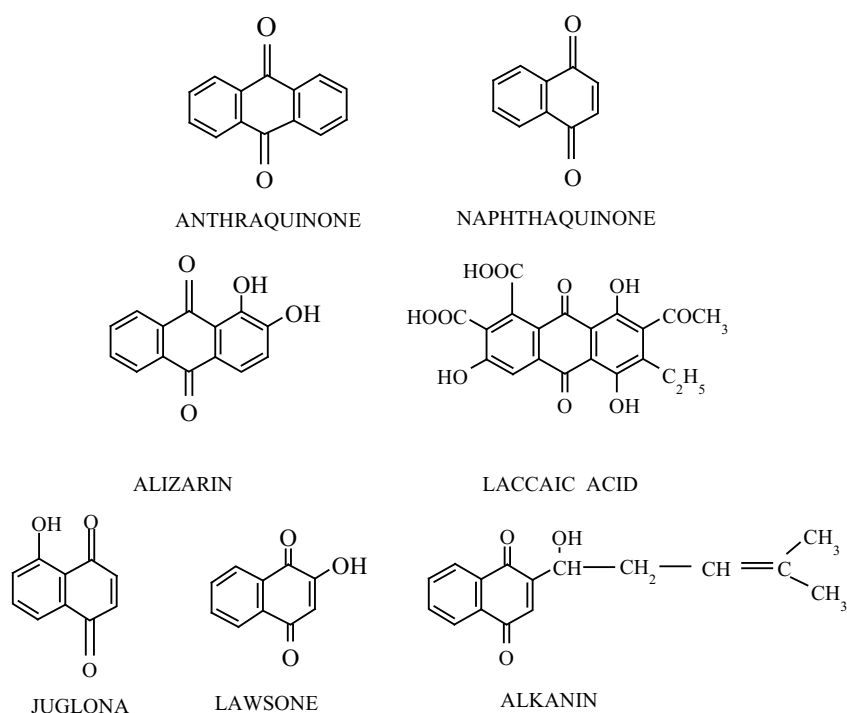
BIXIN

 β -Carotene $C_{40}H_{56}$, MW 536.89Lycopene, $C_{40}H_{56}$, MW 536.89

รูปที่ 1.4 โครงสร้างสารให้สีกลุ่มคาโรทีนอยด์บางชนิด

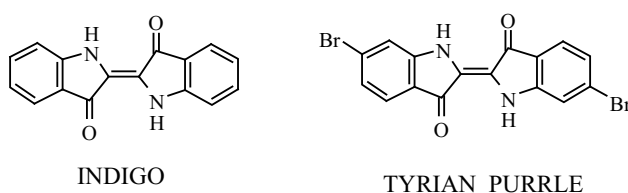
1.2.2.3 แอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน (Anthraquinones and Napthraquinones)

สารในกลุ่มนี้มักจะให้สีแดง ในกลุ่มสารพวกแอนทราควิโนนที่นำมาใช้เป็นสีย้อม ได้แก่ alizarin จากรากต้นไม้จำพวกเข้ (madder) และจากแก่นของต้นยอ กรดแลคเคอิก (Laccaic acid) ได้จากครั่ง ส่วนพวกแนพทราควิโนนจากเปลือกมันฮ่อให้สีเขียวถึงน้ำตาล Lawsone จากใบเทียนกิ่งให้สีน้ำตาลปนแดง และ Alkanin จากต้น alkanet ให้สีแดง (รูปที่ 1.5) สารกลุ่มแอนทราควิโนนมีสูตรโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย 3-ring system เป็นสารที่มีสีแดง-ส้ม แต่อาจพบได้ตั้งแต่สีเหลือง-น้ำตาล แอนทราควิโนนละลายได้ดีในน้ำค้างให้สีชมพู-แดง ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล เบนซีน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม สารแอนทราควิโนนเกือบทุกตัวมีจุดหลอมเหลวสูง ที่พบในพืชชั้นสูงส่วนใหญ่จะถูก hydroxylate ที่ C-1 และ C-2 ในธรรมชาติจะพบแอนทราควิโนนในรูปของกลัยโคไซด์เป็นส่วนใหญ่ และมักพบเป็นชนิด o-glycoside ส่วนน้อยที่พบเป็น C-glycoside เช่น aloin (barbaloin) น้ำตาลที่พบส่วนมากเป็น glucose, primeverose อาจพบ rhamnose ได้บ้าง แอนทราควิโนนกลัยโคไซด์ที่พบอาจจะมี aglycone เป็น reduced form ของแอนทราควิโนนได้อิทธิพลของแอนทราควิโนนซึ่งพบได้หลายแบบทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับอายุของพืชเช่นใน common rhubarb ในใบอ่อนจะพบ anthranol glycoside เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่เป็นราพวก *Monascus purpureus* สามารถผลิตสารสีแดงในกลุ่มแอนทราควิโนนได้และใช้เป็นสีผสมอาหาร เช่น หมูแดง เต้าหู้ยี้ เหล้า ไวน์ เป็นต้น



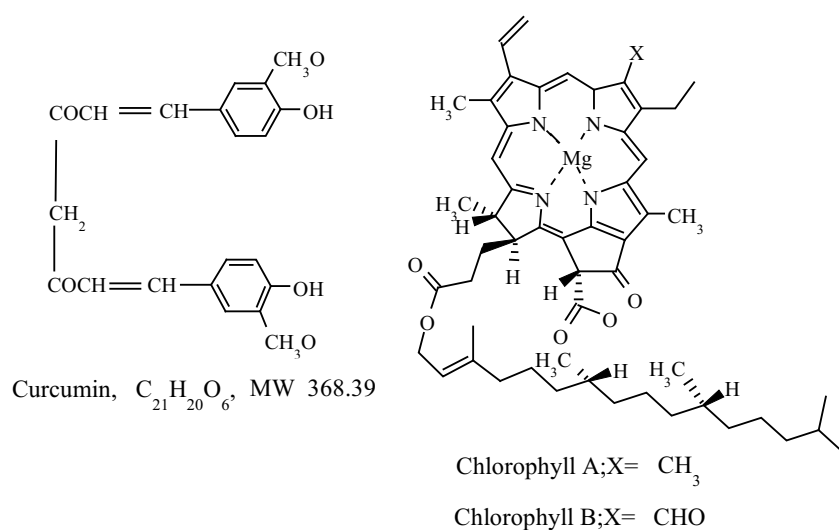
รูปที่ 1.5 โครงสร้างของสารให้สีพวกแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน

1.2.2.4 แอลคาลอยด์ (Alkaloids) แอลคาลอยด์เป็นสารกลุ่มที่พบในพืชชั้นสูง พบบ้างในพืชชั้นต่ำ ในสัตว์และในจุลินทรีย์ เป็นกลุ่มสารที่นำมาใช้มากเพื่อเป็นยารักษาโรคและมีจำนวนไม่น้อยที่เป็นสารพิษปัจจุบันพบแอลคาลอยด์มากกว่า 5,000 ชนิด ตามปกติในโมเลกุลของแอลคาลอยด์จะพบไนโตรเจนอยู่ 1 ตัว แม้ไนโตรเจนจะอยู่ใน heterocyclic ring หรืออยู่ใน side chain ก็ตาม จะทำให้แอลคาลอยด์มีคุณสมบัติเป็นด่าง ไนโตรเจนดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปของ primary amine (R_4N^+X), amine oxide และยังอาจพบอยู่ในรูปของ amide และ imide อีกด้วย แอลคาลอยด์แต่ละชนิดจะมีความเป็นกรดต่างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของไนโตรเจนในโมเลกุล ประเภทของ amine group ตลอดจน ชนิดและจำนวนของ functional group ที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้น สารกลุ่มแอลคาลอยด์ที่ใช้เป็นสีย้อมได้แก่ Indigo สียากคันคราม ส้อมให้สีน้ำเงิน Tyrian เป็นสีที่สกัดได้จากหอยสังข์หนาม (shellfish) อยู่ตามแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนจะให้สีม่วงแดง (รูปที่ 1.6)



รูปที่ 1.6 โครงสร้างของสารให้สีในกลุ่มแอลคาลอยด์บางชนิด

1.2.2.5 สารให้สีกลุ่มผสม สารให้สีกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างต่างจากสารให้สีที่จัดไว้ใน 4 กลุ่มแรก สารเหล่านี้นิยมใช้เป็นสีย้อมอาหารและสีย้อมได้แก่ **Curcumin** จากขมิ้นเป็นผลึกสีเหลืองส้มไม่ละลายในน้ำและอีเทอร์แต่ละลายในเอทานอลและกรดอะซิติกเข้มข้นไม่คงตัวต่อแสงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดและด่าง **Chlorophyll** เป็นสารประกอบประเภท tetrapyrrole ที่มีแมกนีเซียมอยู่ในโครงสร้าง เป็นสารสีเขียวที่พบในพืชซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยใช้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาผลิตสารคาร์โบไฮเดรตได้ สารคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ และ คลอโรฟิลล์บี (รูปที่ 1.7) **Prodigiosin** เป็นสารให้สีแดงที่มีโครงสร้างเป็น tripyrrole ผลิตโดยแบคทีเรียสายพันธุ์ *Serratia sp.* เคยใช้เป็นสารปฏิชีวนะแต่ช่วงหลังพบว่ามีผลข้างเคียงจึงหยุดใช้ เมื่อไม่นานมานี้มีการทดลองที่ชี้ให้เห็นถึงฤทธิ์ของสารนี้ต่อเซลล์มะเร็งแต่ยังไม่ยืนยันแน่นอน เป็นสารที่มีความเสถียรใน

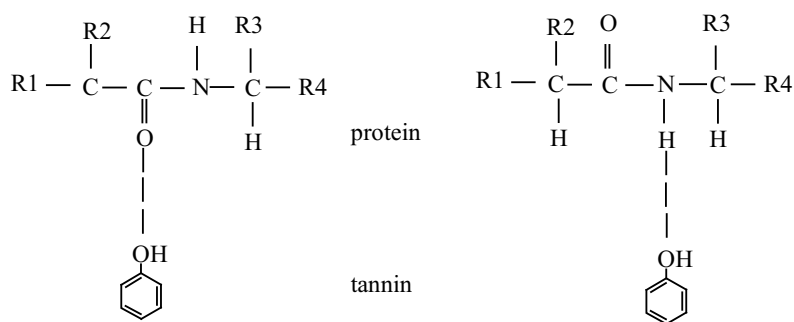


รูปที่ 1.7 โครงสร้างของสารให้สี Curcumin และ Chlorophyll

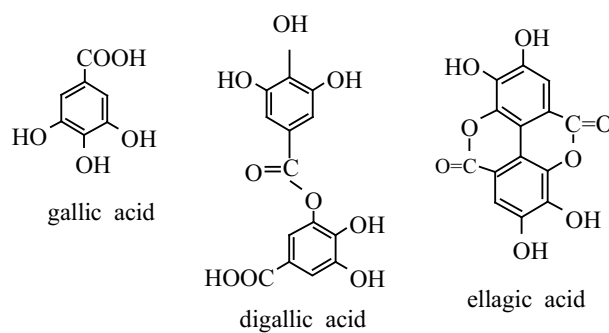
บรรยากาศอาจจะเป็นแหล่งของสีธรรมชาติได้อีกแหล่งหนึ่ง ถ้ามีการนำมาทดลองใช้เป็นสีย้อมแล้วได้ผลดี **แทนนิน (Tannin)** เป็นสารให้สีธรรมชาติที่นิยมใช้เป็นสารช่วยติดสีอื่นๆ ในการย้อมสีธรรมชาติ โดยเฉพาะการย้อมผ้า แทนนินเป็นสารจำพวกสารประกอบพอลิฟีนอลิกและเป็นกลุ่มสารที่พบได้ทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3,000 และมีหมู่ฟีนอลิกที่อิสระอยู่จำพวกหนึ่งซึ่งสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้กับพวกโปรตีน (รูปที่ 1.8) และพวกโพลิเมอร์ ทางชีวภาพ (biopolymer) เช่น เซลลูโลสได้อย่างคงตัวจะเห็นได้ว่าแทนนินมีโครงสร้างซับซ้อนและมีโมเลกุลใหญ่จึงแยกได้ยากเนื่องจากไม่แตกผลึกส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของกลัยโคไซด์ (glycoside) แทนนินละลายได้ในน้ำ สารละลายต่างเจือจาง แอลกอฮอล์ อะซีโตน สารละลายของแทนนินสามารถตกตะกอนโลหะหนัก แอลคาลอยด์ กลัยโคไซด์ โปรตีนและเจลาตินได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือของเหล็กเช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ แทนนินชนิดละลายตัวได้จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ ส่วนแทนนินชนิดรวมตัวแน่นจะให้ตะกอนสีน้ำตาลเขียวจึงใช้ปฏิกิริยานี้ตรวจสอบชนิดของแทนนินในสารสกัดจากพืชได้ จากลักษณะโครงสร้างทางเคมีสามารถแบ่งแทนนินได้ 2 ประเภทคือ

ก. Hydrolysable tannin เป็นกลุ่มสารประกอบ polyester ซึ่งเกิดจาก polyphenol กับน้ำตาลกลูโคสซึ่งแทนนินประเภทนี้สามารถถูกเอนไซม์และกรดไฮโดรไลซ์ออกเป็นโมเลกุลได้ gallic acid, digallic acid, ellagic acid (รูปที่ 1.9) เช่น Gallotanin และ Ellagitannin เป็นต้น

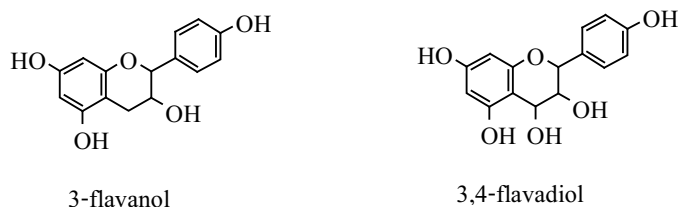
ข. Tannin red คือ phlobaphene เป็นกลุ่มสารประกอบที่เมื่อถูกกรดหรือเอนไซม์แล้วไม่สลายตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ แต่กลับรวมตัวเป็นโพลิเมอร์เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำไม่มีรูปร่างแน่นอนและมีสีแดงซึ่งจะประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ flavan-3-ol และ flavan-3,4- diols (รูปที่ 1.9)



รูปที่ 1.8 การเชื่อมโยงระหว่างโปรตีนกับแทนนิน



ก



ข

รูปที่ 1.9 สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ได้จากการไฮโดรไลซ์แทนนิน (ก) และโครงสร้างหน่วยย่อยของ Tannin red (ข)

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

1.3 การสกัดและวิเคราะห์สารให้สีธรรมชาติจากพืช⁽¹⁴⁾

1.3.1 การสกัด

การสกัดสารสำคัญจากพืชอาจทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่สกัดคุณสมบัติของสารในการทนต่อความร้อน ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดวิธีเหล่านี้ได้แก่

1.3.1.1 Marceration เป็นขบวนการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยวิธีหมักพืชกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิด เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่ หรือ โถ เป็นต้น ทิ้งไว้ 7 วัน หมั่นเขย่าหรือคนบ่อยๆ เมื่อครบกำหนดเวลาจึงค่อยๆ รินเอาสารสกัดออกพยายามบีบเอาสารละลายออกจากกาก (marc) ให้มากที่สุด รวมสารสกัดที่ได้นำไปกรอง การสกัดถ้าจะสกัดให้หมดจดอาจจำเป็นต้องสกัดซ้ำหลายครั้งๆ วิธีนี้มีข้อดีที่สารไม่ถูกความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลายมาก

1.3.1.2 Percolation เป็นขบวนการสกัดสารสำคัญแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า precolator นำพืชมาหมักกับตัวทำละลายพอขึ้น ทิ้งไว้ 1 ชม. เพื่อให้พองตัวเต็มที่แล้วค่อยๆ บรรจุผงพืชที่ละเอียดลงใน precolator เติมตัวทำละลายลงไปให้ระดับตัวทำละลายสูงเหนือผงพืชประมาณ 0.5 ซม. ทิ้งไว้ 24 ชม. จึงเริ่มไขเอาสารสกัดออก โดยคอยเติมตัวทำละลายเหนือผงพืชอย่าให้แห้งเก็บสารสกัดจนการสกัดสมบูรณ์ บีบกากเอาสารสกัดออกมาให้มากที่สุด นำสารสกัดที่เก็บได้ทั้งหมดรวมกันนำไปกรอง

1.3.1.3 Soxhlet Extractor เป็นวิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง โดยใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำ การสกัดทำได้โดยใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายใน flask ระเหยขึ้นไป แล้วกลั่นตัวลงมาใน thimble ซึ่งบรรจุผงพืชไว้ เมื่อตัวทำละลายใน extracting chamber สูงถึงระดับจะเกิดกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงไปใน flask ด้วยวิธีการกาลักน้ำ flask นี้ได้รับความร้อนจาก heating mantle หรือหม้ออังไอน้ำ ตัวทำละลายจึงระเหยขึ้นไป ทิ้งสารสกัดไว้ใน flask ตัวทำละลายเมื่อกระทบ condenser จะกลั่นตัวกลับลงมาสกัดสารใหม่ วนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ความร้อนด้วยจึงอาจทำให้สารเคมีบางชนิดสลายตัว

1.3.1.4 Liquid-liquid Extractor เป็นการสกัดสารจากสารละลายซึ่งเป็นของเหลวลงในตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่ผสมกับตัวทำละลายชนิดแรก แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- ก. Extractan lighter คือตัวทำละลายที่ใช้สกัดเบากว่าตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร
- ข. Raffinate lighter คือตัวทำละลายที่ใช้สกัดหนักกว่าตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร

1.3.2 การแยกบริสุทธิ์

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีตรวจสอบปริมาณสารให้สีแต่ละชนิดที่มีในพืชแต่ละชนิดตลอดจนสมบัติของสารให้สีดังกล่าวจำเป็นต้องทำการแยกให้บริสุทธิ์เสียก่อน สำหรับสารให้สีธรรมชาติขั้นตอนการแยกบริสุทธิ์ไม่ยุ่งยากและวิธีที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

1.3.2.1 โครมาโตกราฟีผิวบาง (Thin-layer Chromatography, TLC)

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

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

ข. Macro-layer TLC เป็น TLC ที่ใช้ทั่วไปและมีขายสำเร็จรูป มีขนาด 5x20, 10x20, 20x20 เซนติเมตร ความหนาของ adsorbent = 0.25 มิลลิเมตร ใช้ทั้ง qualitative และ quantitative

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

1.3.2.2 คอลัมน์โครมาโตกราฟี (Column Chromatography)

เทคนิคของโครมาโตกราฟีชนิดนี้ก็คือ ใส่ตัวทำละลายลงในหลอดรูปทรงกระบอก โดยปกติจะทำด้วยแก้วมีปลายด้านล่างเปิดและปิดได้ สารที่ใช้เป็นวัฏภาคคงที่อาจเป็นตัวดูดซับ (ในกรณีของโครมาโตกราฟีแบบดูดซับ) หรือเป็นของเหลวแผ่นบางๆ ที่เคลือบอยู่บนสารเฉื่อย (ในกรณีของโครมาโตกราฟีแบบแบ่งแยก) สำหรับการเตรียมคอลัมน์นั้นทำได้โดยการกรอกสารที่ใช้เป็นตัวดูดซับแห้ง ๆ ลงไปเลย หรือจะเตรียมโดยเอาตัวดูดซับนี้ผสมกับตัวทำละลายก่อน แล้วจึงใส่ลงในหลอดรูปทรงกระบอก ถ้าหากทำโดยวิธีแรกจะต้องเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ลงไปและจะต้องให้ตัวทำละลายนี้สัมผัสกับตัวดูดซับอย่างทั่วถึง นั่นคือจะต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ระหว่างตัวดูดซับและปรับระดับของตัวทำละลายให้อยู่เหนือตัวดูดซับเล็กน้อย แล้วจึงค่อยๆ เติมสารผสมที่ต้องการแยกลงไป (สารผสมนี้จะต้องละลายในตัวทำละลายที่ปริมาณน้อยที่สุด) หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ละน้อยของเหลวนี้จะไหลผ่านคอลัมน์และรองรับที่ปลายล่างของคอลัมน์ โดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายที่มีโพลาริตี (polarity) สูงขึ้น ถ้าหากเลือกสารตัวดูดซับและตัวทำละลายได้เหมาะสม

สมก็จะสามารถแยกสารแต่ละชนิดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันถ้าหากสารนั้นมีสีก็จะปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีและเมื่อเติมตัวทำละลายไปเรื่อยๆ สารแต่ละชนิดก็จะผ่านออกจากคอลัมน์ ในเวลาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมให้สารต่างๆ แยกกันอยู่ในคอลัมน์แล้วหยุดเติมตัวทำละลายปล่อยให้ตัวทำละลายนี้ผ่านคอลัมน์จนหมด แล้วตัดคอลัมน์เป็นส่วนๆ ตามแถบของสารแต่ละชนิด ดันเอาตัวดูดซับออกจากคอลัมน์แล้วสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากนั้นจึงระเหยเอาตัวทำละลายออกไป ก็จะได้สารแต่ละชนิด ตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการทำ TLC ที่ใช้ตัวชะแตกต่างกันหลายๆ ตัวชะ ถ้าสารบริสุทธิ์จะไม่มีตัวชะแบบใดแยกสารออกจากกันได้อีก หากยังไม่บริสุทธิ์จะทำการแยกซ้ำในคอลัมน์เดิมหรือทำการตกผลึกช่วย

1.3.3 การวิเคราะห์

1.3.3.1 การวิเคราะห์กลุ่มสารให้สีโดยปฏิกิริยาเคมี⁽¹⁴⁾

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

1.3.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีทางสเปกโตรสโกปี (spectroscopy)⁽¹⁴⁾

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

ก. Ultraviolet and visible Spectroscopy

เป็นวิธีการวัดการดูดกลืนแสงของสารในสารละลายที่เจือจาง ที่ช่วงความยาวคลื่น 200-700 นาโนเมตร สำหรับสารที่มีสีวัดที่ 200-700 นาโนเมตร ส่วนสารที่ไม่มีสีวัดที่ 200-400 นาโนเมตร สิ่งสำคัญในการตรวจเอกลักษณ์คือ ความยาวช่วงคลื่น (wave length) ที่มีการดูดกลืนสูงสุด หรือต่ำสุด

ของสารและความเข้มข้นของการดูดกลืน นอกจากวัดการดูดกลืนในสารละลายที่เป็นกลางแล้ว ยังดูผล การเปลี่ยนแปลง pH ต่อการดูดกลืนแสงของสารว่าจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เช่น phenolic compound เมื่อใส่ด่าง ความยาวคลื่นที่สารดูดกลืนแสงจะเคลื่อนไปอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น เรียกปรากฏ การณ์นี้ว่า Bathochromic shift ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ถ้าเป็นลักษณะการเปลี่ยนไปดูดกลืนสาร ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้นลงเรียกว่า hypochromic shift สารบางชนิดจะไม่ดูดกลืนแสงเลย

ข. Infrared Spectroscopy

เป็นการวัดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล พันธะ หรือ functional group ช่วงที่ วัดมีความถี่ $4,000-677\text{ cm}^{-1}$ หรือช่วงคลื่น $2.5-15\text{ nm}$ เราใช้ตำแหน่งของ spectrum และความเข้มข้น ของ peak ว่ามากน้อยหรือปานกลางเทียบกับ spectrum ของสารที่รู้สูตรโครงสร้างจาก IR spectrum จะ ช่วยบอก functional group และประเภทของสารได้ บริเวณเหนือ $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น band หรือ peak ที่ เกิดจากการสั่นของ individual bonds หรือ functional groups เช่น aromatic พบที่ $3,050\text{ (W-M)}$, $2,100\text{ (W)}$, $1,700\text{ (W)}$, $1,600\text{ (W-M)}$, $1,580\text{ (W-M)}$ ส่วนบริเวณที่ต่ำกว่า $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น fingerprint region เกิดจากการสั่นของทั้งโมเลกุล เป็น spectrum ที่ซับซ้อนสารที่จะนำไปทำการ IR spectrum จะต้องเป็น สารที่บริสุทธิ์ อาจใช้สารละลาย $0.1-5\%$ โดยมากใช้คลอโรฟอร์ม หรือ ใช้ของแข็งผสมกับ KBr แล้ว อัดเป็นแผ่นใส หรือ ใช้ Nujal ทำให้เป็น suspension หรือ mull

ค. Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

เป็น spectrum ที่ได้จากการวัด magnetic moment ของ H-atom เนื่องจาก H-atom ที่ ติดอยู่กับ functional group แต่ละอันจะมีค่า magnetic moment แตกต่างกัน เช่น CH_2 , $-\text{CH}_3$, $-\text{CHO}$, $-\text{NH}_2$ เป็นต้น จาก spectrum ของ NMR เราจะได้ค่าของจำนวน H และชนิดของ carbon skeleton ที่ H จับอยู่ ตำแหน่งของ spectrum ใช้ค่า δ (delta) หรือ τ (tau)

$$\tau = 10\delta$$

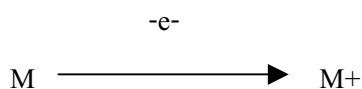
ตัวทำละลายที่ใช้ละลาย sample ได้ CCl_4 , deuterium chloroform (CDCl_3), deuterium oxide (D_2O), deuterium acetone (CD_3COCD_3) ส่วนสารที่มีขั้วใช้ trimethylsilylene, เป็นตัวทำละลาย พวกสารที่เป็น saturated compound จะมีค่าน้อยส่วนพวกที่มี unsaturation, O, N, S จะมีค่าสูง Chemical shifts (δ) จะมีค่า $=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

ง. Mass spectroscopy (MS)

เป็น spectrum ที่ได้จากการระเหย sample เข้าไปใน low pressure system ของ MS

ซึ่งสารจะถูก ionized เกิดการแตกตัวของพันธะได้ไอออนที่มีประจุบวก (positively charged ion) ซึ่งจะถูกร่ง (accelerated) ในสนามแม่เหล็กและการกระจายตัว (disperse) ทำให้สามารถวัดปริมาณ ion สัมพัทธ์ (Relative abundance) ได้เป็น mass/charge

MS จะช่วยในการหาน้ำหนักโมเลกุล โดยที่ใช้ค่า molecular ion ซึ่งเป็น ion ที่เกิดจาก ionize ทำให้ electron หลุดไป 1 ตัว



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

1.3.4 การตรวจสอบสมบัติสารให้สี

สมบัติสารให้สีที่สกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติและการเลือกชนิดและแหล่งของสารให้สีเช่น สมบัติการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีต่อความเป็นกรดด่างของสารละลาย การเปลี่ยนสีเมื่อมีเกลือของโลหะบางชนิดใช้ประโยชน์ในการปรับเปลี่ยนเฉดสีของน้ำย้อม สมบัติการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับสารให้สีสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารให้สีในน้ำย้อมสมบัติการละลายการคงทนของสารให้สีต่อความร้อน แสง และการถูกออกซิไดซ์ในบรรยากาศการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาช่วยในการพิจารณาเลือกใช้สีธรรมชาติให้เหมาะกับงาน เช่น ใช้เป็นสีผสมอาหาร เครื่องสำอาง หรือเป็นสีย้อม เป็นต้น

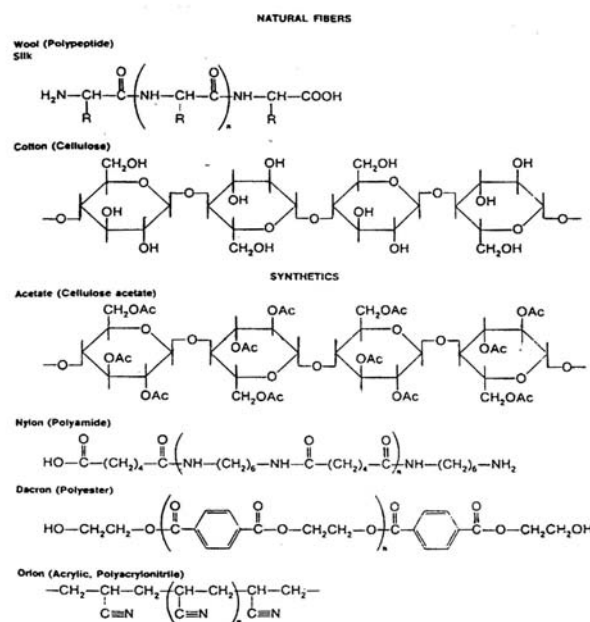
1.4 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ

องค์ประกอบสำคัญของการย้อมสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไปคือ **ชนิดของเส้นใยที่จะย้อม สารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมและกรรมวิธีในการย้อม** ซึ่งทั้งสามส่วนนี้ได้มีการพัฒนามาตลอดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมมีคุณภาพดีมีสีสม่ำเสมอและมีความคงทน มีการค้นพบสีใหม่ๆและเทคนิคการย้อมใหม่ๆอยู่เสมอโดยเฉพาะการย้อมด้วยสีธรรมชาติในปัจจุบันได้ถูกดัดแปลงและพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคใหม่ๆ อย่างไรก็ตามคุณภาพในด้านความคงทนต่อการซัก แสง ความเสถียรของสีและเฉดสียังด้อยกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังขาดเทคนิคที่แน่นอนในการสกัดสารให้สีและการย้อม สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการย้อมมากกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังต้องมีการพัฒนาทางด้านนี้อย่างต่อเนื่องโดยพิจารณาจากสิ่งสำคัญของขบวนการตามลำดับ คือ

1.4.1 ชนิดของเส้นใย เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกของการย้อมสีเพราะการที่จะเข้าใจถึงกลไกการยึดติดระหว่างโมเลกุลของสีกับเส้นใยจะต้องทราบถึงโครงสร้างของเส้นใยด้วยนอกเหนือจากการทราบโครงสร้างของสารให้สีที่ใช้ย้อม เส้นใยอาจจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใย

จากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 1.10)

1.4.1.1 เส้นใยจากธรรมชาติ ได้จากแหล่งธรรมชาติโดยตรง ได้แก่ **เส้นใยจากสัตว์** มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายพอลิเปปไทด์ (polypeptide) เช่น ไหมและขนสัตว์ต่างๆ **เส้นใยจากพืช** ได้จากส่วนต่างๆของพืชมีลักษณะโครงสร้างเป็นเซลลูโลส (cellulose) เช่น ฝ้าย ลินิน ป่าน และปอ นอกจากนี้ยังมี **เส้นใยจากลิ้นแร่** หรือสารประกอบอนินทรีย์ได้แก่ ไยหิน ไยแก้ว เส้นใยจากธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือเส้นใยจากสัตว์และพืช



รูปที่ 1.10 โครงสร้างของเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

1.4.1.2 เส้นใยสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์หรือนำเส้นใยธรรมชาติมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อให้มีสมบัติแตกต่างออกไป เส้นใยสังเคราะห์มีหลายชนิดได้แก่ โพลีเอสเตอร์ ไนลอน(nylon) และอะคริลิก(acrylic) เป็นต้น

เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดสามารถย้อมสีธรรมชาติได้แต่เปอร์เซ็นต์การดูดติดจะแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้เส้นใยประเภทไหม ขนสัตว์ และฝ้ายในการย้อมสีธรรมชาติและมีการศึกษาสมบัติของเส้นใยต่างๆอย่างละเอียด เช่น เส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวเซลลูโลสจากพืชแต่ละชนิดจะมีความยาวของสายกลูโคสไม่เท่ากันซึ่งความยาวของเส้นใยเซลลูโลสนี้เป็นปัจจัยของความแข็งแรงของเส้นใย ความยาวของเซลลูโลสจากต้น Pine มีความยาว 700-800 หน่วยกลูโคส สมบัติโดยทั่วไปสำหรับเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิดคือ ดูดซับได้ดี เมื่อใช้เป็น

เครื่องนุ่งห่มเหมาะสำหรับซัฟแห้งในฤดูร้อนและเหมาะสำหรับทำเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้าและผ้าสำหรับใช้ในการดูดซับอื่นๆ นำความร้อนได้ดีเมื่อใช้เป็นผ้าสวมใส่ในฤดูร้อนจะเย็นสบาย นอกจากนี้ยังคงทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆทำให้ความสามารถนำผ้าฝ้ายไปต้มหรือนึ่งฆ่าเชื้อและไม่ต้องการความระมัดระวังเป็นพิเศษในการรีด ข้อดีของผ้าฝ้ายอันเนื่องมาจากสมบัติของใยเซลลูโลสคือ ยับง่าย มีความหนาแน่นสูงทำให้ผ้าฝ้ายมีน้ำหนักมากกว่าผ้าชนิดอื่นๆไม่ทนกรด เมื่อชื้นเช็ดราขึ้นง่าย เซลลูโลสเป็นสารติดไฟได้ผ้าฝ้ายเมื่อถูกเปลวไฟจะติดไฟได้ง่ายเป็นต้น

การเตรียมเส้นใยหรือสิ่งทอสำหรับการย้อมสีนั้นเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการย้อมสี เป็นการนำด้ายหรือผ้าดิบที่ออกจากโรงปั่นหรือโรงทอมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมด้ายหรือผ้าให้อยู่ในสภาพที่นำไปย้อมสี จุดประสงค์ของการเตรียมดังกล่าวเพื่อจัดสิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใยตามธรรมชาติเช่น สารสีฝุ่นในฝ้าย กาวในไหมดิบหรือเศษไม้ในปอ เป็นต้น หรืออาจติดตามในขั้นตอนการปั่น ทอหรือถัก เช่น แป้งและสิ่งเจือปนอื่นๆเมื่อถูกขจัดออกไปหมดก่อนการย้อมจะมีการดูดติดสีย้อมได้อย่างสม่ำเสมอนอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดีทำให้กระบวนการย้อมมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมในการทำความสะดวกสิ่งทอก่อนย้อมมีความจำเป็นเป็นอันดับแรก และเพื่อให้เส้นใยมีการดูดติดสีย้อมได้มากขึ้น เช่น ในกรณีของผ้าฝ้ายอาจจะต้องมีวิธีการชุบมันซึ่งนอกจากจะทำให้ติดสีได้มากขึ้นแล้วยังได้ผ้าฝ้ายที่มีความเงามันเพิ่มขึ้นจากเดิมและสีที่ติดเข้มข้นนั้นมีความสว่างสดใสด้วย

1.4.2 กรรมวิธีในการย้อม

การย้อมด้วยสีธรรมชาติเปรียบเทียบกับการย้อมสีสังเคราะห์นั้นสามารถแบ่งกรรมวิธีในการย้อมได้ 3 แบบคือ

1.4.2.1 แบบโดยตรง (Direct dyeing) สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำและมีสมบัติพิเศษในการติดเส้นใยได้เองโดยเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยได้โดยตรง กรณีที่เส้นใยเป็นเซลลูโลส เช่น ฝ้าย จะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก (hydroxyl groups, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนไหมและขนสัตว์เป็นเส้นใยที่เป็นพวกพอลิเปปไทด์จะมีหมู่กรด (acidic group, -COOH) และหมู่เบส (basic groups, -NH₂) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาของส่วนที่เป็นหมู่เบสและหมู่กรดในโมเลกุลของสีตามลำดับเกิดเป็นเกลือขึ้นทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออนิก การยึดเหนี่ยวแบบนี้ไม่แข็งแรงดังนั้นการย้อมแบบโดยตรงเป็นวิธีที่ติดสีง่ายแต่ก็หลุดง่ายเช่นเดียวกัน ความคงทนต่ำและได้สีที่ไม่สดใส ตัวอย่างคือ สีจากขมิ้น ดอกคำฝอย

1.4.2.2 แบบแวต (Vat dyeing) สารให้สีที่ย้อมวิธีนี้มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมแบบนี้ต้องทำให้สีนั้นละลายน้ำเสียก่อน ตัวอย่างการย้อมแบบนี้คือ สีอินดิโก จากครามและฮ่อมเป็นสารสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในรูปออกซิไดซ์และไม่ละลายน้ำแต่เมื่อถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้

และเป็นสารละลายไม่มีสีเป็นลิวโคอินดิโก (leucoindigo) ดังนั้นก่อนการย้อมนำสีอินดิโกมารีดิวซ์ก่อน เพื่อให้เป็นสารละลายน้ำได้โดยใช้สารช่วยรีดิวซ์แล้วจึงนำเส้นใยลงย้อมแล้วนำขึ้นไปผึ่งแดด ออกซิเจนในอากาศจะทำให้โมเลกุลของสีเกิดการออกซิไดซ์กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุลของสีจึงถูกกักขังอยู่ในเส้นใยและเนื่องจากอินดิโกนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การติดสีมีความคงทน ซึ่งนิยมใช้ย้อมผ้าฝ้ายและผ้าใยสน์ ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นสารธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในสารละลายสีย้อมมีหลายชนิดเช่น กรดมะนาว กรดน้ำส้ม หรืออัสจูลินทรีย์ การย้อมในลักษณะนี้สีจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปรีดิวซ์และละลายน้ำย้อมติดบนเส้นใยได้ที่ละน้อยซึ่งต้องทำการย้อมหลายๆ ครั้งจนกว่าจะได้สีเข้มตามต้องการ สารที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ย้อมอินดิโกสังเคราะห์มักเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การใช้สารธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์จึงเป็นที่นิยมในการย้อมสีธรรมชาติและมีการศึกษาพัฒนาวิธีการมาโดยตลอด ชาวอินเดียสกัดอินดิโกจากครามโดยการหมักน้ำที่อุณหภูมิห้องอาศัยเอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์อินดิแคน น้ำสกัดที่ได้นำมาออกซิไดซ์ในบรรยากาศโดยใช้การกวนให้อากาศ น้ำสกัดจะเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นตะกอนสีน้ำตาล การเติมน้ำค้างในช่วงออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น แยกตะกอนมาต้มกับกรดซัลฟูริกเจือจางตามด้วยน้ำแล้วกรองตะกอนผึ่งลมให้แห้ง⁽¹⁶⁾ ต้นครามที่ใช้สูงประมาณ 3 ฟุตเมื่อนำมาสกัดจะมีปริมาณสารให้สีสูงสุด 0.4 % ของน้ำหนักต้นครามที่ใช้ การย้อมสารสีที่สกัดจากต้นครามสด โดยการต้มกับน้ำจะได้น้ำย้อมสีเขียวอมฟ้าซึ่งเมื่อย้อมจะได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมเป็นสีเขียวอมฟ้า

1.4.2.3 แบบใช้มอร์แดนต์ (Mordant dyeing) การย้อมแบบนี้ต้องใช้สารช่วยติดสีหรือที่เรียกว่า มอร์แดนต์ เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น ทำให้สีที่ได้จากการย้อมโดยวิธีนี้มีความคงทน ไม่ตกสีหรือซีดง่าย การย้อมวิธีนี้ใช้วิธีการย้อมที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากสีธรรมชาติจะติดสีได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60-100°C และระหว่างการย้อมต้องคนบ่อยๆ เพื่อป้องกันการติดสีไม่สม่ำเสมอ สารมอร์แดนต์ที่นิยมใช้คือสารละลายเกลือโลหะและสารประกอบแทนนินจากพืชหลายชนิด เกลือของโลหะที่ใช้กันมาก คือ Alum (Potassium aluminium sulfate, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) หรือสารส้ม Chrome (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) ดีบุก (Tin, Stannous chloride, $SnCl_2$) คอปเปอร์รัส (Copperas, Ferrous sulphate, $FeSO_4$), Blue Viriol (Copper sulfate, $CuSO_4$) สีที่ย้อมโดยวิธีนี้เรียกสีมอร์แดนต์ ได้แก่ สีจากรากไม้ เปลือกไม้ แก่นไม้ ใบ ดอก ผล เมล็ด เป็นต้น ตัวอย่างเช่นสีจากรากยอป่า เปลือกไม้ฝาง แก่นขนุน ใบยูคาลิปตัส ใบต้วแดง ดอกดาวเรือง เมล็ดคำเงาะหรือคำแสด การย้อมโดยวิธีนี้อาจทำได้ใน 3 ลักษณะคือ

- ก. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สารละลายมอร์แดนต์ก่อนแล้วจึงทำการย้อมสี (Premordanting)
- ข. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาย้อมในสารละลายสีที่ใส่มอร์แดนต์ด้วย
- ค. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สีก่อนแล้วจึงย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์ (After mordanting)

การย้อมทั้ง 3 ลักษณะนี้ได้มีผู้ศึกษาและทดลองย้อมแบบทั้ง ก และ ข ข และ ค ก และ ค และ ข และค รวมกันโดยใช้มอร์แดนต์ดังกล่าวข้างต้นผลที่ได้ยังไม่พบความแตกต่างในแง่การติดสีเข้มและความคงทนอย่างเด่นชัดมีการทดลองพบว่า การต้มเส้นใยเซลลูโลสในสารละลายมอร์แดนต์ที่ประกอบด้วย สารส้มและโซดาแอชในอัตราส่วน 7 : 1 โดยน้ำหนักเตรียมโดยการค่อยๆเติมสารส้มลงในสารละลายโซดาแอชจนให้เข้ากันแล้วต้มที่ 150 °ซ จะได้เป็นสารละลายมอร์แดนต์ที่มีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แขวนลอยอยู่ในรูปคอลลอยด์ จากนั้นนำเส้นใยมาใส่และปรับอุณหภูมิเป็น 40 °ซ ประมาณ 5 นาทีแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 °ซ พร้อมกับคน จากนั้นต้มในสารละลายกรดแทนนิกก่อนนำไปย้อมผ้าจะทำให้สีติดทนไม่ตกสี⁽¹⁷⁾ มีข้อดีคือไม่ต้องใช้มอร์แดนต์ที่เป็นเกลือโลหะหนัก ในแง่การติดสีเข้มมีผู้ศึกษาการใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยเส้นใยเซลลูโลส ย่อยเป็งโดยแอลฟาอมิเลสและโปรตีนโดยทริปซินก่อนนำไปย้อมพบว่า เส้นใยติดสีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวข้างต้นโดยไม่มีผลกระทบต่อความคงทนของสีและเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสที่ทำ premordanting ด้วยเกลือของโลหะ⁽¹⁸⁾ นักวิจัยชาวญี่ปุ่นทดลองใช้กรดแทนนิกความเข้มข้นต่างๆ ช่วง 0.05-1.0 % เป็นมอร์แดนต์สำหรับเส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ ไหม ไนลอน ฝ้าย และขนสัตว์ พบว่ากรดแทนนิกจะติดกับผ้าไหมและไนลอนได้มากกว่าติดกับผ้าฝ้ายและขนสัตว์⁽¹⁹⁾

เส้นใยที่เป็นโปรตีนเช่น ขนสัตว์ ไหม จะจับสีจากโคชินีล (Cochineal) ซึ่งเป็นสีแดง ส้มจากตัวแมลงตากแห้ง *Coccus cacti* จากแมงกิ้งโกได้ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นสิ่งจำเป็นนอกเหนือจากการทำ mordanting ฝ้ายก่อนย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อม คือการเตรียมฝ้ายให้มีความชอบจับกับสีย้อมได้ดี มีการทดลองเตรียมผ้าฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยการดัดใช้โปรตีน 3 ชนิดคือ เจลาติน โปรตีนจากถั่วเหลือง และอีโมโกลบินจากวัว และกรดอะมิโน 5 ชนิดได้แก่ L-asparagine, L-glutamic acid, L-proline, L-arginine และ L-lysine พบว่า เส้นใยเซลลูโลสจะสามารถจับกับสีมากขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้ยกเว้นเจลาตินแต่เส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมโดยใช้กรดอะมิโนจะมีความชอบจับกับสีย้อมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองสรุปได้ว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใย⁽²⁰⁾ ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ที่จะนำไปพัฒนาการย้อมเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยสีธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ ให้ติดสีเข้มและมีความคงทน

1.5 การตรวจสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ

ความคงทนของสีย้อมต่อการซักและต่อแสงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นเครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะต้องผ่านการซักล้างบ่อยครั้ง ถ้าเลือกสีย้อมและกรรมวิธีการย้อมไม่เหมาะสมมีความคงทนต่อการซักไม่ดีพอจะทำให้สีเปลี่ยนไปตกซีดจางและเปื้อนติดสีบนผ้าอื่นก่อนที่จะหมดอายุการใช้งานของผ้าเป็นการสร้างปัญหาให้แก่ผู้ใช้สำหรับความคงทนต่อ

แสงนั้น แสงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับสีย้อมได้และโอกาสที่เครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะถูกกับแสงแดดแรงๆจะมีมากโดยเฉพาะประเทศเมืองร้อน ดังนั้นถ้าเลือกใช้สีย้อมที่มีความคงทนต่อแสงไม่ดีพอก็จะทำให้สีของผ้าซีดจางหรือเปลี่ยนสีเร็วก่อนหมดอายุการใช้งานของเนื้อผ้า ดังนั้นการที่จะเลือกสีย้อมและพัฒนาการย้อมให้เหมาะสมผู้ย้อมจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนต่อการซักและแสงของสีย้อมตลอดจนวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้

1.5.1 ความคงทนของสีย้อมต่อการซักและวิธีการทดสอบ⁽²¹⁻²⁴⁾

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความคงทนของสีย้อมต่อการซักได้แก่ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใย กรรมวิธีการย้อม ขั้นตอนการซักล้างและการย้อมทับภายหลังการย้อม

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลายประเภททั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมีความแตกต่างกันภายในโครงสร้างของเส้นใยและสีย้อมมีการเกาะติดในเส้นใยอย่างยากแก่การหลุดออกมาในระหว่างการซักล้าง ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใยอาจเกิดได้ใน 3 ลักษณะ คือ อาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ อาศัยการเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยและการเกาะติดด้วยการกักขังสีย้อมในเส้นใย

การเกาะติดของสีย้อมโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ 2 ประเภท คือ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มเคมีที่มีประจุต่างกันเกิดกับเส้นใยประเภทโปรตีน ในลอนที่ย้อมด้วยสีแอสิดและเบสิก แรงดึงดูดประเภทที่สองคือ แรงวันเดอร์วาล (Van der Waals forces) ซึ่งเกิดขึ้นได้กับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใยเข้ามาอยู่ใกล้กันมาก กำลังแรงดึงดูดจะขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่สัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลใหญ่กำลังแรงดึงดูดประเภทนี้จะมีมาก นอกจากนี้การกระจายของอิเล็กตรอนที่ไม่สมดุลจะเกิดแหล่งประจุบวกและลบที่ถาวรบนโมเลกุลของสารที่สามารถเกิดแรงดึงดูดกับประจุใกล้เคียงได้ แรงดึงดูดอีกแบบที่เกิดขึ้นกับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทคือ การเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นกับสารที่มีไฮโดรเจนอะตอมอยู่ติดกับอะตอมที่มี electronegativity สูงเช่น O, N และ halogen ในลักษณะเช่นนี้ไฮโดรเจนจะมีประจุบวกที่ถาวรและมีกำลังค่อนข้างแรงมากเกิดแรงดึงดูดกับแหล่งประจุลบของโมเลกุลข้างเคียงได้และมีกำลังแรงกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพข้างต้น สีย้อมที่มีลักษณะการเกาะติดในเส้นใยโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพดังกล่าวเป็นสำคัญได้แก่ สีแอสิด สีเบสิกและสีไครีท์ จะมีความคงทนต่อการซักในช่วงต่ำมากถึงดีพอใช้ เพราะแรงดึงดูดทางกายภาพมีไม่มากและเป็นแรงที่อ่อนสามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเบสของสารละลาย

การเกาะติดโดยอาศัยการเกิดพันธะเคมีแบบโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสีย้อมกับเส้นใย เช่นในกรณีที่ย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟโดยโมเลกุลของสีย้อมจะประกอบด้วยกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโควาเลนต์

กับกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใย และพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นเป็นพันธะที่มีพลังงานสูงแข็งแรง ทำให้ยากต่อการถูกทำลาย ดังนั้นสีย้อมจะมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

การเกาะติดโดยการกักขังสีย้อมภายในเส้นใยเพื่อให้มีความคงทนต่อการซักสูงทำได้ 2 วิธี คือ ในระหว่างการย้อมจะเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลในเส้นใยให้ใหญ่เป็นพิเศษซึ่งส่วนมากจะใช้ความร้อน จากนั้นจะให้สีย้อมแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างดังกล่าว ภายหลังการย้อมจะปิดช่องว่างนั้นลงทำให้สีย้อมถูกขังในเส้นใย การเกาะติดเกิดขึ้นกับเส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิด อีกวิธีหนึ่งคือการสังเคราะห์สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ในเส้นใย เช่นการย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมเช่นอินดิโกโดยเมื่อเริ่มย้อมจะทำการเปลี่ยนสีย้อมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนเมื่อย้อมเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนสีย้อมให้กลับมามีอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำยังอยู่ในเส้นใย

กรรมวิธีการย้อม ก็มีความสำคัญในการทำให้อ้อมมีความคงทนต่อการซักเช่น สิริแอคทิฟมีความคงทนต่อการซักสูงเพราะเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเมื่อเติมด่างลงไปถ้าย้อมไม่ถูกวิธีก็จะทำให้ความคงทนต่อการซักไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ในการย้อมถ้าใช้เวลาในการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปในเส้นใยไม่เพียงพอแล้วจะทำให้สีย้อมอยู่ในบริเวณพื้นผิวของเส้นใยเท่านั้น ความคงทนต่อการซักก็จะลดลงด้วย

ขั้นตอนการซักล้าง ภายหลังการย้อมจำเป็นต้องมีการซักล้างเพื่อกำจัดโมเลกุลของสีย้อมส่วนเกินที่ติดอยู่อย่างหลวมๆให้หลุดออกไป ถ้าซักออกไม่หมดเมื่อนำไปทดสอบคุณภาพความคงทนของสีหรือผู้ใช้งานไปซักล้างจะทำให้สีหลุดออกมาได้อีกทำให้เสียความรู้สึกของผู้ใช้

การย้อมทับหลังการย้อม เป็นกระบวนการที่เพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซักให้ดีขึ้น เช่นในกรณีที่ย้อมด้วยสีไครเร็กซ์ การย้อมทับด้วย Cationic fixing agent จะทำให้สีติดทนยิ่งขึ้น

วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการซัก

ในการทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการซักจำเป็นต้องระบุทั้งการเปลี่ยนแปลงของสีและการเปื้อนติดของสีบนผ้าขาว (staining) วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวัดค่าความคงทนต่อการซักมีด้วยกันหลายวิธี เช่นวิธีของ AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists), ISO (The international Organization for Standardization) และ สมอ. (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) เป็นต้น แต่ละวิธีจะมีวิธีการทดสอบคล้ายคลึงกันโดยแบ่งย่อยออกเป็น 5 วิธีด้วยกันซึ่งแต่ละวิธีจะแตกต่างกันที่อุณหภูมิ ความเข้มข้นของน้ำสบู่ และเวลาที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ISO จะมีวิธีทดสอบ 5 วิธี คือ ISO No.1 เป็นวิธีที่มีสภาวะในการทดสอบน้อยที่สุดเปรียบเสมือนการซักด้วยมือ ส่วน ISO No. 5 จะมีการทดสอบรุนแรงที่สุด เหมาะกับเส้นใยที่แข็งแรงเช่น ผ้าฝ้ายและผ้าลินินเท่านั้น และ ISO No. 3 จะมีสภาวะการทดสอบรุนแรงสำหรับเส้นใยขนสัตว์แต่ปานกลางสำหรับเซลลูโลส

วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการซักโดยทั่วไปทำโดยการนำตัวอย่างทดสอบขนาด 10x4 ตารางเซนติเมตร มาประกบด้วยผ้าฝ้ายสีขาวและผ้าใยขนสัตว์ที่ไม่ได้ผ่านการย้อมขึ้นละ 5x4 ตารางเซนติเมตร แล้วเย็บรอบทั้ง 4 ด้านโดยจะมีส่วนของชิ้นตัวอย่างที่ไม่ถูกปิดยื่นออกมา จากนั้นนำไปใส่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายน้ำสบู่ 5 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิประมาณ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยคนตลอดเวลาหรือเป็นครั้งคราว ชะล้างชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำเย็นที่ไหลจากก๊อกน้ำเป็นเวลา 10 นาที แล้วบีบน้ำออก คึงด้ายที่เย็บชิ้นตัวอย่างออก 3 ด้านคือด้านสั้น 1 ด้านและด้านยาว 2 ด้าน เปิดผ้าที่ประกบออกและนำไปตากแห้งโดยผ้าทั้ง 3 ชิ้นจะติดกันเฉพาะด้านที่เย็บติดกันเท่านั้น กำหนดระดับคุณภาพของความคงทนต่อการซักด้านการเปลี่ยนติดของสีโดยเปรียบเทียบชิ้นผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการย้อมที่นำไปประกบตอนซักกับชิ้นผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ทำการทดสอบและไม่ได้ผ่านการย้อมโดยใช้ Gray Scale for Staining กำหนดคุณภาพของความคงทนต่อการซักด้านการเปลี่ยนแปลงของสีโดยนำส่วนของชิ้นตัวอย่างที่ไม่ถูกปิดตอนทดสอบเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างเดิมที่ไม่ได้ทำการทดสอบโดยใช้ Gray Scale for Colour Change ระดับคุณภาพความคงทนต่อการซักด้านการเปลี่ยนติดของสีและการเปลี่ยนแปลงของสีจะอยู่ช่วงระดับ 1 ถึง 5 เริ่มตั้งแต่ระดับต่ำมาก ต่ำ พอใช้ ดีและดีมาก ตามลำดับ ในการกำหนดคุณภาพของความคงทนต่อการซัก จำเป็นต้องระบุวิธีการทดสอบและเปอร์เซ็นต์ของสีย้อมหรือความเข้ม มาตรฐาน (Standard depth) เช่น 2/1, 1/1, 1/3, 1/2, 1/25 เนื่องจากการที่ผ้ายังมีสีเข้มความคงทนของสีย้อมต่อการซักจะต่ำ โดยทั่วไปสีย้อมความมีค่าความคงทนต่อการซักตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป

1.5.2 ความคงทนของสีย้อมต่อแสงและวิธีทดสอบ⁽²⁵⁻²⁸⁾

สีย้อมทุกชนิดเมื่อโดนแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากแสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งเมื่อตกกระทบบนสีย้อมสามารถกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของสีย้อมหรือทำให้สีย้อมเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นที่อยู่ใกล้และเปลี่ยนรูปได้ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีย้อมเมื่อโดนแสงเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ที่พบบ่อยที่สุดคือการซีดจางของสี การเปลี่ยนสีหรือทำให้ความสดใสของสีลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดหรือในรูปแบบใดขึ้นกับองค์ประกอบรวมๆกันหลายอย่าง ที่สำคัญคือ **สูตรโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม** ซึ่งมีมากมายหลายชนิดที่มีความคงทนต่อแสงต่างกัน เช่น สีเบสิกที่มีกลุ่มแอมโมเนียม ออโซเนียมหรือซัลโฟเนียมอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจะมีความคงทนต่อแสงต่ำมากในขณะที่สีแวนดีนที่เป็นสารประกอบของแอนทราควิโนนมักจะมีมีความคงทนต่อแสงสูงและสีที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะก็มักจะทนแสงดีเช่นกัน**องค์ประกอบของสภาวะแวดล้อม** ได้แก่ ก๊าซต่างๆในบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น ก็มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง เช่น ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมเมื่อโดนแสงทำให้สีซีดจางเร็วขึ้น แต่คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนไม่มีผลต่อสีย้อม ความร้อนและความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อมเมื่อโดนแสงเช่นกัน **สูตรโครงสร้างทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใย** โครงสร้างของเส้นใยที่แน่นหนาเส้นใย

สังเคราะห์จะทนแสงดีกว่าเส้นใยธรรมชาติเพราะโอกาสที่สารต่างๆในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยามีน้อย เส้นใยสังเคราะห์ดูดความชื้นได้น้อยกว่าเส้นใยธรรมชาติจึงมีความคงทนต่อแสงสูงกว่าด้วยเพราะความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อมดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้การซีดจางของสียังขึ้นกับส่วนประกอบของแสงที่มากกระทบว่ามีรังสีแสงที่ทำให้เกิดการซีดจางมากน้อยเพียงใด โดยปกติรังสีอุลตราไวโอเลตและรังสีแสงที่มีความยาวคลื่นถึงประมาณ 580 นาโนเมตร จะทำให้เกิดการซีดจางของสีย้อมได้มากกว่ารังสีแสงในช่วงตั้งแต่ 580 นาโนเมตรขึ้นไป ปริมาณของสีย้อมที่อยู่บนเส้นใย มีผลต่อการทนแสงเช่นกันกล่าวคือ ถ้าย้อมสีเข้มจะทนแสงได้ดีกว่าย้อมสีอ่อนเพราะสีย้อมจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ดีมากกว่าสีอ่อน ดังนั้นการอ้างถึงความคงทนต่อแสงของสีย้อมตัวใดจึงควรต้องระบุความเข้มของสีบนชิ้นทดสอบด้วย ปริมาณสารแปลกปลอมอื่นๆในเส้นใย เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทนแสงของสีย้อม เช่น สารที่ไต่ลงไปในเส้นใยเพื่อลดความเงามันของเส้นใยจะเร่งการเกิดการสลายของสีย้อมเมื่อโดนแสงเช่นเดียวกับสารที่ช่วยติดสีบนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ถ้ากำจัดไม่หมดหลังการย้อมจะมีผลทำให้ความคงทนต่อแสงลดลงถึง 2 ระดับ นอกจากนี้สารตกค้างนุ่มหรือสารที่เหลืตกค้างอยู่บนเส้นใย เช่น กรด ด่าง จะทำให้ความคงทนของสีย้อมต่อแสงลดลงเช่นกัน

วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อแสง

ในการทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อแสง จำเป็นต้องใช้วิธีทดสอบที่ทำให้ได้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากแสงธรรมชาติมากที่สุดและให้ผลการทดสอบสม่ำเสมอ มาตรฐานที่ใช้ในการวัดค่าความคงทนของสีย้อมต่อแสงมีด้วยกันหลายวิธีเช่น

การทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อแสง⁽²⁵⁻²⁶⁾ จำเป็นต้องทดสอบเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุดและให้ผลการทดลองที่สม่ำเสมอมีวิธีมาตรฐานที่ใช้หลายวิธี เช่น วิธีของ AATCC (American Association of Textile Chemists and Colourists) ISO (The International Organization for Standardization) และ สมอ. (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีการทดสอบที่คล้ายคลึงกัน วิธีทดสอบโดยทั่วไปจะประกอบด้วยการนำชิ้นตัวอย่างทดสอบมาอบแสงพร้อมกันกับผ้าตัวอย่างมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์ที่ย้อมด้วยสีที่มีความคงทนต่อแสงแตกต่างกันไป 8 ระดับตามเวลาที่กำหนด แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้อาจใช้แสงแดดหรือแสงประดิษฐ์ที่ใกล้เคียงกับแสงแดด เช่นแสงจากหลอดไฟซีนอนอาร์คหรือหลอดไฟคาร์บอนอาร์ค เพื่อให้ผ้าเกิดการซีดจางหลังจากโดนแสง จากนั้นก็นำมาเปรียบเทียบความคงทนของสีย้อมต่อแสงของผ้าตัวอย่างทดสอบกับผ้ามาตรฐาน และกำหนดระดับคุณภาพความคงทนของสีย้อมต่อแสง ความคงทนต่อแสงของสีย้อมที่ใช้กับวัสดุสิ่งทอนั้นจะอยู่ในช่วงระดับ 1-8 คือ

ระดับ 1	ต่ำมาก	ระดับ 3	พอใช้
ระดับ 2	ต่ำ	ระดับ 4	ดีพอใช้

ระดับ 5	ดี	ระดับ 7	ดีเยี่ยม
ระดับ 6	ดีมาก	ระดับ 8	ดีเลิศ

ถ้าสี่ข้อมตัวใดมีความคงทนต่อแสงอยู่ระหว่างช่วงระดับที่กำหนด ให้เขียนเป็นค่าระหว่างระดับทั้งสอง เช่นระดับ 1-2 หมายถึงค่าความคงทนที่สูงกว่าระดับ 1 แต่ไม่ถึงระดับ 2 โดยทั่วไปสี่ข้อมที่มีความคงทนดีควรมีค่าความคงทนต่อแสงตั้งแต่ระดับ 5 ขึ้นไป

1.6 สถานการณ์ปัจจุบันของสี่ข้อมธรรมชาติ^(3,16)

ดังกล่าวแล้วว่าสี่ข้อมบพาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยก่อนพุทธกาลซึ่งการใช้สี่ข้อมในสมัยนั้นเป็นขบวนการที่ย่งยากใช้แรงงานและสิ้นเปลืองเวลามากทั้งยังมีขีดจำกัดในด้านจำนวนชนิดของสีที่มีอยู่ อย่างไรก็ตามศิลปะของการสกัดสีธรรมชาติและการย้อมก็มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ทั่วทุกมุมโลกทราบจนกระทั่งปีพุทธศักราช 2399 ได้มีการค้นพบการสังเคราะห์สีโดยวิธีเคมีขึ้นเป็นครั้งแรก เคมีของสี่ข้อมและเทคโนโลยีของการย้อมได้พัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วและมีข้อดีตรงที่มีสีสดสามารถเตรียมให้มีสีต่างๆได้ตามใจชอบในปริมาณที่มาก สีคงทนไม่ตกง่าย ทนต่อการซักและแสงแดดและยังสามารถเลือกย้อมให้เหมาะกับเส้นใยต่างๆได้ดีซึ่งสมบัติเหล่านี้สี่ธรรมชาติส่วนใหญ่สู้ไม่ได้ทำให้สี่ธรรมชาติหมดความนิยมไปปัจจุบันมีสีสังเคราะห์มากมายหลายชนิดที่ใช้ได้กับเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ โรงงานสี่ข้อมและงานพิมพ์ทั้งหลายได้ใช้สีสังเคราะห์เหล่านี้ในการตอบสนองความต้องการที่ไม่หยุดยั้งของผู้บริโภค แต่สี่ธรรมชาติก็มีส่วนดีคือสีไม่ฉูดฉาด สีอ่อนเย็นตากว่าสีสังเคราะห์จึงทำให้การย้อมสี่ธรรมชาติยังคงมีหลงเหลืออยู่บ้าง

ในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น การขยายตัวด้านธุรกิจท่องเที่ยวและด้านอุตสาหกรรมต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็วมนุษย์มีความสะดวกสบายกับการใช้เครื่องอุปโภคบริโภคและเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆมากขึ้นในขณะเดียวกันสิ่งเหล่านี้มากมายหลายชนิดก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการณรงค์เพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในทุกด้าน ในแง่ของสี่ข้อมพบว่ามีสีสังเคราะห์หลายชนิดที่มีโครงสร้างเคมีเป็นอันตรายต่อสุขภาพและในขบวนการย้อมที่ใช้สารช่วยติดสีที่เป็นเกลือโลหะหนักก็เป็นอันตรายเช่นกัน น้ำทิ้งจากการย้อมทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ปัจจุบันมีการตื่นตัวเกี่ยวกับการใช้สี่ธรรมชาติกันมากขึ้น มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อฟื้นฟูภูมิปัญญาดั้งเดิมเกี่ยวกับสี่ธรรมชาติและสีธรรมชาติและการย้อมเพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าสีสังเคราะห์ สำรวจความต้องการและส่งเสริมการตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์ย้อมสี่ธรรมชาติ มีการรวบรวมแหล่งและชนิดของสารให้สี่ธรรมชาติตลอดจนวิธีการสกัดและการใช้ กลุ่มคนจำนวนไม่น้อยในยุโรป อเมริกาและญี่ปุ่นได้ตระหนักถึงพิษภัยจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วที่ปราศจากการคำนึงถึงผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและได้สร้างพลังแห่งการบริโภคสินค้าปลอดสารพิษ ซึ่งพลังแห่งการบริโภคนี้นี้ได้ช่วยกระตุ้นให้การพัฒนาและค้นคว้าเรื่องสี่ธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง

และมีประสิทธิภาพ สำหรับประเทศไทยเองการย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาดั้งเดิมที่เกือบจะสูญหายไปท่ามกลางความทันสมัยของสังคมไทยแต่ยังโชคดีที่ยังมีผู้สืบสานภูมิปัญญานี้ไว้บ้างประกอบกับพลังกระตุ้นจากผู้บริโภคทำให้ภูมิปัญญาในการย้อมสีธรรมชาติได้ฟื้นกลับมามีชีวิตในสังคมไทยอีกครั้งหนึ่ง กองส่งเสริมอุตสาหกรรมในครอบครัวได้ทำการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติและการทอผ้าด้วยมือควบคู่ไปกับการเพาะปลูกขยายพันธุ์พืชให้สีธรรมชาติมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยได้ทำการค้นคว้าทดลองและฝึกอบรมให้แก่ราษฎรซึ่งเป็นกลุ่มทอผ้าตามบ้านเพื่อเป็นรายได้เสริมของครอบครัวในหลักสูตรเบื้องต้นและเพิ่มเติมเทคนิคการย้อมเพื่อป้องกันสีตกพร้อมกับจัดทำตารางรายชื่อต้นไม้ที่ให้สีไว้ด้วย ในระยะ 7-8 ปีที่ผ่านมาทางภาคเหนือของประเทศไทย มีการพัฒนาการท่องเที่ยวและด้านอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลให้ความต้องการผ้าทอมือมีมากขึ้น ทำให้การทอผ้าแต่เดิมเพียงเพื่อใช้ในบ้านเปลี่ยนมาเป็นการค้า มีการตั้งโรงทอขึ้นหลายแห่ง บรรดาต้นไม้ให้สีก็ถูกโค่นเพื่อขายให้แก่โรงทอและช่างทอจนไม่พอต่อความต้องการของตลาด ดังนั้นจึงมีการใช้สีเคมีกันมากขึ้นอีกเพื่อย้อมแทนหรือผสมลงในสีธรรมชาติ ทางภาคอีสานเองก็เป็นแหล่งทอผ้าแหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทยซึ่งไม่มีป่าเหลือแล้วจึงน่าจะมีการร่วมมือกันฟื้นฟูสภาพแวดล้อมและธรรมชาติ แม้จะมีการปลูกต้นไม้ให้สีเพื่อใช้ย้อมแต่ก็โค่นไม้ต้นใช้จึงใช้สีสังเคราะห์กันอย่างกว้างขวางแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะบรรดาโรงงานผ้าไหมต่างๆ ดังนั้นสถานภาพของสีย้อมธรรมชาติในปัจจุบันยังด้อยกว่าสีสังเคราะห์ในด้านปริมาณจากแหล่งธรรมชาติ กรรมวิธีการย้อม ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและความหลากหลายและถ้ามองในแง่ความปลอดภัยต่อสุขภาพและระบบนิเวศน์วิทยาของสีธรรมชาติก็ยังไม่เหนือกว่าสีสังเคราะห์ที่คัดเลือกแล้วว่าปลอดภัย ด้วยเหตุนี้สีธรรมชาติจึงยังไม่สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับวิกฤตการณ์ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์อันเกิดจากสิ่งทอได้ในระยะเวลาสั้นๆ แต่ในระยะยาวสีธรรมชาติจะมีโอกาสอย่างมากในการนำมาใช้ในปริมาณที่มากขึ้นหลังจากที่ได้มีการวิจัยทั้งทางด้านพื้นฐานและประยุกต์ของสีย้อมและเคมีของสิ่งทออย่างกว้างขวางแล้ว

1.7 แนวโน้มใหม่ของการวิจัยและพัฒนาสีธรรมชาติและการย้อม^(3,27,28)

ในประเทศอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาสูงสุดแล้ว สารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมสิ่งถักทอ สีผสมสำหรับการเขียนภาพและทาสีวัสดุและสีในพลาสติกต่างๆ เป็นต้น ได้ผ่านการพัฒนามาถึงจุดสูงสุดแล้ว กล่าวคือได้ผ่านจุดสุดยอดของวิวัฒนาการทางเคมีและเทคโนโลยีแล้วเมื่อพิจารณาเฉพาะเคมีและเทคโนโลยีของสีสังเคราะห์แต่ถ้ารวมสีธรรมชาติเข้าไปด้วยพบว่าจะยังต้องมีการมองเคมีและเทคโนโลยีของสีย้อมออกไปอีกอย่างกว้างขวาง แนวโน้มใหม่ของงานวิจัยที่เป็นไปได้ทางด้านนี้มีได้หลายแนวทางคือ (ก) การใช้สีธรรมชาติร่วมกับสีสังเคราะห์โดยใช้หลักการร่วมกัน (ข) การใช้สารช่วยติดสีและสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อการซักกับสีธรรมชาติที่มีขายในท้องตลาด (ค) การใช้สารช่วยติดสี เช่น triacylhexahydrotriazine, methacrylamido glycolatemethylether และ carbodiimides ซึ่งช่วยปรับ

แต่งหมู่ไฮดรอกซีของสารฟีนอลิกซึ่งพบมากในสัณฐานส่วนใหญ่ (ง) เพื่อเพิ่มความคงทนของสีย้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการย้อมบนเส้นใยเซลลูโลสอาจจะต้องทดลองปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วย โปรตีน และ (จ) ทักษะเฉพาะสำหรับเคมีของสีย้อมคือการพยายามใช้วิธีทางเคมีปรับปรุงคุณภาพของสัณฐานชาติและผลิตภัณฑ์สัณฐานชาติให้มีคุณภาพที่เหนือกว่าคุณภาพที่พบในสัณฐานชาติส่วนใหญ่อาศัยหลักชีวสังเคราะห์ของโครงสร้างที่เป็นแกนหลักของสารให้สีผสมกับการปรับแต่งโครงสร้างโดยการเตรียมทางเคมีอินทรีย์(แบบกิ่งสังเคราะห์) อาจจะทำให้ได้สีย้อมที่มีความหลากหลายมากขึ้น ตัวอย่างของสารสัณฐานชาติที่มีการศึกษาทางด้านนี้โดยเริ่มจากสารสัณฐานชาติคือสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนนและสีนิดิโก กลุ่มเส้นใยที่ใช้กันหลากหลายทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยได้แก่ ฝ้าย โพลีเอสเตอร์ไหม ขนสัตว์ และไนลอน ซึ่งใช้สีสังเคราะห์ย้อมได้ดีอยู่แล้วอาจใช้สัณฐานชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วย้อมได้ดีเช่นกัน

สำหรับประเทศไทยเองนั้นการย้อมสัณฐานชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ส่งสมกันมาหลายชั่วอายุคนและกำลังจะค่อยๆสูญหายไปตามความทันสมัยของโลกปัจจุบัน ภูมิปัญญาเหล่านี้ยังหลงเหลืออยู่บ้างตามภูมิภาคที่ยังคงมีการพัฒนาส่งเสริมกลุ่มทอผ้าตามบ้านเพื่อเป็นรายได้เสริมให้กับครอบครัว มีการใช้แต่ละส่วนของต้นไม้มานำสีย้อมโดยขาดความเข้าใจในการชดเชยให้แก่ธรรมชาติและมีการปล่อยน้ำทิ้งจากการย้อมลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นการทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยไม่รู้ตัว ปัจจุบันการทอผ้าเพื่อการค้าเพิ่มปริมาณมากขึ้นต้นไม้มิได้ไม่ทันใช้ ดังนั้นการส่งเสริมการย้อมสัณฐานชาติและการทอผ้าด้วยมือควบคู่ไปกับการเพาะปลูกขยายพันธุ์พืชให้สัณฐานชาติจึงน่าจะเป็นวิธีทางหนึ่งในขั้นต้นที่จะทำให้เกิดการอนุรักษ์ธรรมชาติ การวิจัยและพัฒนาสารสีที่สกัดจากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่ใช้งานและสะดวกในการเก็บรักษา การปรุงแต่งสารสีและการเพิ่มเฉดสีโดยวิธีทางธรรมชาติ การเพิ่มผลผลิตสารให้สัณฐานชาตินอกเหนือจากวิธีการส่งเสริมการปลูกเพื่อให้ได้วัตถุดิบเพียงพอแก่การใช้ในปริมาณมาก การพัฒนาวิธีการย้อมเส้นใยต่างๆด้วยสัณฐานชาติแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีความคงทนและมีคุณภาพนำใช้ตลอดจนวิธีการใช้สีอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดมลภาวะจากน้ำทิ้ง สิ่งเหล่านี้จะเป็นอีกทางหนึ่งที่จะทำให้เกิดสิ่งที่เป็นเอกลักษณ์ของไทยด้านสีย้อมธรรมชาติก่อนที่จะก้าวไปสู่การวิจัยและพัฒนาในระดับสูงตามประเทศอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนามากแล้วต่อไป

บทที่ 2

การย้อมผ้าและไหมด้วยสีธรรมชาติ : ภูมิปัญญาไทยเพื่อการพัฒนา

การย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยมีแบบฉบับที่มีเอกลักษณ์ควบคู่กับศิลปะการทอผ้าด้วยมือ และเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ถ่ายทอดกันมาช้านานนับได้ว่าเป็นมรดกทางศิลปวัฒนธรรมของไทยอันทรงคุณค่าควรแก่การอนุรักษ์ไว้สืบไป เคล็ดลับและวิธีการตลอดจนวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในขบวนการย้อมที่มีอยู่ในแต่ละแหล่งซึ่งสืบทอดกันมาตั้งแต่สมัยโบราณกำลังจะเลือนหายไป หากไม่ได้รับการเก็บรวบรวม อนุรักษ์ ภูมิปัญญาเหล่านี้จะถูกกลืนไปได้ในที่สุดซึ่งจะเป็นที่น่าเสียดายอย่างยิ่ง การย้อมสีธรรมชาติถ้าได้รับการสนับสนุนและพัฒนาอย่างถูกทางแล้วก็จะมีศักยภาพที่จะเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่มีเอกลักษณ์และทรงคุณค่าและสามารถพัฒนาเป็นอาชีพที่หารายได้เป็นกอบเป็นกำสู่คนในชาติได้

2.1 ข้อมูลสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคต่างๆของประเทศไทยและการสืบทอด⁽²⁹⁾

เมื่อต้นปีพ.ศ. 2538 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.ฝ่าย 2) ได้สนับสนุนเครือข่ายการวิจัยในระบบสหสาขาวิชาภายใต้โครงการฟอกย้อมสีธรรมชาติขึ้นโดยจัดการสัมมนาเชิงปฏิบัติเรื่อง “การประเมินความต้องการการแก้ปัญหาและการวิจัยเพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ” ขึ้นโดยมีผู้เกี่ยวข้องในระดับต่างๆเข้าร่วมสัมมนา เช่น ผู้ทอผ้า นักวิจัย และนักส่งเสริม/องค์กรเอกชน เพื่อร่วมกันค้นหาภาพรวมของปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการย้อมสีธรรมชาติ รวมทั้งการเสริมสร้างความชัดเจนในหัวข้อการวิจัยและประเด็นปัญหาวิจัย ผลการประเมินข้อเสนอโครงการวิจัยที่ส่งเข้ามาทั้งสิ้น 13 โครงการพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย สกว.จึงได้สนับสนุนให้มีการเก็บข้อมูลพื้นฐานกลุ่มทอผ้าสีธรรมชาติในภาคต่างๆ ของประเทศในช่วงเดือนมิถุนายน 2539 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2540 แล้วนำเสนอข้อมูลสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกันเพื่อหาเป้าหมายร่วมของการวิจัยโครงการเครือข่ายฟอกย้อมสีธรรมชาติ

ผลการสำรวจซึ่งแบ่งเขตการศึกษาออกเป็น 5 เขตคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและตอนล่าง และภาคใต้ และการสำรวจใช้วิธีสัมภาษณ์ กลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติที่สำรวจพบทั้งหมดกระจายอยู่ในพื้นที่ 37 จังหวัดโดยไม่รวมภาคใต้ซึ่งปัจจุบันไม่ได้มีการย้อมสีธรรมชาติอีกต่อไปเนื่องจากขาดการสืบทอดเพื่องจะมีการก่อตั้งขึ้นใหม่เมื่อปี พ.ศ. 2539 คือ “กลุ่มมัดย้อมสีธรรมชาติบ้านศิ่วรง” ที่อำเภอลานสะทา จังหวัดนครศรีธรรมราชที่ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสถานทูตออสเตรเลียมีสมาชิกกลุ่มประมาณ 10 คน อย่างไรก็ตามกลุ่มทอผ้าที่สำรวจพบทั้งหมดมิได้ใช้สีย้อมธรรมชาติเพียงอย่างเดียว กล่าวคือมีการใช้สีสังเคราะห์ผสมด้วยหรือเคยมีการใช้สีธรรมชาติมาก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้สีสังเคราะห์ กลุ่มทอผ้าสีธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมีอายุก่อตั้งนานที่สุดคือนาน

กว่า 10 ปีขึ้นไปและมีเพียงประมาณ 12 % ของกลุ่มสี่ข้อมธรรมชาติทั้งหมดซึ่งส่วนใหญ่พบในแถบภาคอีสานตอนล่าง รองลงมาคือภาคเหนือและอีสานตอนบน ส่วนกลุ่มทอผ้าที่ใช้ทั้งสี่ธรรมชาติและสีสังเคราะห์นั้นมีจำนวนกลุ่มที่ก่อตั้งมาเป็นเวลานานกว่า 10 ปีขึ้นไปเป็นสัดส่วนที่สูงกว่ากลุ่มทอผ้าใช้สี่ธรรมชาติอย่างเดียวยังภาคเหนือและอีสานตอนล่างจึงอาจประเมินได้ว่ากลุ่มเหล่านี้ใช้สีสังเคราะห์มาก่อนและมาได้รับการส่งเสริมการใช้สี่ธรรมชาติในระยะหลัง

กลุ่มทอผ้าที่สำรวจพบส่วนใหญ่ใช้เส้นใยฝ้ายมากกว่าไหมซึ่งพบมากในพื้นที่ภาคตะวันออก เชียงเหนือ รองลงมาคือภาคเหนือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นประเภทผ้า เครื่องนุ่งห่ม เช่น ผ้าซิ่น ผ้าสไบ ผ้าห่ม ผ้าขาวม้า ผ้าพันคอและประเภทผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ เช่น ถ้วยย่าม ผ้าปูโต๊ะ ผ้ารองจาน ผ้าเช็ดมือ ส่วนเลื้อยสำเร็จรูปมีกลุ่มที่ผลิตเป็นจำนวนน้อย ส่วนหนึ่งเนื่องจากสมาชิกขาดทักษะ ความชำนาญ และอุปกรณ์การตัดเย็บและออกแบบ ในกรณีของกลุ่มที่พบในภาคกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มชาติพันธุ์ซึ่งมีวัฒนธรรมการทอผ้ามาแต่โบราณ ผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผลิตเบื้องต้นคือเพื่อสนองตอบความต้องการภายในท้องถิ่น เช่น เลื้อยและผ้าซิ่นตามแบบประเพณีซึ่งให้อยู่ในกลุ่มชุมชนนั้นๆ ส่วนภาคใต้ซึ่งปัจจุบันไม่มีการทอโดยใช้สี่ธรรมชาติอีกแล้วได้เคยมีการผลิตสิ่งทอสี่ธรรมชาติเพื่อทำเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ประจำวันเช่น แห อวน ใบเรือ เลื้อยชาวประมง และเครื่องนุ่งห่มของสงฆ์เช่น สบง จีวร เป็นต้น

ในแง่ภูมิปัญญาหรือความรู้การใช้สี่ข้อมธรรมชาติ จากการสำรวจพบว่าแหล่งความรู้แบ่งออกได้เป็น 2 ช่องทางคือ การได้เรียนรู้วิธีการจากบรรพบุรุษหรือบิดามารดาและการได้เรียนรู้จากการส่งเสริมฝึกอบรมทั้งจากภาครัฐและเอกชนซึ่งแหล่งความรู้ประเภทหลังได้มีส่วนช่วยเสริมความรู้ดั้งเดิมหรือภูมิปัญญาโดยเฉพาะเรื่องการทดลองใช้สารช่วยติดสีประเภทต่างๆตลอดจนการทดลองและเสาะหาวัตถุดิบให้สีใหม่ๆ ทำให้ได้เฉดสีหลากหลายชนิดขึ้น และในรายงานสรุปการสำรวจกลุ่มทอผ้าข้อมสี่ธรรมชาติในภาคต่างๆ⁽²⁹⁾ ได้รวบรวมรายชื่อของพันธุ์ไม้ที่ใช้ข้อมสี่ธรรมชาติที่สำรวจพบในภาคต่างๆของประเทศไทยตลอดจนส่วนของพืชที่ใช้ วิธีการย้อมและสีที่ได้เป็นต้น วิธีการหลักในกระบวนการย้อมแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ การต้ม หมักแล้วต้ม และการหมักอย่างเดียวส่วนใหญ่จะใช้วิธีการต้ม วัตถุดิบให้สีจากส่วนต่างๆของพืชเช่น เปลือก ใบ แก่น ดอก ผล เมล็ดและราก วิธีการใช้สารติดสีจากการสำรวจพบแสดงให้เห็นภูมิปัญญาและการคิดค้นของชาวบ้านเป็นอย่างดี มีการทดลองใช้สารต่างๆจากวัตถุดิบธรรมชาติในท้องถิ่นเพื่อทำให้เกิดเฉดสีและเป็นตัวติดสี การย้อมใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไปได้แก่ เตาอั้งโล่ กะละมังเคลือบหรือหม้อดิน ส่วนการจัดการน้ำที่นั่นยังไม่มีระบบการจัดการน้ำเสีย ใช้วิธีราดลงบนพื้นดินหรือเทลงหลุมที่ขุดไว้

ข้อค้นพบจากการสำรวจดังกล่าวข้างต้นสะท้อนถึงปัญหาและความต้องการจากผู้ผลิตซึ่งต้องแก้ไขเพื่อการส่งเสริมการย้อมสี่ธรรมชาติของไทยให้ยั่งยืนต่อไปโดยสรุปได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ 3 กลุ่มคือ

(ก) ปัญหาเกี่ยวกับผู้ทอหรือผู้ผลิต (ข) ปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และ (ค) ปัญหาด้านการตลาด โดยปัญหาทั้งสามนี้ต่างมีความสัมพันธ์และส่งผลกระทบซึ่งกันและกัน สำหรับปัญหาด้านผู้ผลิต/กลุ่มทอผ้า และปัญหาทางด้านการตลาดนั้นเป็นปัญหาซึ่งนักวิจัยทางด้านสังคมจะต้องทำการวิจัยและส่งเสริมโดยอาศัยการแก้ปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์ซึ่งนักวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์จะต้องหาข้อมูลเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ย้อมธรรมชาติที่มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กระบวนการที่ใช้อย่างสะดวก ใช้เวลาน้อย ต้นทุนต่ำลง มีความหลากหลายของเฉดสีและความคงทนเทียบเท่ากับสีสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังควรมีการเลือกใช้สารให้สีจากพืชที่ส่งเสริมการปลูกง่าย และส่วนที่ใช้ เช่น ใบ ดอก ผล เมล็ด ซึ่งไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่าตลอดจนการวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติให้เพียงพอแก่การใช้ตามความต้องการของผู้บริโภค

2.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีธรรมชาติ

การศึกษากระบวนการย้อมสีธรรมชาติและเทคนิคตามแบบประเพณีของกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติเป็นวิธีการขั้นต้นในการหาแนวทางในการปรับปรุงและถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมลงสู่ผู้ผลิตในระดับชุมชน กลุ่มวิจัยโครงการพัฒนาสารให้สีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนได้ทำการสำรวจวิธีการย้อมสีธรรมชาติ แหล่งและปริมาณวัตถุดิบที่ให้สีและที่ช่วยให้สีติดโดยเน้นสีแดง เหลือง และน้ำเงิน เพื่อรวบรวมภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคเหนือตอนบนในการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติ สำหรับเป็นข้อมูลในการประเมินวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบสารให้สีและสารที่ช่วยให้สีติดซึ่งเลือกไว้ว่าจะต้องมีปริมาณมากพอสำหรับการผลิตโดยไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า ส่งเสริมการปลูกง่ายและสามารถพัฒนาการเพิ่มผลผลิตสารให้สีดังกล่าวในปริมาณที่มากขึ้น

วิธีการสำรวจ ใช้วิธีการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล และสำรวจแหล่งวัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ในบางพื้นที่ได้ขอให้ผู้ให้ข้อมูลสาธิตวิธีการย้อมตามที่เขาเคยได้รับการถ่ายทอดมา พร้อมทั้งเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพด้วย

สถานที่สำรวจ 9 จังหวัดภาคเหนือและข้อมูลเปรียบเทียบจากภาคอีสาน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 สถานที่สำรวจใน 9 จังหวัดภาคเหนือ

จังหวัด	สถานที่สำรวจ
เชียงราย	- บ้านหาดบ้าย ต.ริมโขง อ.เชียงของ - ตลาดท่าจี้เหล็ก ชายแดนพม่า - วัดฝางหมื่น อ.เมือง - บ้านดงมะดิง (หมู่ 5-6-7) ชาวเขาเผ่าอาข่า (อีก้อ) ต.แม่ไร่ อ.แม่สาย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

จังหวัด	สถานที่สำรวจ
เชียงใหม่	- บ้านสบเตี๊ยะ อ.จอมทอง - บ้านหนองอาบช้าง อ.จอมทอง - บ้านไร่ไผ่งาม ต.สบเตี๊ยะ อ.จอมทอง - บ้านทุ่งหมากหนุ่ม ต.สบเตี๊ยะ อ.จอมทอง - บ้านตาลเหนือ ต.บ้านตาล อ.สอด - บ้านวังลู่ ต.นาครเรื่อ อ.สอด - บ้านแม่ป่าไผ่ ต.นาครเรื่อ อ.สอด - บ้านห้วยฝาง หมู่ 14 ต.นาครเรื่อ อ.สอด - บ้านป่าแดด ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม - บ้านยางหลวง ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม - บ้านทัพไร่ ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม - บ้านกองแขก ต.กองแขก อ.แม่แจ่ม - บ้านเหล่าฝักเสียด อ.แม่แจ่ม - บ้านไร่ หมู่ 10 อ.แม่แจ่ม - วัดท่าตอน บ้านท่าตอน อ.แม่เอย - บ้านหมอกจ้าม ต.ท่าตอน อ.แม่เอย
ลำพูน	- กลุ่มทอผ้าป่าซาง ต.แม่แรง อ.ป่าซาง - บ้านห้วยต้ม หมู่ 8 ต.นาทราย อ.ลี้ - บ้านแม่ขนาดหลวง หมู่ 8 ต.ทาภาศ อ.แม่ทา - บ้านป่าเลา ต.ทาภาศ อ.แม่ทา - ต.บ้านปวง กิ่งอำเภอทุ่งหัวช้าง
ลำปาง	- ต.แจ้ห่ม อ.แจ้ห่ม - ต.เมืองปาน อ.เมืองปาน

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

จังหวัด	สถานที่สำรวจ
แพร่	- ต.เวียงทอง อ.สูงเม่น - บ้านทุ่งโห้ง อ.เมือง - ต.หัวทุ่ง อ.ลอง - บ้านค้ำตะนะ ต.บ่อเหล็กทอง อ.ลอง
น่าน	- บ้านคอนไชย ต.ศิลาแลง อ.ปัว - วัดโป่งคำ บ้านโป่งคำ ต.ดู่พงษ์ อ.สันติสุข - สมาคมพัฒนาไทยพายัพ อ.เมือง
อุตรดิตถ์	- บ้านหนอง ต.ชัยชุมพล อ.ลับแล
สุโขทัย	- บ้านหาดสูง ต.หาดเลี้ยว อ.ศรีสำหลัก - ร้านสาธิต ต.หาดเลี้ยว อ.ศรีสำหลัก
แม่ฮ่องสอน	- บ้านศรีดอนชัย อ.แม่สะเรียง - บ้านหนองตอง บ้านห้วยฮี บ้านป่าหมาก ต.ห้วยปูลิง อ.เมือง

สำหรับข้อมูลเปรียบเทียบทางภาคอีสาน ได้แหล่งข้อมูลส่วนใหญ่จากจังหวัดร้อยเอ็ด บ้านโพน ตำบลโพน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์ และศูนย์หัตถกรรมบ้านเม่น ตำบลบ้านขาว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับความรู้และภูมิปัญญาในการใช้สอยธรรมชาติ ในแง่วัตถุดิบให้ส่ววิธีการย้อม คุณภาพผลิตภัณฑ์ การสืบทอดปัญหา และความต้องการของกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ

จากการสำรวจพบว่าแหล่งความรู้เรื่องการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มทอผ้าสีธรรมชาตินั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ทาง คือ เรียนรู้วิธีการจากบรรพบุรุษและเรียนรู้จากการส่งเสริมอบรมทั้งจากภาครัฐและองค์กรเอกชน ซึ่งแหล่งความรู้ประการหลังนั้นได้มีส่วนช่วยเสริมความรู้ดั้งเดิมหรือภูมิปัญญาในเรื่องการทดลองใช้สารช่วยติดสีประเภทต่างๆ ตลอดจนการทดลองวิธีการ และเสาะหาวัตถุดิบให้สีใหม่ๆ เพื่อให้ได้เฉดสีเพิ่มขึ้น ข้อมูลล่าสุดนั้นมีการเดิมสีเคมีสังเคราะห์ลงไปเล็กน้อยเพื่อทำให้การติดสีดีขึ้น

และสีเข้มขึ้น ซึ่งเป็นประเด็นที่กลุ่มวิจัยนี้พยายามจะหลีกเลี่ยงและหาวิธีการอื่นมาทดแทนในการพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตขึ้น

วิธีการหลักๆในกระบวนการย้อมเส้นใย(ฝ้ายและไหม)ด้วยสีธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ (ก) การหมัก (ข) การหมักแล้วต้ม และ (ค) การต้มโดยไม่หมัก ซึ่งเทียบง่าย ๆว่าเป็นวิธีย้อมร้อนและย้อมเย็น ส่วนวิธีการใช้สารติดสีนั้น แสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาและการคิดค้นของชาวบ้านได้เป็นอย่างดี ได้มีการทดลองใช้สารต่างๆ จากวัตถุดิบธรรมชาติในท้องถิ่นเพื่อทำให้เกิดเจดสีและเป็นตัวติดสี เช่น มีการคั้นน้ำจากพืชที่มีรสเปรี้ยว อาทิเช่น มะขามเปียก เปลือกสับปะรด ส้มเสี้ยว มะนาว มะกรูด และจากแมลง เช่น มดแดง เพื่อให้ได้น้ำย้อมในสถานะที่เป็นกรด และเพื่อให้ได้น้ำค้างก็มีการใช้น้ำเถ้าจากพืชต่างๆ โดยการนำมาเผาและแช่น้ำทิ้งไว้ ได้แก่ เปลือก ต้น และเถ้ากล้วยเผา เปลือกทุเรียนเผา เถ้าใบมะขาม ต้นจี่เหล็ก ต้นไผ่ เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมีส่วนของต้นไม้อื่นๆ ที่ใช้เป็นสารติดสีซึ่งมักจะมีรสฝาด เพราะมีแทนนินสูง (Tanin) ได้แก่ ใบเหมือดแอ เหมือดขน ใบตะแบก ใบสมอ ใบมันแกว ใบจี่เหล็ก ใบฝรั่ง ใบยูคาลิปตัส แก่นต้นฝรั่ง ต้นกระถิน เปลือกมะม่วง เปลือกลิ้นฟ้า ฯลฯ นอกจากส่วนของพืชและสัตว์แล้วก็ยังมีการใช้สารอนินทรีย์อื่นๆ อีก เช่น สารส้ม สนิมเหล็ก เกลือ ปูนขาว น้ำปูนใส น้ำส้มสายชู ฯลฯ เมื่อมีการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติก็ได้มีการแนะนำให้ใช้สารเคมีบางชนิด เช่น จุนสี (Copper sulfate) สนิมเหล็ก (Ferrous sulfate) และอื่นๆ ซึ่งนิยมเรียกทั่วไปในท้องถิ่นว่า น้ำยากันสีตกหรือฟิกซ์ผง (Fixing Powder) การใช้สารเคมีเหล่านี้ช่วยทำให้สีติดในการย้อมด้วยสีธรรมชาติ ทำให้เกิดความไม่แน่ใจในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค จึงเป็นประเด็นปัญหาอีกอย่างหนึ่งซึ่งกลุ่มวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงในการวิจัยและพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีธรรมชาติ ข้อเสนอจากการสำรวจพบว่า วิธีการย้อมสีธรรมชาติจากวัตถุดิบชนิดเดียวกันในสถานที่ต่างกัน จะมีขั้นตอนและการใช้สารช่วยติดสีต่างกันในแต่ละท้องถิ่น เช่น การย้อมคราม การย้อมสีแดงจากรากยอป่า เป็นต้น ในการหาวิธีมาตรฐานในการย้อมจึงน่าจะนำกรรมวิธีเหล่านี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้ เพื่อนำมาประเมินหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาต่อไป

ในการย้อมสีธรรมชาตินั้น วัตถุดิบจากธรรมชาติที่ให้สีและที่ทำให้สีติดมีมากมาย ทั้งที่เป็นสีหลักสามสี (แดง เหลือง น้ำเงิน) สีเปลือกไม้ สีเขียว สีดำ และอื่นๆ วัตถุดิบเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืชและสัตว์ วัตถุดิบสีย้อมที่ใช้กันมากในภาคเหนือและภาคอีสานในการย้อมเส้นใยธรรมชาติและวิธีการย้อม ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วัตถุดิบสีย้อมเส้นใยธรรมชาติในภาคเหนือ และวิธีการย้อม แบ่งตามสีที่ได้

สีที่ได้	วัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ใช้	วิธีการย้อม
น้ำตาลอ่อน	มะพร้าว (พืช)	เปลือก, ผล	ต้ม
น้ำตาล	ไม้สะแก (ไม้แพง) (พืช)	เปลือก, ต้น	ต้ม
น้ำตาล	ต้นสัก (พืช)	ใบ	ต้ม
น้ำตาลเข้ม	สตาร์แอปเปิ้ล (พืช)	ใบ	ต้ม
น้ำตาล	ฮ่อม (พืช)	ราก	หมัก
น้ำตาล	ไม้ก้านแดง (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
น้ำตาล	ไม้ป่าย (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
น้ำตาล	เคาะ (คว่ำ) (พืช)	หัว	ต้ม
น้ำตาล	ต้นคูณ (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
น้ำตาล	หูกวาง (พืช)	เปลือกลำต้น, ใบ	ต้ม
น้ำตาล	ไม้ประดู่ (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
น้ำตาลอมเขียว	สมอ (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
กากี, เหลือง	มะม่วง (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
น้ำตาลอ่อน, ครีม, ส้ม	ดินแดง (สารอนินทรีย์)	ดินแดง	หมัก
กากี	ไม้เพกา (มะริดไม้) (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
ครีม	ไม้ขอส้ม (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
กากี	จีเหล็ก (พืช)	ใบ	หมัก
เขียวจืด	ไม้ตีนนก (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
ส้ม	ไม้ปายจีน (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
ส้มอ่อน	สะเดา (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
ส้มอ่อน	สเกีย (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
เลือดหมู	ไม้แสนคำ (พืช)	เปลือกลำต้น	ต้ม
ม่วงแดง	มะนมวัว (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ม่วงแดง	ตะเคียนหนู (ไม้เหี่ยว) (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

สีที่ได้	วัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ใช้	วิธีการย้อม
ม่วง	มังคุด (พืช)	เปลือกผล	ต้ม
ม่วง	มะปราง (พืช)	เมล็ด	ต้ม
ม่วงอ่อน	แค (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ม่วง	ผักปลัง (พืช)	ผล	ต้ม
สีกรม	ลูกหว่า (มะห่า) (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
เขียวมะกอก	กระบก (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
เขียวอ่อน	ไม้ยูคาลิปตัส (พืช)	ใบ	ต้ม
ฟ้าอ่อน, เขียว, เหลือง	ลิ้นฟ้า (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
เขียวเหลือง	ฝรั่ง (พืช)	ใบ	ต้ม
เขียวอ่อน	ถั่วแปบ (พืช)	ใบ	ต้ม
เขียวอ่อน	ชาทอง (พืช)	ใบ	หมัก
เขียวอ่อน	เตย (พืช)	ใบ	หมัก
เขียวอ่อน	กระถิน (พืช)	ใบ	ต้ม
ชมพู, แดง	ฝาง (พืช)	ฟัก, เปลือกต้น, แก่น	ต้ม
ชมพู, แดง	มะฮกฟ้า (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ชมพู	ไม้ตีนนก (พืช)	แก่นไม้	ต้ม
ชมพู	จี่วดอกแดง (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ชมพู	ประดู่แดง (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ชมพู, โอวัลติน	มะพร้าว (พืช)	ใบมะพร้าว	ต้ม
ชมพู	มะยมหิน (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
แดงหม่น	ไม้ก่อ (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
ส้มแดง	คำเงาะ (พืช)	เมล็ด	ต้ม
ส้มชมพู	คำแสด (มะกาย) (พืช)	เมล็ด	ต้ม
แดง	ครั่ง (สัตว์)	ตัวและรัง	ต้ม
แดง	ฮ่อม (พืช)	เปลือกต้น	หมัก

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

สีที่ได้	วัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ใช้	วิธีการย้อม
แดง	ฝาง (พืช)	แก่นไม้	ต้ม
แดงส้ม	ประดู่แดง (พืช)	แก่นไม้	ต้ม
แดง	กระถางลาย(มะแตกเครือ) (พืช)	เปลือกไม้	ต้ม
แดงเลือดหมู	สับปะรด (พืช)	ใบ	ต้ม
แดง	ขมิ้น (พืช)	ราก	ต้ม (น้ำค่าง)
เหลือง	ขมิ้น (พืช)	ราก	ต้ม
เหลือง	ขมิ้น (พืช)	หัว	ต้มหรือหมัก
เหลือง	มะนอด (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
เหลืองอ่อน	จันทน์ (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
เหลือง	ขนุน (พืช)	แก่นไม้, เปลือกต้น	ต้ม
เหลือง	รกฟ้า (พืช)	เปลือกต้น	ต้ม
น้ำเงินเข้ม	คราม (พืช)	ต้นและใบ	หมัก
น้ำเงินเข้ม	ส้อม (พืช)	ต้นและใบ	หมัก
สีกรมท่า	หว่า (พืช)	เปลือกต้น	หมัก
ดำ	มะเกลือ (พืช)	ผล, ฝัก	หมัก
ดำ	ปู้เจ้า (พืช)	ใบ	ต้ม
ดำ	หมากนระ (พืช)	ใบ	ต้ม
เทาดำ	จีโคลน (สารอนินทรีย์)	ดินตัก	หมัก

ขั้นตอนการย้อมสีธรรมชาติส่วนใหญ่ยังใช้เวลานานและไม่สะดวก เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเส้นใย และการย้อมยังไม่มีวิธีมาตรฐานใดๆ ที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ จุดเด่นของการย้อมสีธรรมชาติมีอยู่แง่เดียวคือ ด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่เป็นพิษภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคมากเท่ากับการใช้สีสังเคราะห์ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติและกรรมวิธีการย้อมที่สะดวกรวดเร็วเป็นมาตรฐานให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่

มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ จึงเป็นความจำเป็นมากสำหรับการส่งเสริมเพื่อจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค ในด้านวัตถุดิบที่มีหลากหลายในธรรมชาตินั้นนับวันก็จะหายากขึ้น และมีเป็นฤดูกาลอีกทั้งปริมาณไม่มากพอที่จะใช้ซ่อมเส้นใยในปริมาณมากๆ ได้ ทำให้มีขีดจำกัดในการผลิตสีย้อม ต้องมีการส่งเสริมการปลูกหรือการขยายพันธุ์ โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ผลิตสารให้สีพร้อมหาพืชชนิดอื่นๆ ที่ให้สีแบบเดียวกัน แต่มีในฤดูกาลที่ต่างออกไป ปัญหาที่พบในการสำรวจในด้านวัตถุดิบและกระบวนการย้อม เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีการสืบทอดน้อยมาก อย่างไรก็ตามเป็นที่น่ายินดีว่ายังมีผู้สนใจจะสืบทอดที่มีอายุน้อยพร้อมที่จะรับการส่งเสริมเหลืออยู่บ้าง แต่มีข้อแม้ว่าสีธรรมชาติควรจะอยู่ในรูปที่ใช้ง่ายแบบสีสังเคราะห์ที่มีปริมาณและสัดส่วนสีตั้งต้นที่แน่นอน ขั้นตอนการย้อมไม่ใช้เวลานาน และเมื่อย้อมด้วยสัดส่วนเดิมอีกครั้งจะได้สีเหมือนเดิมเพื่อรับงานมากๆ ได้

สิ่งที่เป็แรงจูงใจผู้ผลิตด้านวัตถุดิบก็คือ พยายามหาชนิดของวัตถุดิบที่ให้สีให้มีความหลากหลายชนิด เพื่อเพิ่มเจดสีให้มากขึ้น และหมุนเวียนใช้ได้ตลอดปี สารให้สีและสารช่วยติดสีควรอยู่ในรูปที่เก็บและใช้ได้ง่ายแบบสีสังเคราะห์ และสามารถกำหนดสัดส่วนของสีและน้ำในการย้อมเส้นใยในปริมาณที่ต้องการได้ และได้สีออกมาคงที่และมีความคงทนต่อการซักล้าง แสงและความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของตลาด

จากข้อมูลสำรวจเบื้องต้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติโดยเน้นเฉพาะสีหลักสามสี คือ แดง เหลือง และน้ำเงินก่อนในระยะแรก โดยเลือกวัตถุดิบให้สีดังกล่าวจากธรรมชาติมาแปรรูปและพัฒนาวิธีการย้อม ในการเลือกวัตถุดิบนั้นได้คำนึงถึงปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นว่ามีมากพอโดยที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า และพัฒนาการย้อมสารให้สีดังกล่าวให้ติดทน และมีโอกาสได้สีสม่ำเสมอทุกครั้ง ซึ่งในการเลือกนั้น ได้ประเมินจากการสำรวจในรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการย้อม แหล่งและปริมาณของสารให้สี และสารติดสีเฉพาะสีหลักสามสี

2.2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับแหล่งและปริมาณของวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สารสีแดง เหลือง และน้ำเงิน ใน เขตภาคเหนือตอนบน

วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีแดง เหลือง และน้ำเงิน ที่สำรวจแหล่งและปริมาณ และส่วนที่ให้สีสรุปไว้ในตารางที่ 2.3 จากตารางจะพบว่า มีวัตถุดิบให้สีแต่ละชนิดที่พบในเขตภาคเหนือตอนบน คณะผู้วิจัยได้เลือกพืชที่ให้สีที่ไม่ใช่ส่วนของแก่นไม้หรือเปลือกลำต้น และที่มีปริมาณมากพอ ทั้งมีแนวโน้มในการส่งเสริมการปลูกที่ง่ายและไม่ใช้เวลาในการเพาะปลูกนาน สำหรับวัตถุดิบที่ให้สีแดงจึงได้เลือกการใช้รากยอป่าเป็นวัตถุดิบหลัก และเน้นการย้อมฝ้าย เพราะยอป่าเป็นไม้ที่มีรากและแตกแขนงในดินมากมาย ตัดมาใช้แล้วส่วนที่เหลือก็สามารถเจริญเติบโตได้อีกให้สารสีแดงสวยและมีภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมที่ยังพอหาได้ เป็นวัตถุดิบที่ใช้ย้อมสีแดงกันมาตั้งแต่ดั้งเดิมจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะในกลุ่มชาวไทยภูเขาเผ่ากะเหรี่ยง ส่วนครั้งนั้นเนื่องจากมีมากในจังหวัดลำปาง

เชียงใหม่ และแพร่ และสารให้สีมีในน้ำทิ้งจากการทำรังเม็ด (seed lac) เพื่อทำเชลแลคซึ่งมีสมบัติเป็นสีย้อมที่ดีให้สีแดงสดสวย จึงเลือกเป็นวัตถุดิบให้สีแดงเสริมรากยอป่า วัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่ใช้กันมากและมีมากคือ **ขมิ้น** สีเหลืองจากพันธุ์ไม้อื่นนั้นมาจากส่วนที่เป็นแก่นและเปลือกไม้ คณะผู้วิจัยพยายามหลีกเลี่ยง จึงได้เลือกขมิ้นเป็นวัตถุดิบหลักในการให้สารสีเหลืองเพราะมีทั่วไปและปลูกง่าย ใช้เวลาไม่นาน แต่มีข้อเสียคือสีมักจะซีดจางเมื่อโดนแสงและรากยอป่า ในสภาพเป็นกลางถึงเป็นกรดเป็นวัตถุดิบเสริมสีเหลือง ส่วนสีน้ำเงินนั้นได้เลือก **ครามและฮ่อม** เป็นวัตถุดิบให้สี เพราะมีมากและปลูกทั่วไป ใช้เวลาไม่นาน เก็บเกี่ยวและหมักเก็บไว้แปรรูปต่อได้ ส่วนมะเกลือคณะผู้วิจัยได้เลือกไว้สำหรับการพัฒนาเป็นสีรองพื้นหรือย้อมทับ เพราะสารในผลมะเกลือเป็นตัวยับยั้งการติดสีด้วย

ตารางที่ 2.3 วัตถุดิบที่ให้สีธรรมชาติ สีแดง เหลือง และน้ำเงิน แหล่งและปริมาณที่พบในเขตภาคเหนือตอนบน

สีที่ได้	วัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ใช้	ปริมาณที่มี	แหล่งที่พบ
แดง	ฝาง (พืช)	แก่นไม้	ไม่มาก	บางพื้นที่
แดงหม่น	ก่อ (พืช)	เปลือกต้น	ไม่มาก	บางพื้นที่
แดงส้ม	ประดู่แดง (พืช)	แก่นไม้	ไม่มาก	บางพื้นที่
แดง	กระถางลาย (พืช)	เปลือกไม้	ไม่มาก	บางพื้นที่
แดงเลือดหมู	สับปะรด (พืช)	ใบ	เป็นฤดูกาล	เชียงราย, ลำปาง
แดงส้ม	ยอป่า (พืช)	ราก	มาก	ตามเทือกเขา เขต จังหวัดเชียงใหม่ แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง
แดงสด	ครั่ง (สัตว์)	ตัว, รัง	มาก	ลำปาง, แพร่, เชียงใหม่
เหลือง	ยอป่า (พืช)	ราก	มาก	เชียงใหม่, แพร่, แม่ฮ่องสอน, ลำพูน ลำปาง
เหลือง	ขมิ้น (พืช)	หัว	มาก	ทั่วไป

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สิ่งที่ได้	วัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ใช้	ปริมาณที่มี	แหล่งที่พบ
เหล็อง	มะนอค (พืช)	เปลือกต้น	ไม่มาก	บางพื้นที่
เหล็องอ่อน	จินก (พืช)	เปลือกต้น	ไม่มาก	บางพื้นที่
เหล็อง	ขนุน (พืช)	แก่น, เปลือก	มาก	ทั่วไป
เหล็อง	รกฟ้า (พืช)	เปลือกต้น	ไม่มาก	บางพื้นที่
น้ำเงิน	คราม (พืช)	ต้น, ใบ	มาก	เชียงใหม่, เชียงราย
น้ำเงิน	ฮ่อม (พืช)	ต้น, ใบ	มาก	แพร่, ลำพูน, น่าน
สีกรม	หว่า (พืช)	เปลือกต้น	ไม่มาก	เชียงใหม่, เชียงราย
ดำ	มะเกลือ (พืช)	ผล, ฝัก	มาก	แพร่, ลำพูน, น่าน
ดำ	ปู่เจ้า (พืช)	ใบ	ไม่มาก	บางพื้นที่
ดำ	หมากนะ (พืช)	ใบ	ไม่มาก	บางพื้นที่

2.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมฝ้ายให้เป็นสีแดงด้วยรากยอป่าและครั่ง

จากการสำรวจพบว่า วิธีการย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่าในแหล่งต่าง ๆ นั้น มีกรรมวิธีหลักคล้ายกัน แต่รายละเอียดของวัตถุดิบที่ใช้ต่างกัน กล่าวคือ ขั้นตอนจะประกอบไปด้วยการเตรียมฝ้ายก่อนย้อม การเตรียมน้ำสี และการย้อม ในการเตรียมฝ้ายสำหรับย้อมสีนั้นโดยทั่วไปมักใช้วิธีแช่น้ำ ทูบ ต้มในน้ำเดือด ชักด้วยน้ำสบู่ หรือผงซักฟอก แล้วผึ่งให้แห้ง เพื่อขจัดไขมันหรือสิ่งสกปรกที่ติดมากับฝ้ายออกไป ก่อนนำมาย้อมมักจะนำฝ้ายมาต้มในน้ำใบพืชที่มีสารช่วยติดสี เช่น ใบกระถิน ใบยูคาลิปตัส ใบจีเหล็ก ใบฝรั่ง ใบสมอ ใบส้มป่อย เป็นต้น ในน้ำสีก็มีการเติมส่วนผสมเพิ่มเติมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบให้สี แต่สำหรับการย้อมสีแดงด้วยรากยอป่านั้นกรรมวิธีเตรียมฝ้ายจะต่างจากการย้อมด้วยวัตถุดิบชนิดอื่นตรงที่จะมีการใช้น้ำมันหมู หรือน้ำมันปลา หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ผสมกับน้ำด่างจีเถ้า แช่ฝ้ายที่ล้างสะอาดแล้วก่อนย้อม ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบวิธีการย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่าในสถานที่ต่างๆ

ตารางที่ 2.4 การย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่าในแหล่งต่างๆ

การเตรียมฝ้ายก่อนย้อม	ส่วนผสมในน้ำย้อม	การย้อม	แหล่งข้อมูล
แช่ฝ้ายในน้ำด่างจี๊ด้าผสม น้ำมันหมู และใบส้มป่อยตำ	รากยอป่าสับและตำ ละเอียด ใส่ในน้ำผสม ปูนขาวและใบไม้ที่ รสเปรี้ยว	ต้มฝ้ายในน้ำย้อม	ต.ห้วยปูลิง อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน
แช่ฝ้ายในน้ำด่างจี๊ด้า ใบ เหมือด ผสมน้ำมันพืช 4 ชนิด คือ น้ำมันมะแตก น้ำมันมะห่านก้าน น้ำมัน มะเคาะ และน้ำมันมะโอง เห็บ 1 ถัง	รากยอป่าตำแช่น้ำ	ต้มฝ้ายในน้ำย้อม	บ้านทัพไร่ ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
ต้มฝ้ายในน้ำด่างจี๊ด้าไม้ไผ่ ผสมน้ำมันหมู ใบส้มป่อยตำ หมักไว้ 1 เดือน	รากยอป่าตำ ผสม น้ำด่างจี๊ด้า และ เปลือกต้นมะไฟ	ต้มฝ้ายในน้ำย้อม	บ้านคางตะนะ อ.ลอง จ.แพร่
ฝ้ายแช่น้ำ บิดแห้งแล้วคลุก กับน้ำมันพืชทิ้งไว้ 1 วัน	รากยอป่าตำผสมน้ำ ใส่ปูนขาว	ต้มฝ้ายในน้ำย้อม	บ้านกองแขก ต.กองแขก อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) * มีการสาธิตการข้อมให้ดู

การเตรียมฝ้ายก่อนข้อม	ส่วนผสมในน้ำข้อม	การข้อม	แหล่งข้อมูล
ขยำฝ้ายกับน้ำผสมน้ำมันพืชเล็กน้อย บิดตากให้แห้ง	รากขยอป่าสับและตำละเอียด ในน้ำผสมปูนขาวและโบไมท์ มีรสเปรี้ยว	ต้มฝ้ายในน้ำข้อม	พระบาทห้วยต้ม ต.นาทราย อ.ลี้ จ.ลำพูน
*ต้มฝ้ายกับน้ำผสมน้ำมันเมล็ดพืชและโบสั่มปอยตำ บิดตากไว้ให้แห้ง 1 สัปดาห์	รากขยอป่าตำละเอียด ผสมกับน้ำค้างจี้เถ้าไม้ผสม	ขยำฝ้ายในน้ำข้อมแล้วต้ม 15 นาที บิดหมาดๆ แล้วบิดตาม	บ้านห้วยฝาง ต.นาคอเรือ อ.สออด จ.เชียงใหม่
ขยำฝ้ายกับน้ำมันปลา ตาก แล้วทำซ้ำ 5 ครั้ง	รากขยอป่าผสมน้ำค้างจี้เถ้าต้นเหมือด	ขยำฝ้ายในน้ำข้อม ตากทำซ้ำ 5 ครั้ง เปลี่ยนน้ำข้อมใหม่ทุกครั้ง ครั้งสุดท้ายล้างน้ำตาก	บ้านหาดสูง ต.หาดเสี้ยว อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย
*ขยำฝ้ายกับน้ำค้างจี้เถ้าไม้ไผ่และกาบมะพร้าว น้ำมันหมู โบสั่มปอยตำละเอียด ทดสอบโดยการทาด้วยขมิ้น จนได้สีเหลืองเข้ม แล้วต้มประมาณ 45 นาที คลี่ฝ้าย ตากให้แห้ง	รากขยอป่าตำละเอียด ผสมปูนขาว น้ำ	ขยำฝ้ายในน้ำข้อมอย่างทั่วถึงแล้วต้ม 30 นาที รองก้นหม้อและทับด้วยกึ่งและโบมะไฟจนน้ำสีแห้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบิดตาก	บ้านค้ำตะนะ อ.ลอง จ.แพร่

จากการประเมินวิธีการย้อมด้วยรากยอป่าในตารางที่ 2.4 สิ่งจำเป็น คือ การเตรียมฝ้ายก่อนย้อม โดยการขยี้ฝ้ายกับน้ำด่างผสมน้ำมันจากพืชหรือสัตว์แล้วแต่จะหาได้ในแต่ละท้องถิ่น ผสมกับใบไม้ที่มีสารช่วยติดสี เช่น ใบเหมือด หรือใบส้มป่อยดำ ส่วนน้ำด่างจี้เหล่านั้นในแต่ละแหล่งจะเจาะจงตามภูมิปัญญาดั้งเดิมที่ได้รับการถ่ายทอดมาก เช่น ที่บ่งว่าต้องเป็นน้ำด่างจี้เถาไม้ไผ่ผสมกับมะพร้าว นั้นเมื่อ ผู้วิจัยได้นำน้ำด่างไปวิเคราะห์ พบว่า มีความเป็นด่างที่มีพีเอช 10.3 และธาตุที่มีมากที่สุด คือ แคลเซียม (ตารางที่ 2.5) ซึ่งน่าจะเป็นน้ำด่างจี้เถาที่เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือน้ำด่างจากปูนขาว

ตารางที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์น้ำด่างจี้เถาไม้ไผ่ผสมกับมะพร้าวที่มีพีเอช 10.3 ที่ใช้ย้อมสีด้วยรากยอป่า

ธาตุ	ปริมาณที่พบ (มก/ลิตร)
Fe	0.054
Cu	0.049
Mg	0.196
Na	7.847
K	ND
Ca	59.200
Al	ND

ND = Non-Detectable

ดังนั้นน้ำด่างจี้เถาจึงน่าจะเป็นจี้เถาอะไรก็ได้ หรืออาจใช้ปูนขาวที่มีพีเอชที่เหมาะสมประมาณ 10.3 ซึ่งจะทำให้สารให้สีจากรากยอป่าเป็นสีแดงที่ต้องการ ส่วนใบเหมือด ใบส้มป่อยหรือใบมะไฟ น่าจะเป็นใบไม้ที่มีสารที่เป็นตัวติดสี ซึ่งอาจเป็นแทนนินซึ่งมีมากในใบไม้เหล่านี้ส่วนการย้อมนั้นใช้วิธีขยี้ฝ้ายกับน้ำย้อมเข้มข้นที่อยู่ในสภาพด่าง (ใช้น้ำด่างจี้เถาที่มีพีเอชแบบเดียวกัน) ในน้ำย้อมนั้นมิได้มีเฉพาะสารให้สีแดง แต่เป็นการสกัดสารสีแดงจากรากยอป่าที่บดเป็นผงละเอียดด้วยน้ำด่างโดยมีสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณน้ำด่างและรากยอป่าบดหรือตำละเอียดต่อปริมาณฝ้ายที่จะย้อม เมื่อขยี้ฝ้ายจนติดสีทั่วถึงแล้วนำทั้งหมดไปต้มต่อโดยการเติมใบไม้ เช่น ใบมะไฟซึ่งมีสารช่วยติดสีอยู่ด้วยเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วตากให้แห้ง ในกรณีที่ไม้คั้นอาจใช้วิธีขยี้ตากให้แห้งแล้วนำมาขยี้ในน้ำย้อมที่เตรียมใหม่ ตากให้แห้ง ย้อมซ้ำอย่างน้อย 5 ครั้งจนได้สีแดงเข้มที่พอใจ

ผลการประเมินวิธีย้อมสีแดงด้วยรากยอป่าที่จะนำมาใช้ในช่วงแรกนี้ ได้มาจากการเปรียบเทียบข้อมูลวิธีการย้อมที่สำรวจมา และจากที่มีการสาธิตการย้อมให้ดูในบางแห่ง ตลอดจนการนำผลผลิตของการย้อมแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์สีย้อมด้วย (ตารางที่ 2.10) อย่างไรก็ตามเท่าที่มีข้อมูลมา ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติ (สีตก สีจืด) ยังมีอยู่ ซึ่งจะต้องหาทางแก้ไขต่อไป คณะผู้วิจัยจึงได้ปรับวิธีการย้อมสีแดงจากรากยอป่าในเบื้องต้นเพื่อทดลองในภาคสนาม ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ย้อมได้เพื่อการพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับใช้กับสีแปรรูปต่อไป โดยแบ่งเป็นสองขั้นตอน ดังนี้

ก. การเตรียมฝ้ายก่อนย้อม

ฝ้ายที่ซักล้างสะอาดแล้ว (ทูป ต้มกับน้ำหรือซักด้วยสบู่หรือผงซักฟอก) นำมาขยำกับน้ำผสมปูนขาวที่มีพีเอชประมาณ 10.3 น้ำมันพืชและใบส้มป่อยหรือใบพืชที่มีแทนนินสูง บดให้ละเอียด ปริมาณเท่ากับน้ำมันพืช ขยำจนส่วนผสมนี้แทรกเข้าไปในเนื้อฝ้ายอย่างทั่วถึงจึงบิดและตากให้แห้งแล้วจึงนำมาย้อมด้วยน้ำย้อมรากยอป่าในขั้นต่อไป

ข. การย้อมด้วยรากยอป่า

เตรียมน้ำย้อมโดยใช้รากยอป่าที่สับและตำจนละเอียดแล้วใส่ในน้ำผสมปูนขาวให้มีพีเอชประมาณ 10.3 (วัดพีเอชและทดสอบปริมาณปูนขาวต่อปริมาณน้ำที่ใช้) ใส่ใบไม้ที่มีปริมาณแทนนินสูงบดละเอียดหรือขี้เถ้าของใบเหล่านี้ (อาจใช้ใบมะไฟใส่ลงไปต้มด้วย) นำฝ้ายจากข้อ ก มาขยำกับน้ำย้อมจนฝ้ายมีสีแดงอย่างทั่วถึงแล้วจึงนำไปต้มจนน้ำย้อมแห้ง (ระวังฝ้ายไหม้) ขณะต้มกลับฝ้ายเป็นระยะ ถ้าใช้ฝ้าย 2 กรัมต่อน้ำย้อม 1 ลิตร จะใช้เวลาต้มประมาณ 30 นาที แล้วจึงนำฝ้ายที่ย้อมแล้วมาตากให้แห้งแล้วจึงซักน้ำให้สะอาดจนสีไม่ตก ตากแห้งแล้วทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

การย้อมครั้ง

การย้อมสีแดงด้วยครั่งนั้นใช้มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะการย้อมไหมเนื่องจากทางกลุ่มวิจัยได้เลือกครั้งเป็นวัตถุดิบที่ให้สีแดงเสริมรากยอป่า จึงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการย้อมสรุปไว้ในตารางที่ 2.6

สำหรับการย้อมครั้งที่จะทดลองในขั้นแรก จะใช้น้ำสีสกัดจากครั้ง เดิม น้ำสกัดจากใบไม้ที่ให้แทนนินสูง ขยำฝ้ายในน้ำย้อมแล้วต้มประมาณ 1 ชั่วโมง นำมาตากแห้ง ซักให้สะอาดจนสีไม่ตกแล้วตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2.6 วิธีการย้อมครั้งในแหล่งต่างๆ

การเตรียมฝ้าย	การเตรียมน้ำครั้ง	การย้อม	แหล่งข้อมูล
แช่ฝ้ายในน้ำมันผสมมะขามป้อม 1 คืบ	ครั้งบดแช่น้ำ 1-2 คืบต้มแล้วเอากากออก	แช่ฝ้ายในน้ำย้อม	อ.ฮอด จ.เชียงใหม่
แช่ฝ้ายในน้ำมันผสมมะขามป้อม 1 คืบ	ครั้งบดแช่น้ำต้มและกรองกากออก ผสมน้ำมันมะขามเปียก	ต้ม	อ.ลอง จ.แพร่
แช่ฝ้ายในน้ำมันผสมมะขามป้อม 1 คืบ	ครั้งบดแช่น้ำต้มผสมกับน้ำมันาวหรือน้ำคั้นจากใบสับปะรดตำ (ให้สีแดงเลือดหมู)	ต้ม	อ.เชียงของ จ.เชียงราย
ต้มฝ้ายกับน้ำค้าง	ครั้งบดแช่น้ำ ต้มผสม ใบเหมือดตำคั่วกับน้ำกรองใบออกแล้วผสมกับน้ำครั้ง	ต้ม	บ้านโพน ต.บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์

2.2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมสีเหลืองจากขมิ้น

วัตถุดิบที่ให้สีธรรมชาติที่เป็นสีเหลืองมีมากมายหลายชนิด มีทั้งส่วนของพืชที่เป็นเปลือกต้น แก่นเนื้อไม้ และเง้า ซึ่งเป็นต้นไค้ดิน คณะผู้วิจัยได้เลือกขมิ้นเป็นวัตถุดิบให้สารสีเหลืองเพราะมีปริมาณมาก ปลูกง่าย มีอยู่ทั่วไป ระยะเวลาปลูกไม่ยาวนาน ส่งเสริมง่ายเมื่อเทียบกับไม้ยืนต้น นอกจากนี้วัตถุดิบให้สารสีเหลืองเสริมจากขมิ้น คือ รากข่อยป่าในสภาพกรด ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกไว้สำหรับการพัฒนาสารให้สีธรรมชาติ ดังนั้นจึงได้สำรวจและรวบรวมกรรมวิธีการย้อมฝ้ายด้วยสารให้สีเหลืองจากขมิ้น สรุปไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 วิธีข้อมสีเหลืองจากขมิ้น

การเตรียมฝ้าย	การเตรียมน้ำข้อม	การข้อม	แหล่งข้อมูล
ทุบ ต้มกับน้ำ หรือล้างด้วยน้ำสบู่ ผงซักฟอก ต้มในน้ำ ต้มใบกระถินหรือใบยูคาลิปตัส	ขมิ้นตำผสมน้ำและเกลือ	ขยำฝ้ายกับน้ำข้อม	กิ่ง อ.ทุ่งหัวช้าง จ. ลำพูน
ต้มฝ้ายที่สะอาดกับน้ำใบกระถิน	ขมิ้นตำละเอียดผสมปูนขาวและน้ำ	ขยำฝ้ายกับน้ำข้อม	ต.ท่าตอน อ.แม่เมาะ จ.เชียงใหม่
ฝ้ายที่ล้างสะอาด แช่น้ำทุบ	ขมิ้นตำผสมน้ำ (ให้สีเหลืองอ่อน) ผสมปูนขาว (สีเหลืองเข้ม) ผสมน้ำสกัดจากใบพลู (สีเหลืองส้ม)	ต้ม หรือขยำฝ้ายกับน้ำข้อม	พระบาทห้วยต้ม ต.นาทราย อ.ลี้ จ.ลำพูน
แช่น้ำ ทุบ	ขมิ้นบด ผสมน้ำมะนาว หรือน้ำกรูด (สีเหลืองสด) ผสมเถ้าไพล (ปูเลย) (สีน้ำตาลอมเขียว)	ต้ม หรือขยำฝ้ายกับน้ำข้อม	ต.บ้านปวง กิ่ง อ.ทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน

หมายเหตุ การข้อมด้วยน้ำขมิ้นจะข้อมร้อนหรือเย็นก็ได้ สารให้สีจากขมิ้นจะแปรตามสภาพกรดต่างขึ้นอยู่กับสารที่เดิมเวลาเตรียมน้ำข้อมขมิ้น ถ้าสภาพกรดจะให้สีเหลืองสดและสภาพด่างจะให้สีเหลืองเข้มแกมน้ำตาล และถ้าใช้ขมิ้นแก่จะให้สีเหลืองเข้ม ขมิ้นอ่อนให้สีเหลืองจาง

การข้อมด้วยขมิ้น วิธีการข้อมง่ายแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีไม่คงทน มักจะซีดจางเมื่อทิ้งไว้ซึ่งทางผู้วิจัยจะต้องพยายามหาทางปรับปรุงแก้ไขในจุดนี้

2.2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการย้อมสีน้ำเงินจากครามและส้อม

การย้อมผ้าด้วยครามและส้อมนั้นใช้วิธีย้อมเย็น การเตรียมสีจากครามและส้อมในทุกแห่งใช้วิธีการหมักในน้ำค้าง ตีเป็นฟองเพื่อให้อากาศ จนได้ตะกอนสีน้ำเงินดำ แยกเก็บไว้ใช้ย้อมต่อไป วิธีการย้อมครามและส้อมสรุปไว้ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 วิธีการย้อมครามและส้อมในแหล่งต่างๆ (*มีการสำรวจวิธีการย้อม)

การเตรียมน้ำคราม/ส้อม	การย้อม	แหล่งข้อมูล
ขย่ำครามกับปูนขาว ละลายในน้ำ ต่างจากจี๊ดต้มนกล้วย ผักขม หนามไส้กล้วยน้ำว่าสุก อ้อยตัด เป็นท่อน เหล้าโรงเล็กน้อย	นำฝ้ายที่ล้างสะอาดแล้วขย่ำกับ น้ำครามแล้วผึ่งให้แห้ง ย้อมซ้ำ หลายๆ ครั้งจนได้สีเข้มตาม ต้องการ	บ้านตาลเหนือ ต.บ้านตาล อ.สอด จ.เชียงใหม่
ผสมครามกับน้ำค้างจี๊ดผสม อ้อยทุบ มะกรูดทั้งผลที่หมักไฟ เหล้าขาว ปูนขาว	นำฝ้ายลงย้อมจนสีติด ตาก บนราวทิ้งไว้ 1 วัน ย้อมซ้ำจน ได้สีเข้มตามต้องการ	บ้านหนองอาบช้าง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่
ผสมครามกับน้ำค้างจี๊ดจากใบ กล้วยเผา	นำฝ้ายที่ต้มบิดพอหมาดๆ ย้อม ซ้ำหลายๆ ครั้ง	บ้านตาลกลาง ต.บ้านตาล อ.สอด จ.เชียงใหม่
ผสมตะกอนคราม ปูนขาว น้ำค้าง จี๊ด น้ำมะนาว	ขย่ำฝ้ายในหม้อครามเรียงลำดับ ไป 5 หม้อ แล้วจึงไปซักตาก ย้อมซ้ำอีกหลายๆ ครั้ง จนได้สี ตามต้องการ	บ้านหาดบ้าย ต.ริมโขง อ.เชียงของ จ.เชียงราย

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

การเตรียมน้ำคราม/ส้อม	การย้อม	แหล่งข้อมูล
*ผสมตะกอนจากครามและส้อม ปริมาณเท่าๆ กันในน้ำค้างซี๊ด ไม้จากต้นขี้เหล็ก	ขยำฝ้ายที่ล้างและทูปแล้วในน้ำ ครามจนติดสีอย่างทั่วถึงแล้วบิด ตาก ย้อมซ้ำหลายๆ ครั้ง	บ้านเหล่าฝักเหือด ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
แช่ใบส้อมในน้ำ 3 วัน ปั่นใบ ออกทิ้งได้น้ำสีเหลือง	นำฝ้ายลงย้อมในน้ำสี 4 ครั้ง โดยการย้อมตาก ครั้งสุดท้ายนำ ฝ้ายไปคลุกโคลน ชักให้สะอาด แล้วต้มในน้ำสกัดจากเปลือก และใบเหี่ยว	ต.ท่าตอน อ.แม่ฮาด จ.เชียงใหม่
นำครามที่หมักแล้วมาผสมกับ สารส้มและโซดาแอช	นำฝ้ายลงย้อมหลายๆ ครั้ง	บ้านพะมอลอ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน
ต้นและใบส้อมต้มกับน้ำ	ใส่ฝ้ายลงต้ม 5 นาที นำฝ้าย ออกมาเหยียบให้ฝ้ายติดสีอย่าง สม่ำเสมอ แล้วแช่ในน้ำย้อม 1 คืน แช่ในน้ำข้าวแล้วนำขึ้นตาก	บ้านศรีดอนชัย ต.บ้านกา อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

การเตรียมน้ำคราม/ส้อม	การย้อม	แหล่งข้อมูล
ตะกอนครามผสมส้อมใส่เปลือก มะริดไม้ ขมิ้น ใบส้มป่อย มะกรูด ผสมในน้ำค้างจืดแล้วคั้นให้เหลือ	นำฝ้ายมาขยำนในน้ำย้อมแล้วตาก ย้อมซ้ำหลาย ๆ ครั้ง	อ.ทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน
ครามผสมน้ำค้างจืดแล้วคั้นกล้วย มะขามเปียก เปลือกต้นมะริดไม้	นำฝ้ายลงขยำนให้ทั่วแล้วบิดตาก ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง	อ.เมือง จ.อุดรธานี
ผสมตะกอนครามกับน้ำค้างจาก จืด (ใบกล้วย ต้นกล้วย หรือ ต้นมะละกอ) และปูนจากหอย	ขยำนฝ้ายลงในน้ำข้าวหรือน้ำแป้ง แล้วจึงขยำนลงในน้ำคราม ตาก ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ครั้งสุดท้าย นั่งในถังถึง	บ้านโพน อ.บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์
ส้อมที่หมักแล้วผสมกับน้ำค้าง จากจืดแล้วผสมเกลือ ซึ่งเทผ่าน ถ่านร้อนติดไฟ ทิ้งไว้ 3 วัน ได้ น้ำสีเขียว	ขยำนฝ้ายกับน้ำสีบิดตากแห้ง ทำ ซ้ำ 3 ครั้ง	ต.แม่ไร่ อ.แม่สาย จ.เชียงราย
ครามผสมน้ำค้างจืดแล้วผสม	ขยำนฝ้ายในน้ำครามให้ทั่ว บิด ตากและย้อมซ้ำหลาย ๆ ครั้ง	อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย

ในการทดลองย้อมฝ้ายด้วยครามและส้อมนั้น คณะผู้วิจัยจะเริ่มจากตะกอนครามหรือส้อมที่หมักแล้วผสมน้ำค้างจืดเก่า ปูนขาว และใบส้มป่อยบด นำฝ้ายมาทาบแช่น้ำและชุบน้ำแป้งขยำนกับน้ำย้อม บิดตาก และย้อมซ้ำหลายๆ ครั้ง แล้วตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

2.2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับการย้อมมะเกลือ

เนื่องจากคณะผู้วิจัยเลือกมะเกลือเป็นวัตถุให้สีย้อมทับหรือสีรองพื้น จึงได้สำรวจข้อมูลเกี่ยวกับการย้อมมะเกลือ สรุปไว้ในตารางที่ 2.9 การย้อมมะเกลือเน้นใช้ผลมะเกลือสดๆ หรือผลที่ดองแช่น้ำไว้เพื่อใช้นอกฤดูปลูก ผลมะเกลือจะมียางที่ช่วยติดสีด้วย ฝ้ายที่ย้อมมะเกลือจะได้สีเทาและย้อมซ้ำหลายๆ ครั้ง จะได้สีดำ

ตารางที่ 2.9 วิธีการย้อมมะเกลือจากแหล่งต่างๆ

การเตรียมน้ำย้อม	การย้อม	แหล่งข้อมูล
นำผลมะเกลือสด ใบ เปลือก ต้นมะเกลือ ต้มรวมกันกับน้ำ จนเกิดยาง	ขยำฝ้ายในน้ำย้อมที่ได้ล้างน้ำ และตามให้แห้ง	ศูนย์หัตถกรรมบ้านเม่น ต.บ้านขาว อ.เมือง จ.อุดรธานี
ผสมมะเกลือตำผสมกับน้ำใส่ ปูนขาว	ขยำฝ้ายในน้ำย้อม บิดตาก ทำซ้ำ 2 ครั้ง	บ้านกองแขก ต.กองแขก อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
ผลมะเกลือตำผสมน้ำค้าง จืดเก่า	ขยำฝ้ายในน้ำย้อมให้ทั่วแล้วตาก ทำซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้สีดำ	บ้านหาดสูง ต.หาดเสี้ยว อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย

คณะผู้วิจัยจะเลือกทดลองย้อมมะเกลือโดยใช้ผลมะเกลือตำผสมกับน้ำ ใส่ปูนขาว นำฝ้ายที่ล้างสะอาดแล้วมาขยำในน้ำย้อม บิดตากและทำซ้ำอีกหลายๆ ครั้งจนได้สีดำ แล้วตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

2.2.7 การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการสำรวจวิธีการย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่า ขมิ้นครามและส้ม

ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทำโดยดูความคงทนของสีจากการซักล้างและแสง โดยใช้วิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีการทดสอบสิ่งทอในแง่ความคงทนของสีต่อแสง (แสงแดด) มอก. เล่ม 1 พ.ศ. 2518 ก 2. วิธีที่ 2 ⁽³⁰⁾ และความคงทนของสีต่อการซักฟอก: มอก. 121 เล่ม 3 พ.ศ. 2518 วิธีที่ 1 ⁽³¹⁾ โดยมีการปรับใช้เครื่อง Shaker bath GFL เขย่า 60 % ที่ 40 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แทนเครื่อง Launder Orniter (ดูรายละเอียดของวิธีการในภาคผนวกที่ 1) ระดับความคงทนต่อการซักฟอกและแสงที่พอยอมรับได้คือ ตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป

ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติที่เก็บในช่วงแรก ในด้านความคงทนต่อการซักและแสงแดดมีดังตารางที่ 2.10 ผลความคงทนที่ได้ประกอบกับวิธีการย้อมที่สำรวจมา ตลอดจนวัตถุดิบที่ใช้และขอบเขตเป้าหมายโครงการในการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติ 3 สีหลัก คือ แดงจากรากยอป่า (ครั้งเป็นแหล่งเสริม) เหลืองจากขมิ้น (รากยอป่าสภาพกรดเป็นแหล่งเสริม) และน้ำเงินจากครามและส้ม การวิจัยนี้เน้นสีแดงก่อน ผู้วิจัยจึงประเมินวิธีการย้อมและได้ออกไปลองย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่าในภาคสนาม 2 แห่ง และย้อมครามและส้ม 1 แห่ง ดังต่อไปนี้คือ

ก. บ้านนางใหม่และนางเอ๋ย บ้านห้วยฝาง ต.นาคอเรือ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ ย้อมฝ้ายเป็นสีแดงด้วยรากยอป่า ผสมน้ำค้างจืด (ไม่ได้เตรียมฝ้ายด้วยน้ำมัน)

ผลที่ได้ ฝ้าย ดิดสีชมพูอ่อน ความคงทนต่อการซักล้างและแสงอยู่ในระดับ 4

ข. บ้านนางเสาร์ ขอนดง กระเหรี่ยงบ้านค้างตะนะ ต.บ่อเหล็กหลวง อ.ลอง จ.แพร่ ย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่า โดยทำ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 เตรียมฝ้ายในน้ำมันหมูผสมไบมะไฟ แล้วจึงย้อมด้วยรากยอป่าผสมปูนขาวและไบมะไฟ

แบบที่ 2 เตรียมฝ้ายโดยการซักสะอาดอย่างเดียวไม่มีน้ำมันหมูและไบมะไฟ แล้วจึงย้อมด้วยรากยอป่าผสมปูนขาวและไบมะไฟ

ผลที่ได้ แบบที่ 1 จะดิดสีแดงส้มเข้ม ส่วนแบบที่ 2 จะดิดสีชมพู คุณภาพผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบในแง่ความคงทนต่อการซักล้างและแสงอยู่ในระดับ 4 ซึ่งอยู่ในระดับดีสำหรับการย้อมสีธรรมชาติโดยทั่วไป

ข้อสังเกต

จากการย้อมในภาคสนามทั้งสองแห่งสรุปได้ว่า สิ่งจำเป็นในการย้อมฝ้ายเป็นสีแดงด้วยรากยอป่านั้นมี 2 ขั้นตอนคือ การเตรียมฝ้ายก่อนย้อม การเตรียมสีย้อมและการย้อม ในการเตรียมฝ้ายก่อนย้อมนั้นนอกเหนือจากขั้นตอนการทำความสะอาดฝ้ายตามปกติแล้วยังต้องขยำฝ้ายกับน้ำค้างผสมน้ำมัน

ตารางที่ 2.10 การตรวจสอบคุณภาพของสิทธิธรรมชาติที่ย่อมฝ่ายในด้านความคงทนของสิทธิการชัก และต่อแสง (*ความคงทนที่น้ำสนใจ) และ (.....ไม่ทราบส่วนผสม)

ตัวอย่าง	สิทธิ์	ส่วนผสม	แหล่งที่มา	การชี้แจง	การตัดสินฝ่ายขาว	ความคงทนต่อแสง
1	น้ำเงิน	อ้อม.....	บ้านผาหมี จ.เชียงราย	2-3	4-5	4-5
2	น้ำเงิน	คราม.....	อ.บุญมี ศูนย์ส่งเสริม อุตสาหกรรมภาคเหนือ	4	4-5	4
*3	น้ำเงิน	คราม.....	นางจันทร์ดี ดี ลำพูน	4	4-5	5
4	เหลือง	ขมิ้น.....	นางจันทร์ดี	4	4-5	2
*5	เหลือง	ขมิ้นผสมปูนขาว	นางจันทร์ดี	5	4-5	6
6	เหลืองอมเขียว	ขมิ้นผสมใบพลู	นางจันทร์ดี	4	4-5	4
7	เหลือง	เพกาผสมน้ำด่างขี้เถ้า	นางแสง อ.แม่ทา จ.ลำพูน	5	4	4
8	แดงซีด	รากขมิ้น.....	บ้านประยอม อ.ดอง จ.แพร่	4	3-4	4
*9	แดงเข้ม	รากขมิ้น + ปูนขาว + ใบมะไฟ (+น้ำมัน)	นางเสาร์ บ้านคางตะนะ อ.ดอง จ.แพร่	3	4	4
9	แดงซีด	รากขมิ้น + ปูนขาว + ใบมะไฟ (-น้ำมัน)	นางเสาร์ บ้านคางตะนะ อ.ดอง จ.แพร่	4	4	4
10	แดงเข้ม	รากขมิ้น.....	นางตะแคง ลำพูน	3-4	4	4
11	แดงซีด	รากขมิ้น น้ำด่างขี้เถ้า(-น้ำมัน)	นางใหม่ อ.ฮอด	2-3	4	4

และใบไม้ที่มีแทนนิน ตำละเอียดคั้นหรือหมักนานๆ แล้วซักฟ่ายให้สะอาดจึงนำมาขย่มในน้ำขย่มสีจากรากยอป่าที่ใช้รากยอป่าตำละเอียดใส่ในน้ำค่างจี๊แล้วคลุกเคล้ากับฟ่ายจนทั่ว แล้วใส่ในหม้อต้มที่รองก้นและปิดทับบนด้วยใบไม้ที่มีแทนนิน (ใบมะไฟ) แล้วต้มจนน้ำระเหยไปหมด (พริกฟ่ายเป็นระยะจนกว่าน้ำจะระเหยหมด) นำฟ่ายที่ขย่มแล้วมาผึ่งจนแห้งสนิทถึงด้านใน แล้วจึงซักสีส่วนเกินออก ดังนั้นในการขย่มฟ่ายเป็นสีแดงด้วยรากยอป่า องค์ประกอบที่จำเป็นที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สีขย่มที่มีคุณภาพดี ตามภูมิปัญญาดังเดิมคือ

- น้ำมัน
- ฟ่าย
- รากยอป่าตำหรือบดละเอียด
- น้ำค่าง
- ใบพืชหรือส่วนของพืชที่มีแทนนิน

สิ่งเหล่านี้ใช้เป็นข้อมูลที่คณะผู้วิจัยจะนำไปพัฒนาวิธีการขย่มที่เหมาะสมสำหรับสีแปรรูปจากรากยอป่าต่อไป

ก. บ้านแม่เลื่อน บ้านเหล่าผัดเหือด อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ ลองขย่มส้อมและคราม ผลที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ แต่เป็นการไปเก็บเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยในการหมักครามและก่อหม้อครามมาเพื่อการพัฒนาการแปรรูปสารให้สีจากครามและส้อมและพัฒนาวิธีการขย่มที่เหมาะสมต่อไปด้วย

2.3 การสำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบให้สีแดง (รากยอป่า ครั้ง) เหลือง (ขมิ้น) และน้ำเงิน (ครามและส้อม)

ผลการสำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบให้สีหลักสามสี และจัดเก็บอย่างมีระบบพร้อมชื่อสามัญ ชื่อวิทยาศาสตร์ และชื่อท้องถิ่น และส่วนที่ใช้สรุปรวมไว้ในตารางที่ 2.11 สำหรับรายละเอียดของวัตถุดิบที่เลือกใช้แต่ละชนิดนั้น จะกล่าวถึงเรียงลำดับจากวัตถุดิบให้สีแดง เหลือง และน้ำเงิน

2.3.1 รายละเอียดของวัตถุดิบให้สีแดงที่คัดเลือกแล้ว

ในงานวิจัยนี้วัตถุดิบหลักที่ให้สีแดงที่จะใช้คือ รากยอป่าและวัตถุดิบเสริม คือ สีแดงจากครั้ง การรวบรวมจากเอกสารต่างๆ⁽³²⁻³⁶⁾ และจากการสำรวจแหล่งที่มีและที่ใช้กันในภาคเหนือเกี่ยวกับต้นยอพบว่า เป็นต้นไม้อยู่ในวงศ์ Rubiaceae สกุล *Morinda* spp. ซึ่งไม้สกุลนี้เท่าที่สำรวจพบในภาคเหนือตอนบน มี 4 ชนิด คือ

ตารางที่ 2.11 วัตถุประสงค์ที่ให้ผลิตภัณฑ์หลักสามสี่ที่คัดเลือก พร้อมชื่อวิทยาศาสตร์ ส่วนที่ใช้ย้อม และแหล่งที่พบมาก

ชื่อพันธุ์ไม้		ชื่อทางพฤกษศาสตร์ และตระกูล		สีที่ย้อมได้ (ฝ้าย/ไหม)	ส่วนที่ใช้	แหล่งที่พบมาก
ไทย	อังกฤษ	Botanic name	Family			
ยอป่าหรือยอ (ภาคกลาง) ตะดุมพุท (อีสาน) สลัก (เหนือ)	Madder fam	<i>Morinda coreia</i> Ham	Rubiaceae	แดงหรือเหลือง แล้วแต่ภาวะการ ย้อม	ราก	ภาคเหนือตอนบน แม่ฮ่องสอน แพร่ เชียงใหม่ น่าน ภาคอีสานเหนือ ร้อยเอ็ด สกลนคร กาฬสินธุ์ ขอนแก่น
ครั่ง (ลี้ดัว)	Stick lac	<i>Laccifer chinensis</i> Mah dihassan วงศ์ Cocidae		แดง	ตัวแมลง และรัง	ภาคเหนือตอนบน แพร่ เชียงใหม่ ลำปาง ภาคอีสาน มีทั่วไป
ขมิ้น	Turmeric	<i>Curcuma zedoaria</i> Roscoe	Zingiberaceae	เหลือง	เหง้า	ปลูกทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย
คราม	Indigo	<i>Indigo tinctoria</i> Linn.	Leguminoseae	น้ำเงินเข้ม	ต้นและใบ	ปลูกทั่วไปในภาคเหนือและภาคอีสาน ปลูก มากในภาคอีสาน
คราม (ภาคกลาง) ส้อม (ภาคเหนือ)	Assam Indigo Room	<i>Strobilanthes cusia</i> Kuntze	Leguminoseae	น้ำเงินเข้ม	ต้นและใบ	ปลูกทั่วไปในภาคเหนือและภาคอีสาน

ก. ยอบ้าน

ชื่อพฤกษศาสตร์

Morinda citrifolia Linn.

ชื่อท้องถิ่น

มะตาเลื้อย (ภาคเหนือ)

ยอ ยอบ้าน (ภาคกลาง)

แบใหญ่ (กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน)

ชื่ออังกฤษ

Indian Mulberry

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นไม้พุ่มไม่ผลัดใบ หรือไม้ต้นขนาดเล็ก เรือนยอดรูปกรวย ลำต้นคดงอ สูงขนาด 3-10 เมตร มีรากแก้วเล็ก เปลือกสีเทาหรือน้ำตาลอมเหลือง ผิวเรียบหรือมีรอยแตกตื้นๆ กิ่งก้านเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีใบเดี่ยวเกิดตรงกันข้าม ใบมีรูปไข่แกมหอก ขนาดยาว 10-50 เซนติเมตร กว้าง 5-17 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ ปลายใบแหลม ฐานใบเรียวเข้าหาก้านใบ ผิวใบมัน ดอกช่อออกเป็นกระจุก ก้านดอกยาว 1-4 เซนติเมตร ดอกรูปแตรขนาด 1.5 เซนติเมตร สีขาว มีกลิ่นหอม ผลรูปไข่ขนาด 3-10 x 2-3 เซนติเมตร สีขาวเมื่ออ่อน และเมื่อแก่เต็มที่มีสีขาวนวล มีกลิ่น

ชนิดย่อย

ไม้สกุลนี้มี 2 ชนิด คือ var. *citrifolia* และ var. *bracteata*

(varieties)

itook.f ซึ่งชนิดหลังจะมีกลีบเลี้ยงที่มีลักษณะคล้ายใบ รูปหอกขนาด 1-15 เซนติเมตร ยื่นออกมา มีลำต้นตรงและใบเล็กกว่าชนิดแรก

การขยายพันธุ์

ด้วยเมล็ด

การเก็บเกี่ยว

หลังจากการปลูก 3-5 ปี จึงจะให้เปลือก รากที่ใส่ในปริมาณสูง และสีมีคุณภาพดี

แหล่งและปริมาณ

มีปลูกทั่วไป ตามบ้าน ปริมาณไม่มากนัก

ข. ยอป่า

ชื่อพฤกษศาสตร์

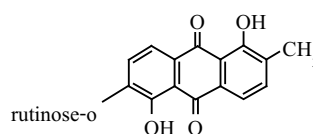
Morinda tomentosa Roth.

ชื่อท้องถิ่น

คู (กะเหรี่ยงกาญจนบุรี) คุย (พิษณุโลก) โค๊ะ (กะเหรี่ยงแพร่) คุย (กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน) เคาะ ยอป่า สะกีย หัสเกย สลักป่า สลักหลวง (ภาคเหนือ) ตะลุ่มพุท (อีสาน) ขอนแก่น ร้อยเอ็ด) ตะเกรย (ราชบุรี)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูง 4-15 เมตร ลำต้นมีเปลือกสีน้ำตาลแดงหรือเทา แตกปริเป็นร่องลึกไปตามยาวของลำต้นหรือบางที่อาจแตกเป็นสะเก็ดสีเหลืองเล็ก ๆ เปลือกใบสีเทาอ่อน เรือนยอดเป็นพุ่มกลมรีๆ ตามก้านหรือกิ่งอ่อนๆ มีขนนุ่มๆทั่วไป ใบมีลักษณะมนรูปไข่กลับ หรือรูปขอบขนานแกมรูปดาบ ขนาด 4-7.5 x 8-17 เซนติเมตร โคนใบส่วนมากคอดเรียวไปสู่ก้านใบ บางที่โคนใบเบี้ยวปลายใบส่วนมากเรียว บางที่มนป้อม เนื้อใบค่อนข้างบาง หลังใบมีขนสากระปรายโดยเฉพาะมีมากตามเส้นใบ เส้นแขนงใบมี 8-11 คู่ ใบแห้งออกสีดำ ดอกสีขาวกลิ่นหอม หลอดกลีบดอกเป็นรูปแฉกนทรีสูง ปลายแยกเป็นห้ากลีบ ภายในหลอดมีขนละเอียด รังไข่ประสาณติดกันเป็นก้อน และเจริญเติบโตขึ้นเป็นผล ผิวนอกเป็นปุ่มปม เนื้อเยื่อข้างในขาวและมีน้ำมาก เมล็ดบิดเบี้ยว ไม่มีปีก
ชนิด (varieties)	<i>M. tinctoria</i> Roxb. <i>M. coreia</i> Buch. - Ham
ระยะการเป็นดอกผล	ออกดอกระหว่างเดือนเมษายน ไปจนถึงเดือนกรกฎาคม และเป็นผลระหว่างเดือนพฤษภาคมไปถึงเดือนสิงหาคม แล้วแต่ว่าพื้นที่นั้นๆ จะมีฝนตกชุกหรือเร็ว
นิเวศวิทยา	พบทั่วไปในป่าผลัดใบผสมทั่วไปทางภาคเหนือตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตกเฉียงใต้ ไม่ชอบที่ชื้นแฉะทั่วไป
แหล่งในภาคเหนือ	พบที่ดอยสุเทพ ดอยอินทนนท์ แม่ฮ่องสอน กรมทางหลวงได้นำมาปลูกริมทางหลวงในภาคเหนือ เช่น สายลำพูน-เชียงใหม่ เชียงใหม่-แม่แจ่ม ลำปาง-แพร่-สุโขทัย
ค.ยอเถื่อน	
ชื่อพฤกษศาสตร์	<i>Morinda elliptica</i> Rudley
ชื่อท้องถิ่น	กะบูด (มาเลเซีย, ปัตตานี) บูด (นราธิวาส) ยอเถื่อน (ชุมพร) ยอป่า (ตรังและสตูล)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	เหมือน <i>Morinda tomentosa</i> ยกเว้นเนื้อใบค่อนข้างบาง ใบเกลี้ยงไม่มีขน
นิเวศวิทยา	พบขึ้นทั่วไปตามป่าดินแล้งที่ค่อนข้างโปร่ง การถ่ายเทน้ำสะดวก ทางภาคตะวันออกเฉียงใต้และภาคใต้
จ. ยอหิน	
ชื่อพฤกษศาสตร์	<i>Morinda angustifolia</i> Roxb. var. <i>scabridula</i> caib.
ชื่อท้องถิ่น	ขรักคง คิงไส สลัก (เชียงใหม่) สลักป่า (ลำปาง)
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ไม้พุ่ม หรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 1 เมตร มีกิ่งก้านมาก ใบเดี่ยว ออกตรงกันข้าม ขนาด 4-5 x 15-18 เซนติเมตร รูปขอบขนานแกมรูปหอก ปลายใบแหลมฐานใบเรียวเข้าหาก้านใบ ขอบใบเรียบเส้นแขนงใบ 9-12 คู่ มีหูใบรวมก้านใบยาวประมาณ 1-3 เซนติเมตร ดอกเป็นช่อ มีลักษณะเป็นกระจุกกลมโดยมีใบเลี้ยงเชื่อมติดกัน กลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบดอกเป็นหลอด ปลายดอกแยกเป็น 4-6 กลีบ มีกลิ่นหอม ก้านดอกยาว 2-5 เซนติเมตร เป็นดอกชนิดสมบูรณ์เพศ ผลรูปไข่หรือค่อนข้างกลม ขนาด 1-3 เซนติเมตร เป็นผลสดสีเขียว เมื่อแก่สีน้ำตาลดำมีเมล็ดสีดำ พบทั่วไปเป็นพืชในร่มในป่าเสื่อมโทรม หรือป่าผสมผลัดใบ และไม่ผลัดใบในภาคเหนือที่ระดับน้ำทะเลสูงพบพื้นที่ภูเขาในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน แพร่ แม่ฮ่องสอน เป็นต้น
นิเวศวิทยา	
สารสำคัญ	พืชในวงศ์ Rubiaceae สกุล <i>Morinda</i> spp. ทั้ง 4 ชนิดนี้จะมีเปลือกสีแดง เนื้อในเป็นสีเหลืองเปลือกมีสารสีแดงชื่อ มอรินดิน (morindin) ซึ่งโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประเภท แอนทราควิโนน (anthraquinone) สูตรโครงสร้างที่มีผู้วิเคราะห์ไว้คือ



ประโยชน์

ใช้ราก (เปลือกราก+เนื้อราก) ย้อมผ้าหรือเส้นใยฝ้ายและไหม ให้มีสีเหลือง แดง หรือแดงส้ม สีย้อมที่ได้จะมีสีแตกต่างกันในแต่ละภาวะที่ใช้ เช่น ในภาวะที่เป็นกรดจะให้สีเหลือง และภาวะที่เป็นด่างจะให้สีแดง นอกจากนี้การต้มเกลือของโลหะบางชนิดลงไป ยังทำให้ได้สีแตกต่างกันออกไป และทำให้สีติดแน่นคงทนอีกด้วย เช่น สีจากรากยอป่าผสมเกลือของอะลูมิเนียม ได้สีชมพู-แดง สีจากรากยอป่าผสมเกลือของเหล็ก ได้สีม่วงแดง สีจากรากยอป่าผสมเกลือของโครเมียม ได้สีน้ำตาล

จากการวิเคราะห์ชนิดของยอป่าที่พบในเขตภาคเหนือและปริมาณที่พบ คณะผู้วิจัยได้เลือกพืชตระกูลยอ วงศ์ Rubiaceae สกุล *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. หรือยอดิน ในการพัฒนาการผลิตสีแปรรูป เพื่อให้ได้สีย้อมสีแดง และเหลืองต่อไป ทั้งนี้เพราะเป็นไม้พุ่มหรือไม้ขนาดเล็ก หาง่ายในที่ทั่วไป ปลูกรง่าย ระยะเวลาการปลูกไม่ยาวนาน รากแตกแขนงไปตามพื้นดินและขึ้นเป็นต้นได้ง่าย เป็นพืชที่ทางภาคเหนือโดยเฉพาะชาวไทยภูเขาเผ่ากะเหรี่ยงใช้ในการย้อมสีธรรมชาติเป็นสีแดงและเหลือง การขุดรากขึ้นมาใช้ก็ทำได้ง่ายกว่าชนิดอื่น ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่กว่า ไม่ต้องเป็นห่วงเรื่องการตัดไม้ทำลายป่า การศึกษาการเพิ่มผลผลิตโดยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของรากก็จะใช้พืชสกุลนี้เช่นเดียวกัน

สำหรับวัตถุดิบที่ให้สีแดงที่คณะผู้วิจัยจะเลือกเป็นวัตถุดิบเสริม นั้น คือ ครั่ง เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีการเพาะเลี้ยงมากทั้งในภาคเหนือ (เชียงใหม่ พะเยา ลำปาง แพร่) และภาคอีสาน และใช้ประโยชน์ในการเป็นสีแต่งอาหารและเป็นสีย้อมไหม ขนสัตว์ หนังกบ และฝ้าย โดยส่วนที่ใช้คือตัวและรัง รังครั้งเองจะมีพวกชันและสี เมื่อสีออกไปใช้ย้อมผ้าแล้วชันยังใช้ทำเชลแลคและน้ำยาขัดเงาได้ ครั่งจึงเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์หากนำไปใช้ประโยชน์แบบครบวงจร

ครั่ง เป็นแมลงตัวสีแดงขนาดเล็กมาก อาศัยอยู่ตามกิ่งของต้นไม้ที่ใช่เลี้ยง เช่น ก้ามปู พุทรา สะแก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lacifer lacca* ซึ่งอยู่ในวงศ์ *Laciferidae* มีการเจริญเป็น 4 ขั้น คือ ไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และตัวแก่ตามลำดับ ตัวเมียมีอายุคราวละ 6 เดือน สืบพันธุ์ได้ 2 ครั้ง ใน 1 ปี ดังนั้นสามารถปล่อยครั้งเพาะเลี้ยงในรอบปีหนึ่งได้ 2 รอบ คือ

ก. รอบฤดูฝน ระหว่างเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน

ข. รอบฤดูแล้ง ระหว่างเดือน พฤศจิกายน – ธันวาคม

เมื่อปล่อยครั้งแล้วปล่อยให้ขยายพันธุ์เองจนครบ 1 ปี จึงตัดเก็บไว้ หรือตัดเก็บปีละ 2 ครั้งกล่าวคือ ปล่อยใน เดือน พฤษภาคม – มิถุนายน ก็เก็บในเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม และที่ปล่อยในเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม ก็ตัดเก็บในเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน เป็นต้น

การแพร่พันธุ์ เกิดจากตัวอ่อนซึ่งออกจากไข่ตัวเมียซึ่งให้ลูกคราวละ 200 – 500 ตัว เมื่อออกจากซากรังแม่จะไต่ไปตามกิ่งไม้หาส่วนที่มีเปลือกบางอ่อนนุ่ม เองวงเจาะไชลงถึงทางเดินน้ำเลี้ยงโดยไม่เคลื่อนย้ายต่อไปอีก แมลงครั้งดูกินน้ำเลี้ยงแล้วก็จะขับถ่ายอย่างครั้งมาทำรังห่อหุ้มเป็นเกราะป้องกันตัวเอง อย่างครั้งที่ขับออกมาจะมีลักษณะเหนียวเป็นสีทอง เมื่อถูกอากาศจะแข็งเป็นสีน้ำตาลทับถมซ้อนกันจนหนาและเชื่อมติดกับผนังครั้งตัวอื่นๆ หุ้มยาวไปตามกิ่งไม้ บางทีขยายไปรอบกิ่งไม้ เมื่อถึงฤดูผสมพันธุ์ ตัวเมียที่ผสมพันธุ์แล้วก็จะระบายยางครั้งหุ้มตัวเป็นรังขนาดใหญ่ ปล่อยไข่ และแพร่พันธุ์เป็นตัวอ่อนออกจากรังมาสร้างเกราะรอบตัวเองบนกิ่งไม้ ดังนั้นผลผลิตครั้งที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของดินไม้ เช่น ดินก้ามปูขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ อาจจะได้ต้นละ 10, 60 และ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับดินก้ามปูที่โตเต็มที่อาจได้ต้นละ 100 – 300 กิโลกรัม เป็นต้น ผลผลิตครั้งจากภาคเหนือในปี 2534/35 ซึ่งเป็นผลผลิตทั่วประเทศ คือ 3,000 – 3,500 เมตริกตัน

สารสำคัญ

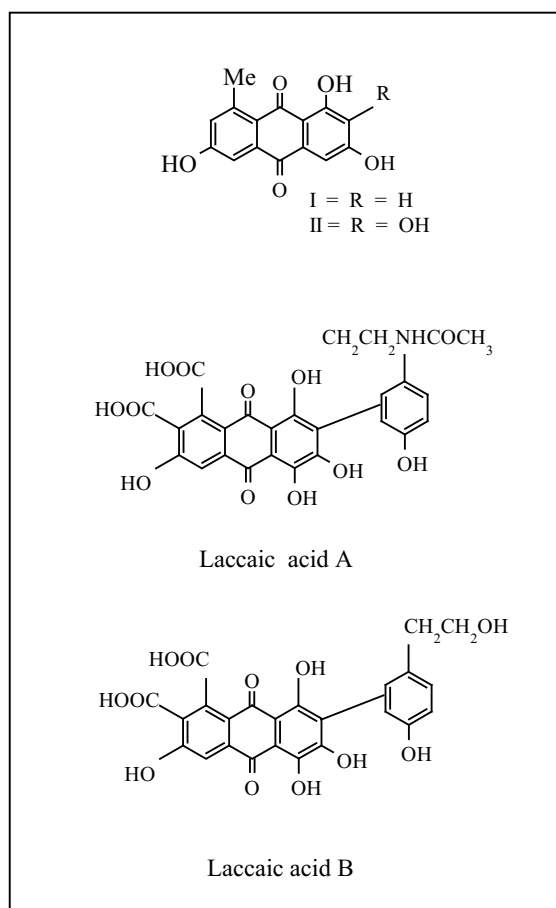
- ผลิตภัณฑ์จากครั้งใช้ส่วนที่เป็นสีแดงใน อุตสาหกรรมทำสีย้อมผ้า อุตสาหกรรมทำสีรถยนต์ สีผสมอาหาร และส่วนที่เป็นยางใน อุตสาหกรรมครั้งแผ่น (เซลแลก) และใช้เป็นส่วนประกอบของ อุตสาหกรรมพลาสติกคุณภาพสูง ได้แก่ สวิตช์ไฟฟ้า เป็นต้น
- สีครั้งจะมีประมาณ 1.5 – 2 % โดยน้ำหนักของครั้งดิบ ส่วนที่เป็นสารสีจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ส่วนที่ละลายน้ำ สีแดง ชื่อ Laccaic acid หรือเรียกทั่วไปว่า สีครั้ง (lac dye) และสารสีเหลืองที่ละลายในแอลกอฮอล์เรียกว่า Erythrolaccin ซึ่งมี 2 ชนิด คือ deoxyerythrolaccin (I) และ isoerythrolaccin (I) Laccaic acid มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบพวกแอนทราควิโนน (anthraquinone) ซึ่งแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 4 ชนิด คือ แอนทราควิโนน เอ บี ซี และ ดี ที่พบเป็นองค์ประกอบหลักสีครั้ง คือ Laccaic acid A และ B เท่านั้น (รูปที่ 2.1)

ประโยชน์

- กรดแลกคาอิกนี้ละลายได้ดีในน้ำและด่าง ใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติย้อมเส้นใยโปรตีนได้ดี เช่น ไหม ขนสัตว์ เนื่องจากเป็นสารละลายน้ำได้ การคงทนต่อการซักล้างขัดถู และแสงจะต่ำ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาในสารละลายที่เป็นกรดจะให้คุณสมบัติที่ติดแน่นกับสารอื่นได้ดี สารที่ทำให้ติดกับเส้นใยดีขึ้นหรือสารช่วยติดสี (mordant) ที่นิยมใช้กับสีครั้งได้แก่ สารส้ม กรดทาร์ทาริก

น้ำมะขาม ซึ่งจะเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักฟอก การขัดถูและแสงแดดดีขึ้น

- สีครั่งใช้ย้อมผ้าได้แต่ไม่ดีเท่ากับไหม อาจต้องลองพัฒนาวิธีการเตรียมผ้าและวิธีการย้อมให้ติดผ้าได้ดีเช่นเดียวกับไหม



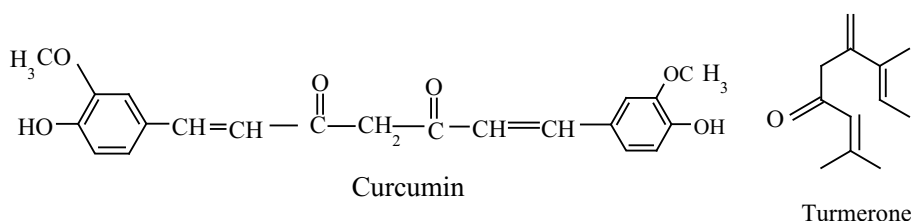
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสารให้สีจากครั่ง

2.3.2 รายละเอียดของวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่เลือกใช้ในการพัฒนาสีแปรรูปและการย้อม

วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองมีมากมายหลายชนิด ส่วนใหญ่ส่วนที่ใช่มักเป็นเปลือกไม้หรือแก่นไม้ ซึ่งคณะผู้วิจัยหลีกเลี่ยงการตัดไม้ทำลายป่า จึงได้พยายามใช้วัตถุดิบที่ให้สีเหลืองที่มี ข้อมูลในการย้อมมาก ย้อมง่าย มีอยู่ทั่วไป และปลูกง่าย ใช้เวลาในการปลูกน้อย คือ ขมิ้น และวัตถุดิบเสริม คือ รากยอป่า ที่เลือกใช้สำหรับการย้อมสีแดงข้างต้นแต่ใช้ในภาวะที่เป็นกรดจะให้สีเหลือง

ขมิ้น มีชื่อท้องถิ่นหลายชื่อตามภูมิภาค คือ ขมิ้นแดง ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว (เชียงใหม่) ขมิ้น หมีน (ภาคใต้) ขมิ้นชัน (ภาคกลาง ภาคใต้) ตายอ (กะเหรี่ยงกำแพงเพชร) สะยอ (กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน) ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Turmeric ชื่อวิทยาศาสตร์ *Curcuma longa* Linn. หรืออีกชื่อหนึ่งคือ *Curcuma demestica* Valetton. เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae พืชวงศ์นี้ที่พบในเมืองไทย มีอีกชนิดหนึ่งคือ **ขมิ้นอ้อย** ภาคเหนือเรียกขมิ้นขึ้น และเขมรเรียกกะเมียด มีชื่อวิทยาศาสตร์เป็น *Curcuma zedoaria* Roscoc ทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้เหง้าในการให้สีข้อม การให้สีนั้นเหง้าที่แก่ ขมิ้นชันจะให้สีเหลืองจางๆ ส่วนขมิ้นอ้อยจะให้สีเหลืองอ่อนกว่า ทั้งขมิ้นชันและขมิ้นอ้อยเป็นพืชล้มลุกมีเหง้าอยู่ใต้ดิน ขมิ้นชันจะมีเหง้าเล็กกว่าขมิ้นอ้อย นิยมใช้เป็นเครื่องเทศในการปรุงอาหาร และแต่งสีอาหารให้เป็นสีเหลือง ขมิ้นเป็นพืชปลูกง่ายชอบดินร่วนซุยที่ระบายน้ำได้ดี ชอบอากาศร้อนและชื้น ปัจจุบันประเทศไทยปลูกขมิ้นชันส่งขายเป็นสินค้าออกระยะเวลาเก็บเกี่ยวเหง้าหลังการปลูก 9-10 เดือน

สารสำคัญ ขมิ้นประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 2-6 เป็นน้ำสีเหลืองซึ่งมีสารหลายชนิด เช่น termerone, basneol, camphor (การบูร) และ zingiberene เป็นต้น นอกจากนี้ก็มีสารสีเหลืองส้มชื่อ curcumin ซึ่งทำให้ขมิ้นมีสีเหลือง มีอยู่ประมาณร้อยละ 1.8-5.4 (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 สารสำคัญในขมิ้นอ้อยและขมิ้น

ประโยชน์ ขมิ้นจัดเป็นพืชสมุนไพร เพราะส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหยในขมิ้นมีฤทธิ์ลดอาการอักเสบ และสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของเชื้อหนองได้ ใช้รับประทานแก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ อาหารไม่ย่อย และ แก้อาการระคายเคือง ส่วนที่เป็นสีเหลืองใช้แต่งสีอาหารต่างๆ เช่น ข้าวหมกไก่ หมูสะเต๊ะ แกงกระหรี่ แกงเหลือง เนย เนยแข็ง ผักดอง และผงมัสดาร์ด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผู้นิยมใช้ขมิ้นในการย้อมผ้าและเส้นใยต่างๆ ให้เป็นสีเหลือง เช่น จีวรพระ ข้อเสียคือ เส้นใยที่ย้อมด้วยขมิ้นสีมักจะไม่คงทนต่อการซักล้าง ซัก

ถู และแสงแดด ต้องมีการปรับปรุงวิธีการย้อมและใช้สารติดสีที่เหมาะสมต่อไป

2.3.3 รายละเอียดของวัตถุดิบที่ให้สีน้ำเงินที่เลือกใช้ในการพัฒนาสีแปรรูปและการย้อม

สีย้อมธรรมชาติที่ให้สีน้ำเงินนั้นนิยมใช้ครามและส้อมในการย้อมเส้นใยฝ้าย/ไหม กรรมวิธีการเตรียมสีจากครามและส้อม และวิธีย้อมได้สืบทอดกันมานานหลายชั่วคนก็ยังได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีคุณภาพในแง่ความติดทนสู้สีสังเคราะห์ไม่ได้ กรรมวิธีการย้อมก็ยุ่งยากและใช้เวลามากกว่า อย่างไรก็ตามใครก็ตามที่ผู้วิจัยได้เลือกครามและส้อมเป็นวัตถุดิบในการเตรียมสารสีน้ำเงินเพื่อทำสีแปรรูปและพัฒนาวิธีการย้อม เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายและใช้เวลาไม่นานก็เก็บเกี่ยวได้ และใช้ได้ทั้งต้นและใบในการเตรียมสี มีปลูกทั่วไปในภาคเหนือและภาคอีสาน

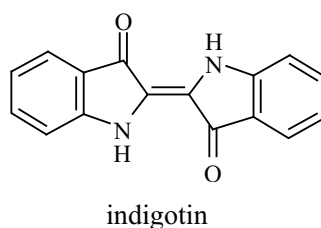
ครามเป็นไม้พุ่ม แตกกิ่งก้าน กิ่งมีสีม่วงแดงปนเขียว ยอดอ่อนมีขนปกคลุม ใบเป็นใบประกอบโคนและปลายใบแหลมมีขนสั้นๆ ปกคลุมผิวใบ ดอกออกเป็นช่อ ช่อดอกเกิดที่ซอกภายในเมล็ด 6-8 เมล็ด เพาะพันธุ์โดยใช้เมล็ด ครามมีชื่อท้องถิ่น เป็น ครามดอย ครามขน ครามเขา ครามป่า ครามใหญ่ ครามหลวง ภาคเหนือเรียก ส้อม ส้อมเมือง (น่าน) กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอนเรียก นะมอ ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Indigo เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Leguminosae พืชวงศ์นี้ที่ใช้ในการย้อมสีน้ำเงินในประเทศไทยมี 2 ชนิด ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ เป็น

ก. *Indigofera tinctoria* Linn. ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า คราม และ

ข. *Strobilanthes cusia* Kuntze หรือ *Baphicacanthus cusia* Brem. ซึ่งชาวเหนือเรียกว่า ส้อม หรือ ส้อมเมือง

ทั้งสองชนิดมีปลูกทั่วไปในภาคเหนือและภาคอีสาน

สารสำคัญ สารสีน้ำเงินในต้นคราม ชื่อ indigotin หรือ indigo blue (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 สารสีน้ำเงินที่พบในครามและส้อม

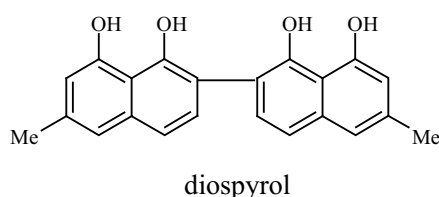
ประโยชน์ สารสีน้ำเงินใช้ย้อมผ้าหรือเส้นใย (ฝ้าย/ไหม) ให้เป็นสีน้ำเงิน

2.3.4 รายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดิบให้สีดำที่เลือกใช้ในการพัฒนาสีแปรรูปสำหรับเป็นสีรองพื้นหรือย้อมทับและสารช่วยติดสี

คณะผู้วิจัยเน้นเรื่องการผลิตสีแปรรูปเฉพาะสีแดง เหลือง และน้ำเงิน และพัฒนาการย้อมสีแปรรูปดังกล่าว แต่เนื่องจากวัตถุดิบที่ให้สีดำ คือ มะเกลือนี้ มีผู้นิยมย้อมเป็นสีรองพื้นหรือย้อมทับเพื่อเพิ่มความเข้มของสีย้อม อีกประการหนึ่งจากมะเกลือยังช่วยทำให้สีติดคงทนด้วย คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับสีจากมะเกลือเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาการย้อมสีแปรรูปที่ผลิตขึ้น

มะเกลือเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ เปลือกต้นมีสีดำ ใบเป็นใบเดี่ยว ปลายใบแหลม รอบใบเรียว ผิวใบเรียบเป็นมัน ดอกออกเป็นช่อ แยกเพศอยู่คนละต้น ดอกตัวผู้ออกตามซอกใบ ช่อหนึ่งประมาณ 3 ดอก ดอกตัวเมียเป็นดอกเดี่ยว ผลมีรูปร่างกลม มีกลีบเลี้ยง 4 กลีบ ส่วนที่ใช้เตรียมสี คือ ผลแก่ มะเกลือเป็นพืชอยู่ในวงศ์ Ebenaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์เป็น *Diospyros mollis* Griff. ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Ebony Tree

สารสำคัญ ในผลมะเกลือมีสารชื่อ diospyrol – diglucoside ซึ่งจะถูกรอกออกซิไดซ์ได้ง่ายในอากาศ กลายเป็นสาร diospyrol ซึ่งมีสีดำย้อมผ้าติดทนดี (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 สารสำคัญในมะเกลือที่ให้สีดำ

ประโยชน์ สีดำจากลูกมะเกลือใช้ย้อมผ้าและแพรให้สีดำสนิท เมื่อย้อมซ้ำจนติดสีดีแล้วสีจะไม่ตก ยิ่งถูกแดดยิ่งดำ ผ้าที่ย้อมจะมีคุณภาพดี และยังทำเนื้อให้หนาขึ้น ในผลมะเกลือมีสารรสฝาดที่ช่วยทำให้สีติดดี บางคนนิยมใช้ต้นกระเม็งตำรวมกับผลมะเกลือ เพื่อให้ผ้าที่ย้อมได้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

บทที่ 3

การสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีแดงจากรากยอป่าและครั้ง

ในการพัฒนาวิธีการย้อมสีธรรมชาติให้เหมาะกับสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตขึ้นและในการผสมสูตรสำเร็จสำหรับผลิตสีแปรรูปให้สะดวกต่อการใช้และการเก็บรักษานั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการสกัด ปริมาณและองค์ประกอบของสารให้สีหลักแต่ละชนิดที่สกัดได้ ประเภทของสารให้สีและโครงสร้างทางเคมีตลอดจนสมบัติการเปลี่ยนแปลงสีตามความเป็นกรดเบสของสารละลายและการเกิดเจดสีโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลือโลหะบางชนิด เป็นต้น คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาสารสีแดงจากรากยอป่าและครั้ง สารสีเหลืองจากขมิ้น และสารสีน้ำเงินจากครามและส้อมเพื่อเป็นข้อมูลในการผลิตสีแปรรูปและพัฒนาวิธีการย้อมให้เหมาะสมต่อไป

3.1 การสกัดและเตรียมน้ำสีจากรากยอป่า และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารให้สี

ได้สกัดและเตรียมน้ำสีจากรากยอป่า และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารให้สีในน้ำสกัด โดยรากยอป่าที่เป็นไม้พุ่ม หรือไม้ยืนต้นขนาดเล็กที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์เป็น *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. (รูปที่ 3.1) ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้คัดเลือกแล้วและมีทั่วไปในที่ภูเขาจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ แพร่ น่าน ได้จ้างชาวกะเหรี่ยงขุดรากยอป่ามาขายโดยคิดเป็นราคารากสดกิโลกรัมละ 40 บาท แล้วนำมาล้างน้ำ ตากแห้งและบดเป็นผงต่อไป ตามลำดับต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ลักษณะต้นยอป่าสายพันธุ์ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib.

3.1.1 การเก็บวัตถุดิบ

ได้ทำการส่งขูดรากขมิ้นจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน และ อ.ลอง จ.แพร่ ได้นำหนักรากขมิ้นสดทั้งหมดประมาณ 150 กิโลกรัม นำรากขมิ้นสดที่เก็บได้มาทำการหั่นและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อสะดวกต่อการอบแห้งและบดเป็นผง นำรากขมิ้นที่หั่นเรียบร้อยแล้วมาทำการอบให้แห้งด้วยตู้อบชนิด Dry heat oven เป็นเวลานานประมาณ 4-5 วัน ที่อุณหภูมิ 40-60 °C หลังจากวัตถุดิบแห้งแล้วจึงนำเข้าเครื่องบดเป็นผง เพื่อให้สะดวกต่อการสกัดและศึกษาต่อไป และเป็นการใช้วัตถุดิบอย่างคุ้มค่าด้วย เพราะการสกัดวัตถุดิบในรูปผงจะสกัดน้ำสีกออกมาได้มากกว่าทำเป็นชิ้นๆ วัตถุดิบอบแห้งจะมีน้ำหนักลดลงไปประมาณ 46 % เนื่องจากการสูญเสีย น้ำ กล่าวคือ น้ำหนักรากสด 3.13 กิโลกรัม อบแห้งแล้วเหลือ 1.7 กิโลกรัม ดังนั้นน้ำหนักเหลืออยู่เท่ากับ 54.17 % จากเริ่มต้น

3.1.2 การสกัดหรือเตรียมน้ำสีเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์และแยกองค์ประกอบหลัก

ทำการสกัดผงป่นของรากขมิ้นด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ (methanol) โดยการใช้ชุดสกัดแบบต่อเนื่อง (Soxhlet's apparatus) จนกระทั่งสีถูกสกัดจากผงป่นหมดโดยสังเกตจากสีของ methanol ว่าซีดจางลงแล้วจึงหยุดการสกัด การสกัดนี้จะใช้เวลาสกัดนานประมาณ 10 วัน รายละเอียดของวิธีการสกัดมีดังนี้

ใช้ผงป่นรากขมิ้นจำนวน	1.5	กิโลกรัม
ใช้ methanol จำนวน	6	ลิตร
ชุดสกัดแบบต่อเนื่องขนาดจุ 5 ลิตร จำนวน	2	ชุด
ชุดเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ	1	ชุด
ได้น้ำสีเข้มข้นหลังการสกัด	267.5	กรัม

3.1.3 การตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีเพื่อหาชนิดของกลุ่มองค์ประกอบหลักที่ให้สีในรากขมิ้น⁽³⁷⁾

ได้ทำการตรวจสอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีทางเคมี เพื่อหาชนิดของกลุ่มองค์ประกอบหลักของสารให้สีในรากขมิ้น โดยใช้วิธีตรวจสอบต่อไปนี้

ก. วิธีการตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของกลุ่ม carotenoid

ทำการสกัดผงพืชตัวอย่างด้วยคลอโรฟอร์ม (chloroform) และกรองเก็บน้ำยาสกัด chloroform นี้มาหยดด้วยกรดกำมะถันเข้มข้น ถ้าพืชตัวอย่างมีสารประกอบ carotenoids อยู่เป็นองค์ประกอบจะปรากฏเป็นสีน้ำเงินหรือสีเขียวอมน้ำเงิน

ข. วิธีตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของกลุ่ม flavonoids

ทำการสกัดผงพืชตัวอย่างด้วย methanol และกรองเก็บน้ำยาสกัด methanol ที่ได้นำมาต้มกับลวดแมกนีเซียมพร้อมกับหยดด้วยเกลือเข้มข้น หากพืชตัวอย่างมีสารประกอบ flavonoids ชนิดที่มีโครงสร้าง benzo-pyrone อยู่เป็นองค์ประกอบจะปรากฏผลเป็นสีแดงอมส้มหรือสีแดงเข้มหรือสีแดงอมม่วง

ค. วิธีการตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของกลุ่ม alkaloids

ทำการสกัดผงพืชตัวอย่างด้วย Na_2CO_3 และสกัดด้วย chloroform กรองเก็บน้ำยาสกัด chloroform และระเหยให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาละลายในกรดเกลือเข้มข้น 2 % ทำเป็นน้ำยาสกัดพืชตัวอย่างหรือนำไปทดสอบกับ Mayer's reagent และ Dragendorff's reagent หากพืชตัวอย่างมีสารประกอบ alkaloid อยู่เป็นองค์ประกอบจะปรากฏผลเป็นตะกอนขาวหรือตะกอนสีส้มน้ำตาล ตามลำดับ

ง. วิธีการตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของกลุ่ม anthraquinone

นำน้ำยาสกัด methanol ซึ่งได้จากการสกัดจากผงพืชตัวอย่างมาต้มกับน้ำยา Potassium hydroxide เข้มข้น 0.5 โมลาร์ และเติมน้ำยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เจือจางลงไป กรองเก็บน้ำยาที่ได้ และเติมกรดน้ำส้มจนกระทั่งน้ำยามีความเป็นกรด จึงสกัดน้ำยานี้ด้วยเบนซีน (benzene) ถ้าพืชตัวอย่างมีสารประกอบ anthraquinone อยู่เป็นองค์ประกอบ จะปรากฏสีเหลืองขึ้นในชั้น benzene และเมื่อแยกชั้น benzene มาเขย่ากับน้ำยาแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เจือจาง จะปรากฏสีชมพูหรือแดงขึ้นในชั้นของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ผลการตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของผงรากยอป่าโดยวิธีข้างต้นพบว่า องค์ประกอบหลักของสารให้สีในรากยอป่านี้ มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารเคมีกลุ่ม anthraquinone

3.1.4 การแยกองค์ประกอบหลักของสารให้สีในรากยอป่า

ทำการแยกหาองค์ประกอบหลักของสารให้สีของรากยอป่า โดยการนำเอาสารสกัดเข้มข้นจากการสกัดด้วย methanol ในข้อ 3.1.2 มาแยกหาองค์ประกอบหลักโดยใช้เทคนิคทางคอลัมน์โครมาโทกราฟี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. การทดลองหาระบบตัวชะ (eluting solvent system)

จากการทดลองหาระบบตัวชะที่จะใช้ในการแยกสารสกัดจากรากยอป่าในคอลัมน์โครมาโทกราฟีนั้น ได้อาศัยเทคนิคของโครมาโทกราฟีผิวบาง (Thin layer chromatography : TLC) โดยมี silica gel 40 เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) และใช้น้ำยา 0.5 M Potassium hydroxide เป็นตัวฉีดพ่นเพื่อดูสารให้สีที่แยกบนแผ่น TLC โดยระบบตัวชะต่างๆ กัน ผลการศึกษาพบว่า

ระบบตัวชะหรือตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการศึกษาสารสกัดจากรากยอป่าโดยเทคนิคโครมาโทกราฟี
 ผิวบาง คือ น้ำยาผสมของ chloroform และ methanol ในอัตราส่วนต่างๆ เช่น
 chloroform/methanol ในอัตราส่วน 9/1, 8/2 และ 7/3 เป็นต้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบตัวชะ
 ในการแยกสารในคอลัมน์โครมาโทกราฟีเป็น chloroform กับ methanol โดยการเริ่มต้นด้วย
 chloroform จากนั้นจึงจะเพิ่ม polarity ด้วย methanol

ข. การแยกหาองค์ประกอบหลักของสารให้สีในสารสกัดเข้มข้นจากข้อ 3.1.2 ด้วยเทคนิค คอลัมน์โครมาโทกราฟี

ดังรายละเอียดคือ ใช้คอลัมน์เป็นกระบอกแก้วขนาด 45x3 เซนติเมตร บรรจุด้วยตัว
 ดูดซับ silica gel 40 จำนวน 60 กรัม และใช้สารสกัดเข้มข้นที่จะแยก 3 กรัมผ่านคอลัมน์ ชะ
 ด้วย chloroform/methanol (9/1) และตามด้วย chloroform/methanol (1/1) ได้สารที่มีสีออกมาจาก
 การชะเป็นลำดับคือ

ชะด้วย chloroform	ได้สารตัวที่ 1 0.04 กรัม
ชะด้วย chloroform/methanol (9/1)	ได้สารตัวที่ 2 0.25 กรัม
ชะด้วย chloroform/methanol (1/1)	ได้สารตัวที่ 3 ผสมกับสารอื่นๆ 2.259 กรัม เมื่อแยกสารตัวที่ 3 ออกมาพบว่า มีปริมาณต่ำมาก

ดังนั้นสารให้สีในรากยอป่าตัวที่มีมากและเป็นสารหลัก คือ สารตัวที่ 2 คิดเป็น 8.33 %
 ของสารสกัดเข้มข้นและประมาณ 1.5 % ของรากยอป่าสดแห้งบดเป็นผง

รากยอป่าแห้ง 1 กิโลกรัมหรือสด 2 กิโลกรัม จะมีสารให้สีหลัก 15 กรัม

ค่าขูดวัตถุดิบ 80 บาท จะได้สารให้สีหลัก 15 กรัม

หมายเหตุ ถ้าขูดเป็นปริมาณมากค่าขูดควรจะต่ำกว่านี้ อย่างน้อย 1 เท่าตัว

ผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า รากยอป่าที่ใช้เป็นรากจากยอป่าพันธุ์ไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้น
 ขนาดเล็กที่มีชื่อพฤกษศาสตร์เป็น *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. รากที่ขูดได้
 ล้างสะอาดตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอบที่อุณหภูมิ 40-60 °C จนแห้งแล้วบดเป็นผง น้ำหนักผงรากที่
 ได้จะเหลืออยู่ประมาณ 50 % จากเริ่มต้น จากนั้นนำมาสกัดด้วยเอทานอลในชุดสกัดแบบต่อเนื่อง
 จนสีถูกสกัดออกจากผงป่นหมด นำน้ำสกัดที่ได้มาทดสอบทางเคมีเบื้องต้น พบว่าสารให้สีจัดอยู่
 ในสารกลุ่มแอนทราควิโนน (anthraquinone) จากนั้นนำมาทำการแยกหาองค์ประกอบหลักของ
 สารให้สีในรากยอป่า โดยใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟีคอลัมน์พบว่า สารให้สีหลักในรากยอป่าจะ
 มีอยู่ 1.5 % ของรากยอป่าแห้งบดเป็นผง หรือ 0.75 % ของรากสดที่มีน้ำหนักเท่ากับรากแห้ง

อย่างไรก็ตามในการเตรียมสีผงเพื่อนำไปใช้ย้อมฝ้ายนั้น อาจจะไม่จำเป็นต้องแยกสารออกจากสารสกัดหยาบซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณเนื้อสารมากขึ้น โดยการนำสารสกัดเข้มข้นมาทำเป็นผงแห้งแต่สำหรับวิธีการแยกนี้เพื่อการวิเคราะห์ทางเคมีให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวสารให้สีหลักและสมบัติของสารเพื่อการพัฒนาวิธีการย้อมให้เหมาะสมต่อไป

3.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบหลักของสารให้สีที่แยกได้จาก รากยอป่า

สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารให้สีซึ่งแยกได้จากรากยอป่าในข้อ 3.1.4 (สารตัวที่ 2) โดยนำมาทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยการพยายามตกผลึกในน้ำยาผสมของ chloroform กับ methanol เมื่อได้สารบริสุทธิ์แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบหลักนี้ต่อไป

3.1.5.1 การทำให้สารประกอบหลักมีความบริสุทธิ์ ผลการตรวจสอบเบื้องต้นทางเคมีของผงรากยอป่าพบว่าองค์ประกอบหลักของสารให้สีในรากยอป่านี้คือสารเคมีกลุ่ม anthraquinone และได้ทำการแยกเอาสาร anthraquinone ที่ได้มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม สีเหลืองอมส้ม จึงได้พยายามนำมาทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อจะนำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีต่อไป โดยการพยายามตกผลึกในน้ำยาผสมของ chloroform กับ methanol

การทำให้สาร anthraquinone นี้มีความบริสุทธิ์โดยการตกผลึกดังกล่าวไม่ประสบความสำเร็จ จึงต้องใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์ซ้ำอีกครั้งจากนั้นก็ตามด้วยการตกผลึกซ้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์

รายละเอียดคือ ใช้คอลัมน์เป็นกระบอกแก้วขนาด 20 x 1.5 เซนติเมตร บรรจุด้วยตัวดูดซับ silica gel 40 จำนวน 16 กรัม แห่อยู่ใน hexane และใช้ผงสารเคมี anthraquinone ที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์จำนวน 50 มิลลิกรัม ผ่านลงในคอลัมน์และชะออกมาด้วยตัวชะผสมของ hexane/chloroform ในอัตราส่วน 9/1 ทำการชะติดต่อกันไปเรื่อยๆ ด้วยวิธีการที่เรียกว่า isocratic elution จนกระทั่งน้ำยาชะที่เก็บไม่มีสี จึงนำน้ำยาชะทั้งหมดรวมกันและนำไประเหยแห้ง พบว่าได้สารเคมี anthraquinone ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก จำนวน 35.50 มิลลิกรัม

ข. การตกผลึกซ้ำ

นำสารเคมี anthraquinone ที่ได้ทั้งหมด 35.50 มิลลิกรัม มาละลายใน methanol ร้อนๆ จำนวน 100 มิลลิลิตร และหยดด้วยกรดเกลือเข้มข้น 10 % จำนวน 5-10 หยด จนน้ำยาของสารละลายมีความเป็นกรด จากนั้นนำไปตั้งทิ้งไว้ค้างคืนในตู้เย็น สารเคมี anthraquinone ที่ต้องการจะเกิดการตกผลึกแยกตัวออกมา ลักษณะผลึกที่ได้มีลักษณะเป็นผลึก

รูปเข็ม สีเหลืองอมส้มละลายได้ดีใน chloroform และได้น้ำยาเป็นสีเหลือง พบว่าผงผลึก anthraquinone นี้มีความบริสุทธิ์มากหลังการตรวจสอบยืนยันอีกครั้งด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี ผิวนางในน้ำยา developing solvents ต่างๆ

3.1.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

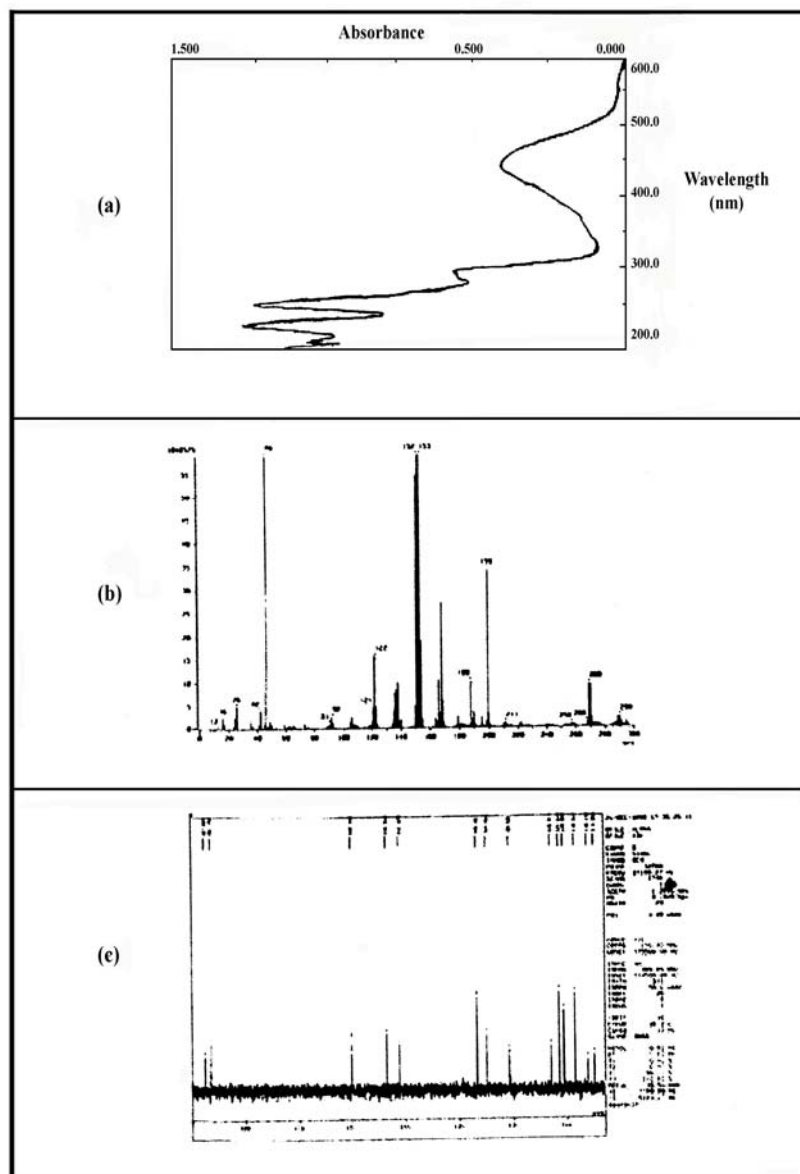
การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลัก anthraquinone ที่แยกได้จากรากยอป่าครั้งนี้ กระทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทาง spectroscopy ดังนี้คือ วิเคราะห์ด้วย Ultraviolet – Visible Spectroscopy, Mass Spectroscopy และ C^{13} Nuclear Magnetic Resonance ผลการวิเคราะห์ของ spectroscopy ทั้งสามมีดังต่อไปนี้

ก. สารประกอบหลัก anthraquinone ให้ค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 446 นาโนเมตร ใน absolute ethanol (รูปที่ 3.2 a)

ข. สารประกอบหลัก anthraquinone แสดงค่าของ mass spectrum ด้วยค่า molecular ion (M-H) ที่ m/e เท่ากับ 269 แต่เนื่องจาก mass spectrum ที่ได้มีการวัดโดยการเลือกใช้ ion mode แบบ FAB - (negative mode) ดังนั้นค่าของน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบหลักนี้จึงมีค่าเท่ากับ 270 (รูปที่ 3.2 b)

ค. สารประกอบหลัก anthraquinone แสดงค่า chemical shift ของ carbon-13 ในโครงร่างหลักด้วย peaks ต่อไปนี้ (รูปที่ 3.2 c)

Peak no.	ตำแหน่งของ C^{13}	Chemical shift (ppm)
1	C-10	187.909
2	C-9	186.798
3	C-5	160.192
4	C-2	153.643
5	C-1	151.126
6	C-7	136.827
7	C-8a	134.918
8	C-6	130.821
9	C-4a	123.070
10	C-4	121.442
11	C-9a	120.595
12	C-8	118.521



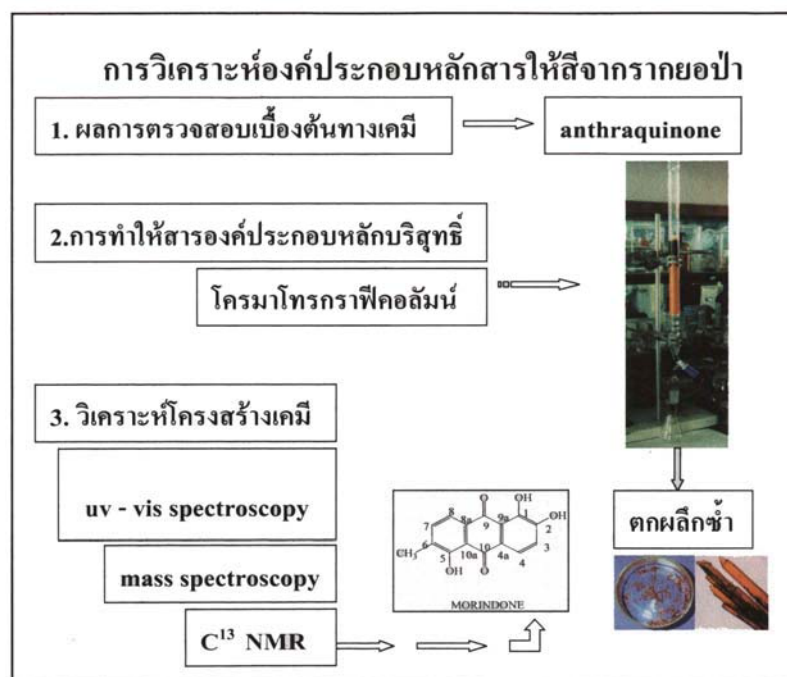
รูปที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลัก anthraquinone จากรากขมิ้น
โดยตรวจสอบสมบัติทาง spectroscopy

- (a) UV-visible spectrum ของสารประกอบหลักที่แยกบริสุทธิ์ มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 446 นาโนเมตร
- (b) Mass-spectrum แสดงมวลโมเลกุลของสารเป็น 270 และ
- (c) ^{13}C -NMR spectrum ที่เหมือนกับของสารมาตรฐาน morindone

Peak no.	ตำแหน่งของ C ¹³	Chemical shift (ppm)
13	C-10a	116.136
14	C-3	114.902
15	6-CH ₃	15.732

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ C¹³ NMR spectrum ของสารประกอบหลัก anthraquinone ที่แยกได้จากรากยอป่ากับ C¹³ NMR spectrum ของสารประกอบ anthraquinone มาตรฐานชื่อ morindone พบว่าให้ spectrum ทั้งคู่มีความเหมือนกันทุกประการ

ดังนั้นจึงสรุปได้จากข้อมูล spectroscopy ข้างต้นว่า สารประกอบหลัก anthraquinone ที่พบเป็นองค์ประกอบหลักในรากยอป่านี้คือ **morindone** มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม สีเหลืองอมส้ม มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 270 มีสูตรโมเลกุลเป็น C₁₅H₁₀O₅ และมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารให้สีจากรากยอป่าสายพันธุ์

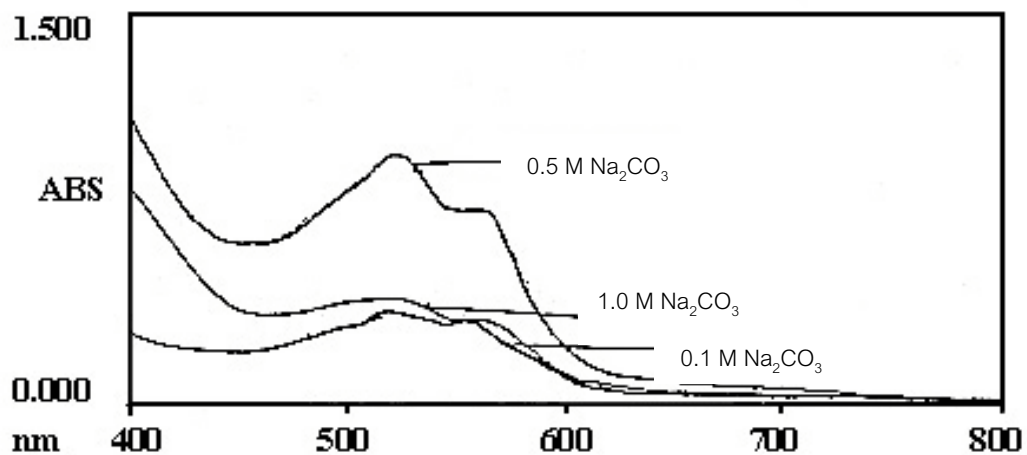
Morinda angustifolia Roxb. var. *scabridula* Craib.

3.2 การสกัดสารให้สีจากครั้ง การแยกองค์ประกอบหลักและศึกษาโครงสร้างทางเคมี

ครั้งเป็นวัตถุดิบที่ให้สีแดงที่คณะผู้วิจัยเลือกเป็นวัตถุดิบเสริมรากยอป่า เนื่องจากมีการเลี้ยงมากในภาคเหนือ และสีแดงที่ได้จะมีเนื้อสีแดงออกไปทางแดงสดหรือแดงม่วงซึ่งต่างจากรากยอป่าที่มีเฉดไปทางแดงส้ม และรังครั้งเองมีพวกชั้นและสีรวมกัน เมื่อสกัดสีไปย้อมผ้าหรือผสมอาหารแล้วชั้นยังใช้ทำเซลล์และน้ำยาขัดเงาได้ จึงเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์ หากนำไปใช้ประโยชน์แบบครบวงจร

3.2.1 การหาความเข้มข้นของเบสที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัด

ผลการสกัดรงควัตถุสีแดงจากครั้งโดยการล้างครั้งด้วยน้ำก่อนแล้วสกัดน้ำล้างครั้งด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 M แล้วนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล (UV-VIS spectrophotometer) ได้ผลดังรูปที่ 3.4



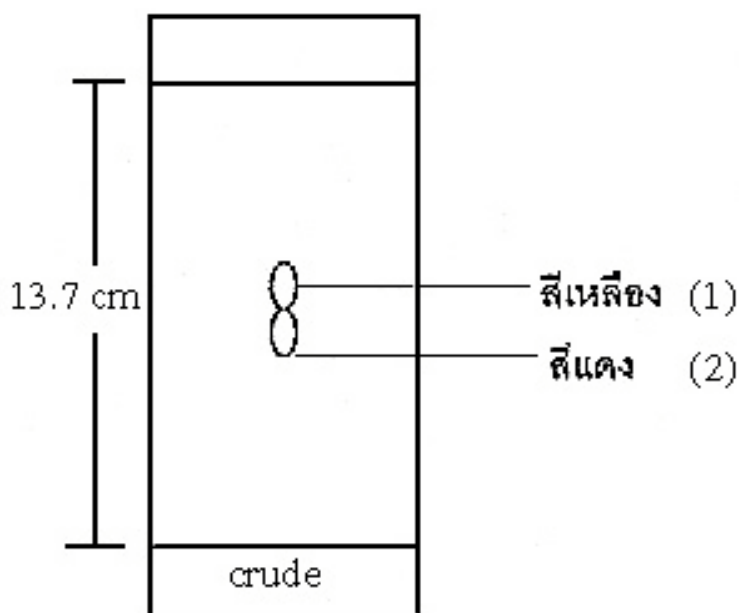
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของรงควัตถุสีแดงจากครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 M ในการสกัด

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าในการสกัดรงควัตถุสีแดงจากครั้งโดยการล้างครั้งแห้งด้วยน้ำก่อน แล้วสกัดน้ำล้างครั้งด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้น 0.5 M ได้รงควัตถุสีแดงออกมามากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.1 M และ 1.0 M ซึ่งสามารถดูได้จากค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, ABS) จากสเปกตรัมซึ่งจะแปรผันตามความเข้มข้นของสาร ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดรงควัตถุสีแดงจากครั้งที่เหมาะสมในครั้งนี้นี้คือ 0.5 M

3.2.2 การแยกองค์ประกอบหลักของรงควัตถุสีแดงจากครั้งและทดสอบทางเคมีเบื้องต้น

ผลการทดสอบเบื้องต้นทางเคมีพบว่าองค์ประกอบหลักของสารให้สีจากครั้งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนน เช่นเดียวกับสารให้สีจากรากขมิ้น

ผลการหาระบบตัวชะที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบหลักของรงควัตถุสีแดงในครั้งในโครมาโทกราฟีคอลัมน์นั้นได้ใช้เทคนิคของโครมาโทกราฟีผิวบาง (Thin layer chromatography) เพื่อให้ได้ระบบตัวชะที่สามารถแยกองค์ประกอบในครั้งที่ดีที่สุด ระบบตัวชะที่ดีที่สุดในการศึกษาสารสกัดจากครั้งโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางคือ น้ำยาผสมของ n-butanol /acetic acid /water ในอัตราส่วน 3/5/2 ดังรูปที่ 3.5

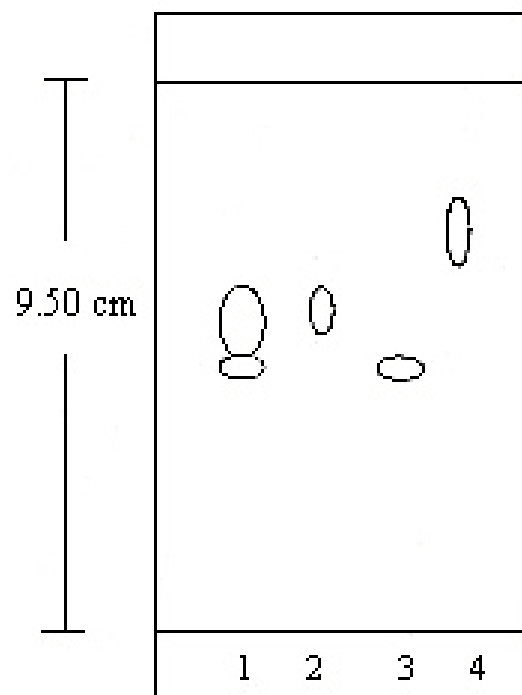


รูปที่ 3.5 TLC โครมาโทแกรมของสารสกัดหยาบที่ได้จากครั้ง โดยมีตัวทำละลาย (Developing Solvent) คือ n-butanol /acetic acid /water ในอัตราส่วน 3/5/2

จากรูปที่ 3.5 พบว่าสเปกตรัมของสารสีเหลืองที่มี n-butanol /acetic acid /water ในอัตราส่วน 3/5/2 เป็นตัวทำละลายมีการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น ($\lambda_{\max}$) 301 นาโนเมตร ส่วนสเปกตรัมของสารสีแดงที่มีตัวทำละลายคล้ายกับสารสีเหลือง ซึ่งมี $\lambda_{\max}$ ที่ 300, 492 นาโนเมตร และเมื่อนำแต่ละ fraction ที่เก็บได้จากโครมาโทกราฟีคอลัมน์ไประเหยเอาตัวทำละลายออกพบว่า

fraction ที่ 1 ได้ของเหลวสีเหลือง-น้ำตาลหนัก 0.35 กรัม คิดเป็น 7.25 % โดยน้ำหนักของครั้งแห้ง

fraction ที่ 2 ได้ของแข็งสีแดงหนัก 0.43 กรัม คิดเป็น 8.91 % โดยน้ำหนักของครั้งแห้ง เมื่อนำไปตรวจสอบความบริสุทธิ์ของแต่ละ fraction โดยการทำ TLC มีตัวทำละลายคือ n-butanol /acetic acid /water ในอัตราส่วน 3/5/2 ได้ผลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครมาโทแกรมของสารสกัดหยาบ (1) สารที่แยกออกจากโครมาโทกราฟีคอลัมน์

fraction 1 (2) fraction 2 (3) และรงควัตถุสีแดงจากเชื้อรา (4) ตามลำดับ

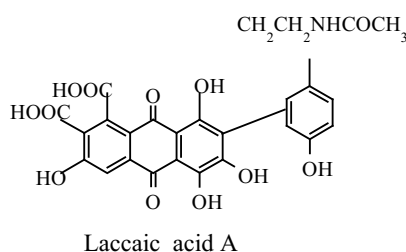
จากรูปที่ 3.6 พบว่าแต่ละ fraction เกิดเพียง 1 จุด สารสีเหลืองมี $R_f = 0.58$ สารสีแดงมี $R_f = 0.44$ เมื่อเทียบกับสารสกัดหยาบ พบว่ามีค่า R_f ที่ใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบทั้ง 2 จุด แต่เมื่อเทียบกับรงควัตถุสีแดงที่ได้จากการสกัดจากเชื้อรา (*Monascus Pigment*) พบว่ามีค่า $R_f = 0.84$ ซึ่งแสดงได้ว่ารงควัตถุสีแดงในครั้งกับรงควัตถุสีแดงจากเชื้อรา ซึ่งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนนเหมือนกัน แต่เป็นคนละชนิด

สเปกตรัมของแข็งสีแดง จาก fraction ที่ 2 ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เปรียบเทียบกับ Laccic acid A ในตัวทำละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่า $\lambda_{\max}$ กับสารมาตรฐาน Laccic acid A ในตัวทำละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

ตัวทำละลาย	สาร	$\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร)
H ₂ SO ₄ (conc)	สารสีแดงจาก fraction 2	391 515.5 555.5
	Laccic acid A	302 487 518 558
NaOH (dil)	สารสีแดงจาก fraction 2	302 553 565
	Laccic acid A	304 342 508 524 546

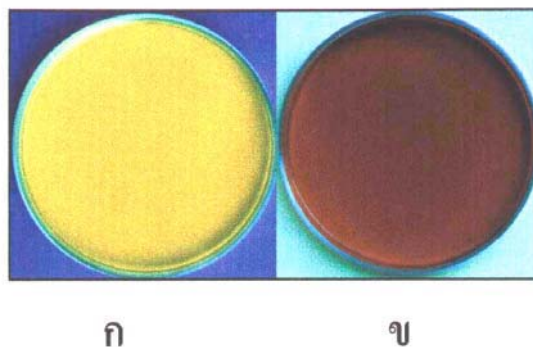
จากตารางที่ 3.1 พบว่าสารที่ให้สีแดงที่ได้จาก fraction 2 มีค่า $\lambda_{\max}$ เท่ากับ 391, 515.5 และ 555.5 ตามลำดับ เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ $\lambda_{\max}$ ของ Laccic acid A ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งเท่ากับ 302, 487, 518, 558 พบว่ามี $\lambda_{\max}$ บางค่าที่ใกล้เคียงกับใน Merck Index เช่นเดียวกับในตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางของสารสีแดงซึ่งมีค่า $\lambda_{\max}$ เท่ากับ 302, 553, 565 และ Laccic acid A ใน Dictionary of Organic ซึ่งได้มีการรายงานค่า $\lambda_{\max}$ เท่ากับ 304, 508, 524, 546 รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ Laccic acid A



รูปที่ 3.7 โครงสร้างทางเคมีของ Laccic acid A

3.3 การตรวจสอบสมบัติของสารให้สีแดงจากรากยอป่าและครั้ง

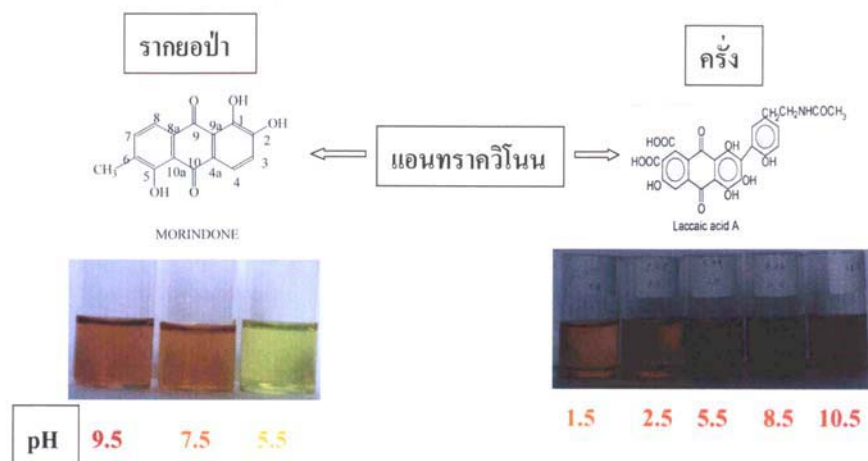
3.3.1 การศึกษาสมบัติของสารให้สีแดงจากรากยอป่า นั้นได้ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีของรากยอป่าที่ pH ต่างๆ ได้ผลสรุปว่าในช่วง pH เป็นกรดจะให้สีเหลือง (pH 1.5-6) pH ค่อนไปทางเบสสีเหลืองส้มและ pH 8 ขึ้นไปจะเป็นสีแดงเข้ม (รูปที่ 3.8) ส่วนการศึกษาผลของเกลือโลหะต่อการเปลี่ยนแปลงสีพบว่า เกลือแมกนีเซียมจะทำให้เกิดสีม่วงแดง เกลืออะลูมิเนียมสีแดงส้ม สนิมเหล็กจะทำให้เกิดสีคล้ำออกดำ



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนสีของสารสีจากรากยอป่า (ก) พงสีละลายในสารละลายกรดน้ำส้ม (ข) พงสีน้ำปูนใส

3.3.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีแดงจากครั้ง

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีสารให้สีแดงที่ได้จากการสกัดจากครั้งที่ pH ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.2 จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้สีแดง พบว่าเมื่ออยู่ในภาวะที่มีความเป็นกรดคือช่วง pH 1.5-6.4 สีของสารที่สกัดได้จะตกตะกอนละเอียดลงมาและถ้าความเป็นกรดมากๆ สีของตะกอนจะมีสีส้ม pH 1.5-2.5 ส่วนที่ pH 3.4-6.4 ตะกอนละเอียดและสีของสารละลายที่ได้เป็นสีแดง เมื่อสารที่ให้สีแดงอยู่ในภาวะที่เป็นกลางและเบสอ่อนๆ (pH 7.2-8.5) สีของสารละลายเป็นสีแดงและใกล้เคียงกับสีของสารละลายที่ได้จากการสกัดหยาบที่ไม่มีการปรับ pH (pH 9.6) ส่วนในช่วงที่ภาวะเบสมากขึ้นสารละลายจะมีสีแดงมากกว่าเดิมขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนละเอียดลงมา สารให้สีจากครั้งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนนเช่นเดียวกับสารสีจากรากยอป่าและมีการเปลี่ยนแปลงสีตามกรดเบสของสารละลายซึ่งเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบสมบัติการเปลี่ยนแปลงสีตาม pH ของสารละลายของสารสีจากรากยอป่า และครั่ง

ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีแดงจากครั่งที่ pH ต่างๆ

pH	ผลการเปลี่ยนแปลงสี
1.5	ตกตะกอนเป็นสีส้ม
1.9	ตกตะกอนเป็นสีส้ม
2.5	ตกตะกอนเป็นสีแดง-ส้ม
3.4	ตกตะกอนเป็นสีแดง
5.4	ตกตะกอนเป็นสีแดง
6.4	ตกตะกอนเป็นสีแดง
7.2	สารละลายสีแดง 1+
8.5	สารละลายสีแดง 2+
*9.6	สารละลายสีแดง 2+
10.3	สารละลายสีแดง 3+
**11.0	สารละลายสีแดง 3+
**12.7	สารละลายสีแดง 3+

หมายเหตุ * หมายถึง pH ของสารสกัดหยาบเมื่อยังไม่มีกรปรับ pH

** หมายถึง เมื่อตั้งทิ้งไว้ จะตกตะกอนเป็นสีแดง

เครื่องหมาย + และตัวเลขมากแสดงความเข้มข้นที่มากขึ้น

3.3.3 การศึกษาผลของไอออนของโลหะต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีแดงจากครั้ง

เมื่อทำการสกัดสีย้อมธรรมชาติจากครั้งโดยการล้างด้วยน้ำ แล้วสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 M จะได้สารละลายที่มีสีม่วง และเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดไอออนของโลหะ สีของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายที่ได้จากครั้งเมื่อเปลี่ยนชนิดไอออนของโลหะ

ชนิดของไอออนของโลหะ (ความเข้มข้น 2.5 % w/v)	การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ที่ได้จากครั้ง
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	สีดำ
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	สีแดง
CuSO_4	สีม่วงเทา
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	สีน้ำตาลแดง
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	สีม่วง-แดง

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อสารสีแดงจากครั้งเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะส่วนมากจะให้สีมืดทึบกว่าเมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอุมิเนียมซึ่งจะให้สีแดง ในการศึกษาผลของโลหะที่มีต่อสารสีแดงในครั้งครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการย้อมสีธรรมชาติได้กล่าวคือ นอกเหนือจากการเปลี่ยนสีของครั้งให้มีความสดสว่างน้อยลงและเปลี่ยนเป็นโทนสีเข้มขึ้นอยู่กับการต้องการของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์แล้ว สารละลายเกลือโลหะเองยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี(mordant)ได้ดี ช่วยให้สีย้อมติดทนนานอีกด้วยซึ่งประโยชน์ดังกล่าวคณะผู้วิจัยจะได้นำไปพิจารณาปรุงแต่งสีแปรรูปและพัฒนาการใช้สีแปรรูปได้สะดวกและปลอดภัยในช่วงต่อไป

3.4 การแปรรูปสารสีจากกรายอป่า

การสกัดและเตรียมน้ำสีเพื่อการแปรรูปสารสีจากกรายอป่า นั้น ได้กำหนดการแปรรูปสารให้สีอยู่ในสภาพของการแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูล โดยแปรรูปจากผงรากลบ ผงแห้งชนิดฉุดฟัน และสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล ตามลักษณะดังสรุปในรูป 3.10

3.4.1 การแปรรูปจากผงรากลบ

ทำการทดลองแปรรูปผงรากลบซึ่งอยู่ในสภาพผงละเอียดที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วมีขนาดผง (particle size) ประมาณ 10 – 30 ไมครอน โดยนำผงรากลบละเอียดนี้มาผสมและคนให้เข้ากันจน

ทั่วทั้ง lactose ในปริมาณต่างๆ กัน โดยใช้เครื่องบดผสม จากนั้นจึงทดลองผสมเข้ากับน้ำเย็นหรือน้ำร้อนในปริมาณต่างๆ เพื่อให้ของผสมนี้มีความหนืดและเหนียวพอที่จะสามารถรีดออกมาให้อยู่ในสภาพตัวหนอนได้ โดยการใส่เครื่องบดผสมเม็ดไข่ปลาที่มีขนาดของรูตะแกรงประมาณ 0.3 เซนติเมตร

ผลของการทดลองพบว่า สูตรผสมที่ดีที่สุดที่ผู้ทำการทดลองได้เลือกไว้และผลิตออกมาเป็นตัวหนอนที่มีคุณภาพดีจะมีขนาดความยาวเท่ากับ 0.8 – 1.5 เซนติเมตร โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร ดังแสดงไว้ด้านล่างนี้ จากนั้นจึงนำตัวหนอนที่ได้มาทำการอบแห้งในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 60° ซ นานประมาณ 20 ชั่วโมง หลังจากในตัวหนอนแห้งสนิทจึงนำมารีดผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 9 อีกครั้งหนึ่งจะได้เม็ดแกรนูลของผงรากลยอป่ามีขนาดเม็ดค่อนข้างกลมและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยตั้งแต่ 1.25 – 3.00 มิลลิเมตร

ผงรากลยอป่า	300	กรัม
ผง lactose	50	กรัม
น้ำร้อนต้มเดือดจัด	300	กรัม

หมายเหตุ ข้อควรระวังอย่าใช้น้ำร้อนในปริมาณที่มากเกินไป เพราะจะทำให้ตัวหนอนที่ได้มีความและและไม่สวย (รูป 3.11)

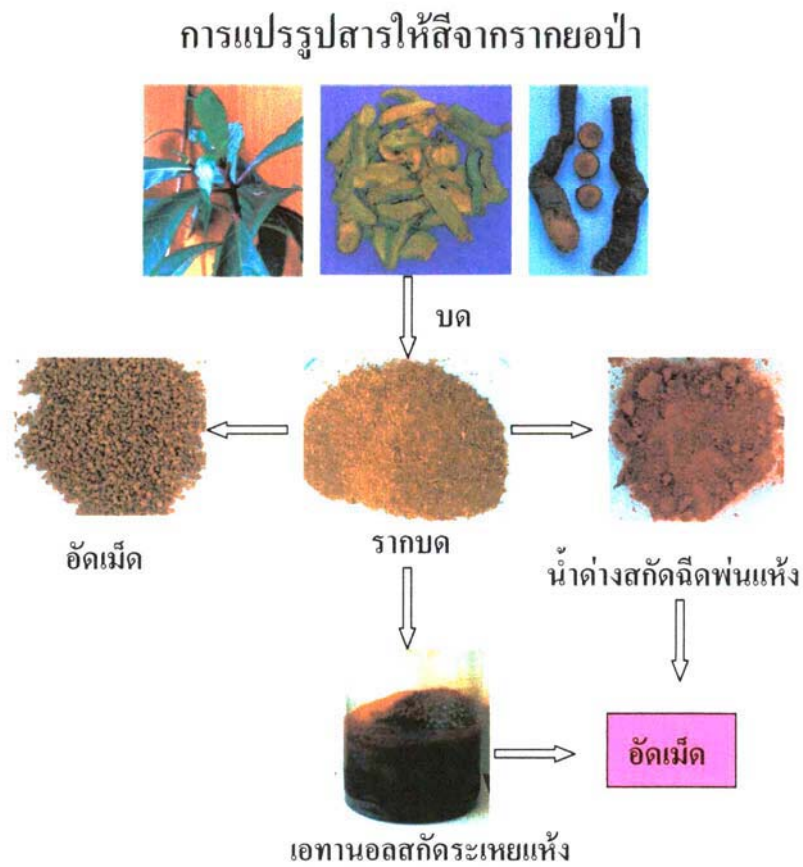
3.4.2 การแปรรูปจากผงแห้งชนิดฉีดพ่น

การแปรรูปวิธีนี้จะต้องดำเนินการสกัดและเตรียมสารให้สีจากรากยอป่าให้อยู่ในสภาพของเหลวก่อน จากนั้นจึงจะนำไปฉีดพ่นให้เป็นผงแห้งโดยใช้เครื่องมือฉีดพ่นแห้ง (spray dryer) นำผงแห้งที่ฉีดพ่นแล้วมาผสมกับ lactose ในขนาดปริมาณต่างๆ กัน โดยใช้เครื่องบดผสมจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและแปรสภาพให้เป็นตัวหนอนและเม็ดแกรนูลต่อไป ทั้งนี้ใช้วิธีการทำเหมือนกับการแปรรูปจากผงรากลยอป่าดังกล่าวข้างต้น

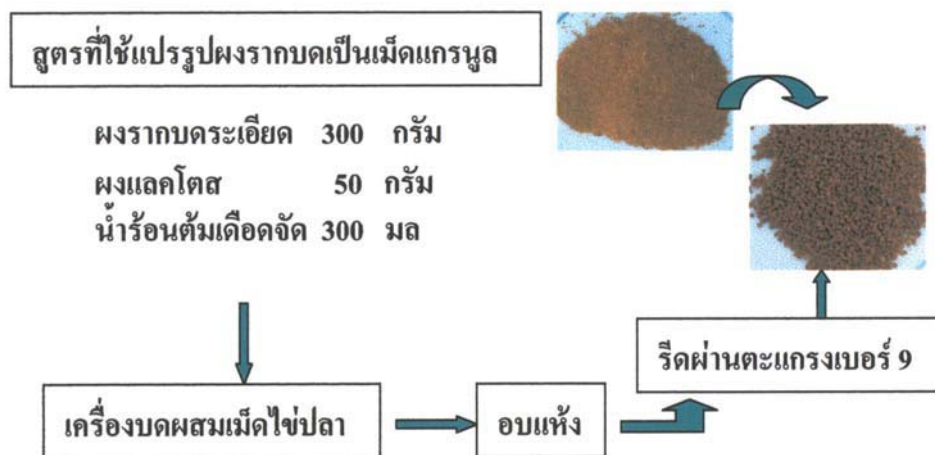
การเตรียมผงแห้งชนิดฉีดพ่น

ผลการทดลองพบว่าสูตรของการเตรียมน้ำสีจากรากยอป่าเพื่อจะนำไปฉีดพ่นแห้งที่ดีที่สุดซึ่งผู้ทำการทดลองได้คัดเลือกไว้คือ

ผงรากลยอป่า	200	กรัม
น้ำยาแต่งสีผสมไฮดรอกไซด์ 3 %	50	มิลลิลิตร
น้ำเย็น	1000	มิลลิลิตร
น้ำร้อนต้มเดือดจัด	1000	มิลลิลิตร



รูปที่ 3.10 แผนการแปรรูปสารให้สีเป็นเม็ดแกรนูลจากผงพืชบด น้ำต่างสกัดชนิดพ่นแห้ง และเอทานอลสกัดระเหยแห้ง



รูปที่ 3.11 การแปรรูปผงรากบดเป็นเม็ดแกรนูล

น้ำสีที่เตรียมได้มีลักษณะสีแดงคล้ำและนำไปฉีดพ่นด้วยเครื่องฉีดพ่นแห้ง (spray dryer ผลิตจากบริษัท Eyela SD – 1 จากประเทศญี่ปุ่น) โดยมีปัจจัยและเงื่อนไขของการฉีดพ่นแห้ง ดังนี้

ก. Air Blower Flow	0.5 – 0.7 /m ³ /min
ข. Air Pump	0.5 /kg/cm ²
ค. Microtube Speed	400 – 500 ml/hr
ง. Temp No. 1	105° – 100 °C
จ. Temp No. 2	70° – 80 °C

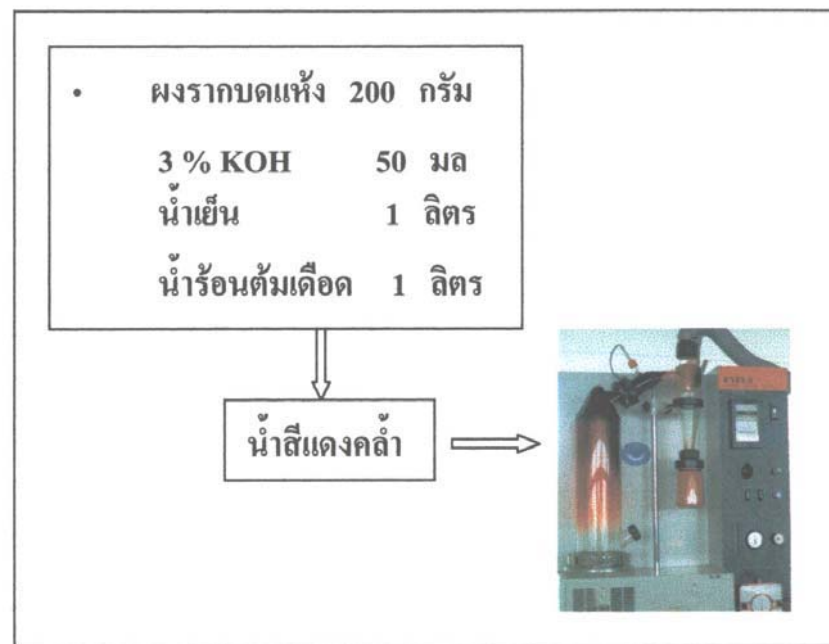
ผงแห้งชนิดฉีดพ่นที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้งขนาดเบา สีแดงคล้ำ มีขนาดของผง (particle size) ประมาณ 2.5 – 5 ไมครอน เมื่อถูกความชื้นจะเปลี่ยนสภาพเป็นลักษณะเหนียวติดมือ แต่จะละลายน้ำได้ดี ปริมาณน้ำหนักสุทธิของผงแห้งที่ได้ตามสูตรการเตรียมน้ำสีข้างต้นเท่ากับ 23.5 กรัม/200 กรัมของผงรากบดแห้ง (รูปที่ 3.12)

ผลการสกัดด้วยน้ำค้างแล้วฉีดพ่นแห้งดังเสนอข้างต้น จะได้สารประกอบหลักของสารสีแดงออกมามากในผงสี แต่ค่าที่ใช้ในการวิจัยข้างต้นคือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งดูความชื้นง่ายทั้งไว้นานๆ สีจะขึ้น ผงจึงเกาะกันเป็นก้อน คณะผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงในจุดนี้ และได้เตรียมน้ำสีสกัดจากรากยอป่าโดยใช้สัดส่วนเดิมเหมือนการทดลองขั้นต้น แต่ใช้ด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) แทนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และใช้ปริมาณสารตั้งต้นมากขึ้นดังนี้

ผงรากยอป่าบด	2 กิโลกรัม
ปูนขาว	20 กรัม
น้ำเย็น	10 ลิตร
น้ำร้อนต้มเดือดจัด	10 ลิตร

คนส่วนผสมให้เข้ากันเป็นระยะๆ ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางได้น้ำสีแดงคล้ำ เตรียมทั้งหมด 100 ลิตร นำไปฉีดพ่นแห้งด้วยเครื่อง spray dryer ที่เช่าจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งเป็นเครื่องที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้อยู่เดิม ซึ่งทำได้เพียงชั่วโมงละ 0.25 ลิตร เป็นชั่วโมงละประมาณ 5 ลิตร ผงสีที่ได้เป็นผงสีแดงแห้งไม่ขึ้นง่ายแบบครั้งแรก รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบลักษณะของผงแห้งจากการเตรียมโดยใช้ด่างต่างชนิดกันในการสกัด แล้วเก็บไว้ในขวดปิดฝาเป็นเวลาานานๆ จะเห็นได้ว่าการใช้ด่าง Ca(OH)₂ สกัดจะยังคงเป็นผงร่วนอยู่ นอกจากนี้จากข้อมูลการย้อมที่ใช้ด่าง Ca(OH)₂ เป็นส่วนใหญ่ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยการติดทนของสีด้วย ดังนั้นการสกัดสี

ด้วยน้ำค้างชนิดนี้มีข้อดีอีกประการคือเมื่อนำผงสีไปเตรียมน้ำย้อมจะมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในน้ำสีซึ่งช่วยทำให้สีติดทนขึ้น อย่างไรก็ตามเครื่องของคณะอุตสาหกรรมเกษตรใช้มานานหลายปี เกิดเสียและต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่หลายชิ้น และต้องรอเอาไหลจากต่างประเทศ การเตรียมน้ำย้อมดังกล่าวจึงทำได้เพียง 5 ลิตร ของน้ำสีกัด ส่วนน้ำสีที่เหลือได้ทดลองนำไปใช้ย้อมผ้าระดับอุตสาหกรรมขนาดครัวเรือน (ย้อมผ้า 1 ห่อ ประมาณ 4 – 5 กิโลกรัม ทำเป็นผ้าเส้นยืนทอได้ประมาณ 42 เมตร) จากการใช้สีในสัดส่วนสีกัดข้างต้นโดยตรงในการย้อมผ้า พบว่าความเข้มข้นของน้ำสี



รูปที่ 3.12 การเตรียมน้ำย้อมสีแห้งชนิดฉีดพ่น



รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบสีผงฉีดพ่นแห้งสกัดจากรากยอป่าด้วยน้ำค้างที่ต่างชนิดกันทิ้งไว้ประมาณ 3 เดือน

ตั้งต้น ไม่มาก ฝ่ายที่ย้อมได้จะมีสีอ่อน และเมื่อนำน้ำย้อมนี้ไปฉีดพ่นโดยตรง จะได้ปริมาณเนื้อสีในผงแห้งที่ได้ไม่มากนัก ถ้าจะผลิตปริมาณมากขึ้นโดยใช้เครื่องฉีดพ่นแห้งจากคณะอุตสาหกรรมเกษตรหรือเครื่องที่มีขนาดใหญ่ขึ้น คณะผู้วิจัยจึงเตรียมน้ำย้อมให้มีความเข้มข้นขึ้นดังนี้

ผงรากบดแห้ง	4 กิโลกรัม (ห่อใส่ผ้าขาวบางที่เย็บเป็นถุง)
*น้ำปูนใส pH ~ 11.8	10 ลิตร
น้ำปูนใสต้มเดือดจัด	10 ลิตร

หมายเหตุ * เตรียมน้ำปูนใสจาก Ca(OH)_2 1 ส่วน ผสมน้ำ 2 ส่วน คนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน ตะกอนจะนอนก้น ตักน้ำใสๆ ข้างบนมาใช้วัด pH ได้ 11.8 จะทำให้การกรองผงรากบดง่ายขึ้น

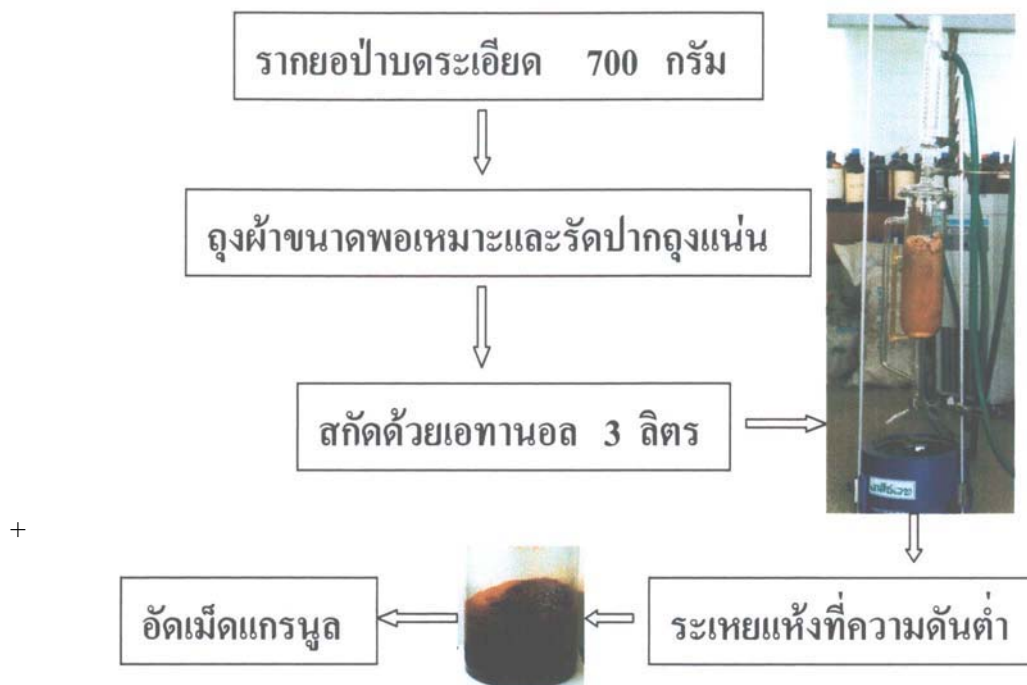
คนส่วนผสมให้เข้ากันแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วยกถุงผงรากออกไปแช่ต่อในถังเอทานอลแบบสักระยะประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วนำน้ำสีที่สกัดได้ไประเหยแอลกอฮอล์ออก แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูลต่อไป ส่วนน้ำสีที่สกัดด้วยน้ำด่างปูนใส นำไปเคี่ยวต่อจนเหลือปริมาตร 10 ลิตร แล้วเข้าเครื่อง spray dryer เป็นการลดปริมาตรของน้ำสีที่จะป้อนเข้าเครื่อง และลดเวลาในการทำ spray dry ลงครึ่งหนึ่ง แต่ได้ผงสีเท่าเดิม อย่างไรก็ตามเครื่อง spray dry ของคณะอุตสาหกรรมเกษตรยังอยู่ในระหว่างการรื้อซ่อม คณะผู้วิจัยจึงไม่อาจทำผงสีชนิดฉีดพ่นแห้งมาอัดเป็นเม็ดแกรนูลได้ อย่างไรก็ตามในส่วนในการอัดเป็นเม็ดแกรนูลจะคล้ายกับตอนทำจากผงรากบดแต่อาจจะมีการวิจัยเพื่อแต่งสูตรสำเร็จรูปเพื่อสะดวกในการใช้ย้อมต่อไปหากมีการวิจัยต่อไปในอนาคต

3.4.3 การแปรรูปจากสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล

การแปรรูปจากสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลนั้น การดำเนินการได้เริ่มต้นด้วยการสกัดผงรากบดละเอียดด้วยเอทานอลก่อน โดยใช้เครื่องมือชุดสกัด Soxhlet ขนาด 5 ลิตร ทั้งนี้ในการเตรียมชุดสกัดแต่ละชุด/ครั้ง จะใช้ผงรากบดประมาณ 700 กรัม และเอทานอลจำนวน 3 ลิตร ทำการสกัดจนกระทั่งได้น้ำยาสกัดมีสีชัดเจนหยุดการสกัดและกรองเก็บน้ำยาสกัดที่ได้ ต่อจากนั้นจึงนำมาระเหยแห้งโดยใช้เครื่องมือระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ เก็บรวบรวมน้ำยาสกัดที่ได้ทั้งหมดรวมกันและนำไปแปรรูปเป็นตัวหนืดเพื่อผลิตเป็นเม็ดแกรนูลต่อไป โดยมีวิธีการทำเหมือนกับการแปรรูปจากผงรากบดในข้อ 3.1 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

การเตรียมสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล

การเตรียมสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลดำเนินการดังนี้ ทำการสกัดผงรากยอป่าบดละเอียดจำนวน 700 กรัม ซึ่งบรรจุลงใน thimble ที่มีขนาดพอเหมาะและใส่ลงในชุดสกัด soxhlet สกัดด้วยเอทานอลจำนวน 3 ลิตร เป็นเวลานานประมาณ 10 วัน/ชุด/ครั้ง จนกระทั่งได้น้ำยาสกัดตอนท้ายเป็นสีซีดจางจึงหยุดการสกัดและนำน้ำยาสกัดที่ได้มากรองและระเหยแห้งโดยใช้เครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ ผลการทดลองพบว่าด้วยวิธีการสกัดดังกล่าวจะได้ปริมาณของสารสกัดเข้มข้นออกมาคิดเป็นปริมาณเท่ากับ 17.8 % ของน้ำหนักผงรากยอป่าแห้ง (รูปที่ 3.14) การแปรรูปทำเช่นเดียวกับผงรากบด



รูปที่ 3.14 การเตรียมสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลและการแปรรูป

ผลการแปรรูปสารสกัดจากรากยอป่าทั้ง 3 แบบ คือผงพืชบดอัดเม็ดแกรนูล สกัดด้วยแอลกอฮอล์อัดเม็ดแกรนูล และสกัดด้วยน้ำค้างฉีดพ่นแห้งเป็นผงสี ในแง่การเก็บรักษาและนำไปใช้งานพบว่าเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจากทั้ง 3 แบบ จะเก็บได้นาน เมื่อทดลองนำไปใช้ข้อมฝ้ายพบว่า การใช้แกรนูลจากผงพืชบดต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด แต่ผู้ใช้จะต้องทำการสกัดสีออกมาเองซึ่งไม่สะดวก และมีขีดจำกัด ได้รับความเข้มข้นของผงสีน้อย ข้อมสีเข้มต้องใช้ปริมาณเม็ดแกรนูลมากในการสกัด การสกัดสารให้สีด้วยน้ำร้อนต้องควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 60°C มิฉะนั้นสารอื่นในผงรากจะถูกสกัดออกมาและทำให้น้ำข้อมเหนียว กรองยากและข้อมติดสียาก สีจะล้างง่าย และการควบคุม

ความเข้มข้นของสีย้อมทำได้ยากขึ้น กับแหล่งของวัตถุดิบและอายุของรากที่นำมาใช้ สารสกัดด้วย แอลกอฮอล์อัดเม็ดแกรนูล ได้ผลดีเมื่อนำไปใช้แต่ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่า การเตรียมมีหลายขั้นตอนและแอลกอฮอล์จะสกัดสารอื่นๆ นอกเหนือจากตัวสีออกมาด้วย ปริมาณเนื้อสีต่อกรัมของแกรนูลควบคุมยาก แต่เป็นวิธีที่ดีในการช่วยสกัดสารสีให้หมดหลังจากที่สกัดออกแล้วด้วยน้ำค้างครั้งหนึ่ง แต่เจดสีที่ได้อาจจะต่างไปจากที่สกัดด้วยน้ำค้าง การสกัดด้วยน้ำค้างแคลเซียมไฮดรอกไซด์แล้วฉีดพ่นแห้ง จะได้สารประกอบหลักของสารสีแดงออกมามากในผงสี ทั้งไว้ได้นานไม่ดูความชื้นง่าย และถ้าอยู่ในรูปอัดเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจะเก็บได้นานโดยไม่เกาะกันเป็นก้อน การควบคุมปริมาณเนื้อสีในการนำไปใช้จะทำได้ดี และสามารถนำไปปรับแต่งสูตรสำเร็จในการใช้เป็นสีย้อมหรือเพิ่มเจดสีได้ง่ายซึ่งน่าจะกระทำให้การวิจัยในช่วงต่อไป

3.5 การแปรรูปสารให้สีจากครั้ง

ได้ทำการทดลองเตรียมน้ำสีจากครั้งเพื่อแปรรูปเป็นผงสีแห้งในระยะแรก โดยเริ่มจากครั้งแห้งและครั้งเม็ด และในช่วงหลังนำน้ำล้างครั้งจากโรงงานผลิตครั้งเม็ดมาโดยตรง ได้ผลการทดลองดังนี้

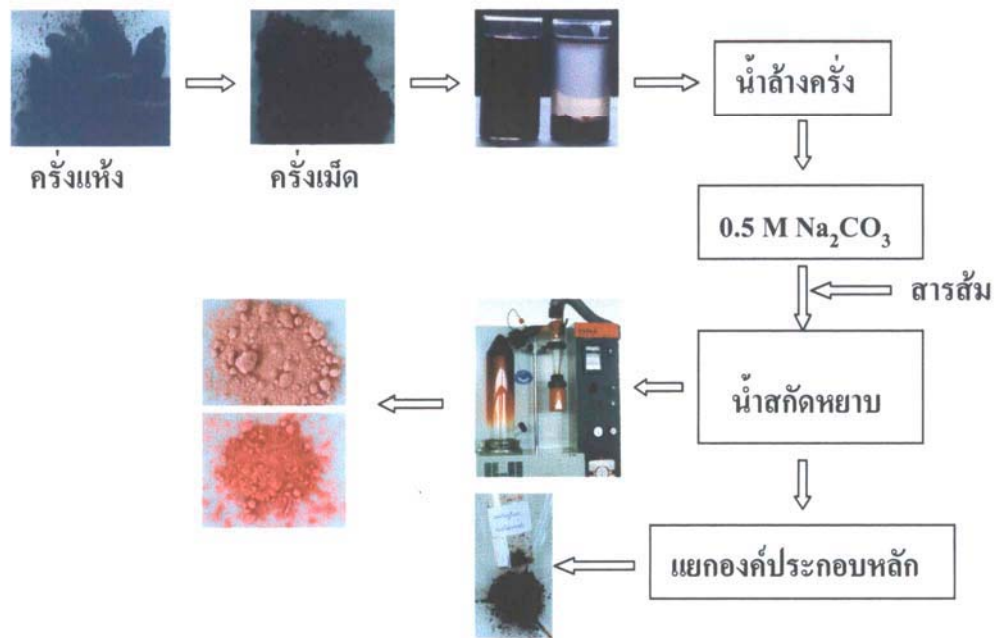
3.5.1 การสกัดรงควัตถุสีแดงจากครั้ง ทำการสกัด 2 วิธี ในช่วงแรก

ก. นำครั้งแห้งบดเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วนำมา 120 กรัม ล้างด้วยน้ำครั้งละ 10 มล. จนน้ำล้างครั้งไม่มีสี นำส่วนน้ำล้าง 50 มล. กรองสารละลายเอาสิ่งสกปรกออก จากนั้นเติมสารส้ม 5% (potassium aluminium sulfate) ลงไป 50 มล. ทำการสกัดแบบนี้แล้วเก็บรวบรวมน้ำสกัดให้มีปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นนำไปเตรียมผงสีโดยวิธีฉีดพ่นแห้งโดยเครื่อง spray dryer รุ่น SD – 1 ของ EYELA เปรียบเทียบน้ำหมักผงสีที่ได้กับการสกัดโดยวิธี ข. เม็ดครั้งที่เหลือจากการสกัดสามารถนำไปใช้ทำเซลล์ต่อไม่เสียสภาพ

ข. สกัดครั้งเม็ดด้วยสารละลาย 0.5 M โซเดียมคาร์บอเนตโดยตรง โดยใช้ครั้งเม็ด 120 กรัม ต่อสารละลาย 0.5 M โซเดียมคาร์บอเนตปริมาตร 1 ลิตร คนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 1 ชม. รินน้ำสีออกแล้วสกัดต่อด้วยสารละลาย 0.5 M โซเดียมคาร์บอเนตอีก 2 ครั้งๆ ละ 1 ลิตร รวมน้ำสีสกัดที่ได้แล้วเติมสารส้มหนัก 30 กรัม กรอง เก็บน้ำสีที่ได้แล้วระเหยนํ้าออกด้วยเครื่อง spray dryer ส่วนเม็ดครั้งที่เหลือจากการสกัดมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ เหนียวติดกันแน่น ใช้ประโยชน์ต่อไม่ได้ (รูปที่ 3.15)

ผลการสกัดทั้งสองวิธีพบว่า วิธีแรกจะมีปริมาณน้อยกว่าวิธีที่สอง (วิธี ข.) แต่น้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้ทั้งสองวิธีไม่ใช้น้ำหนักของเนื้อสีทั้งหมด ยังมีน้ำหนักของโซเดียมคาร์บอเนตและสารส้มตกค้างปนอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อนำผงสีที่ได้ทั้งสองวิธีในปริมาณที่เท่ากันละลายน้ำ แล้ววัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงพบว่า ลักษณะสเปกตรัมของสารสีแดงในผงสีที่สกัดทั้งสองวิธีเหมือน

กันแต่ความเข้มข้นของสารสีแดงที่ได้ต่างกัน คือที่ได้จากการสกัดจากน้ำล้างครั้ง (วิธี ก.) จะมีความเข้มข้นมากกว่าการสกัดโดยการแช่ครั้งในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตโดยตรง



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการสกัดและแปรรูปสีจากครั่งเป็นสีผงชนิดพ่นแห้ง

3.5.2 การแปรรูปสีจากน้ำครั่งที่ได้จากโรงงานครั่งเม็ดเป็นสีผงชนิดพ่นแห้ง

คณะผู้วิจัยได้นำน้ำล้างครั่งมาจากโรงงานผลิตครั่งเม็ดวัฒนาไซโล อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ประมาณ 100 ลิตร เพื่อนำมาทดลองผลิตสีผงโดยวิธีชนิดพ่นแห้ง และใช้เครื่อง spray dryer จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งทำได้ประมาณชั่วโมงละ 5 ลิตร โดยเสียค่าใช้เครื่องชั่วโมงละ 250 บาท รวมเวลาเปิดและล้างเครื่องด้วย น้ำล้างครั่ง 100 ลิตร ใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง เสียค่าใช้เครื่อง 5,000 บาท

ผลิตภัณฑ์จากครั่งประกอบด้วย สีครั่งจะมีประมาณ 1.52 % ของครั่งดิบ และส่วนที่เป็นยางเหนียวที่ใช้ทำเชลแลค และเป็นส่วนประกอบของอุตสาหกรรมพลาสติกคุณภาพสูง เช่น สวิตช์ไฟฟ้า ส่วนที่เป็นสารสีมี 2 ชนิด คือส่วนที่ละลายน้ำได้สีแดง ชื่อ Laccaic acid เรียกทั่วไปว่า สีครั่ง (lac dye) และสารสีเหลืองที่ละลายในแอลกอฮอล์ Laccaic acid มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนน ซึ่งเป็นสารสีกลุ่มเดียวกับรากยอป่าแต่มีโครงสร้างย่อย และสมบัติ

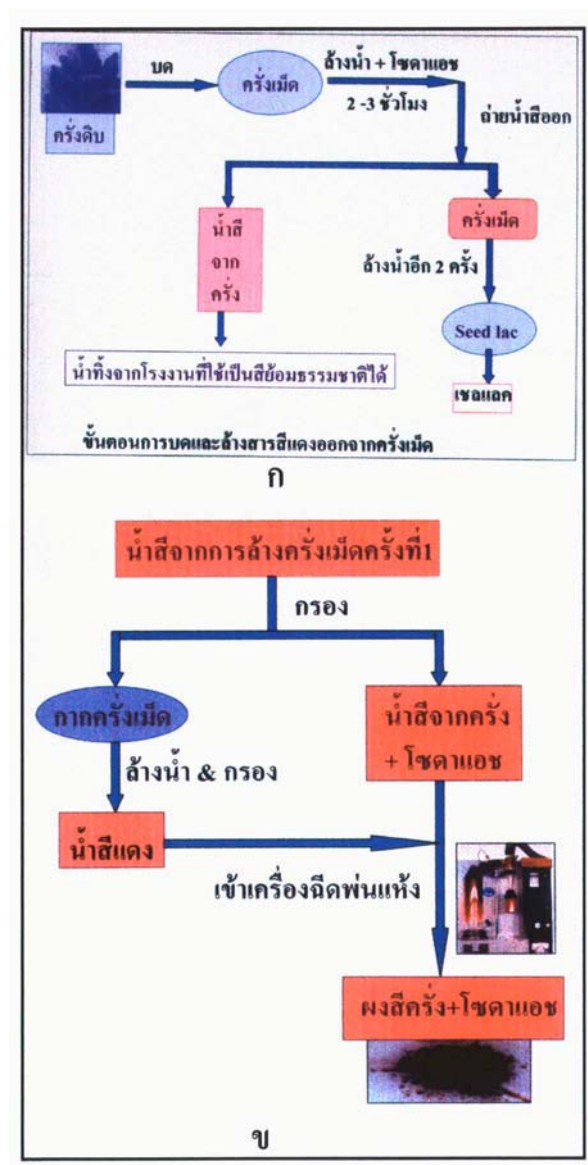
บางประการแตกต่างกันบ้าง และครั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการเพาะเลี้ยงในภาคเหนือ เช่นที่จังหวัด ลำปาง ลำพูน และแพร่ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารสีแดงเสริมจากสารสีแดงที่ได้จากรากยอป่า

น้ำล้างครั้งที่ได้จากโรงงานผ่านขั้นตอนต่างๆดังสรุปในรูปที่ 3.16 ก. กล่าวคือ ครั้งดิบที่ได้นำมาโม่เป็นเม็ดเล็กๆแล้วปล่อยน้ำผสมโซดาแอช (Sodium carbonate) 5 %โดยน้ำหนักไปชะล้างสีครั้งแรกออกจากเม็ดครั้งแรก แช่ทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงแล้วเปิดน้ำสีทิ้ง (น้ำล้างครั้งที่ 1) แล้วปล่อยน้ำเข้าไปล้างอีก 2 ครั้ง จนสีครั้งแรกออกจากเม็ดครั้งแรกหมดเป็น seed lac ส่วนน้ำล้างครั้งที่ปล่อยทิ้งไปตามเรือสวนไร่นา สำหรับน้ำล้างครั้งที่มือใช้ในการเตรียม seed lac แต่ทุกครั้งเมื่อปล่อยทิ้งก็ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเกิดมลภาวะทางเดินหายใจได้คณะผู้วิจัยได้ขออนุญาตน้ำล้างครั้งที่ 1 จากผู้ประกอบการมา 80 ลิตร เพื่อลองทำสีครั้งแรกพ่นแห้งขั้นตอนการทำสีพ่นแห้งในรูปที่ 3.16 ข. กล่าวคือน้ำล้างครั้งที่ 1 จากโรงงานเก็บไว้ในห้องเย็นกันการบูดเน่า นำออกมากรองกากครั้งที่ติดมาออกพร้อมทั้งเติมน้ำลงไปเพื่อละลายสีครั้งแรกออกจากกากครั้งที่ป่นมา จากน้ำล้างครั้งที่ 1 ได้มา 80 ลิตรจะกลายเป็นน้ำสีจากครั้งที่ 100 ลิตร มีลักษณะสีแดงคล้ำนำไปพ่นด้วยเครื่องมือพ่นแห้ง (Spray dry ของ APV Anhydro AS, Drying and Evaporation ประเทศ Denmark รุ่น PSD 52) และการ feed สารใช้ Repulsions motor รุ่น M80 (Multifix ของ Alfred schwinhekr KQ) การ set เครื่อง spray dryer คือ

Blower Temp.	250 °C
Heater	250 °C
Automizer (ความเร็วของการจ่ายไฟ)	80-90
Feed pump (ให้สัมพันธ์กับความเร็วของการจ่ายไฟ)	1.00-1.30
Temp. No. 2	80-90 °C

สิ่งที่ได้คือสีครั้งแรกเป็นผงสีแดงเข้ม เบา มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 2,330.03 กรัมจากน้ำล้างครั้งที่ 100 ลิตร น้ำหนักนี้เป็นน้ำหนักของสารสีแดงจากครั้งแรกพร้อมกับโซดาแอชที่ใช้ผสมในน้ำล้างสีจากเม็ดครั้งแรก

สารสีแดงซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักจากครั้งแรกคือ กรดแลคติกซึ่งละลายได้ดีในน้ำค้าง ใช้เป็นสีธรรมชาติย้อมเส้นใยเช่น โปรตีน ไหม ขนสัตว์ได้ดี แต่เนื่องจากเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ความคงทนต่อการซักล้างขัดถูและแสงจะต่ำ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาในสารละลายที่เป็นกรดจะให้คุณสมบัติที่ติดแน่นกับสารอื่นได้ดี สารที่ช่วยให้สีติดเส้นใยได้ดีหรือมอร์แดนต์(mordant) ที่นิยมใช้กับสีครั้งแรกได้แก่ สารส้ม กรดทาร์ทาริก น้ำมะขามซึ่งจะเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักฟอก ขัดถู และแสงได้ดีขึ้น สีครั้งแรกนี้ใช้ย้อมกับผ้าฝ้ายได้แต่ไม่ดีเท่ากับไหม คณะผู้วิจัยจึงลองใช้สีครั้งแรกย้อมฝ้ายและพยายามพัฒนาวิธีการเตรียมฝ้ายและวิธีการย้อม (บทที่ 6) ให้ติดผ้าฝ้ายได้ดีเช่นเดียวกับไหม



รูปที่ 3.16 ก. ขั้นตอนการบดและล้างสารสีแดงออกจากครั้งเม็ด

ข. การเตรียมผงสีครั้งแบบฉีดพ่นแห้ง

การทดลองขั้นต่อไปที่น่าจะทำเพื่อเป็นข้อมูลในการใช้สีครั้งย้อมฝ้ายให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ ตลอดจนการปรับส่วนน้ำย้อมตั้งต้นให้มีค่าความเข้มข้นและเจดสีตามต้องการก็คือ การหาปริมาณกรดแลคติกในผงสีครั้งที่ได้จากการทำ spray dry โดยทำการแยกบริสุทธิ์กรดแลคติกเพื่อใช้เป็นสารมาตรฐานแล้ววัดหาปริมาณกรดแลคติกในสารตัวอย่างโดยวิธี spectrometry คือวัดการดูดกลืนแสงของกรดแลคติกในช่วงความยาวคลื่นสูงสุดของสารนี้ซึ่งได้เคยทำการหาไว้แล้ว คือ 533 นาโนเมตรในสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตรวจสอบ

สมบัติการเปลี่ยนแปลงสีตามพีเอชและการเติมเกลือโลหะชนิดต่างๆแล้วทดสอบการย้อมฝ้าย

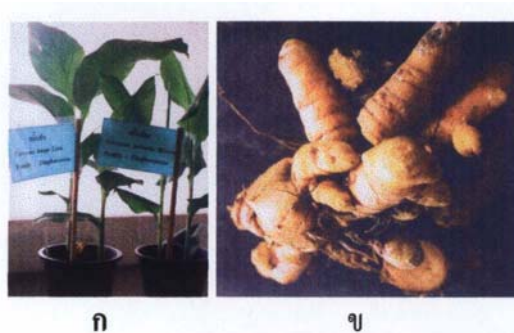
ข้อสังเกต

การเตรียมสีครั้งผงโดยวิธีฉีดพ่นแห้งนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแปรรูปสีจากครั้ง เนื่องจากสามารถตั้งต้นจากน้ำทิ้งล้างสีที่ได้จากโรงงานผลิตครั้งเม็ดเป็นการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วยในการทดลองเตรียมผงสีครั้งจากน้ำล้างสีในครั้งแรกนี้ต้องเสียค่าขนส่งน้ำล้างครั้งและเปลืองที่เก็บในห้องเย็นก่อนทำการพ่นแห้งเพื่อป้องกันการบูดเน่าของสารในน้ำครั้ง และการเข้าเครื่อง spray dryer ก็เสียค่าใช้จ่ายมากทำให้ดูเหมือนว่าผลิตภัณฑ์ผงสีที่ได้จะมีต้นทุนการผลิตสูงแต่ถ้าการผลิตแบบนี้กระทำที่โรงงานผลิตครั้งเม็ดโดยตรงที่มีเครื่อง spray dryer ของตนเองก็จะทำให้ครบวงจรและได้ผลิตภัณฑ์สีผงเพิ่มขึ้นอีกอย่างแน่นอนจากครั้งเม็ดและลดมลภาวะจากน้ำทิ้งด้วย อย่างไรก็ตามคงต้องมีการวิจัยการผลิตในสเกลที่ใหญ่ขึ้นในระดับโรงงานต้นแบบเพื่อให้มีผลผลิตเพียงพอที่จะศึกษาการนำผลิตภัณฑ์ผงสีไปใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อมหรือสีผสมอาหารได้หลากหลายตลอดจนการนำเสนอผลิตภัณฑ์ให้ผู้ประกอบการได้ทดลองใช้เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการตลาดที่น่าสนใจมากพอที่จะดึงดูดให้ภาคอุตสาหกรรมหันมาลงทุนได้ นอกจากนี้เครื่อง spray dryer อาจใช้ผลิตสีผงแห้งจากวัตถุดิบอื่นนอกฤดูเก็บเกี่ยวครั้งโดยไม่ต้องปิดโรงงานอีกด้วย

บทที่ 4

การสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้นและ การศึกษาสารช่วยติดสีจากใบพืชบางชนิด

ขมิ้น เป็นพืชล้มลุก อายุหลายปี สูง 30-90 เซนติเมตร มีหัวซึ่งเรียกว่าเหง้าอยู่ใต้ดิน เนื้อในของเหง้าจะมีสีเหลืองเข้มหรือสีแดง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ใบเป็นใบเดี่ยวแทงมาจากเหง้าโดยตรง เรียงเป็นวงซ้อนทับกัน รูปทรงใบเป็นรูปใบหอก เรียวยาว ปลายใบแหลม กว้าง 12-15 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร ดอกเป็นแบบดอกช่อ แทงออกจากเหง้า แทรกขึ้นมาระหว่างก้านใบ รูปทรงกระบอก กลีบดอกสีเหลืองอ่อนหรือสีนวล ผลรูปทรงกลมมี 3 พู



รูปที่ 4.1 ต้นขมิ้นอ้อยและขมิ้นชัน (ก) และ เหง้าขมิ้นชัน (ข)

ขมิ้นมีอยู่ 2 species คือ ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn. หรือ *Curcuma domestica* Valetton) มีชื่ออื่นๆ ขมิ้นแกง ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว ขมิ้นไข ขมิ้น หมิ้น ขมิ้นแดง ขมิ้นป่า ขมิ้นดี ขมิ้นทองกับขมิ้นอ้อย (*Curcuma zedoaria* Rosc) มีชื่ออื่นๆ ขมิ้นชัน ขมิ้นหัวชัน ขมิ้นเจดีย์ ขมิ้นถูกจัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae ความแตกต่างของขมิ้นทั้งสองนั้นจะสังเกตได้จากลักษณะของเหง้า คือ เหง้าของขมิ้นอ้อยจะมีขนาดใหญ่กว่าเหง้าของขมิ้นชัน และเหง้าของขมิ้นอ้อยมักจะโผล่ขึ้นมาเหนือดิน ลักษณะเหมือนเจดีย์ทรงกลมสูงหลายๆ ชั้น ส่วนเหง้าของขมิ้นชันจะไม่โผล่พ้นดิน หากเปรียบเทียบความหอมหรือกลิ่นฉุน เหง้าของขมิ้นชันจะมีกลิ่นหอมและฉุนกว่าเหง้าขมิ้นอ้อย

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เหง้าของขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn. หรือ *Curcuma domestica* Valetton.) เป็นพืชตัวอย่างในการศึกษาหาสารสีเหลืองที่อยู่ในส่วนของเหง้า เพื่อพัฒนาเป็นสีย้อมต่อไป

4.1 การสกัดและการเตรียมน้ำสีจากเหง้าขมิ้นชัน

ได้ทำการสกัดและเตรียมน้ำสีจากเหง้าขมิ้นชัน โดยทำการจัดหาเหง้าขมิ้นชันจากท้องตลาดแหล่งใหญ่ คือ ตลาดสดเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นหลัก ราคาของเหง้าขมิ้นสดในท้องตลาดซึ่งได้มีการจัดซื้อจะมีราคาแตกต่างกันไปตามจังหวะของช่วงฤดูกาล คือราคาเหง้าสดกิโลกรัมละ 20-35 บาท

4.1.1 วัตถุดิบ

นำเหง้าขมิ้นชันที่จัดหามาได้ล้างน้ำให้สะอาดเพื่อกำจัดเศษดินและสิ่งสกปรกอื่นๆ หั่นเป็นแว่นบางๆ ผึ่งลมให้หมาดๆ และนำไปอบแห้งในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C เป็นเวลา 4-5 วัน หลังจากวัตถุดิบแห้งแล้วจึงนำเข้าเครื่องบดเป็นผงป่นหยาบก่อนล้างละเอียดเพื่อใช้ในการสกัดและศึกษาต่อไป วัตถุดิบเมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะมีน้ำหนักลดลงไปประมาณ 85 % กล่าวคือ น้ำหนักวัตถุดิบสดประมาณ 9 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งแล้วจะเหลือน้ำหนักเพียง 1.35 กิโลกรัม นั่นคือวัตถุดิบสดเมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะได้วัตถุดิบแห้งเพียง 1.5 % เท่านั้น

4.1.2 การสกัดและการเตรียมน้ำสีเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์และแยกหาองค์ประกอบหลัก

ทำการสกัดผงป่นของเหง้าขมิ้นชันด้วยเอทานอลโดยใช้ชุดสกัดแบบต่อเนื่อง (Soxhlet's apparatus) ขนาด 5 ลิตร จนกระทั่งสีถูกสกัดออกจากผงป่นจนเกลี้ยงโดยสังเกตจากสีของเอทานอลที่สกัดออกมาในตอนท้ายๆ ว่ามีสีซีดจางลงแล้วจึงหยุดการสกัด การสกัดนี้จะใช้เวลาสกัดนานประมาณ 4 สัปดาห์ต่อหนึ่งชุดสกัด รายละเอียดของวิธีการสกัดมีดังต่อไปนี้

ผงป่นเหง้าขมิ้นชัน	จำนวน	950.00	กรัม
เอทานอล	จำนวน	5	ลิตร
น้ำสีเข้มข้นหลังการสกัดและระเหยแห้งแล้ว		311.00	กรัม
คิดเป็นปริมาณสารสกัดเข้มข้นเท่ากับ		32.74	%

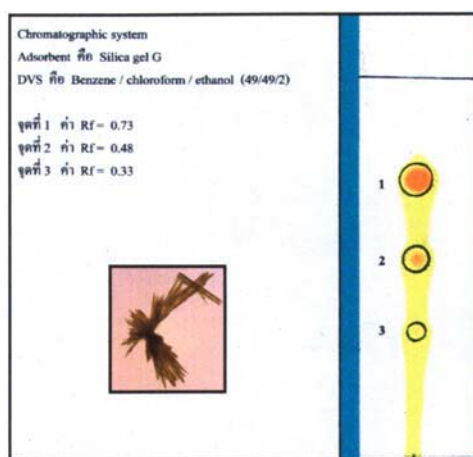
4.1.3 การแยกหาองค์ประกอบหลักของสารให้สีเหลืองจากสารสกัดเข้มข้นเอทานอลของเหง้าขมิ้นชัน

จากการศึกษาด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางของสารสกัดเข้มข้นนี้ในน้ำยาชะ benzene / chloroform / ethanol (49/49/2) พบว่า องค์ประกอบที่ให้สีเหลืองในเหง้าขมิ้นชันจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน โดยสารให้สีเหลืองทั้ง 3 มีค่า R_f เท่ากับ 0.73, 0.48 และ 0.33 ตามลำดับ ทั้งนี้แต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งทราบได้จากขนาดของ spots แต่ละ spots ที่ปรากฏอยู่บน chromatogram (รูปที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าสารให้สีเหลืองที่มีปริมาณมากคือสารที่ให้ spot ที่มีค่า R_f เท่ากับ 0.73 และอยู่บนสุดของ chromatogram ฉะนั้นการแยกหาองค์ประกอบหลักครั้งนี้จะมุ่งเพื่อทำการแยกหาองค์ประกอบเฉพาะสารที่มีปริมาณมากที่สุดอันจะใช้เป็น marker สำหรับการ

ควบคุมคุณภาพของสีจากขมิ้นชันต่อไป

การแยกหาองค์ประกอบหลักได้ทำการดำเนินการแยกดังมีรายละเอียดคือ ใช้คอลัมน์กระบอกแก้วขนาด 45 x 3 เซนติเมตร บรรจุด้วยตัวดูดซับ silica gel 40 จำนวน 60 กรัม ใน hexanes และใช้สารสกัดเข้มข้นที่ต้องการแยกจำนวน 4.7 กรัม เริ่มต้นทำการชะด้วย hexanes, hexanes / chloroform (9/1) และ hexanes / chloroform (4/1) ตามลำดับ ทำการเก็บรวบรวมน้ำยาชะที่ได้ที่มีแต่สารให้สีที่เราต้องการเข้าด้วยกัน (จะตรวจสอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางอยู่ตลอดเวลาของการทำงาน) นำน้ำยาที่ได้ทั้งหมดไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ และชั่งน้ำหนักของสารที่ได้พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 0.85 กรัมคิดเป็น 5.8 % ของผงบดแห้ง ตรวจสอบสารให้สีเหลืองที่แยกออกมาได้ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางอีกครั้งพบว่ายังมีความบริสุทธิ์ไม่พอเพราะว่ายังมีสารให้สีเหลืองอีกสองชนิดปะปนร่วมอยู่ด้วย ต้องนำมาทำให้มีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้นด้วยเทคนิค preparative TLC โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการดังนี้

- ก. Adsorbent ที่ใช้คือ silica gel G
- ข. น้ำยาชะคือ benzene / chloroform / ethanol (49 / 49 / 2)
- ค. ชูดเก็บเฉพาะแถบของสารให้สีเหลืองที่เราต้องการและละลายออกมาด้วย chloroform
- ง. นำน้ำยา chloroform ที่ได้ในข้อ ค. มาระเหยแห้งอีกครั้งจะได้ตะกอนเป็นสีเหลือง
- จ. ทำการตกผลึกในน้ำยาผสมของ chloroform กับ petroleum ether
- ฉ. ได้ผลึกของสารให้สีเหลืองตามต้องการเป็นรูปทรงเข็ม (รูปที่ 4.2 ในกรอบสี่เหลี่ยม)



รูปที่ 4.2 TLC โครมาโทแกรมของสารสกัดเข้มข้นของสารสีเหลืองจากเหง้าขมิ้นชัน ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กเป็นผลึกของสารบริสุทธิ์ของสารสีเหลืองที่มีปริมาณมากที่สุด (จุดที่ 1)

4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารให้สีหลักจากเหง้าขมิ้นชัน ได้ผลดังนี้คือ

- ก. ผลึกมีรูปทรงเป็น รูปเข็มสีเหลือง
- ข. การละลายในน้ำพบว่าละลายได้บ้างและให้สีเหลืองอ่อน สีเหลืองจะเข้มข้นเล็กน้อยเมื่อน้ำมีสถานะเป็นกรด แต่จะละลายในน้ำได้ดีมากเมื่อทำให้น้ำมีสถานะเป็นด่างซึ่งจะให้สีเป็นสีเหลืองอมส้ม
- ค. ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ต่อไปนี้ methanol, ethanol, chloroform และ ethyl acetate ตามลำดับ
- ง. มีค่าการดูดกลืนภายใต้คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 423 นาโนเมตร เมื่อละลายอยู่ใน absolute ethanol

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักสารให้สีเหลืองจากเหง้าขมิ้นชัน

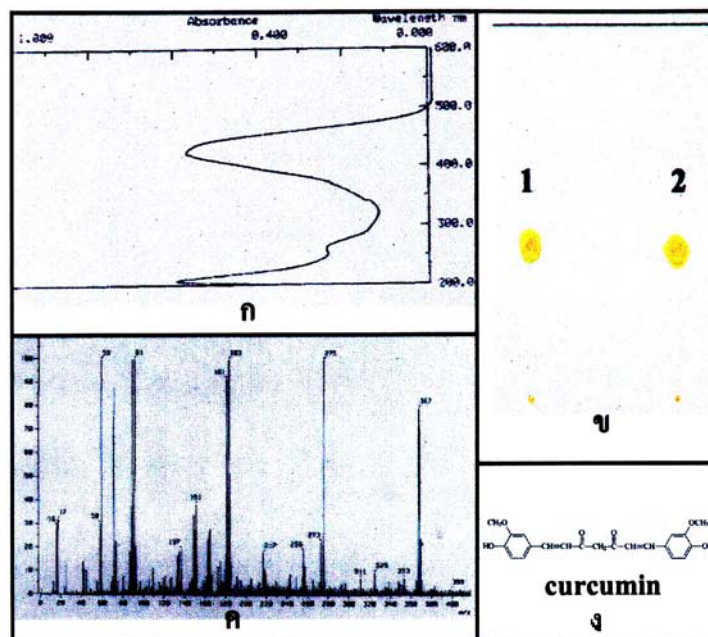
การวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีของสารให้สีเหลืองที่แยกได้จากเหง้าขมิ้นชันได้ ดำเนินการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทาง spectroscopy และโครมาโทกราฟีผิวบาง ดังนี้คือ

- ก. การวิเคราะห์ด้วย ultraviolet-visible spectroscopy
- ข. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางเพื่อเปรียบเทียบค่า R_f ของสารสีเหลืองที่แยกได้กับสารมาตรฐาน curcumin
- ค. การวิเคราะห์ด้วย mass spectroscopy

ผลการวิเคราะห์ของข้อมูลข้างต้นมีดังต่อไปนี้

- ก. สารประกอบหลักที่ให้สีเหลืองให้ค่าการดูดกลืนคลื่นสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 423 นาโนเมตรใน absolute ethanol (รูปที่ 4.3 ก)
 - ข. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบางเปรียบเทียบค่า R_f ของสารประกอบหลักที่ให้สีเหลืองกับสารมาตรฐาน curcumin ในน้ำยาชะ benzene / chloroform / ethanol (49/49/2) พบว่า สารประกอบหลักสีเหลืองที่แยกได้มีค่า R_f เท่ากับค่า R_f ของสารมาตรฐาน curcumin คือ 0.42 และ 0.42 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3 ข)
 - ค. สารประกอบหลักที่ให้สีเหลืองแสดงค่าของ mass spectrum ด้วยค่า molecular ion (M-1) ที่ m/e เท่ากับ 367 แต่เนื่องจาก mass spectrum ที่ได้มีการวัดค่าโดยเลือกใช้ FAB negative mode ทำให้ค่า molecular ion ที่ได้เป็น molecular negative ion peak (M-1) ดังนั้นค่าของน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบหลักสีเหลืองนี้จึงมีค่าเท่ากับ 368 (รูปที่ 4.3 ค)
- จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่า สารประกอบหลักสีเหลืองที่แยกได้เป็นองค์ประกอบหลักในเหง้าขมิ้นชันนี้คือ สาร curcumin มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม ดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 423 นาโนเมตรใน absolute ethanol มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 368 มีโครงสร้างทางเคมี คือ

$C_{21}H_{20}O_6$ และมีโครงสร้างทางเคมีแบบเดียวกับสารมาตรฐาน curcumin (รูปที่ 4.3 ง)



รูปที่ 4.3 ก. uv – visible spectrum ของสารให้สีเหลืองจากขมิ้นชัน

ข. TLC โครมาโทแกรมของสารให้สี (1) เทียบกับสารมาตรฐาน curcumin (2)

ค. mass spectrum ของสารให้สีจากขมิ้นชัน

ง. โครงสร้างทางเคมีของสารให้สีจากขมิ้นชัน

4.4 การแปรรูปสารย้อมสีธรรมชาติจากขมิ้น

การแปรรูปสีย้อมจากขมิ้นเป็นเม็ดแกรนูลทำเป็น 3 แบบ คือ จากผงแห้งขมิ้นบด จากสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอล และจากสารสกัดด้วยสารละลายเกลือแอมโมเนียมและกรดซิตริกและจากสารสกัดด้วยน้ำค่างดงขั้นตอนสรุปในรูปที่ 4.4

4.4.1 การผลิตเม็ดแกรนูลของสารสีเหลืองจากผงปนแห้งขมิ้นชัน

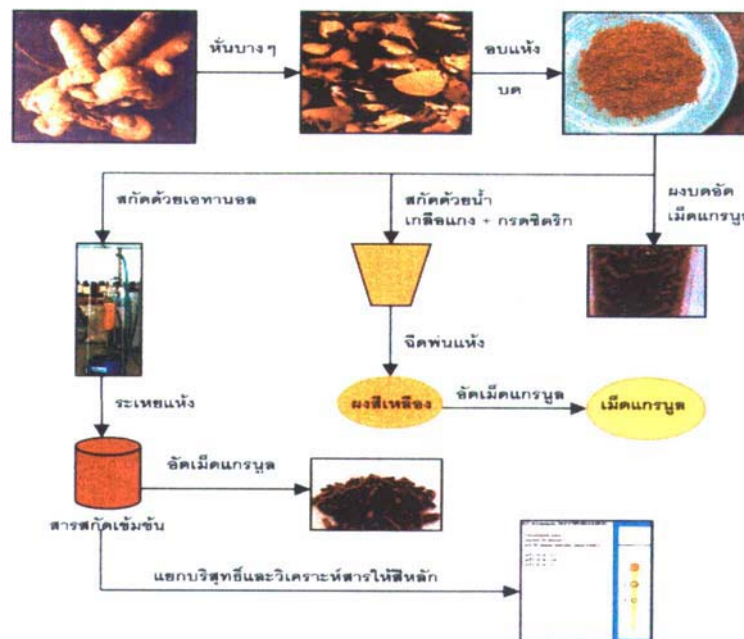
ทำการบดแห้งขมิ้นชันแห้งซึ่งผ่านการอบแห้งแล้วที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C จากนั้นจึงนำมาร้อนผ่านตะแกรงละเอียดอีกครั้งหนึ่ง (ขนาดรูของตะแกรงจะเท่ากับขนาดของมุ้งลวดทั่วไป) นำผงละเอียดของแห้งขมิ้นชันที่ได้ข้างต้นมาทำเป็นเม็ดแกรนูลตามขั้นตอนของขบวนการดังนี้

ก. ชั่งผงปนละเอียดของแห้งขมิ้นชันจำนวน 300 กรัม

ข. ผสมเข้ากับ lactose จำนวน 150 กรัม

ค. นำของผสมที่ได้ข้างต้นผสมกับน้ำร้อนต้มเดือดจำนวน 250 มล.

ง. ทำการผสมทั้งหมดเข้าเป็นเนื้อเดียวกันจนมีลักษณะเหนียวหนืดจึงนำไปรีดให้เป็นเม็ดแกรนูลด้วยเครื่องทำเม็ดแกรนูลและนำเข้าอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °ซ แล้วรีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ให้ได้ขนาดเม็ดแกรนูลที่เหมาะสมในการเก็บและใช้งาน



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการแปรรูปสารสีเหลืองจากเหง้าขมิ้นชันเป็นเม็ดแกรนูล 3 แบบและการแยกสกัดสารให้สีเพื่อวิเคราะห์สารให้สีหลัก

4.4.2 การผลิตเม็ดแกรนูลของสารให้สีเหลืองจากสารสกัดเข้มข้นของเหง้าขมิ้นชันด้วย

เอทานอล

4.4.2.1 การเตรียมสารสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลของเหง้าขมิ้นชันมีวิธีการดังนี้

ก. ใช้ผงป่นของเหง้าขมิ้นชันจำนวน 700 กรัมและสกัดด้วยเอทานอลจำนวน 5 ลิตรทำการสกัดด้วยชุดสกัดแบบต่อเนื่อง (Soxhlet's apparatus) เมื่อสกัดจนเกลี้ยงแล้วก็กรองเก็บน้ำยาสกัดที่ได้และนำไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยแห้งภายใต้ความดันต่ำ

ข. ชั่งหาน้ำหนักของสารสกัดที่ได้พบว่า สารสกัดที่ได้มีน้ำหนักเท่ากับ 229.16

กรัม

4.4.2.2 การผลิตเม็ดแกรนูล

การผลิตเม็ดแกรนูลจากสารสกัดเข้มข้นเอทานอลของเหง้าขมิ้นชันมีรายละเอียดดังนี้

- ก. ชั่งสารสกัดเข้มข้นเอทานอลของเหง้าขมิ้นชันจำนวน 150 กรัม
- ข. ผสมด้วย lactose จำนวน 460 กรัม
- ค. บดผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องบดผสมจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำไปรีด

ให้เป็นเม็ดแกรนูล ด้วยเครื่องทำเม็ดแกรนูล

- ง. นำเม็ดแกรนูลที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบ ณ อุณหภูมิที่ไม่เกิน 60 °ซ

4.4.3 การผลิตเม็ดแกรนูลจากสารให้สีเหลืองผงแห้งชนิดฉีดพ่น

การผลิตเม็ดแกรนูลจากสารให้สีเหลืองของผงแห้งชนิดฉีดพ่นนั้น ได้ทำการทดลองหาขบวนการฉีดพ่นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตผงแห้งก่อนจากนั้นจึงจะผลิตเป็นเม็ดแกรนูลต่อไป

4.4.3.1 การผลิตผงแห้งชนิดฉีดพ่น

- ก. ชั่งผงป่นของเหง้าขมิ้นชันจำนวน 100 กรัม
- ข. ชั่งกรดซิตริกจำนวน 30 กรัม
- ค. ผสมเข้าด้วยกันและชงด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 70 °ซ 2 ลิตร/ครั้ง
- ง. ทำการชงซ้ำๆ รวมกันทั้งหมด 8 ครั้งด้วยกันและเก็บรวบรวมน้ำยาชงที่ได้

ทั้งหมด

- จ. ชั่งเกลือป่นผสมลงไปในน้ำยาชงที่ได้จำนวน 190 กรัม

ฉ. ทำการฉีดพ่นด้วยเครื่อง spray dry และเก็บรวบรวมผงแห้งที่ได้ทั้งหมด หลังจากหักกลบน้ำหนักของกรดซิตริกและเกลือป่นแล้วพบว่าจะได้ผงแห้งของสารให้สีเหลืองจำนวน 19.10 กรัม หรือคิดเป็น 19.10 % ผงสีที่ได้มีลักษณะที่ดีไม่ดูมีความชื้นง่าย (รูปที่ 4.5)

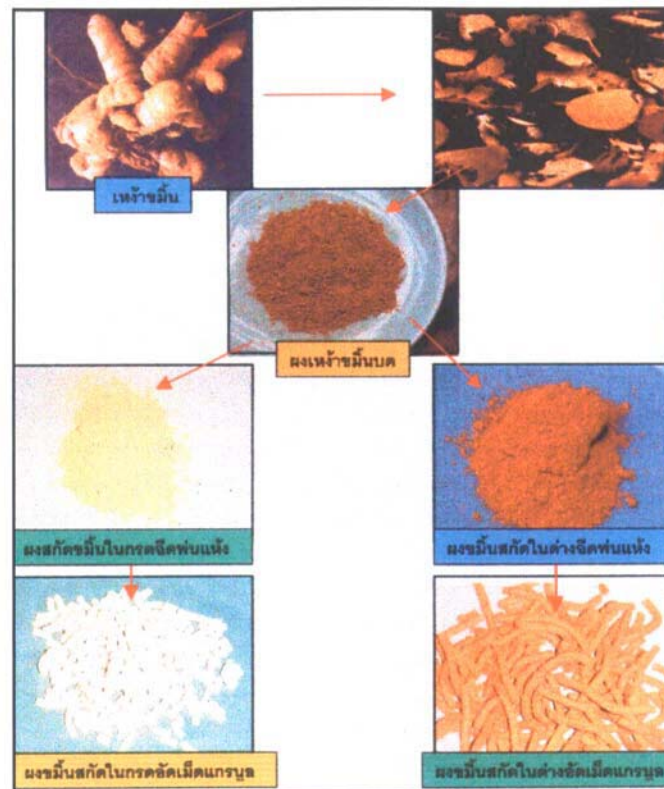
- ช. เงื่อนไขสำหรับการฉีดพ่นแห้งมีดังนี้

Air blower flow rate	0.3-0.4/m ³ /min
Air pump	0.6-0.7/kg/cm ²
Microtube speed	400-500 ml/h
Temperature No.1	105°-110°C
Temperature No.2	70°-80°C

4.4.3.2 การผลิตเม็ดแกรนูล

การผลิตเม็ดแกรนูลจากผงแห้งชนิดฉีดพ่นของเหง้าขมิ้นชันมีขั้นตอนของขบวนการดังนี้

- ก. ชั่งผงแห้งชนิดฉีดพ่นจำนวน 150 กรัม
- ข. ชั่ง lactose ผสมเข้าไปจำนวน 200 กรัม
- ค. ทำการบดผสมทั้งคู่ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบดผสม
- ง. จากนั้นให้ฉีดพ่นด้วยน้ำเย็นเพื่อให้มีลักษณะเหนียวหนืดจำนวน 60 มล.
- จ. นำไปรีดให้เป็นเม็ดแกรนูลด้วยเครื่องทำเม็ดแกรนูลและอบให้แห้งในตู้อบ ณ อุณหภูมิไม่เกิน 60 °ซ แล้วรีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 ให้ได้ขนาดเม็ดแกรนูลที่เหมาะสมต่อไป



รูปที่ 4.5 ลักษณะเม็ดแกรนูลจากผงแห้งชนิดฉีดพ่นของเหง้าขมิ้นสกัดด้วยสารละลายกรดและสารละลายด่าง

4.4.4 การเปรียบเทียบสีจากขมิ้นแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลจากผงเหง้าบด สารสกัดด้วยเอทานอล และผงสีแห้งจากน้ำสกัดด้วยสารละลายกรดและด่าง

เช่นเดียวกับรากขมิ้นเม็ดแกรนูลจากผงเหง้าขมิ้นบดจะมีต้นทุนการผลิตต่ำแต่ผู้ใช้ต้องทำการสกัดเองซึ่งทำได้ง่ายกว่าผงรากขมิ้นโดยการต้มด้วยน้ำค้างหรือสารละลายเกลือแกงผสมกรดซิตริกแล้วแต่เจดสีที่ต้องการ สารสกัดด้วยกรดชนิดหนึ่งเป็นเม็ดแกรนูลเมื่อทิ้งไว้โดนแสงนานๆ สีจะซีดจนเกือบขาว ในขณะที่ถ้าสกัดด้วยน้ำค้างสีจะเข้มและเก็บได้นานกว่าโดยไม่ซีด แกรนูลจากน้ำสกัดเข้มข้นด้วยเอทานอลเก็บได้นานเช่นกันแต่ขั้นตอนการทำจะยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่า ลักษณะแกรนูลที่เห็นในรูปที่ 4.5 ยังไม่ได้รีดผ่านตะแกรงเบอร์ 9 การละลายจะสู่มเม็ดแกรนูลขนาดเล็กไม่ได้ อย่างไรก็ตามสีแปรรูปจากเหง้าขมิ้นเมื่อนำไปทดลองย้อมผ้าติดสีเหลืองสดใสดีและความคงทนต่อการซักฟอกอยู่ในระดับดีแต่ความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับต่ำมากซึ่งเป็นสมบัติโมเลกุลของสารสีแดงต้องพยายามปรับปรุงหรือหาสารสีเหลืองจากวัตถุดิบอื่นที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างออกไป

4.5 การศึกษาสารช่วยติดสีจากใบพืชบางชนิด

จากข้อมูลสำรวจพบว่าพืชที่ใช้ช่วยติดสีหรือเป็น mordant ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นมีหลากหลายแล้วแต่จะพบมากในท้องถิ่นใด ส่วนใหญ่เป็นพืชที่รู้จักดีและพบอยู่ทั่วไป อาทิเช่น ใบฝรั่ง ใบยูคาลิปตัส ใบมะไฟ ใบสาบเสือ ใบเหมือดโสด ใบจี้เหล็ก ต้นและใบโคมหนาม ผลหมาก แก่นสีเสียดเทศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่มีรสฝาดและน่าจะมีแทนนินสูง

แทนนิน คือ สารประกอบเคมีผสมชนิดซับซ้อนที่พบอยู่ทั่วไปในพืชและไม่พบในสัตว์ส่วนมากจะไม่สามารถตกผลึกได้ เป็นสารที่มีรสฝาดเมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในสภาพคอลลอยด์ มีสมบัติเด่นคือเป็นยาฝาดสมานเพราะสามารถรวมตัวได้กับโมเลกุลของโปรตีนและเกิดเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบการเชื่อมโยงที่คงตัวมาก แม้แต่เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนก็ไม่สามารถจะย่อยตะกอนนี้ได้ เมื่อแทนนินถูกกับเนื้อเยื่อของบาดแผลก็จะให้โปรตีนในเนื้อเยื่อนั้นๆเกิดตะกอนกลายเป็นเกล็ดแข็งปกคลุมห่อหุ้มเนื้อเยื่อใหม่ที่กำลังงอกขึ้นมาใหม่ จึงช่วยป้องกันการติดเชื้อได้และยังป้องกันการสูญเสียของเหลวออกจากร่างกายอีกด้วย นอกจากนี้ก็ยังใช้รักษาอาการท้องเดินในเด็ก เป็นต้น

ประโยชน์อื่นๆ นอกเหนือจากการแพทย์และเภสัชกรรมยังอาศัยสมบัติของแทนนินที่สามารถตกตะกอนกับโปรตีนได้กับโปรตีน เจลาติน โลหะหนัก และ แอลคาลอยด์มาใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบสารดังกล่าวในห้องปฏิบัติการเคมีโดยทั่วๆ ไป นอกจากนี้ยังอาศัยคุณสมบัติของตัวแทนนินที่สามารถรวมตัวกับเกลือของธาตุเหล็กแล้วจะได้สารประกอบที่มีสีน้ำเงิน

หรือสีเขียว จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการย้อมสีธรรมชาตินิยมใช้แทนนินเป็นสารช่วยติดสีหรือ mordant ทั้งการย้อมไหมและฝ้าย

จากประโยชน์ดังกล่าวแทนนินจึงเป็นสารธรรมชาติที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีฤทธิ์ทางยา ลักษณะจะเป็นสารออสันฐานสีน้ำตาลเหลือง รสขมฝืด ละลายน้ำได้ทางเคมีเป็นสารพวก polyphenol ซึ่งจะตกตะกอนถ้ารวมตัวกับโปรตีน โลหะหนัก อัลคาลอยด์ กลัยโคไซด์ และสามารถทำปฏิกิริยากับสารหลายชนิดให้สารที่มีสี หรือมีการเรืองแสง ฯลฯ เฉพาะตัว แทนนินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. แทนนินชนิดละลายตัวได้ เป็นพอลิเอสเทอร์ (polyester) ของกรดฟีนอลิกและน้ำตาล ละลายน้ำได้ดีละลายตัวในกรดเจือจางได้เป็นสารประกอบฟีนอลิกและน้ำตาลทำปฏิกิริยากับน้ำยาเฟอริกคลอไรด์ได้สีน้ำเงิน พบในพืช เช่น ใบฝรั่ง

ข. แทนนินชนิดรวมตัวแน่น เป็น polymer ของ phenolic nuclei กับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ละลายน้ำได้น้อย ไม่ละลายตัวโดยกรดเจือจาง แต่จะรวมตัวเป็นสาร phlobaphene สีแดง ทำปฏิกิริยากับน้ำยาเฟอริกคลอไรด์ได้สีน้ำเงิน ตัวอย่างเช่น แทนนินในหมาก

พืชส่วนมากจะมีแทนนินทั้งสองชนิดอยู่ร่วมกัน แต่จะมีชนิดหนึ่งมากกว่าอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจึงทำให้บริสุทธิ์ยาก แต่สามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยปฏิกิริยาการเกิดตะกอนหรือเกิดสี รวมทั้งสามารถแยกชนิดของแทนนินและตรวจสอบการสกัดแทนนินบางชนิดได้โดยปฏิกิริยาเฉพาะตัว

วิธีการตรวจสอบแทนนิน

สกัดแทนนินจากพืชที่จะทดสอบโดยใช้พืชตัวอย่างประมาณ 5 กรัมในน้ำ 100 มล. ต้มให้เดือดตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรอง

ก. การตรวจสอบการสกัดแทนนิน นำน้ำสกัดแทนนิน 1 มล. เติมน้ำ 10 มล. หยดน้ำยาที่ใช้ทดสอบ 2-10 หยด เช่น

น้ำยาเจลาติน 1 % ทดสอบแทนนิน

สารอัลคาลอยด์ เช่น คาเฟอีน 1 %

ถ้ามีแทนนินในน้ำสกัดจะตกตะกอนเจลาตินและสารอัลคาลอยด์

ข. การตรวจสอบชนิดของสารสกัดแทนนิน ทำการทดลองแบบเดียวกับข้อ ก. กับ น้ำยาต่อไปนี้

แทนนินชนิดละลายตัวได้

- น้ำยาเฟอริกคลอไรด์
- น้ำปูนใส ได้ตะกอนสีเหลืองเทา

แทนนินชนิดรวมตัวแน่น

- น้ำยาเฟอร์ริกคลอไรด์
 - Vanillin – HCl นำสารสกัดจากข้อ ก. ประมาณ 10 มล. มาระเหยแห้งบนหม้ออังไอน้ำเติมน้ำยาทดสอบวานิลลิน 1 มล. และกรดเกลือเข้มข้น 1 หยด จะได้สีแดงเลือดนก
- คณะผู้วิจัยได้ทดลองตรวจสอบหาสารแทนนินในพืชที่ใช้เป็น mordant ในการย้อมสีธรรมชาติ 10 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 สรุปได้ว่า พืชที่มีแทนนินชนิดรวมตัวแน่นและที่สลายตัวได้รวมกันอยู่คือ ผลหมาก ใบเหมือดโสดและสีเสียดเทศ พืชที่มีเฉพาะแทนนินที่สลายตัวได้คือ ผลกล้วยดิบ (มีน้อยมากเมื่อเทียบกับชนิดอื่น) ใบฝรั่ง ใบมะไฟ ใบจี้เหล็ก ต้นโสมหนาม ใบยูคาลิปตัส ใบสาบเสือ

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบแทนนินในพืชที่ใช้เป็น mordant ในการย้อมสีธรรมชาติ

พืช	ชื่อวิทยาศาสตร์	การตรวจสอบแทนนิน		ชนิดของแทนนิน		
		1 %	1 %	สลายตัวได้		รวมตัวแน่น
		เจลาติน	กาแฟ	FeCl ₃ 1%	น้ำปูนใส	Vanillin-HCl
ผลหมาก	Areca catuahu Linn.	+	+	+	+	+
ผลกล้วยดิบ	Musa sapientum Linn.	-	-	-	+	-
สีเสียดเทศ	Acacia catechu Wild.	+	+	+	-	+
ใบฝรั่ง	Psidium guajava Linn.	+	+	+	+	-
ใบมะไฟ	Baccaurea ramiflora Lour	+	+	+	+	-
ใบเหมือดโสด	Aporusa villosa Baill.	+	+	+	+	+
ใบจี้เหล็ก	Cassia aiarnea Brilt.	+	-	+	+	-
ต้นโสมหนาม	Amaranthus spinosus Linn.	-	-	+	+	-
ใบยูคาลิปตัส	Eucalyptus globulus Labill.	-	-	+	+	-
ใบสาบเสือ	Eupatorium odoratum Linn.	+	-	+	+	-

+ = พบแทนนิน

- = ไม่พบแทนนิน

สำหรับการหาปริมาณสารแทนนินในพืชต่างๆ เปรียบเทียบกันนั้นกำลังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ โดยจะอาศัยปฏิกิริยาระหว่าง แทนนินกับน้ำยาเฟอร์ริกคลอไรด์ 1 % แล้วเกิดสารมีสีและใช้ Tannic acid เป็นกลุ่มสารแทนนินตัวอย่างในปริมาณต่างๆ มาทำปฏิกิริยา แล้ววัด

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของสารประกอบนี้ แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณ Tannic acid และค่าดูดกลืนแสง วัดสารสกัดตัวอย่างที่ต้องการทราบปริมาณ Tannin หลังจากทำปฏิกิริยากับ FeCl_3 แล้ว

เมื่อทราบว่าพืชชนิดใดมีปริมาณแทนนินสูงจะเลือกใช้มาสกัดและแยกแทนนิน ซึ่งทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่จะใช้คือ การต้มใบหรือต้นพืชนั้นๆกับน้ำแล้วแยกโดยวิธี Salting out ด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ นำตะกอนที่ได้ไปสกัดซ้ำด้วยอะซิโตน แล้วกำจัดไขมันออกโดยใช้อีเทอร์สกัดแยกทิ้งไป แล้วตกตะกอนแทนนินออกจากอะซิโตนโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่พอเหมาะและตะกอนแทนนินที่ได้จะใช้เป็น mordant ในการย้อมสีธรรมชาติต่อไป เนื่องจากแทนนิน สกัดออกจากใบพืชได้โดยการต้มกับน้ำร้อนอาจเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้วเข้าเครื่องฉีดยาผงแห้ง รวมกับสารสีเป็นผงสีที่มีปริมาณสารช่วยติดสีอยู่พร้อมสำหรับเตรียมน้ำย้อมที่จะย้อมได้หากเพื่อทราบปริมาณแทนนินที่มีอยู่ในใบพืชแต่ละชนิดที่จะใช้ก็จะคำนวณเพื่อปรับสูตรในการสกัดได้ในโอกาสต่อไป

จากผลการทดสอบหาชนิดและปริมาณแทนนินในใบพืชชนิดต่างๆ พบว่าปริมาณแทนนินในใบยูคาลิปตัส ใบเหมือดโสด มีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าในใบพืชชนิดอื่นและสามารถหาได้ในปริมาณมาก คณะผู้วิจัยจึงได้นำใบพืชดังกล่าวมาผึ่งให้แห้งสนิท และบดให้เป็นผง นำผงมาต้มกับน้ำแล้วสกัดแทนนินออกจากสารละลายโดยการเติมเกลือแกงลงไป แทนนินในสารละลายจะตกตะกอน กรองตะกอนที่ได้ผึ่งให้แห้ง เก็บไว้เป็น mordant ต่อไป และเนื่องจากในใบพืชแต่ละชนิดมีปริมาณโลหะซึ่งอาจมีผลต่อน้ำย้อมสีจากรากยอป่าทำให้ติดสีแตกต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงแยกเก็บแทนนินที่สกัดได้จากใบพืชแต่ละชนิด อีกประการหนึ่งปริมาณที่ได้จากการสกัดจากใบพืชแต่ละชนิดก็แตกต่างกันด้วย

ในแง่การหาปริมาณ ได้ทำการหาปริมาณแทนนินในใบพืชแต่ละชนิดไว้เป็นข้อมูลในการใช้สารสกัดแทนนินผสมในส่วนผสมสีย้อมธรรมชาติได้เป็นสัดส่วนที่แน่นอนต่อไป ผลการหาปริมาณไม่ได้รายงานไว้ในที่นี้

สิ่งที่ควรดำเนินการต่อไปในจุดที่จะใช้สารสกัดแทนนินเป็น mordant คือการหาปริมาณและชนิดของโลหะที่ปนอยู่ในสารละลายที่สกัด เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้เป็นแหล่งของแทนนินในการให้เจดสีของสีย้อมเป็นไปตามต้องการ

บทที่ 5

การสกัด วิเคราะห์ และแปรรูปสารให้สีจากครามและฮ้อม

คราม (*Indigofera tictoria*) **ฮ้อม** (*Baphica canthuscusia*) (รูปที่ 5.1) เป็นพืชที่พบมากในภาคเหนือที่มีอินดิแคน(indican) ซึ่งเป็นสารกลูโคไซด์ชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะกลายเป็นอินดอกซิล(indoxyl) ที่เป็นบรรพสารไม่มีสีของอินดิโก อินดิโกเป็นสีย้อมที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ทางเคมี จัดเป็นสีย้อมแปลงรูป(vat dye) ชนิดหนึ่ง ในกระบวนการย้อมสีแปลงรูปนั้นสีจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนนำไปย้อมผ้า จากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนให้กลับมามีสีในรูปที่ไม่ละลายน้ำตามเดิม ในกรณีของอินดิโก ก่อนนำไปใช้ย้อมสีจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปลูโค(leuco form) หมายถึงรูปที่ไม่มีสีซึ่งละลายได้ในน้ำ จากนั้นเมื่อรวมกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์กลับคืนเป็นสีน้ำเงินที่ไม่ละลายน้ำ



รูปที่ 5.1 ลักษณะของต้นคราม(ก) และฮ้อม(ข)

การสกัดอินดิโกจากพืชทั้งสองชนิดข้างต้นนั้นทำโดยนำต้นครามหรือใบฮ้อมมาหมักในน้ำประมาณ 3 วัน และอาศัยจุลินทรีย์ในอากาศช่วยในการไฮโดรไลซ์อินดิแคนเป็นอินดิโกอยู่ในน้ำ สกัดปนกับซากเน่าเปื่อยของต้นและใบพืชทำให้เกิดกลิ่นเหม็น น้ำที่หมักได้ทำลายสภาพแวดล้อมและผลิตอินดิโกที่ได้ไม่แน่นอนและมีรบกวนให้สีและสารอื่นๆในพืชเจือปนอยู่มาก คณะผู้วิจัยได้เคยไปสัมภาษณ์ผู้ที่ย้อมผ้าฝ้ายด้วยอินดิโกจากฮ้อมและครามที่จังหวัดแพร่ ลำพูน และแม่แจ่ม ได้ข้อมูลว่าแนวโน้มที่จะเลิกทำมีสูงเพราะทนกลิ่นเหม็นไม่ไหว อีกครั้งผู้ที่เคยหมักครามทำเป็น paste ส่งให้ก็เลิกทำแล้ว สิ่งที่ยากได้คือการพัฒนาการผลิตอินดิโกจากครามและฮ้อมหรือพืชชนิดอื่นโดยวิธีการที่ไม่เกิดกลิ่นเหม็นและแปรรูปให้เก็บและใช้งานได้ง่ายขึ้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการพัฒนาการสกัดอินดิโกจากครามและฮ้อมโดยวิธีลดมลภาวะทางกลิ่นให้ได้ผลผลิตมากและมีสีอื่นๆเจือปนน้อยตลอดจนการแปรรูปให้อยู่ในลักษณะที่เก็บและใช้งานได้ง่ายและศึกษาวิธีการย้อมให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ติดทนและประหยัดเวลาในการย้อมด้วย

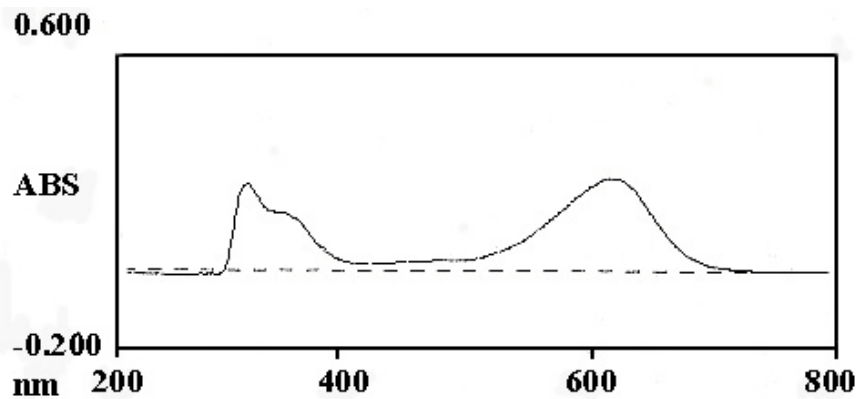
ในช่วงการวิจัยที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้ส่งปลูกต้นครามเพื่อนำมาทำวิจัยในช่วงต่อไปปรากฏว่าไม่มีใครปลูก ที่ปลูกด้วยความเกรงใจก็ปลูกน้อยมากได้มาเพียงหมักและศึกษาองค์ประกอบหลักเบื้องต้นเล็กน้อยๆ เท่านั้น การทดลองย้อมก็ใช้ paste ที่ซื้อไว้ตอนที่ออกสำรวจใจช่วงที่ 1 เมื่อตอนออกภาคสนามที่แพร่ แม่แจ่ม และกิ่งอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน อย่างไรก็ตามโชคก็ยังไม่เข้าข้างอยู่บ้างที่เมื่อกลางเดือนกุมภาพันธ์ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยออกสำรวจพบแหล่งย้อมที่อำเภอแม่เสด็จ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และได้สั่งซื้อมาทดลองกรรมวิธีการหมักและสกัดอินดิโกได้ผลตามลำดับดังนี้

5.1 การสกัดสารให้สีหลักจากครามและย้อม

5.1.1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณอินดิโกในน้ำสกัดครามและย้อม

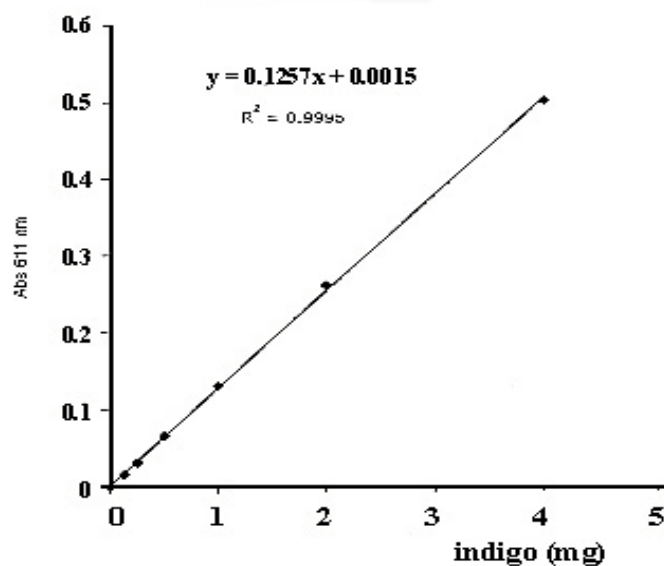
อินดิโก(indigo) เป็นสีย้อมเก่าแก่ซึ่งได้จากครามและย้อม(รูปที่ 5) ในภาคเหนือซึ่งผลิตสีได้ดีที่สุดประมาณร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักต้นพืช เมื่อนำต้นพืชมาสกัด จะได้สีที่ละลายน้ำได้สีเขียวปนเหลืองเป็นสารประกอบกลูโคไซด์(glucoside) เรียกว่า อินดิแคน(indican) ซึ่งเป็นสารประกอบของกลูโคสและ indoxyl รวมกัน เมื่อออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศจะก่อรูปเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำ รู้จักทั่วไปว่าอินดิโก ปริมาณอินดิโกที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวและวิธีการหมัก การหมักโดยทั่วไปใช้วิธีแช่ต้นพืชในน้ำจนน้ำขึ้นฟองเนื่องจากมีก๊าซเกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ในอากาศเจริญและช่วยไฮโดรไลซ์กลูโคไซด์ น้ำหมักจะมีกลิ่นเหม็นเมื่อหมักได้ 3 วัน เกิดความเน่าเปื่อยของต้นพืชจากนั้นก็กรองแยกเอากากต้นพืชออกมาและกวนน้ำหมักให้ออกซิไดซ์โดยอากาศ indoxyl จะออกซิไดซ์เป็นตะกอนสีน้ำเงิน

ในการพัฒนาการสกัดอินดิโกจากครามและย้อมเพื่อแปรรูปและใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องทราบคือปริมาณของอินดิโกที่สกัดได้ในน้ำหมักแต่ละครั้งเพื่อให้มีสัดส่วนของน้ำสีที่แน่นอนในการย้อม คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวิธีการหาปริมาณอินดิโกในน้ำหมักโดยวิธีทาง spectrometry กล่าวคือ ทำการตรวจหาความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงของอินดิโกมาตรฐานในช่วงแสงที่มองเห็นได้ พบว่า อินดิโกมาตรฐานที่ละลายในกรดกำมะถันเข้มข้นจะดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 611 นาโนเมตร(รูปที่ 5.2) จึงใช้ความยาวคลื่นนี้สำหรับวัดการดูดกลืนแสงสารละลายอินดิโกมาตรฐานที่ละลายในกรดกำมะถันเข้มข้นปริมาณต่าง ๆ กัน แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 611 นาโนเมตร กับปริมาณของอินดิโกมาตรฐาน จากนั้นก็จะนำ indigo paste หรือผงอินดิโกที่สกัดได้มาละลายในกรดกำมะถันเข้มข้นแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันและเทียบหาปริมาณจากกราฟมาตรฐานก็จะทำให้เราทราบปริมาณอินดิโกที่มีในการสกัดจากวัตถุดิบแต่ละครั้ง



รูปที่ 5.2 UV-visible spectrum ของสารมาตรฐานอินดิโกที่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น
การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณอินดิโก

ชั่ง indigo standard 0.008 กรัม ละลายใน conc.H₂SO₄ 20 มล. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 มล. เจือจางด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 0.2 มล. ในน้ำกลั่น 4.8 มล. ให้เป็นความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตรโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้เจือจางเป็น Blank นำค่าการดูดกลืนที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณอินดิโกจะได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 5.3 ซึ่งอาจใช้วัดปริมาณสารให้สีหลักที่สกัดได้จากครามและฮ่อมต่อไป



รูปที่ 5.3 กราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิโก

5.1.2 การทดลองการสกัดอินดิโกจากคราม

จากที่คณะผู้วิจัยสามารถหาต้นและใบครามมาได้จำนวนหนึ่งซึ่งไม่มากนักจึงนำมาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้ในรูปใบครามสด อีกส่วนนำไปผึ่งให้แห้งแล้วแช่ในเอทานอลที่อุณหภูมิห้องโดยมีปริมาณดังนี้

ใบครามสด 134.45 กรัม แห่เอทานอล 95%

ใบครามสด 57.87 กรัม ผึ่งแห้งหนัก 16.7 กรัม แห่เอทานอล 95%

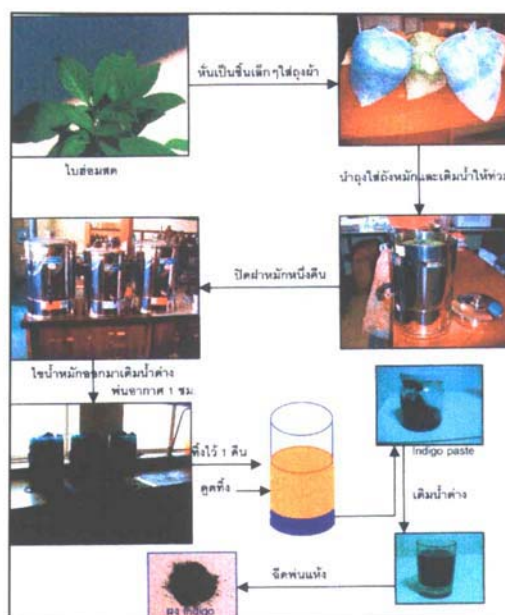
นำน้ำสกัดใบครามที่ได้ทั้งสดและแห้งที่แช่เอทานอล 3 วันมาแยกองค์ประกอบของสารให้สีเปรียบเทียบกับอินดิโกมาตรฐานด้วย TLC และหาตัวชะที่เหมาะสม พบว่า ตัวชะที่เหมาะสมคือ chloroform: methanol : hexane ในอัตราส่วน 7 : 1 : 4 โดยสิ่งที่สกัดได้จะประกอบด้วยแถบสีของรงควัตถุหลายชนิด คือ สีเขียว เหลือง แดง และน้ำเงิน โดยที่การสกัดด้วยแอลกอฮอล์นั้นจะให้แถบสีแดงในสัดส่วนที่มากกว่าสีอื่น สีเขียวมีถึง 3 แถบและสีเหลืองอีก 1 แถบ ส่วนสีน้ำเงินที่เป็นแถบที่ขึ้นตรงกับอินดิโกมาตรฐานนั้นมีปริมาณน้อยกว่า และยังพบว่าแถบสีเขียวและเหลืองจะเคลื่อนที่ขึ้นไปก่อนเมื่อถูกชะตามด้วยสีน้ำเงินและสีแดง และสีเขียวและสีเหลืองนั้นจะไม่ไครอยู่ตัวเมื่อถูกแสงจะซีดจางลงไวกว่าสีน้ำเงินและสีแดงตามลำดับ

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองขั้นเบื้องต้นจึงยังไม่นำเสนอผลในรูปตารางแสดงค่า R_f หรือรูปการเคลื่อนที่ของสารโดย TLC แต่พอจะใช้เปรียบเทียบกับสารสกัดอินดิโกจากส้มได้ และได้ทราบตัวชะที่เหมาะสมในการแยกอินดิโกจากน้ำหมักโดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี

5.1.3 การสกัดอินดิโกจากส้ม

ในการศึกษาการสกัดอินดิโกจากใบส้มนั้นแบ่งการทดลองเป็นการหมักใบส้มสดและใบส้มแห้งด้วยน้ำและแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกัน ตัวอย่างขั้นตอนการหมักแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งขั้นตอนๆจะเหมือนกันก็นำใบส้มสดหรือแห้งที่จะใช้สกัดมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆบรรจุลงในถุงผ้าแล้วมัดปากให้แน่นชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในถังหมักสเตนเลส ถ้าหมักด้วยน้ำก็ใส่น้ำจนท่วมถุงแล้วปิดฝาทิ้งไว้ ถ้าสกัดด้วยแอลกอฮอล์ก็แช่ด้วยเอทานอล 95% จนท่วมถุงเช่นกันปิดฝาทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนดแล้วจึงไขน้ำสกัดออกมา ถ้าสกัดด้วยน้ำก็ไขน้ำหมักออกมาใส่ถังแล้วเติมน้ำค้างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2 ส่วนต่อน้ำสกัด 1 ส่วน ให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศในอ่างเลี้ยงปลาประมาณ 30 นาที จนฟองสีน้ำเงินขึ้นเต็ม ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนตะกอนอินดิโกจะตกลงด้านล่าง คุณนำด้านบนซึ่งมีสีออกน้ำตาลทิ้งไป ล้างตะกอนโดยการเติมน้ำค้างน้ำปูนใสลงไปใหม่คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วคุณนำทิ้ง จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปปั่นด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์จะได้ indigo paste ซึ่งอาจจะแปลงรูปต่อไปในรูปที่ใช้และเก็บง่ายขึ้นโดยอัดเป็นเม็ดแกรนูล ถ้าไม่ปั่นแต่เติมน้ำค้างลงไปเล็กน้อยในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วเข้าเครื่องฉีดพ่นแห้งจะได้ผงอินดิโก

ถ้าสกัดด้วยแอลกอฮอล์ นำน้ำสกัดที่ได้ไปเตรียมน้ำสกัดเข้มข้นโดยการระเหยแอลกอฮอล์ออกด้วย Rotary evaporator แล้วอาจแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลต่อไป



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างขั้นตอนการสกัดอินดิโกจากส้มและการแปรรูป

5.1.3.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักและความสดของวัตถุดิบ พบว่า การใช้วัตถุดิบที่สดและหมักด้วยน้ำเป็นเวลา 1 วัน จะได้ตะกอนอินดิโกที่มีลักษณะที่ต้องการมากที่สุด (ตารางที่ 5.1) และเมื่อตรวจวัดปริมาณของอินดิโกที่ได้จากการหมักด้วยวิธีต่างๆ ดังกล่าวโดยใช้เทียบกับกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้นพบว่า paste ที่ได้จากการหมักในส้มสด 1 วันจะมีเปอร์เซ็นต์อินดิโกมากที่สุดคือประมาณ 3% ของน้ำหนัก paste (ตารางที่ 5.2)

ตารางที่ 5.1 ผลของระยะเวลาที่ใช้หมักและความสดของวัตถุดิบ

ชนิดวัตถุดิบ	ระยะเวลาการหมัก(วัน)	ผลที่ได้
ใบส้มสด	1	น้ำหมักมีสีเขียวเหลือง pH 4.8 paste ที่ได้มีสีน้ำเงินเข้ม
ใบส้มสด	3	น้ำหมักมีสีเขียว pH 4.8 paste ที่ได้มีสีน้ำเงินเขียว
ใบส้มฝั้งลม	1	น้ำหมักมีสีเขียวน้ำตาล pH 5.0 paste ที่ได้มีสีออกน้ำตาล
ใบส้มฝั้งลม	3	น้ำหมักมีสีน้ำตาล pH 5.0 paste ที่ได้มีสีน้ำตาล
ใบส้มแห้ง	1	น้ำหมักมีสีน้ำตาล pH 6.0 paste ที่ได้มีสีน้ำตาล
ใบส้มแห้ง	1	น้ำหมักมีสีเขียวเหลือง pH 4.8 paste ที่ได้มีสีน้ำเงินเข้ม

ตารางที่ 5.2 การตรวจวัดปริมาณอินดิโกใน paste ที่ได้จากการหมักวิธีต่างๆ โดยนำ paste มาปั่นที่ 8000 รอบต่อนาที คูลสารละลายออกให้หมดแล้วนำมา 100 มก. ละลายในกรดซัลฟูริก เข้มข้นเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 มล.แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตร

paste	Abs.ครั้งที่1	Abs.ครั้งที่2	Indigo(mg)
ใบส้มสดหมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.375	0.380	3.01
ใบส้มสดหมักน้ำเก่า 1 วัน	0.250	0.255	2.02
ใบส้ม(ที่ผ่านการหมักน้ำใหม่ 1 วัน)หมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.250	0.255	2.02
ใบส้ม(ที่ผ่านการหมักน้ำหมักเก่า 1 วัน)หมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.250	0.250	1.98
ใบส้มสดหมักน้ำใหม่ 3 วัน	0.285	0.285	2.26
ใบส้มฝั้ลมหมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.035	0.035	0.27
ใบส้มแห้งหมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.011	0.011	0.08
ใบครามสดหมักน้ำใหม่ 1 วัน	0.155	0.155	1.22

เมื่อเทียบปริมาณอินดิโกที่ได้จากการหมักใบครามสดและใบส้มสดในน้ำหนัที่เท่ากันพบว่าใบครามสดจะให้อินดิโกมากกว่าใบส้มสด(ตารางที่ 5.3)

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบปริมาณอินดิโกใน paste ที่ได้จากการหมักใบครามสดและใบส้มสด อย่างละ 100 กรัม

	Paste(กรัม)	อินดิโก(มก.)	อินดิโก(มก./กรัมใบสด)
ใบส้มสด	15.69	222.80	2.23
ใบส้มฝั้ลม	11.62	31.37	0.31
ใบส้มแห้ง	9.86	7.89	0.08
ใบครามสด	26.83	327.33	3.27

5.1.3.2 การศึกษาผลของกรดและเบสที่เรียในการไฮโดรไลสน้ำตาลออกจากอินดิโก

ได้ทำการแยกเบสที่เรียที่ช่วยหมักครามได้ 3 ชนิดและทดลองเติมลงในน้ำหมัก ส้อมสดเทียบกับที่เติมกรดซิตริก กรดเกลือ และไม่เติมตามลำดับหมัก 1 วัน แล้วเติมน้ำปูนใสให้ อากาศและทิ้งให้ตกตะกอนแล้วหาปริมาณ paste ที่ได้พบว่า การเติมเบสที่เรียไม่มีผลต่อการเกิด paste ของอินดิโก เนื่องจากเบสที่เรียในอากาศมีเพียงพอแล้วและการเติมกรดไม่ช่วยให้ได้ paste มากขึ้นแต่อย่างใด แต่ไปทำให้ได้ paste น้อยลงอาจเป็นเพราะสภาพการตกตะกอนของ paste ต้อง อาศัยสภาพที่เป็นด่างและกรดเองอาจจะไปทำลายเบสที่เรียในอากาศที่ช่วยไฮโดรไลสน้ำตาลออก จากอินดิโกด้วย(ตารางที่ 5.4)

ตารางที่ 5.4 ผลของกรดและเบสที่เรียที่เติมลงในน้ำหมักต่อปริมาณอินดิโก paste ที่ได้ต่อการหมัก 1 วัน จากปริมาณใบส้อมสดที่เท่ากัน

ถังหมัก	การหมัก	ปริมาณ paste ที่ได้(กรัม)
1	ใบส้อมสด + น้ำ	4.9
2	ใบส้อมสด + น้ำ + กรดซิตริก 6 โมลาร์ 20 มล.	1.9
3	ใบส้อมสด + น้ำ + กรดเกลือ 6 โมลาร์ 20 มล.	1.9
4	ใบส้อมสด + น้ำ + เบสที่เรียชนิดที่ 1	4.7
5	ใบส้อมสด + น้ำ + เบสที่เรียชนิดที่ 2	4.8
6	ใบส้อมสด + น้ำ + เบสที่เรียชนิดที่ 3	4.6

5.1.3.3 สรุปวิธีการและลักษณะ paste ของอินดิโกที่ได้จากการหมักครามและ ส้อมด้วยวิธีต่างๆ

ในการสกัดด้วยน้ำนั้นได้หาระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมโดยการแช่น้ำ 1 คืน ใบ น้ำออกแล้วเติมน้ำใหม่แช่อีก 1 คืน และแช่น้ำ 3 คืน คัดต่อกันแล้วจึงไขน้ำหมักออกมาเติมค้างและ ให้อากาศ เก็บตะกอนอินดิโกที่ได้ ลักษณะของตะกอนอินดิโกที่ได้จากการหมักส้อมสด ส้อมแห้ง เป็นเวลา 1 วัน เปลี่ยนน้ำหมักต่ออีก 1 วัน และหมักนาน 3 วันคัดต่อกัน เปรียบเทียบในตารางที่ 5.5 ซึ่งพบว่า การหมักครามสดหรือส้อมสด ด้วยน้ำเพียง 1 คืนก็สามารถสกัดอินดิโกจากใบครามได้ มากและได้ตะกอนสีน้ำเงินเมื่อเปลี่ยนน้ำใหม่หมักต่ออีก 1 คืน นำมาเติมค้างและให้อากาศเหมือน เดิมจะได้ตะกอนสีน้ำเงินเป็นปริมาณครึ่งหนึ่งของการหมักครั้งแรกและเมื่อเติมน้ำใหม่หมักอีก 1 คืน พบว่าไม่มีตะกอนสีน้ำเงินแล้ว วิธีนี้น้ำหมักไม่เหม็นสามารถแยกตะกอนอินดิโกได้เร็ว โดยใช้

ตารางที่ 5.5 ลักษณะตะกอนอินดิโกที่สกัดได้จากส้อมสดและส้อมแห้งโดยใช้เวลาในการหมักต่างกัน

ใบส้อม	ระยะเวลาการหมัก	ลักษณะน้ำหมัก	ลักษณะตะกอน
สด (หมักน้ำ)	1 วัน น้ำใหม่หมักต่อ 1 วัน	สีเขียวเหลืองมีก๊าซ เดิม น้ำค้าง,ให้อากาศเกิดฟอง สีน้ำเงิน สีเขียวเหลืองมีก๊าซ เดิม น้ำค้าง,ให้อากาศเกิดฟอง สีน้ำเงิน	ตะกอนสีน้ำเงิน ได้ตะกอนมาก ตะกอนสีน้ำเงิน ปริมาณน้อยกว่าเดิม ครึ่งหนึ่ง
สด (หมักน้ำ)	3 วัน	สีเขียวเหลืองมีก๊าซ พิเศษ 4.8 เดิม น้ำค้าง พิเศษ 11.3 ให้อากาศเกิดฟองสี น้ำเงิน	ตะกอนสีน้ำเงิน
ไม่สด (ผึ่งไว้ 3-4 วัน) (หมักน้ำ)	1 วัน น้ำใหม่หมักต่อ 1 วัน	สีเขียวออกน้ำตาล เดิม น้ำ ค้างสีเข้มขึ้นขึ้น,ให้ อากาศ 30 นาที เกิดฟองสี น้ำตาลเข้ม สีน้ำตาล เดิม น้ำค้าง,ให้ อากาศ เกิดฟองสีน้ำตาล เข้ม	ตะกอนสีน้ำตาลอม เขียว ตะกอนสีน้ำตาลอ่อน
อบแห้ง (หมักน้ำ)	3 วัน	สีน้ำตาล พิเศษ 6 เดิม น้ำ ค้าง,ให้อากาศ เกิดฟอง เล็กน้อยไม่มีสี	ตะกอนสีน้ำตาลเข้ม
สด (หมักเอทานอล)	3 วัน	สีเขียวออกน้ำตาล	สารสกัดเข้มข้นสี น้ำตาลเข้ม
อบแห้ง (หมักเอทานอล)	3 วัน	สีน้ำตาล	สารสกัดเข้มข้นสี น้ำตาลเข้ม

เวลาหมักเพียง 2 วัน และการใช้ถุงผ้าห่อจะสะดวกในการทิ้งกากและการแยกน้ำหมักออกจากกากต้น และใบได้ง่ายโดยไม่ต้องผ่านการกรอง การหมักครั้งละ 1 คิน ทำให้ได้ indigo paste ที่บริสุทธิ์มากไม่มีใครมีสารอื่นปนในน้ำสกัดซึ่งสารเหล่านั้นอาจจะใช้เวลาในการหมักนานกว่าอินดิโก การหมักคราไม่สด ที่ทิ้งไว้ 3-4 วัน ก่อนนำมาสกัดพบว่า เมื่อหมักน้ำ 1 คิน ได้น้ำหมักออกสีเขียวน้ำตาลเต็มน้ำค้างและให้อากาศ 30 นาทีเกิดฟองสีน้ำตาลเข้มตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 คิน ได้ตะกอนสีน้ำตาลอมเขียวและเมื่อหมักต่ออีกในน้ำใหม่ 1 วัน ได้น้ำหมักเป็นสีน้ำตาลใสขึ้น เมื่อเติมน้ำค้างและให้อากาศจะเกิดฟองสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กแตกยาก ทิ้งไว้ 1 คิน ได้ตะกอนสีน้ำตาลอ่อนไม่มีสีเขียวปน และเมื่อใช้ส้อมอบแห้ง มาหมักน้ำ 3 คิน ได้น้ำหมักสีน้ำตาล พีเอช 6 เติมน้ำค้างให้อากาศ เกิดฟองเล็กน้อยไม่มีสี ทิ้งไว้ได้ตะกอนสีน้ำตาลเข้ม ตะกอนที่ได้จากการหมักในภาวะต่างๆนี้ได้นำไปย้อมผ้าแสดงผลในบทที่ 6 และนำข้อมูลมาพิจารณาร่วมกับผลการสกัดเพื่อเลือกวิธีการเตรียม indigo paste จากครามและส้อม น้ำหมักจากส้อมสดหมัก 3 วัน ได้นำไปทำเป็นผงโดยใช้ spray dry ได้ผงสีเขียวเข้มซึ่งจะต้องผลิตให้มากพอเพื่อทดสอบการนำไปย้อมผ้าต่อไป

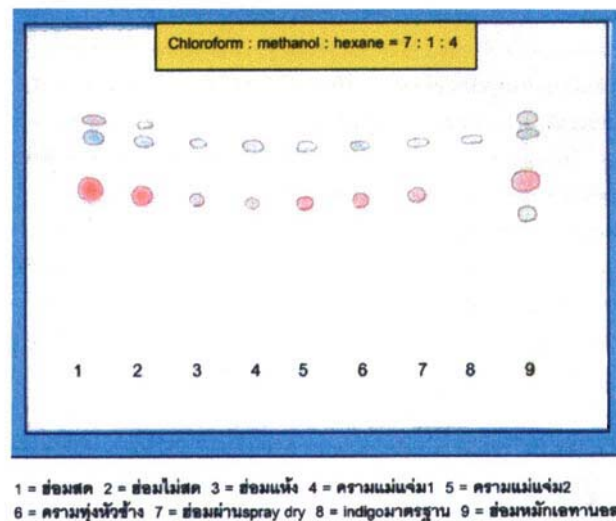
สำหรับครามสดที่หมักเอทานอล 95% นั้นใช้วิธีการสกัดเย็น(รูปที่ 5.5) โดยแช่ถุงผ้าที่บรรจุส้อมในถังสแตนเลสปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน แยกน้ำสกัดออกมาได้น้ำสกัดสีเขียวเหลืองและนำไปทำให้สารสกัดเข้มข้นและตรวจสอบองค์ประกอบของสารให้สีในน้ำสกัดต่อไป สำหรับส้อมแห้งเมื่อสกัดด้วยแอลกอฮอล์ได้น้ำหมักสีน้ำตาลที่จะต้องนำไปตรวจสอบโดย TLC ต่อไป



รูปที่ 5.5 ชุดสกัดเย็นที่ใช้สกัดอินดิโกจากใบส้อมและครามด้วยเอทานอล

5.1.4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารให้สีในน้ำหมักฮ่อมและครามจากการหมักด้วยวิธีต่างๆโดยใช้โครมาโทกราฟีผิวบาง(TLC)

ผลการแยกและวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารให้สีในสารสกัดจากฮ่อมและครามด้วยวิธีต่างๆแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นโครมาโทแกรมของโครมาโทกราฟีผิวบางที่มี silica gel เป็นตัวดูดซับและระบบตัวชะเป็น chloroform : methanol : hexane ในอัตราส่วน 7:1:4 และใช้อินดิโกมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ ฮ่อมที่หมักด้วย เอทานอล 95% จะให้แถบสีมากที่สุด คือ ม่วง น้ำเงิน แดง เหลือง และมีแถบสีแดงที่มีสีเข้มที่สุดและสีค่อนข้างคงตัว แถบสีน้ำเงินมีน้อย ในขณะที่สารสกัดจากฮ่อมสดหมักด้วยน้ำจะให้ 3 แถบ คือ ม่วง คราม(น้ำเงิน) และแดง ฮ่อมไม่สดที่หมักด้วยน้ำก็ให้ผลแบบเดียวกัน ส่วนฮ่อมแห้งสกัดด้วยน้ำจะให้แถบสี 2 แถบ น้ำเงิน และเหลือง แต่



รูปที่ 5.6 สารให้สีในน้ำสกัดจากฮ่อมและครามด้วยวิธีต่างๆ แยกโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง (TLC)

ความเข้มข้นของแถบสีน้อยกว่ามาก แต่จะเหมือนกับสารสกัดจากครามที่เป็นตัวอย่าง paste ที่ได้จากอำเภอ แม่แจ่ม ครั้งที่ 1 และ 2 และจากกิ่งอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน **สรุปได้ว่า** สารสกัดจากฮ่อมและครามจะมีอินดิโกและสารสีแดงเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันหมดแต่ปริมาณของอินดิโกที่มีในสารสกัดขึ้นอยู่กับความสดของวัตถุดิบและวิธีการสกัด แถบของสีน้ำเงินที่ปรากฏบนแผ่น TLC จะตรงกับแถบสีน้ำเงินของอินดิโกมาตรฐานที่มีค่า R_f เท่ากับ 0.46 เท่ากันหมด ส่วนสารสกัดที่ผ่านการทำ spray dry แล้วทำ TLC จะให้ 2 แถบ คือ น้ำเงิน และแดง เช่นกันเป็นเครื่องแสดงว่าอินดิโกในสารสกัดไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการผลิตหนึ่งแต่อย่างใด ส่วนจะมีผลในการนำไปให้ย้อมฝ้ายอย่างไรหรือไม่ก็จะต้องผลิตให้ได้ปริมาณมากพอที่จะนำไปทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ซึ่งคงจะได้ดำเนินการในช่วงต่อไป

ข้อมูลที่น่าจะเป็นประโยชน์ที่จะใช้ในการพัฒนาการผลิตและการย้อมอินดิโกก็คือ การแยกอินดิโกออกจากองค์ประกอบหลักสีแดงและนำแต่ละส่วนไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี และศึกษาสมบัติซึ่งน่าจะได้นำมาดำเนินการในช่วงต่อไปด้วย

5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารสีจากครามและฮ่อม

5.2.1 การเตรียมน้ำสีเข้มข้น(paste) จากใบฮ่อมเพื่อการวิเคราะห์

นำใบฮ่อมสดที่เก็บเกี่ยวได้มาล้างน้ำให้สะอาดจำนวน 8 กิโลกรัม หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และบรรจุลงในถุงผ้าบางๆ จากนั้นนำไปหมักกับน้ำในภาชนะที่สะอาดมีฝาปิดสนิททิ้งไว้ข้ามคืน แยกเก็บน้ำหมักที่ได้ซึ่งจะมีสีน้ำเงินอมเขียวจำนวน 14 ลิตร เติมน้ำค้าง(ปูนขาว) ลงไปจำนวน 2 เท่าของน้ำหมักและกวนหรือพ่นด้วยอากาศเป็นเวลานานประมาณครึ่งชั่วโมง ทิ้งไว้ข้ามคืน กรองเก็บตะกอนสีน้ำเงินที่ได้และอบแห้งจะได้ผงแห้งของน้ำสีย้อมเข้มข้นจำนวน 220 กรัม

5.2.2 การวิเคราะห์และการแยกองค์ประกอบหลักของสารสีจาก paste ที่เตรียมได้

5.2.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีผิวบาง

นำน้ำสีย้อมเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบาง โดยใช้ซิลิกาเจล จี เป็นตัวดูดซับ มีน้ำยาชะคือ chloroform / hexane (8/2) พบว่ามีองค์ประกอบหลักที่น่าสนใจอยู่จำนวน 2 องค์ประกอบเมื่อดูด้วยตาเปล่าคือ สารสีน้ำเงินและสารสีแดงซึ่งมีค่า R_f เท่ากับ 0.38 และ 0.15 ตามลำดับ(รูปที่ 5.7) ทั้งนี้พบว่าสารสีแดงที่มีอยู่จะมีปริมาณมากกว่าสีน้ำเงินในอัตราส่วน 5:2 และมีความคงตัวในบรรยากาศได้ดีกว่าสารสีน้ำเงิน ฉะนั้นจึงเลือกที่จะใช้สารสีแดงซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำสีย้อมเข้มข้นของฮ่อมเป็น marker สำหรับใช้เป็นตัวหลักของการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำสีย้อมเข้มข้นจากใบฮ่อมต่อไป



รูปที่ 5.7 TLC โครมาโทแกรมของสารสีจาก น้ำย้อมเข้มข้นที่สกัดจากใบฮ่อมสดสารสีแดง $R_f = 0.15$ และสารสีน้ำเงิน $R_f = 0.38$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่น่าสนใจ 2 ชนิด

5.2.2.2 การแยกหองค์ประกอบหลักสีแดงของน้ำสีเข้มข้นจากใบส้ม

ทำการแยกหองค์ประกอบหลักสีแดงโดยการนำผงแห้งของน้ำสีเข้มข้นจำนวน 20.00 กรัม มาดำเนินการ ดังต่อไปนี้

ก. นำผงแห้งของน้ำสีเข้มข้นจำนวน 20.00 กรัม มาสกัดด้วยเอทานอลโดยใช้เครื่องสกัดชนิดต่อเนื่องจนสารสีแดงออกมามากจนหมด

ข. นำน้ำยาสกัดเมทานอลของสารสีแดงมาระเหยแห้งให้เข้มข้นเพื่อนำไปแยกหองค์ประกอบหลักด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์ต่อไป

ค. การแยกหองค์ประกอบหลักสีแดงด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีคอลัมน์

รายละเอียดคือ ใช้คอลัมน์กระบอกแก้วขนาด 45 x 3 เซนติเมตร บรรจุด้วยตัวดูดซับ silica gel 40 จำนวน 60 กรัม ใน hexane นำน้ำยาสกัดเมทานอลจากข้อ ข. มาแยกผ่านคอลัมน์ชะด้วย hexane /chloroform (45/5), hexane /chloroform(4/1) และ hexane /chloroform(1/4) ตามลำดับ สารสีแดงจะถูกชะออกมาจากคอลัมน์ด้วย hexane /chloroform (1/4) ได้น้ำหนักเท่ากับ 0.47 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.35 ของน้ำหนักผงแห้งน้ำสีเข้มข้น

ง. นำสารสีแดงที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกผลึกในน้ำยาผสมของ hexane /chloroform(2/3) ได้ผลึกเป็นรูปเข็ม สีแดงคล้ำ (รูปที่ 5.8)



รูปที่ 5.8 ผลึกของสารสีแดงที่แยกจากสารสีสกัดจากส้มสด

5.2.2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารให้สีแดงที่แยกได้จากใบส้ม

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารสีแดงที่แยกได้จากใบส้ม กระทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทาง spectroscopy ดังนี้

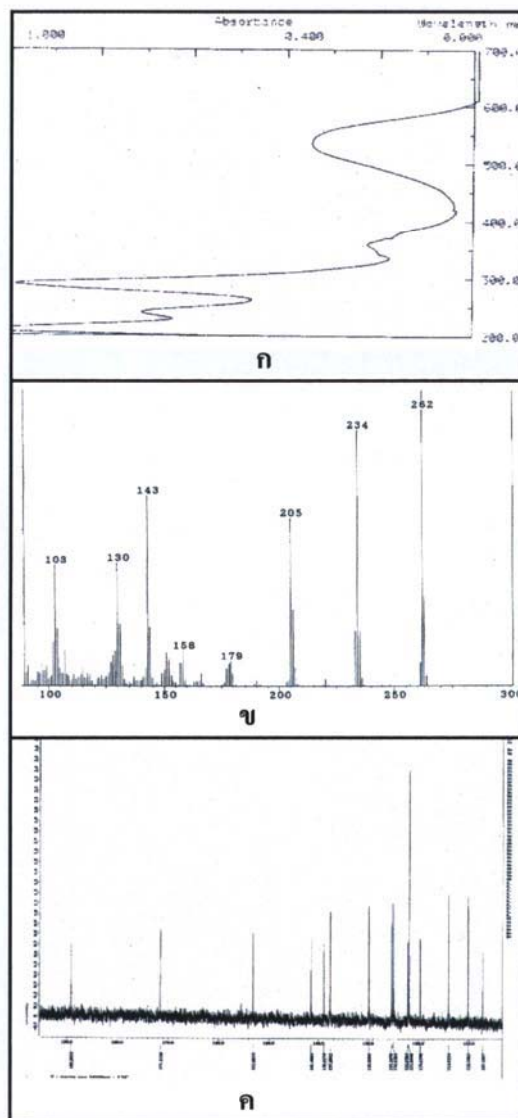
- ก. การวิเคราะห์ด้วย ultraviolet-visible spectroscopy
- ข. การวิเคราะห์ด้วย mass-spectroscopy
- ค. การวิเคราะห์ด้วย C^{13} Nuclear magnetic resonance
- ง. การวิเคราะห์ค่า chemical shift ของ C^{13} ในโครงสร้าง indirubin ด้วยการประมวลผลจากเครื่องคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับค่า chemical shift ของ C^{13} ของสารสีแดงที่แยกได้

ผลการวิเคราะห์ของข้อมูลข้างต้นมีดังต่อไปนี้ พร้อมแสดงด้วย spectra ดังแนบ

ก. สารประกอบหลักสีแดงนี้ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 535 นาโนเมตรในเมทานอล (รูปที่ 5.9ก)

ข. สารประกอบหลักสีแดงแสดงค่าของ mass spectrum ด้วยค่า molecular ion ที่ m/e เท่ากับ 262 เมื่อวัดโดยการเลือกใช้ขบวนการ EI-MS ดังนั้นค่าน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบหลักสีแดงนี้จึงมีค่าเท่ากับ 262 (รูปที่ 5.9 ข)

ค. สารประกอบหลักสีแดงแสดงค่า chemical shift ของอะตอม C^{13} ในโครงสร้างหลักด้วย peaks ต่างๆดังแสดงต่อไปนี้ และรูปที่ 5.9 ค



รูปที่ 5.9 ก. UV-visible spectrum ของสารสีแดงที่แยกบริสุทธิ์จากสารสีสกัดจากใบส้ม

ข. Mass spectrum ของสารประกอบสีแดงที่แยกได้จาก ใบส้มแสดงค่า molecular ion ที่ m/e เท่ากับ 262 (EI-MS)

ค. C^{13} NMR spectrum ของสารประกอบสีแดงที่แยกได้จากใบส้มแสดงค่า chemical shift ของอะตอม C^{13} ณ ตำแหน่งต่างๆ

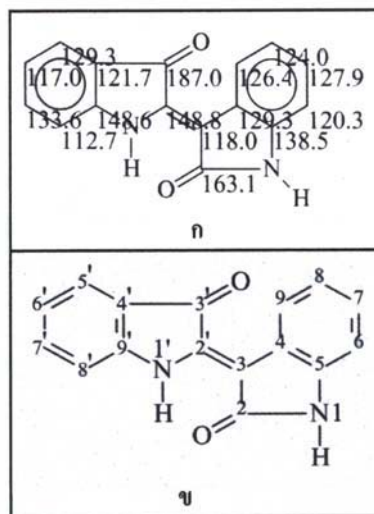
Peak ลำดับที่	ตำแหน่งของ C ¹³	ค่า chemical shift(ppm)
1	C-3	189.2032
2	C-2	171.5126
3	C-2,C-9	153.0819
4	C-5	141.4802
5	C-7	138.9279
6	C-4	137.6842
7	C-5	129.8595
8	C-7	125.2470
9	C-9	124.9304
10	C-8	122.0385
11	C-4	121.8440
12	C-6	119.6198
13	C-3	114.0154
14	C-6	110.1583
15	C-8	107.1597

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า chemical shift ของอะตอม C¹³ จาก C¹³NMR ของสารประกอบหลัก สีแดงกับค่า chemical shift ของอะตอม C¹³NMR ของสารประกอบ indirubin จากการประมวลผล ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์(รูปที่ 5.10 ก) เห็นได้ว่ามีค่าที่สัมพันธ์และใกล้เคียงกัน

สารประกอบ indirubin เป็นสารสีแดง เกิดเป็น isomer กับสารประกอบ indigo มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 262.27 และถูกรายงานว่าแยกออกมาได้จากพืชชื่อ *Baphicacanthus cusia* Bremek หรือต้นส้มโดย Tang Y (1987) (39) และ Ben BL (40)

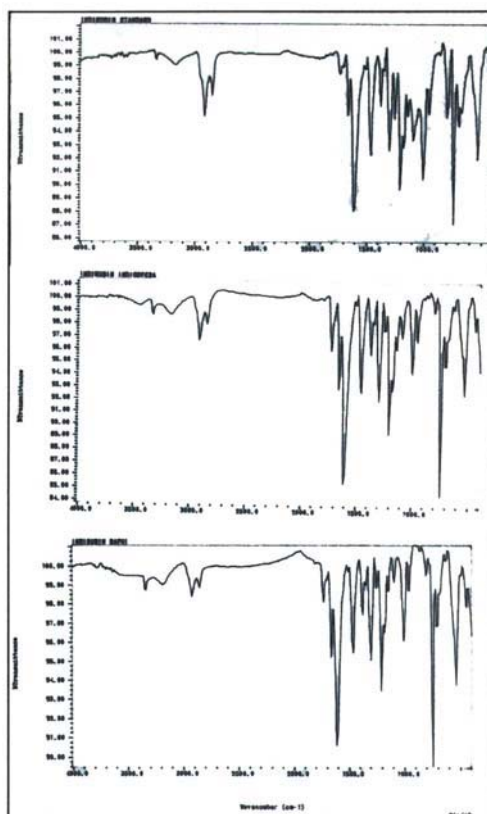
ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าสารประกอบหลักสีแดงที่แยกออกมาได้จากใบส้มครั้งนี้คือสารประกอบเคมีที่มีชื่อว่า indirubin ลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม สีแดงคล้ำ (รูปที่ 5.8) ดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตรในเมทานอล มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 262 มีโครงสร้างทางเคมีคือ C₁₆H₁₀N₂O₂ และมีโครงสร้างทางเคมีดังนี้ รูป 5.10 ข.

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารสีข้อมในใบส้มสดพบว่ามีสารประกอบหลักเป็น indirubin ซึ่งเป็นสารสีแดงและจากผลการเปรียบเทียบสารให้สีหลักในสารสกัดจากใบครามและใบส้มสดโดยโครมาโทกราฟีฟิวบางในรูปที่ 5.6 พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นสารสีแดงและสีน้ำเงินเหมือนกัน จึงทำการแยกบริสุทธิ์สารสีแดงจากสารสกัดจากครามและส้มมาทำ IR



รูปที่ 5.10 ก. ค่า chemical shift ของอะตอม C^{13} ต่างๆใน
โครงสร้าง indirubin จากการประมวลผล
ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
ข. โครงสร้างทางเคมีของ indirubin ที่เป็นองค์
ประกอบหลักของสารสีจากใบส้ม

5.2.2.4 การเปรียบเทียบโครงสร้างของสารประกอบหลักในใบส้มและใบครามสด



รูปที่ 5.11 Infrared(IR) spectrum ของสาร
มาตรฐาน indirubin ที่แยกบริสุทธิ์จากสารสี
สกัดจากใบส้ม(รูปบน) IR spectrum ของสาร
สีแดงที่แยกบริสุทธิ์จากสารสกัดจากใบคราม
ซึ่งเหมือนกับ indirubin มาตรฐานทุกประการ
(รูปกลาง) และ IR spectrum ของสารสีแดงที่
แยกบริสุทธิ์จากสารสีสกัดจากใบส้มซึ่ง
เหมือนกับ spectrum ของ indirubin มาตรฐาน
(รูปล่าง) ดังนั้นองค์ประกอบหลักของสารให้สี
จากใบส้มและใบครามเหมือนกันทุกประการ

spectrum เทียบกับ IR spectrum ของสารประกอบ indirubin มาตรฐาน พบว่า spectrum เหมือนกัน
ทุกประการดังนั้นสารประกอบหลักสีแดงในใบครามสดและใบส้มสด คือ indirubin ส่วนสารสี
น้ำเงินนั้นมีข้อมูลการวิเคราะห์พบว่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 611 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับค่าดูดกลืนแสง
ของอินดิโกมาตรฐานและยังมีค่า R_f จาก TLC โครมาโทแกรม เท่ากับค่า R_f ของอินดิโกมาตรฐาน

สารสีน้ำเงินในไบครามและไบฮ่อมจึงน่าจะเป็นอินดิโก อย่างไรก็ตามสารสีแดงมีปริมาณมากกว่าอินดิโกและมีความคงตัวในบรรยากาศมากอาจจะลองแยกออกมาได้สารสีข้อมสีแดงที่มีความคงตัวอีกสีหนึ่ง

5.3 การแปรรูปสีข้อมจากไบครามและไบฮ่อมสด

5.3.1 การแปรรูปสีข้อมจากไบครามและไบฮ่อมสด

การแปรรูปสีข้อมจากไบฮ่อมสดนั้นได้กำหนดการแปรรูปสารให้สีอยู่ในสภาพของการแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยการแปรรูปจากน้ำสีข้อมเข้มข้น(paste) เพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลการทดลองนำร่องของการแปรรูปจากไบฮ่อมแห้งที่บดละเอียดและผงแห้งชนิดฉีดพ่นไม่ประสบความสำเร็จในการให้สีข้อมเป็นสีน้ำเงินแต่กลับปรากฏว่าให้ shade ของสีข้อมออกมาเป็นสีเขียวคล้ำ

5.3.1.1 การเตรียมน้ำสีข้อมเข้มข้น (paste)

ทำการเตรียมน้ำสีข้อมเข้มข้นของไบฮ่อมสดตามวิธีการที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยการใช้ไบฮ่อมสดที่ล้างน้ำสะอาดแล้วจำนวน 8 กิโลกรัม ซึ่งจะได้น้ำสีข้อมเข้มข้น (paste) ประมาณ 345.00 กรัม

5.3.1.2 การผลิตเม็ดแกรนูล

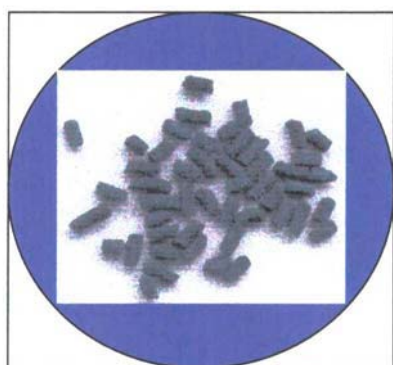
การผลิตเม็ดแกรนูลจากน้ำสีข้อมเข้มข้นของไบฮ่อมมีรายละเอียดดังนี้

ก. ชั่งน้ำสีข้อมเข้มข้นของไบฮ่อมจำนวน 200 กรัม

ข. ผสมด้วย Lactose จำนวน 845 กรัม

ค. คลุกเคล้าเข้าด้วยกันด้วยเครื่องบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำไปรีดให้เป็นเม็ดแกรนูลด้วยเครื่องทำเม็ดแกรนูล

ง. นำเม็ดแกรนูลที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบ ณ อุณหภูมิที่ไม่เกิน 60 °ซ. จะได้เม็ดแกรนูลของน้ำสีข้อมเข้มข้นเป็นเม็ดแกรนูลสีน้ำเงินเข้ม(รูปที่ 5.12) ถ้านำไปรีดผ่านตระแกรงเบอร์ 9 จะได้เม็ดแกรนูลที่มีขนาดที่เหมาะสมทั้งการเก็บและการใช้งาน



รูปที่ 5.12 เม็ดแกรนูลจากน้ำสีข้อมเข้มข้นของไบฮ่อมสด

5.3.2 การหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูล

ในการเตรียมเม็ดแกรนูลจาก paste นั้นใน paste จะมีน้ำหนักของน้ำต่างปนนอกเหนือจากตะกอนครามและเมื่อผสมแลคโตส เพื่อทำแกรนูลต้องใช้ปริมาณแลคโตสมากถึง 4 เท่าของ paste ทำให้ได้เนื้อสีในเม็ดแกรนูลน้อยเวลานำไปใช้ย่อมต้องใส่ในปริมาณมากดังนั้นจึงทำการทดลองหาปริมาณอินดิโกใน paste ของครามและส้อมโดยนำ paste จากใบครามและส้อมมาอบให้แห้งที่ 60°C แล้วบดเป็นผงนำมาชั่งหาน้ำหนักผงสีที่สกัดได้พบว่าใน paste จากส้อม 100 กรัม จะมีน้ำหนักผงสีแห้งมากกว่า paste จากครามที่มีน้ำหนักเท่ากันดังตารางที่ 5.6 และเมื่อนำผงสีที่ได้มาหาปริมาณ

ตารางที่ 5.6 น้ำหนักผงสีแห้งจาก paste ของครามและส้อมอย่างละ 100 กรัม

Paste 100 กรัม	ผงสีแห้ง(กรัม)
จากส้อม	18.77
จากคราม	11.96

อินดิโกโดยละลายผงอินดิโกในกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 20 มล. เติมน้ำกลั่นให้เป็น 500 มล. แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตร โดยวัดอย่างละ 2 ความเข้มข้นได้ผลดังตารางที่ 5.7 ซึ่งพบว่าปริมาณของอินดิโกในผงสีจากครามจะมากกว่าอินดิโกในผงสีจากส้อม จากนั้นนำมาคำนวณ

ตารางที่ 5.7 ปริมาณอินดิโกในผงสีจากครามและส้อม

วัตถุดิบ	ผงสีแห้ง(กรัม)	ปริมาณอินดิโก(มก)
ส้อม	0.010	0.78
	0.005	0.37
คราม	0.010	1.02
	0.005	0.54

หาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลที่เตรียมจาก paste ของใบครามสดและใบส้อมสดได้ ผลการเตรียมเม็ดแกรนูลจาก paste ของใบส้อมสด พบว่า เม็ดแกรนูล 1045 กรัม มีอินดิโก 2.84 กรัม ดังนั้นเม็ดแกรนูล 1 กรัมจะมีอินดิโกอยู่ 2.72 มก. ดังนั้นถ้าเริ่มจากผงสีแห้งทำเม็ดแกรนูลจะได้ปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูล 1 กรัมเพิ่มขึ้นมากเช่นถ้าใช้ผงสีแห้ง 300 กรัม แลคโตส 50 กรัม น้ำร้อนต้มเดือดจัด 300 มล. จะได้เม็ดแกรนูลที่แห้งแล้วประมาณ 350 กรัม จากการหาปริมาณผงสีแห้ง 100 กรัมมี

ปริมาณอินดิโก 7.8 กรัม หรือเม็ดแกรนูล 350 กรัม มีปริมาณอินดิโก $7.8 \times 3 = 23.4$ กรัม หรือคิดเป็นเม็ดแกรนูล 1 กรัม มีปริมาณอินดิโกเท่ากับ 66.8 มิลลิกรัม

5.3.3 การตรวจสอบสมบัติของสารสีข้อมในเม็ดแกรนูล

5.3.3.1 การทดสอบการละลายของอินดิโก

ก. การละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกพบว่าอินดิโกมาตรฐานและอินดิโกใน paste ละลายได้เล็กน้อย

ข. การละลายในเกลือชนิดต่างๆ

ชั่ง paste 0.015 g มาละลายในน้ำปูนใส 50 ml เติมเกลือชนิดต่างๆลงไปอย่างละ 0.25 g พบว่าสารละลายเกลือทำให้อินดิโกตกตะกอน(ตารางที่ 5.8)

ตารางที่ 5.8 การละลายของอินดิโกในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ

เกลือ	สีที่ได้
MgCl ₂	ใส มีตะกอนสีน้ำเงินตกอยู่
สารส้ม(มี Al)	ใส มีตะกอนสีน้ำเงินตกอยู่
FeSO ₄	สีเขียวเหลืองใส มีตะกอนสีเขียวดำตกอยู่
CuSO ₄	ใส มีตะกอนสีน้ำเงินตกอยู่
control	น้ำเงินใส

ค. นำ indigo standard, paste, indigo power, ตัวหนอน, granulated indigo, paste ที่ผสม lactose ที่แห้งแล้ว มาในปริมาณเท่าๆกัน ละลายในน้ำปูนใส 20 ml พบว่า granulated indigo และ paste ที่ผสม lactose ละลายได้ดีเท่าๆกัน

5.3.3.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารให้สีใน paste ผงแห้งและเม็ดแกรนูลของสารสกัดจากครามและฮ้อมโดยเทคนิค TLC

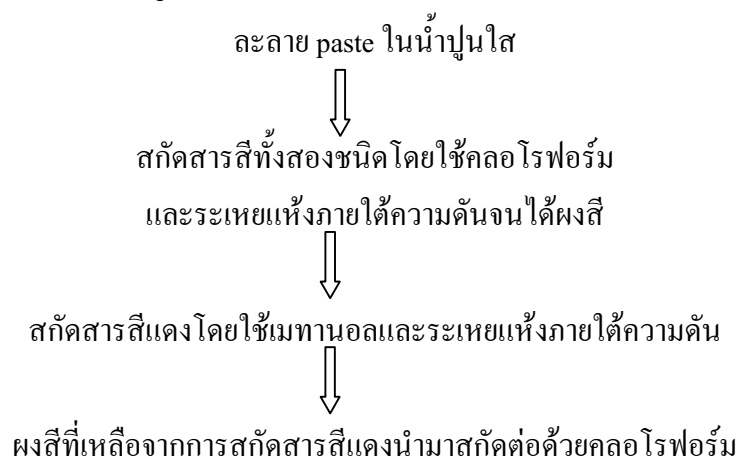
ใช้ CHCl₃/Hexane /MeOH (7:4:1) เป็น solvent system ละลาย sample ใน CHCl₃ และทำ TLC เทียบกับ indigo standard ได้ผลดัง ตารางที่ 5.9 พบว่าสารสีน้ำเงินมี R_f ตรงกับสารอินดิโกมาตรฐาน ดังนั้นสารสีน้ำเงินที่พบใน paste และเม็ดแกรนูลน่าจะเป็นอินดิโก

ตารางที่ 5.9 การหาองค์ประกอบของสารสีในสารสกัดจากใบส้มและสารสีแปรรูปโดยเทคนิค TLC

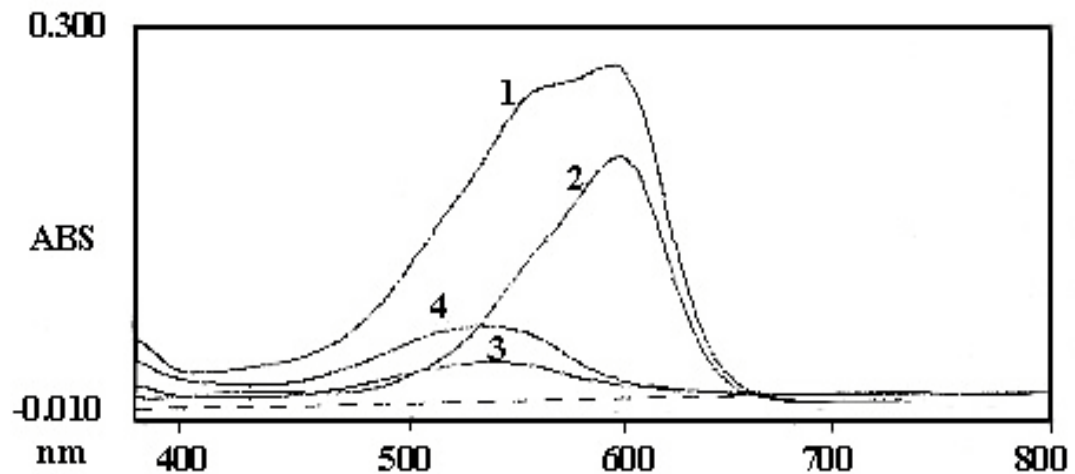
Sample	ระยะตัวทำละลาย (cm)	ระยะทางแถบสี (cm)		ค่า R_f	
		น้ำเงิน	แดง	น้ำเงิน	แดง
Paste จากใบส้มสด	5.1	3.50	2.50	0.69	0.49
จากใบส้มฝั้งลม		3.50	2.45	0.69	0.49
จากใบครามสด		3.50	2.50	0.69	0.49
Paste จากใบส้มสด		3.45	2.50	0.68	0.49
จากใบส้มฝั้งลม		3.50	2.50	0.69	0.49
จากใบครามสด		3.50	2.45	0.69	0.49
granulated indigo จากใบส้มสด		3.45	2.45	0.68	0.49
indigo standard		3.50	-	0.69	-

5.3.3.3 การเปรียบเทียบ UV-visible spectrum ขององค์ประกอบหลักของสารสีใน paste สารสีน้ำเงินและสีแดงที่แยกบริสุทธิ์แล้ว

จากการที่ทราบว่าองค์ประกอบของสารให้สีจากใบส้มและใบครามสดเหมือนกันและมีสารสีที่น่าสนใจ 2 สี คือ สีน้ำเงินที่เป็นอินดิโกและสีแดงเป็นไอโซเมอร์ของอินดิโกซึ่งมีปริมาณมากกว่าสารสีน้ำเงินในอัตราส่วน 5:2 และมีความคงตัวในบรรยากาศมากกว่าน่าที่จะลงหาวิธีแยกสกัดแบบง่ายๆเพื่อเพิ่มแหล่งวัตถุดิบที่ให้เจดสีแดงเพิ่มขึ้น การศึกษาเบื้องต้นทราบว่าสารสีน้ำเงินและแดงละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและเฉพาะสารสีแดงละลายได้ดีในเมทานอลจึงทดลองสกัดสารสีน้ำเงินและแดงจาก paste ดังนี้



นำสารสกัดที่ได้มาละลายในคลอโรฟอร์มแล้วหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer ได้ผลดังรูปที่ 5.13 ซึ่งพบว่าสารสีจาก paste จะเป็น broad spectrum สารสีน้ำเงินมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 611 นาโนเมตร สารสีแดงดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 534 นาโนเมตร และสารสีม่วงที่ผสมระหว่างสีแดงและน้ำเงินดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 536 นาโนเมตร

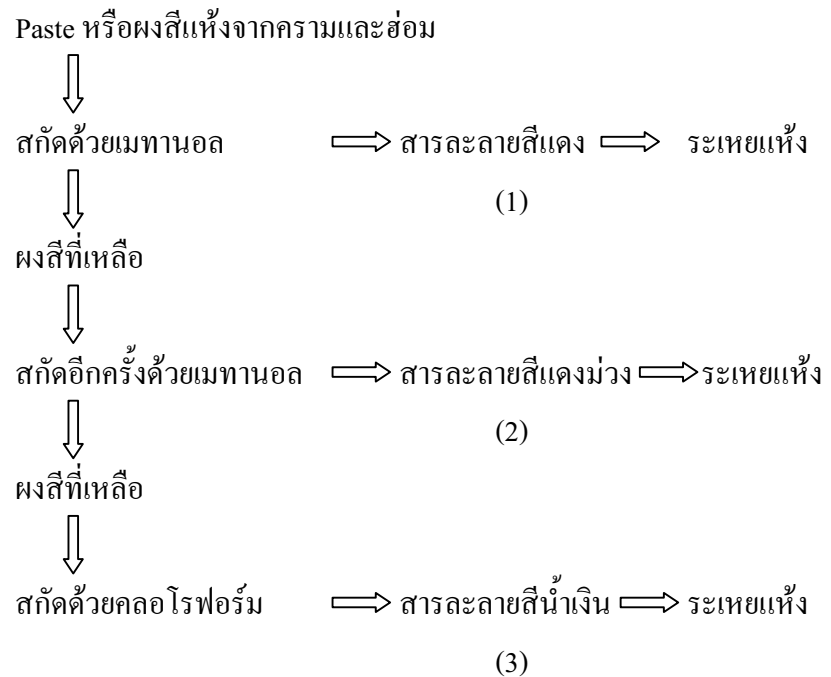


รูปที่ 5.12 UV-visible spectrum ของสารสีจาก paste ของใบส้ม(1) สารสกัดสีน้ำเงิน(2) สารสกัดสีม่วง(3) และสารสกัดสีแดง(4)

จากผลการทดลองดังกล่าวในการที่จะเลือกใช้วิธีทางสเปกโตรสโคปีวัดหาปริมาณของสารสีใน paste หรือในน้ำย้อมน่าจะวัดสารมาตรฐานที่ความยาวคลื่นของสารสีแดงคือ 535 นาโนเมตรและวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมที่ต้องการหาปริมาณสารสีทั้งหมดที่ 535 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน

5.3.4 การศึกษาวิธีการแยกสารสีน้ำเงินและแดงเพื่อการแปรรูป

นอกเหนือจากการแปรรูป paste ที่ได้จากการหมักส้มและครามเป็นเม็ดแกรนูลแล้วย้อมได้สีน้ำเงินม่วง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารให้สีหลักปรากฏว่ามี 2 สี คือสีน้ำเงินและสีแดง โดยเฉพาะสีแดงมีปริมาณมากและมีความคงทนในบรรยากาศได้ดีกว่าสีน้ำเงิน จึงนำที่จะลองหาวิธีสกัดแยกสีทั้งสองออกจากกันโดยวิธีง่ายๆเพื่อให้ได้สีย้อมที่มีสีแดงและสีน้ำเงินอีกเฉดเพิ่มเติมโดยไม่จำเป็นต้องแยกให้บริสุทธิ์แบบการวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งใช้หลายขั้นตอนแต่อาจประยุกต์จากวิธีการแยกสารบริสุทธิ์ที่ได้ทำมาแล้วในหัวข้อ 5.2.2.2 และอาศัยหลักที่ว่าสีน้ำเงินและสีแดงละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มแต่เฉพาะสีแดงละลายได้ดีในเมทานอล จึงน่าจะลองทำการสกัดโดยให้ตัวทำละลายดังกล่าวสกัดสีออกจาก paste หรือผงสีแห้งจากส้มหรือครามดังนี้



อาจทำการตรวจสอบ UV-visible spectrum ของสารสีที่สกัดได้ทั้ง 3 ตอนเปรียบเทียบกับ
รวมทั้งปริมาณที่สกัดได้แล้วนำมาทดลองย้อมฝ้ายดูก่อนถ้าทำได้ดีก็อาจจะทำการสกัดให้มากขึ้น
แล้วแปรรูปเป็นเม็ดแกรนูลไว้ใช้ต่อไป การทดลองนี้จะดำเนินการต่อในการวิจัยช่วงต่อไป

บทที่ 6

การพัฒนาวิธีการย้อมสีแดง เหลืองและน้ำเงินเพื่อย้อมสีแปรรูปที่ผลิตได้

การพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้นั้นอาศัยการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นในด้านการย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือและภาคอีสานโดยเน้นการย้อมฝ้ายเป็นสีแดงจากรากข่อยป่าและครั้ง สีเหลืองจากขมิ้น สีน้ำเงินจากครามและช่อม เก็บตัวอย่างการย้อมดังกล่าวจากที่ต่างๆข้างต้นมาตรวจสอบคุณภาพด้านการคงทนต่อการซักฟอกและแสงแดด ประเมินข้อดีข้อด้อยของแต่ละวิธีและปรับปรุงวิธีมาทดลองย้อมทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามและตรวจสอบคุณภาพโดยใช้น้ำย้อมสกัดจากรากข่อยป่า ครั้ง ขมิ้นครามและช่อมเป็นหลักในการทดลองย้อมฝ้าย เพื่อนำผลที่ได้มาปรับปรุงวิธีการที่เหมาะสมสำหรับใช้ย้อมสีธรรมชาติแปรรูปจากวัตถุดิบสารให้สีดังกล่าวต่อไป ขั้นตอนการศึกษาทดลองและสีที่ย้อมได้มีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

6.1 การศึกษาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับสีแปรรูปที่ได้ตลอดจนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อหาข้อสรุปขั้นต้น

การพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีแปรรูปจากรากข่อยป่านั้นอาศัยวิธีการดั้งเดิมจากการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่น ประเมินวิธีที่สำรวจได้จากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เก็บมาทดสอบความคงทนต่อการซักล้างและต่อแสงตามวิธีมาตรฐานอุตสาหกรรมและเลือกวิธีที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงทนไปทดลองย้อมฝ้ายให้เป็นสีแดงในภาคสนาม และนำผลิตภัณฑ์กลับมาทดสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับทดลองใช้สีแปรรูปจากรากข่อยป่าย้อมฝ้ายด้วยวิธีดังกล่าวในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปได้ว่าสิ่งจำเป็นในการย้อมฝ้ายให้เป็นสีแดงจากรากข่อยป่าคือ ขั้นตอนการเตรียมฝ้าย การเตรียมน้ำสีย้อมและการย้อม

6.1.1 การเตรียมฝ้าย นอกจากจะต้องผ่านกรรมวิธีทำความสะอาดฝ้ายแล้ว ยังต้องหมักฝ้ายในน้ำมันและสารช่วยติดสีเพื่อการย้อมที่ได้ผลดี ข้อสรุปนี้เห็นได้ชัดจากผลการย้อมฝ้ายภาคสนามที่สอดคล้อง และที่บ้านคางตะนะ อ.ลอง จ.แพร่ด้วยคือ ฝ้ายที่หมักกับน้ำมันและสารช่วยติดสีแล้วย้อมจะให้สีที่แดงเข้มกว่าที่ไม่ได้ใช้น้ำมันซึ่งให้สีออกชมพู ทั้งสองวิธีให้สีแก่ก่อนต่างกัน แต่ความคงทนต่อการซักล้างและต่อแสงเหมือนกัน วิธีเตรียมฝ้ายก่อนย้อมนี้ตรงกับข้อสังเกตของ Lies, J.N. ที่เขียนหนังสือเกี่ยวกับสูตรและเคล็ดลับการย้อมสีธรรมชาติจากรากข่อยป่าตามวิธีดั้งเดิมในปี ค.ศ. 1990⁽⁴¹⁾ ที่ว่าในการย้อมฝ้ายด้วยรากข่อยนั้นมีสิ่งที่ต้องระมัดระวังและต้องคำนึงถึงคือ ต้องมีการทำความสะอาดฝ้าย (scouring) อย่างดีก่อนทำ mordanting และไม่ควรฟอกขาวฝ้าย ไม่ควรมีอ็อกซิเจนของเหล็กปนเปื้อนในน้ำย้อมเพราะจะทำให้สีคล้ำลง และเพื่อการย้อมให้ได้ผลดีนั้นใน

ขั้นตอนการทำ mordanting ด้วยเกลืออะลูมิเนียมหรือสารส้ม ต้องมีการทิ้งไว้หลายๆวันก่อนทำการย้อมสี นอกจากนี้ภายหลังจากการทำ mordanting ด้วยอะลูมิเนียมแล้วต้องล้างหลายๆครั้งก่อนการย้อมสีเพื่อล้างอะลูมิเนียมส่วนเกินออก สำหรับฝ้ายในขั้นนี้ควรใช้น้ำยาฟิกซิง (fixing solution) ซึ่งเป็นสารละลายของ Na_2HPO_4 หรือ CaCO_3

6.1.2 การเตรียมน้ำย้อมและการย้อม จากการสำรวจพบว่าสีที่ได้จากการย้อมแต่ละแห่งมีโทนสีไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเบสในขณะเตรียมน้ำย้อม และน้ำที่ใช้เตรียมน้ำย้อมมีการปนเปื้อนของโลหะดังกล่าวข้างต้นหรือไม่ และจากการตรวจสอบสมบัติของสารให้สีจากรากยอป่าและจากครึ่งเมืออยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่างกัน(บทที่ 3) จะมีเฉดสีต่างกัน กล่าวคือจะออกสีเหลืองและส้มเมื่ออยู่ในน้ำที่มีสภาพกรดและออกสีแดงส้มและแดงม่วง เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นด่างตามลำดับและสีแดงจะเข้มขึ้นตามสภาพความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของระหว่างอะตอมของโลหะและสารให้สียังทำให้เฉดสีเปลี่ยนไปด้วย เช่น Turkey-red เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารให้สีจากรากยอป่า (alizarin) Al และ Ca เป็นต้น ความเข้มข้นของสารสีย้อมตั้งต้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีความอ่อนแก่ต่างกัน ในกรณีนี้คณะผู้วิจัยได้ทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสีตั้งต้นต่างกัน พบว่าถ้าใช้ปริมาณน้อยสีจะอ่อนจางกว่าการใช้เนื้อสีปริมาณมาก

จากข้อมูลดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้ทดลองนำผงรากยอป่ามาทดลองย้อมตามขั้นตอนดังนี้

ก. การทำความสะอาดฝ้าย (scouring)

สัดส่วนฝ้าย : น้ำ ฝ้าย 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร

ส่วนผสมในน้ำ

NaOH	1	กรัม/ลิตร
Na_2CO_3	1	กรัม/ลิตร
สบู่เทียม (wetting agent)	1	กรัม/ลิตร

นำฝ้ายไปต้มในสารละลายนี้ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30-45 นาที ผลการทดลองหาน้ำหนักก่อน-หลังทำความสะอาดแสดงในตารางที่ 6.1

ข. การผสมฝ้ายในน้ำมัน (Oiling) แช่ฝ้ายในน้ำผสมน้ำมัน (emulsion oil) ที่มีส่วนผสมของน้ำมันพืชหรือน้ำมันหมูกับโซดาซักผ้าด้วยปริมาณดังนี้

Na_2CO_3	42	กรัม
น้ำมัน	42	กรัม
น้ำ	1	ลิตร

ตารางที่ 6.1 การทดลองหาน้ำหนักก่อนและหลังการทำความสะอาดฝ้าย

ชนิดฝ้าย	น้ำหนักฝ้าย (กรัม)		% น้ำหนักที่หายไป
	ก่อนทำความสะอาด	หลังทำความสะอาด	
ฝ้ายเกลียว 40/2			
ใจที่ 1	95.36	92.50	3.00
ใจที่ 2	94.16	91.47	2.86
		เฉลี่ย	2.93
ฝ้ายตราแมว 10/1			
ใจที่ 1	69.24	67.18	2.98
ใจที่ 2	76.63	68.26	3.36
ใจที่ 3	71.01	68.24	3.20
ใจที่ 4	71.41	69.37	2.86
ใจที่ 5	71.89	69.53	3.28
		เฉลี่ย	3.14

ขย้าฝ้ายใน emulsion oil เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ฝ้ายทิ้งไว้ค้างคืน บิดตากในที่โล่งปล่อยให้ฝ้ายตากแดด ลม น้ำค้าง ตลอดวันตลอดคืน เป็นเวลา 3 วัน ทำซ้ำ 4-6 ครั้ง โดยใช้ emulsion oil เดิมในขั้นตอนนี้กรดไขมันจากน้ำมันจะเกิดออกซิเดชัน และพอลิเมอร์เซชัน และจับติดอยู่กับเส้นใยเซลลูโลสของฝ้าย (ถ้าใช้น้ำมันที่เหม็นหืนแล้วก็จะลดเวลาลงและมีประสิทธิภาพดีขึ้น) จากนั้นล้างน้ำมันออกโดยใช้สารละลาย Na_2CO_3 1 ช้อนชา แบ่งสารละลายนี้มาซักเส้นใยฝ้ายหลายๆ ครั้งจนกระทั่งน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านการ modified หลุดออกจากเส้นใยจนหมด ล้างน้ำและตากแดดจนแห้ง

ค. Sumacing หรือการทำ mordanting ด้วยแทนนิน

ละลายกรดแทนนิก 1.5 กรัม ในน้ำอุ่น (50°C) ปริมาตร 400 มล. เทสารละลายลงในน้ำอุ่น 2 ลิตร ขย้าฝ้ายลงในสารละลายนี้หลายๆนาที แล้วแช่ฝ้ายไว้ในสารละลายนี้ 6-12 ชั่วโมง บิดและตากให้แห้ง

เมื่อถึงขั้นนี้ได้ทำการนำฝ้ายที่ได้ย้อมน้ำสีจากรากยอป่าบดที่ทำขึ้นในเชิงเปรียบเทียบว่า ฝ้ายที่ทำ oiling ก่อนย้อม กับที่ไม่ผ่านขบวนการ oiling ก่อนย้อมให้ผลอย่างไร พบว่า ฝ้ายที่ผ่านการทำ oiling ติดสีแดงเข้ม ส่วนที่ไม่ผ่านการทำ oiling ติดสีชมพูเช่นเดียวกับการทดลอง

ภาคสนาม เป็นเครื่องยืนยันว่าการทำ oiling จำเป็นสำหรับการย้อมให้ได้สีแดงเข้มในปริมาณน้ำสีที่ใช้เท่ากัน ส่วนจะเป็นน้ำมันพืชปกติหรือน้ำมันที่หมิ่นหืนแล้วคงต้องลองทดลองย้อมเปรียบเทียบต่อไป (ในการทดลองเลือกใช้น้ำมันที่หมิ่นหืนแล้ว) อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมฝ้ายเพื่อย้อมสีแดงจากรากยอป่าตั้งแต่การทำความสะดวก การทำ oiling และ การทำ premordanting ฝ้ายด้วยแทนนินเป็นขั้นตอนที่ไม่สะดวกสิ้นเปลืองเวลาโดยเฉพาะถ้าใช้น้ำมันหมิ่นหืนกลั่นติดฝ้ายแล้วทำให้ผ้าหมักกลิ่นได้ยาก น่าจะหาวิธีการที่สะดวกกว่านี้

ในกรณีที่ต้องการให้ได้สี Turkey red ซึ่งมีสีแดงสดใส การ mordanting ด้วย aluminium acetate หรือ aluming เป็นขั้นตอนที่แนะนำโดย Liles, J.N. 1990⁽⁴¹⁾ เช่นเดียวกันซึ่งขั้นตอนการทำใช้ aluminium acetate โดยตรงหรือผ่านขั้นตอนการเตรียม aluminium acetate โดยผสม glacial acetic acid 1 ลิตรลงในน้ำ 3 ลิตร ใส่ปูนขาว(CaO) 500 กรัม ลงในสารละลายข้างต้น คนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รินส่วนใสๆ เก็บไว้เติมน้ำอุ่น 2 ลิตร ลงไปละลายตะกอน รินส่วนใสที่ได้รวมกับส่วนที่เก็บไว้ในตอนแรก สารละลายที่ได้นี้คือ calcium acetate เติมสารส้ม 1.25 กิโลกรัมลงในสารละลาย calcium acetate 4 ลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง รินส่วนใสเก็บไว้ เติมน้ำ 2 ลิตรลงไปละลายตะกอน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รินส่วนใสที่ได้รวมกับส่วนใสที่เก็บไว้ในตอนต้นจะได้สารละลาย aluminium acetate ซึ่งใช้เป็น mordant ได้ทันที โดยแบ่งสารละลาย aluminium acetate นี้มาทำ mordanting โดยการขยี้ฝ้ายในสารละลายนี้เป็นเวลาหลายๆ นาที แช่ฝ้ายทิ้งไว้ในสารละลายนี้เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง บิดตากให้แห้งเป็นเวลา 4-7 วัน ทำซ้ำ 2 ครั้ง นำฝ้ายที่ได้ไปขยี้กับ fixing solution ซึ่งเตรียมโดยใช้ CaCO_3 หรือ Na_2HPO_4 7 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร fixing solution จะทำหน้าที่ fix Al เข้ากับเส้นใยและกำจัด Al และน้ำมันส่วนเกินที่ไม่จับกับเส้นใยออกไป จากนั้นล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง วิธีการย้อมดังกล่าวได้รับการยืนยันว่าได้ผลดีแต่คณะผู้วิจัยเห็นว่าเป็นวิธีการที่ยุ่งยากหลายขั้นตอนและสิ้นเปลืองเวลาอย่างไรก็ตามก็ใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาวิธีการที่จะใช้ย้อมสีแปรรูปต่อไป

6.2 การพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมเพื่อย้อมสีแปรรูปจากรากยอป่าและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

สืบเนื่องจากผลการทดสอบการย้อมฝ้ายด้วยรากยอป่าในภาคสนามในช่วงการวิจัยระยะที่ 2 ได้ข้อสรุปสิ่งจำเป็นในการย้อมฝ้ายเป็นสีแดงด้วยรากยอป่าตามภูมิปัญญาท้องถิ่นนั้น คือ การเตรียมฝ้ายก่อนย้อมและการย้อม ในการเตรียมฝ้ายก่อนย้อมนั้นนอกเหนือจากขั้นตอนการทำความสะอาดฝ้ายตามปกติแล้ว ยังต้องขยี้ฝ้ายกับน้ำด่างผสมน้ำมันและใบไม้ที่มีแทนนินตำละเอียด

หรือหมักนานๆ แล้วซักฝ้ายให้สะอาด บิดและผึ่งให้หมาดๆ แล้วจึงนำมาย้อมโดยขยำฝ้ายให้ทั่วในน้ำย้อมสีจากรากยอป่าที่เตรียมโดยใช้รากยอป่าสดตำละเอียดใส่ในน้ำค้างจืดแล้ว คลุกเคล้ากับฝ้ายจนทั่ว แล้วใส่ในหม้อต้มที่รองก้นและปิดทับด้วยใบไม้ที่มีแทนนิน (ใบมะไฟ) แล้วต้มจนน้ำระเหยไปหมด (พลิกฝ้ายเป็นระยะจนกว่าน้ำจะระเหยหมด) ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบิดผึ่งให้แห้งสนิท แล้วจึงซักสีส่วนเกินออก คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีย้อมที่ใช้นั้น ดังนั้นในการย้อมฝ้ายเป็นสีแดงด้วยรากยอป่าองค์ประกอบที่จำเป็นที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่มีคุณภาพ คือ

- ฝ้าย
- น้ำมัน
- น้ำค้าง
- ใบพืชหรือส่วนของพืชที่มีแทนนิน
- รากยอป่าตำหรือบดละเอียด

การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำตามรายละเอียดในภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลที่ประเมินได้นี้คณะผู้วิจัยได้นำมาศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียด เพื่อพัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมโดยใช้สีแปรรูปจากรากยอป่า โดยแบ่งประเด็นการศึกษาดังนี้

ก. การตรวจสอบวิธีการย้อมและองค์ประกอบที่จำเป็นที่ประเมินได้ จากการย้อมภาคสนามโดยใช้ผงรากยอป่าแห้งบดละเอียด

ข. การพัฒนาวิธีการย้อมสีแปรรูปจากรากยอป่าในรูปผงรากบดอัดเม็ดแกรนูล ผงสีสกัดด้วยแอลกอฮอล์อัดเม็ดแกรนูล ผงสีสกัดด้วยผงน้ำร้อนผสมน้ำค้างฉีดพ่นแห้ง และตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

ค. การศึกษา shade สีที่สามารถทำได้โดยอาศัยสมบัติของสีจากรากยอป่า ทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

ง. ศึกษาการติดสีของรากยอป่าบนเส้นใยชนิดอื่นนอกเหนือจากฝ้ายและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

จ. ศึกษาการลดมลภาวะจากน้ำทิ้งสีย้อมโดยพยายามใช้สีอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดปริมาณสีในน้ำทิ้ง

ฉ. การทดสอบการยอมรับและความนิยมของผู้บริโภค โดยตั้งแสดงในนิทรรศการวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6.2.1 การตรวจสอบวิธีการย้อมและองค์ประกอบที่จำเป็นที่ประเมินได้จากการย้อมภาคสนามโดยใช้ผงรากลย้อมย้อมผ้าแห้งบดละเอียด

ในการตรวจสอบครั้งนี้ประเด็นการวิจัยเพื่อให้ได้ความกระจ่าง ในขั้นตอนการย้อมที่ประเมินได้จากการย้อมภาคสนามและจากตำราการย้อมที่มีผู้เขียนไว้เป็น 5 ประเด็นด้วยกัน คือ

ก. การย้อมฝ้ายที่สะอาดแล้วด้วยน้ำมันนั้นจะต้องย้อมซ้ำกี่ครั้ง ก่อนการย้อมสี จึงจะได้สีเข้มเป็นที่น่าพอใจ

ข. ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิการสักระบายย้อมและกระบวนการย้อม โดยใช้อุณหภูมิจุดเดือดทั้ง 2 ขั้นตอน สีที่ได้จะต่างจากสภาวะควบคุมอย่างไร

ค. หลังการย้อมด้วยน้ำมัน ถ้าซักน้ำมันส่วนเกินออกด้วยสบู่หรือผงซักฟอกเพื่อกำจัดกลีมน้ำมัน นอกเหนือจากการใช้โซเดียมคาร์บอเนตซักตามวิธีปกติ แล้วจึงนำมาย้อมด้วยรากลย้อมคุณภาพสีย้อมจะเป็นอย่างไร

ง. ในการย้อมด้วยน้ำมันก่อนการย้อมด้วยรากลย้อม ถ้าเตรียมน้ำมันให้อยู่ในรูปของเกลือกกรดไขมัน หรือกรดไขมัน จะช่วยให้กระบวนการย้อมสั้นลงหรือไม่ และ/หรือ มีผลต่อคุณภาพสีย้อมอย่างไร

จ. การเติมแทนนินจะช่วยเพิ่มคุณภาพของสีย้อมจากรากลย้อมหรือไม่

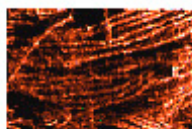
วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบเพื่อตอบคำถามทั้ง 5 ประเด็นนั้น ในทุกขั้นตอนการย้อม จะใช้สัดส่วนฝ้ายต่อของเหลว = 1 : 20 (ฝ้าย 1 กรัม ต่อน้ำหรือน้ำสี 20 มล.) การทำความสะอาดฝ้าย ก่อนย้อมใช้ฝ้าย 1 กก. ต่อน้ำ 20 ลิตร ที่มี NaOH 1 กรัมต่อลิตร และ Na_2CO_3 1 กรัมต่อลิตร สบู่เทียม 1 กรัมต่อลิตร ต้มฝ้ายในสารละลายนี้ที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 30-45 นาที การทำ **mordanting** ด้วยแทนนิน นั้นละลายกรดแทนนิก 1.5 กรัม ในน้ำอุ่น 50 °ซ ปริมาตร 400 มล. เทสารละลายลงในน้ำอุ่น 2 ลิตร ขยำฝ้ายลงในสารละลายนี้หลายๆ นาที แล้วแช่ฝ้ายไว้ในสารละลายนี้ 6-12 ชั่วโมง บิดและตากให้แห้ง การทำ **oiling** ฝ้าย แช่ฝ้ายในน้ำผสมน้ำมัน (emulsion) ที่มีส่วนผสมของน้ำมันพืชหรือน้ำมันหมู 42 กรัม โซดาซักผ้า 42 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ขยำฝ้ายใน emulsion oil เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ฝ้ายในส่วนผสมนี้ค้างคืน บิดตากในที่โล่งเป็นเวลา 3 วัน ทำซ้ำ 4-6 ครั้ง โดยใช้ emulsion oil เดิม **เปอร์เซ็นต์สีย้อมที่ใช้ทดสอบ** เป็นค่าที่เทียบเป็นสัดส่วนกับฝ้ายเช่น 100 % สีย้อม หมายถึงน้ำหนักผงรากลย้อมที่ใช้เท่ากับน้ำหนักของฝ้าย 200 % สีย้อม หมายถึง น้ำหนักของผงรากลย้อมที่ใช้เป็น 2 เท่าของน้ำหนักฝ้าย

6.2.1.1 การทดสอบการย้อมฝ้ายด้วยน้ำมันก่อนการย้อมสีด้วยรากยอป่า ต้องทำซ้ำกี่ครั้งจึงจะได้สีเข้มตามต้องการ

การทดลองนี้ได้ทำการย้อมฝ้ายด้วยน้ำมันหมูเหมีนหื่นซ้ำ 2 รอบ 4 รอบ และ 6 รอบ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการย้อมน้ำมันเลย โดยใช้รากยอป่าบด 200 % ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การทดสอบการย้อมฝ้ายด้วยน้ำมันก่อนการย้อมสีด้วยรากยอป่า

ตัวอย่างชิ้นงาน	รายละเอียดการย้อม	ความคงทนต่อการซัก		ความคงทนต่อแสง
		การซักของสี	การกลสี	
	ไม่ย้อมน้ำมัน	4	4 - 5	3 - 4
	ย้อมน้ำมัน 2 รอบ	4	4 - 5	3
	ย้อมน้ำมัน 4 รอบ	4	4 - 5	3
	ย้อมน้ำมัน 6 รอบ	3 - 4	4	3

สรุปผลการทดลอง

- การย้อมด้วยน้ำมันซ้ำหลายรอบช่วยเพิ่มความเข้มของสีอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ย้อมสีอาจเลือกได้ตามความเหมาะสมกับเวลาที่ใช้และสีที่ต้องการ สำหรับคุณภาพของสีย้อมต่อการซักในทั้ง 4 กรณีอยู่ในเกณฑ์ดีและไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนคุณภาพของสีย้อมต่อแสงอยู่ในระดับปานกลางเหมือนกับผลการทดลองในภาคสนาม
- การย้อมด้วยน้ำมันมีข้อดีคือสีที่ได้นอกจากจะติดเข้มแล้วยังได้สีที่มีลักษณะจำไม่แห้งแบบสีที่ย้อมโดยไม่ใช้น้ำมัน ข้อเสียคือใช้เวลานานในการเตรียมฝ้าย และมีกลิ่นน้ำมันตกค้างบนผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยแช่น้ำยาปรับผ้านุ่มหลังการซักแล้วแต่กลิ่นก็ยังไม่หมด
- ได้ทำการย้อมโดยแช่น้ำมันเพียง 1 คืน แล้วย้อมซ้ำหลายๆ ครั้งก็ทำให้สีเข้มขึ้นได้ตามจำนวนครั้งที่ย้อมซ้ำเช่นเดียวกัน คุณภาพของสีย้อมต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดี และต่อแสงอยู่ใน

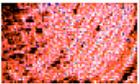
ระดับปานกลางเช่นเดียวกัน (ไม่แสดงผล) ผู้ย่อมอาจจะต้องเลือกเองว่าทำอย่างไรจะดีกว่า ข้อเสียวิธีนี้คือเปลืองสีย้อม และถ้าเตรียมฝ้ายไม่ดีพอโอกาสที่จะติดสีเข้มไม่เสมอสูงมากและสิ้นเปลืองเวลาในการย้อม

6.2.1.2 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนการสกัดสีและการย้อม เทียบกับการปล่อยให้ถึงจุดเดือดทั้งสองขั้นตอน สีที่ได้จะต่างจากสถานะควบคุมอุณหภูมิอย่างไร

ได้ทำการทดลองโดยในขั้นตอนการสกัดสีย้อมปล่อยให้อุณหภูมิในการสกัดสีย้อมจากรากข่อยป่าถึงจุดเดือด แล้วนำฝ้ายที่ไม่ผ่านการย้อมน้ำมันและฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำมันหมู همین 6 รอบมาย้อมในน้ำย้อมที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของการย้อม ปล่อยให้อุณหภูมิขณะย้อมสูงจนถึงจุดเดือดอีกเช่นกัน ผลการทดลองเปรียบเทียบกับ การย้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และใช้รากข่อยป่าบด 200 % แสดงในตารางที่ 6.3

สรุปผลการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า การย้อมที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ปล่อยให้อุณหภูมิขึ้นไปถึงจุดเดือดทั้งขณะการสกัดสีย้อมและขณะย้อม จะทำให้เจดสีเปลี่ยนไปเป็นสีส้มมากขึ้น สำหรับคุณภาพในด้านความคงทนต่อการซักและความคงทนต่อแสงทั้งในสถานะที่ควบคุมอุณหภูมิหรือไม่ควบคุมไม่ต่างกัน ข้อมูลนี้จะช่วยให้ผู้ย้อมได้ตัดสินใจในการเลือกที่จะควบคุมอุณหภูมิหรือไม่ควบคุม เพราะในบางกรณีการควบคุมอุณหภูมิอาจไม่สะดวกนัก

ตารางที่ 6.3 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิในการสกัดสีและการย้อม

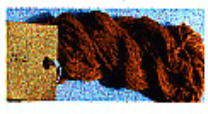
ตัวอย่างชิ้นงาน	รายละเอียดการย้อม	ความคงทนต่อการซัก		ความคงทนต่อแสง
		การซักของสี	การตกของสี	
	ไม่ ย้อมน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ ไม่เกิน 80°C	4	4 - 5	3 - 4
	ไม่ย้อมน้ำมันอุณหภูมิจุดเดือด 95°C	4	4 - 5	3 - 4
	ย้อมน้ำมัน 6 รอบควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 80°C	3 - 4	4	3
	ย้อมน้ำมัน 6 รอบอุณหภูมิจุดเดือด 95°C	3 - 4	4 - 5	2

6.2.1.3 หลังการย้อมฝ้ายด้วยน้ำมัน ถ้าซักด้วยสบู่หรือผงซักฟอกเพื่อกำจัดกลิ่นน้ำมัน นอกเหนือจากการใช้โซเดียมคาร์บอเนต ซักตามวิธีปกติ แล้วจึงย้อมด้วยรากยอป่า คุณภาพของสีย้อมจะเป็นอย่างไร

ได้ทำการทดลองนำฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำมัน همینหัน 6 รอบ มาซักด้วย Na_2CO_3 แล้วตามด้วยผงซักฟอกโดยใช้ย้อมด้วยรากยอป่าบด 200 % อุณหภูมิจุดเดือด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.4

สรุปผลการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า ภายหลังจากการย้อมฝ้ายด้วยน้ำมัน การซักเพิ่มเติมด้วยสบู่ และผงซักฟอกไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของสีย้อม คุณภาพยังคงเหมือนกับการซักด้วย Na_2CO_3 และกลิ่น همینหันน้ำมันยังไม่หมด การทดลองนี้ช่วยให้ผู้ย้อมตัดสินใจว่าควรใช้สบู่หรือผงซักฟอกเพื่อกำจัดกลิ่น همینหันจากน้ำมันที่ใช้หรือไม่

ตารางที่ 6.4 การซักฝ้ายที่ย้อมน้ำมันด้วยสบู่และผงซักฟอก

ตัวอย่างชิ้นงาน	รายละเอียดการย้อม	ความคงทนต่อการซัก		ความคงทนต่อแสง
		การซักของสี	การตกของสี	
	ซักด้วยโซเดียมคาร์บอเนต	3 - 4	4 - 5	2
	ซักด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและสบู่	3 - 4	4 - 5	2
	ซักด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและผงซักฟอก	3 - 4	4 - 5	2

6.2.1.4 ในการย้อมด้วยน้ำมันก่อนการย้อมสีด้วยรากยอป่า ถ้าเตรียม น้ำมันให้อยู่ในรูปเกล็ดของกรดไขมัน หรือกรดไขมัน จะช่วยให้กระบวนการย้อมง่ายขึ้นหรือมีผลต่อคุณภาพสีย้อมอย่างไรหรือไม่

จากการคาดคะเนในขั้นตอนการทำ oiling ในการย้อมสีจากรากยอป่า กรดไขมันในน้ำมันจะเกิดออกซิเดชัน และพอลิเมอร์เซชันจับติดอยู่กับเส้นใย และทำหน้าที่เป็น mordant ให้กับสีจากรากยอ จึงเกิดแนวคิดว่าจะใช้น้ำมันถ้าเปลี่ยนมาใช้กรดไขมันหรือเกล็ดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันนั้น จะทำให้ขั้นตอนการทำ oiling มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือ