



รายงานฉบับสมบูรณ์

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยมูลไหมและลูกหม่อน

Dyeing Silk Yarn with Silkworm Excrement and Mulberry Fruit

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์ และคณะ
คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ธันวาคม พ.ศ. 2562

สัญญาเลขที่ RDG62T0042

รายงานฉบับสมบูรณ์

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยมูลไหมและลูกหม่อน

Dyeing Silk Yarn with Silkworm Excrement and Mulberry Fruit

คณะผู้วิจัย

รศ. ดร. ปิยะพร คามภีรภาพพันธ์
รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2562

สนับสนุนโดย สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกสว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

บริษัท เนเชอรัล ฌิช จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตเส้นใย เส้นด้าย รวมถึงผ้าและผลิตภัณฑ์ผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ โดยยึดแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (eco product) คือ 4R ได้แก่ การลด (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) และการซ่อมบำรุง (repair) ในทุกขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิต จนกระทั่งการนำไปใช้ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้กระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากแนวความคิดของบริษัทฯ ที่ต้องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางบริษัทฯ จึงนำเศษรังไหมที่เหลือจากการสาวเส้นไหมเหลือทิ้งในโรงงานสาวไหมมาเพิ่มมูลค่าโดยใช้การปั่นด้ายแบบปลายเปิด (open-end spinning) เพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีคุณภาพและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ประกอบกับแนวความคิดของบริษัทฯ ที่ต้องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทางบริษัทฯ จึงใช้การย้อมสีธรรมชาติ เช่น คราม มะปูด เข และครั่ง ในการย้อมเส้นด้ายไหมเหล่านี้

เนื่องจากการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งพบว่าการเลี้ยงไหมต้องมีการถ้ำมูลไหมทุกวันเพื่อป้องกันการทับถมของมูลไหมที่อาจทำให้เกิดความชื้น ความร้อนและอาจนำไปสู่การระบาดของโรคไหมได้ง่าย มูลไหมเหล่านี้เป็นของเหลือทิ้งจากการเลี้ยงไหมซึ่งในการเลี้ยงไหมแต่ละรอบจะมีมูลเหลือทิ้งไปจำนวนมาก นอกจากนี้ การปลูกหม่อนเพื่อนำใบหม่อนเป็นอาหารของหนอนไหม หม่อนชนิดนี้มีใบใหญ่และออกใบมากจึงใช้เป็นอาหารของหนอนไหมได้ดี แต่ผลหม่อนจะมีขนาดเล็ก เมื่อสุกแล้วมีรสเปรี้ยวใช้รับประทานได้แต่ไม่นิยมมากนักเมื่อเทียบกับหม่อนที่ปลูกเพื่อรับประทานผล งานวิจัยนี้จึงนำมูลไหมและลูกหม่อนมาย้อมเส้นด้ายไหมปั่นด้วยการพัฒนาสีจากมูลไหมและลูกหม่อนในรูปสีผงเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากสิ่งของเหลือทิ้งในการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมและเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่ก่อให้เกิดขยะ (zero waste)

เมื่อนำมูลไหมและลูกหม่อนมาสกัดผงสีด้วยความร้อนสามารถสกัดผงสีได้ร้อยละ 23.22 และ 1.52 โดยน้ำหนัก เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยมูลไหมมีสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนสีของเส้นด้ายไหมจากการย้อมด้วยลูกหม่อนมีสีน้ำตาลแดง โดยความเข้มข้นของสีขึ้นกับปริมาณสีที่ใช้ การใช้หมอร์แดนต์ต่างชนิดและขั้นตอนการใช้หมอร์แดนต์ต่างกันช่วยเพิ่มความหลากหลายของเฉดสีได้ เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยมูลไหมและลูกหม่อนส่วนใหญ่มีความคงทนต่อการซักและขัดถูในระดับดีถึงดีที่สุดในระดับที่ทดสอบ และเมื่อจัดเก็บเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมนาน 4 เดือน เส้นด้ายมีค่าความสว่างลดลงและค่าความเหลืองสูงขึ้น นอกจากนี้ เส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อนมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้

วิธีทำผงสีจากน้ำสกัดจากมูลไหมและลูกหม่อนนั้น วิธีการที่นิยมใช้และผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์มี 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยการอบและการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) วิธีการทำแห้งด้วยการอบทำได้ง่ายแต่ใช้เวลานานจึงมีกำลังการผลิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น เป็นการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วย ใช้เวลาน้อยกว่าจึงมีกำลังการผลิตที่สูงกว่าการอบแห้ง เนื่องจากลูกหม่อนมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบจึงต้องใช้สารช่วยพา คือ มอลโทเดกซ์ทริน ในการทำผงสีเพื่อป้องกันการเกาะติดกับผนังเครื่อง แต่มูลไหมไม่จำเป็นต้องใช้สารช่วยพาในการเตรียมผงสี ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน คือ การใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีเกาะรวมกันเป็นก้อนมากขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าสูงขึ้น อนุภาคของผงสีติดกันน้อยลง นอกจากนี้ ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีมีความสว่างมากขึ้นและการจับตัวของผงสีเป็นก้อนลดลง เส้นไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีสีไม่ต่างกับผงสีมูลไหมจากการอบแห้ง แต่เส้นไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีสีอ่อนลงเมื่อเทียบกับผงสีลูกหม่อนจากการอบแห้ง เนื่องจากมีมอลโทเดกซ์ทรินผสมในผงสี

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม คือ มูลไหมและลูกหม่อน ด้วยการทำเป็นสีย้อมในรูปสีผงเพื่อควบคุมเฉดสีให้คงที่และเพิ่มความสะดวกในการย้อมสำหรับบริษัท เนเซอร์ล ณิช จำกัด เมื่อนำมูลไหมและลูกหม่อนมาสกัดผงสีด้วยความร้อนสามารถสกัดผงสีได้ร้อยละ 23.22 และ 1.52 โดยน้ำหนัก การทำสีผงมูลไหมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่จำเป็นต้องใช้สารช่วยพา แต่สีผงลูกหม่อนจำเป็นต้องใช้สารช่วยพา (มอลโทเดกซ์ทริน) เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยมูลไหมมีสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนสีของเส้นด้ายไหมจากการย้อมด้วยลูกหม่อนมีสีน้ำตาลแดง โดยความเข้มของสีขึ้นกับปริมาณสีที่ใช้ เส้นไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีสีไม่ต่างกับผงสีมูลไหมจากการอบแห้ง แต่เส้นไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีสีอ่อนลงเมื่อเทียบกับผงสีลูกหม่อนจากการอบแห้ง เนื่องจากมีมอลโทเดกซ์ทรินผสมในผงสี การใช้มอร์แดนต์ต่างชนิดและขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์ต่างกันช่วยเพิ่มความหลากหลายของเฉดสีได้ เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยมูลไหมและลูกหม่อนส่วนใหญ่มีความคงทนต่อการซักและขัดถูในระดับดีถึงดีที่สุด และเมื่อจัดเก็บเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมนาน 4 เดือน เส้นด้ายมีค่าความสว่างลดลงและค่าความเหลืองสูงขึ้น นอกจากนี้เส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อนมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้

Abstract

This research aimed to develop waste materials from sericulture which were silkworm excrement and mulberry fruit by making dye in powder form to control color shade and improve the convenience of dyeing for Natural Niche Co., Ltd. The natural dye powder from silkworm excrement and mulberry fruit was 23.22 and 1.52% by weight, respectively. The silkworm excrement dye powder by spray drying did not require a carrier, but the mulberry fruit dye powder needed to be used the carrier (maltodextrin). Dyeing silk yarns with silkworm excrement dye showed shade of yellowish brown, while dyeing with mulberry fruit dye gave reddish brown shade. The color strength of the dyed silk yarns depended on amount of used dye powder. The silkworm excrement dyed silk yarns with both oven drying and spray drying method displayed the same shade of color. However, the silk yarns dyed with mulberry fruit dye powder from spray drying indicated a lighter color compared to oven drying method because of adding maltodextrin. Different shades of the color were generated by mordant types and methods. Most of silkworm excrement and mulberry fruit dyed silk yarns showed good to excellent color fastness to washing and rubbing. The colorfastness to storage after 4 months presented the dyed silk yarn reduced lightness and increased yellowness. Moreover, the dyed silk yarns showed a little effect antibacterial activity against *S. aureus* but they were unable to inhibit *E. coli*.

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ก
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
	สารบัญ	ค
	สารบัญตาราง	ช
	สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
	1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม	4
	1.6 แผนงานโครงการ	6
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	7
	2.1 สีธรรมชาติ	8
	2.1.1 ประเภทของสีย้อมธรรมชาติ	9
	2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของสีธรรมชาติ	15
	2.1.3 การสกัดสี	16
	2.2 การทำแห้ง	20
	2.2.1 วิธีการทำแห้ง	20
	2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง	24
	2.3 มอร์แดนต์	24
	2.3.1 ชนิดของมอร์แดนต์	25
	2.3.2 วิธีการใช้มอร์แดนต์	27
	2.4 ไหมหม่อน	28
	2.4.1 ประวัติการเลี้ยงไหมในไทย	28
	2.4.2 ชนิดของไหม	29
	2.4.3 พันธุ์ไหม	30
	2.4.4 วงจรชีวิตของหนอนไหม	33

หัวข้อ		หน้า
2.4.5	หลักการเลี้ยงไหม	33
2.5	หม่อน	35
2.5.1	ประเภทของหม่อน	35
2.5.2	ลักษณะของหม่อน	36
2.5.3	พันธุ์หม่อน	37
2.5.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหม่อน	39
2.5.5	ลักษณะของต้นหม่อนที่ดี	39
2.5.6	ประโยชน์ของหม่อน	40
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	44
3.1	วัสดุและสารเคมี	45
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	46
3.3	วิธีการวิจัย	47
3.3.1	การสกัดน้ำสีจากมูลไหมและลูกหม่อนสำหรับทำผงสี	47
3.3.2	การเตรียมมอร์แดนต์จากว่านหางจระเข้	47
3.3.3	การเตรียมผงสีมูลไหมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	47
3.3.4	การเตรียมผงสีลูกหม่อนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	47
3.3.5	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีมูลไหมและลูกหม่อนจากการอบแห้ง	48
3.3.6	การสังเคราะห์เลคฟิกเมนต์จากสีสกัดจากลูกหม่อน	49
3.3.7	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยเลคฟิกเมนต์ที่เตรียมจากลูกหม่อน	50
3.3.8	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว	51
3.4	วิธีการทดสอบ	51
3.4.1	ร้อยละของปริมาณผงสี	51
3.4.2	ปริมาณคลอโรฟิลล์	51
3.4.3	ปริมาณแอนโทไซยานิน	52
3.4.4	ปริมาณแทนนิน	52
3.4.5	สัณฐานวิทยาของผงสี	53
3.4.6	สีของเส้นด้ายไหม	52
3.4.7	การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	54
3.4.8	ความคงทนของสีต่อการซัก	54

หัวข้อ		หน้า
	3.4.9 ความคงทนของสีต่อการขัดถู	55
	3.4.10 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ	56
บทที่ 4	ผลการทดลอง	57
4.1	ร้อยละของปริมาณผงสี	58
4.2	ปริมาณคลอโรฟิลล์ในมูลไหม	59
4.3	ปริมาณแอนโทไซยานินในลูกหม่อน	61
4.4	ปริมาณแทนนินของมูลไหมและลูกหม่อน	62
4.5	สัณฐานวิทยาของผงสี	63
4.4.1	สัณฐานวิทยาของผงสีจากการอบ	63
4.5.2	สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหมจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	64
4.5.3	สัณฐานวิทยาของผงสีลูกหม่อนจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	67
4.6	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน	70
4.7	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนแบบใส่มอร์แดนต์	82
4.8	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยเลคฟิกเมนต์ที่เตรียมจากลูกหม่อน	93
4.9	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดจากลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว	94
4.10	การย้อมยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยมูลไหมและลูกหม่อน	94
4.11	ความคงทนของสีต่อการซัก	97
4.12	ความคงทนของสีต่อการขัดถู	99
4.13	ความคงทนของสีต่อการเก็บรักษา	102
รายการเอกสารอ้างอิง		113
ภาคผนวก		123
ก	ร้อยละผลผลิต	124
ข	ปริมาณคลอโรฟิลล์	127
ค	ปริมาณแอนโทไซยานิน	129
ง	ปริมาณแทนนิน	131
จ	ค่าความเข้มสีบนเส้นด้ายไหมเมื่อใช้ผงสีมูลไหมและมูลหม่อนที่ความเข้มข้นต่างกัน	133
ฉ	ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมอบแห้ง	136
ช	ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนอบแห้ง	141

	หัวข้อ	หน้า
ซ	ค่าความเข้มสี และค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมและลูกหม่อนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	147
ฅ	ค่าความเข้มสี และ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในกระบวนการต่างกัน	148
ญ	ค่าความเข้มสี และ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในกระบวนการต่างกัน	157
ฎ	ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมหลังการเก็บรักษานาน 4 เดือน	166
ฏ	ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนหลังการเก็บรักษานาน 4 เดือน	176
ฐ	การถ่ายทอดเทคโนโลยี	186

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
ตารางที่ 2.2	สีเหลืองธรรมชาติ	9
ตารางที่ 2.3	สีแดงธรรมชาติที่สำคัญ	10
ตารางที่ 2.4	สีน้ำตาลธรรมชาติที่นิยมใช้	11
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างสีธรรมชาติบางประเภทที่ได้จากพืช	14
ตารางที่ 2.6	สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมบางชนิด	17
ตารางที่ 2.7	แหล่งแทนนินในพืชและปริมาณของแทนนิน	26
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
ตารางที่ 3.1	สมบัติของเส้นด้ายไหม	45
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
ตารางที่ 4.1	ผลการสกัดสีจากมูลไหมและลูกหม่อน	58
ตารางที่ 4.2	ปริมาณคลอโรฟิลล์	60
ตารางที่ 4.3	ปริมาณแอนโทไซยานิน	62
ตารางที่ 4.4	ปริมาณแทนนิน	62
ตารางที่ 4.5	ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้ง	71
ตารางที่ 4.6	ค่า CIE L*a*b* เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมอบแห้ง	72
ตารางที่ 4.7	ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนอบแห้ง	76
ตารางที่ 4.8	เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนอบแห้ง	77
ตารางที่ 4.9	ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับผงสีมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม	81
ตารางที่ 4.10	ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับผงสีลูกหม่อนอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม	81
ตารางที่ 4.11	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แคนต์ก่อนการย้อม	83
ตารางที่ 4.12	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แคนต์พร้อมการย้อม	84

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่ 4.13	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม	85
ตารางที่ 4.14	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในขั้นตอนต่างกัน	86
ตารางที่ 4.15	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม	89
ตารางที่ 4.16	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม	90
ตารางที่ 4.17	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม	91
ตารางที่ 4.18	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในขั้นตอนต่างกัน	92
ตารางที่ 4.19	ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน	95
ตารางที่ 4.20	ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและผงสีจากลูกหม่อน เมื่อทดสอบความคงทนต่อการซัก	98
ตารางที่ 4.21	การติดเปื้อนสีจากเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมบนผ้าฝ้าย	98
ตารางที่ 4.22	ระดับการติดเปื้อนของผ้าขาวและการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหม เมื่อทดสอบความคงทนต่อการขัดถู	100
ตารางที่ 4.23	ระดับการติดเปื้อนของผ้าขาวและการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อน เมื่อทดสอบความคงทนต่อการขัดถู	101
ตารางที่ 4.24	ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	103
ตารางที่ 4.25	ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	103
ตารางที่ 4.26	ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	104
		104

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่ 4.27	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	
ตารางที่ 4.28	สีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	105
ตารางที่ 4.29	ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	106
ตารางที่ 4.30	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	107
ตารางที่ 4.31	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	107
ตารางที่ 4.32	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	108
ตารางที่ 4.33	สีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา	109

สารบัญภาพ

หัวข้อ		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
ภาพที่ 1.1	คลอโรฟิลล์	5
ภาพที่ 1.2	แอนโทไซยานิน	5
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างสี (ก) มอริโนโดน (ข) กรดคาร์มินิก (ค) กรดแลกคาอิก	11
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างสี (ก) จูโกลน (ข) ลอโซน	12
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของ (ก) คลอโรฟิลล์ เอ (ข) คลอโรฟิลล์ บี	13
ภาพที่ 2.4	การทำแห้งด้วยแสงแดด	20
ภาพที่ 2.5	การถ่ายเทความร้อนและมวลสารของวัสดุเมื่อตากแดดธรรมชาติ	21
ภาพที่ 2.6	ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	21
ภาพที่ 2.7	การทำแห้งด้วยความร้อน	22
ภาพที่ 2.8	การทำแห้งแบบพ่นฝอย	23
ภาพที่ 2.9	หลักการการทำแห้งด้วยความเย็น	23
ภาพที่ 2.10	วงจรชีวิตของหนอนไหม	33
ภาพที่ 2.11	ใบหม่อน	36
ภาพที่ 2.12	ดอกหม่อน	37
ภาพที่ 2.13	ผลหม่อน	37
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
ภาพที่ 3.1	มูลไหมและลูกหม่อนจากห้างหุ้นส่วนจำกัด เรือนไหม - ใบหม่อน	45
ภาพที่ 3.2	เส้นด้ายไหม	45
ภาพที่ 3.3	การสกัดน้ำสีจากลูกหม่อน (ก) การปั่นลูกหม่อนในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ข) น้ำสี	49
ภาพที่ 3.4	การสังเคราะห์เลคพิกเมนท์จากสีสกัดจากลูกหม่อน	50
ภาพที่ 3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของกรดแทนนิก	53
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
ภาพที่ 4.1	ลักษณะของ (ก) ผงสีมูลไหมอบแห้ง (ข) กากมูลไหม (ค) ผงสีลูกหม่อนอบแห้ง (ง) กากลูกหม่อน	59
ภาพที่ 4.2	สารละลายสำหรับตรวจวัดคลอโรฟิลล์ (ก) มูลไหม (ข) กากมูลไหม (ค) ผงสีจากมูลไหม	60

	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่ 4.3	คลอโรฟิลล์และอนุพันธ์	61
ภาพที่ 4.4	สารละลายสำหรับตรวจวัดแอนโทไซยานิน (ก) ลูกหม่อน (ข) กากลูกหม่อน (ค) ผงสีจากลูกหม่อน	61
ภาพที่ 4.5	สัณฐานวิทยาของผงสีสกัดจาก (ก) มูลไหม (ข) ลูกหม่อนจากการอบที่กําลังขยาย 100 เท่า	63
ภาพที่ 4.6	การวิเคราะห์ธาตุของผงสีสกัดจาก (ก) มูลไหม (ข) ลูกหม่อน	63
ภาพที่ 4.7	สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราการบ้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที	65
ภาพที่ 4.8	สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าสารต่างกัน (ก) 120 องศาเซลเซียส (ข) 140 องศาเซลเซียส (ค) 160 องศาเซลเซียส (ง) 180 องศาเซลเซียส	66
ภาพที่ 4.9	สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีนที่ (ก) 100: 0 (ข) 85: 15 (ค) 70: 30	67
ภาพที่ 4.10	สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราการบ้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที	68
ภาพที่ 4.11	สัณฐานวิทยาของผงสีลูกหม่อน เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าสารต่างกัน (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) 150 องศาเซลเซียส (ค) 170 องศาเซลเซียส	69
ภาพที่ 4.12	ลักษณะของผงสีลูกหม่อน เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีนที่ (ก) 80: 20 (ข) 60: 40	69
ภาพที่ 4.13	สัณฐานวิทยาของผงสีลูกหม่อน เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีนที่ (ก) 80: 20 (ข) 70: 30 (ค) 60: 40 (ง) 50: 50	70
ภาพที่ 4.14	ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม	71
ภาพที่ 4.15	ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม	73
ภาพที่ 4.16	ค่าความแดง (a*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม	73
ภาพที่ 4.17	ค่าความเหลือง (b*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม	74
ภาพที่ 4.18	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหมเมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 (ช) ร้อยละ 60 (ซ) ร้อยละ 70 (ณ) ร้อยละ 80 (ญ) ร้อยละ 90 (ฎ) ร้อยละ 100 (ฏ) ร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม	74
ภาพที่ 4.19	ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน	76

	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่ 4.20	ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน	78
ภาพที่ 4.21	ค่าความแดง (a*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน	78
ภาพที่ 4.22	ค่าความเหลือง (b*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน	79
ภาพที่ 4.23	สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อนเมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อม ที่ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 (ช) ร้อยละ 60 (ซ) ร้อยละ 70 (ฌ) ร้อยละ 80 (ญ) ร้อยละ 90 (ฎ) ร้อยละ 100 (ฏ) ร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม	79
ภาพที่ 4.24	กลไกการสลายตัวทางความร้อนที่เป็นไปได้ของแอนโทไซยานิน	80
ภาพที่ 4.25	กลไกที่เป็นไปได้ในการยิดโมเลกุลสีย้อม-ไหม-โคโคซาน	88
ภาพที่ 4.26	เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยเลคพิกมันท์ที่เตรียมจากลูกหม่อน	93
ภาพที่ 4.27	การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว	94
ภาพที่ 4.28	จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนเส้นด้ายไหม (ก) ที่ เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-2}	95
ภาพที่ 4.29	จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนเส้นไหมย้อมมูลไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}	95
ภาพที่ 4.30	จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนเส้นไหมย้อมลูกหม่อน (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}	96
ภาพที่ 4.31	จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนเส้นด้ายไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^0	96
ภาพที่ 4.32	จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนเส้นไหมย้อมมูลไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}	96
ภาพที่ 4.33	จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนเส้นไหมย้อมลูกหม่อน (ก) ที่ เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

บริษัท เนเชอรัล ฌิช จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตเส้นใย เส้นด้าย รวมถึงผ้าและผลิตภัณฑ์ผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ โดยยึดแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (eco product) คือ 4R ได้แก่ การลด (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) และการซ่อมบำรุง (repair) ในทุกขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิต จนกระทั่งการนำไปใช้ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้กระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากแนวความคิดของบริษัทฯ ที่ต้องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางบริษัทฯ จึงนำเศษรังไหมที่เหลือจากการสาวเส้นไหมเหลือในโรงงานสาวไหมมาเพิ่มมูลค่าโดยใช้การปั่นด้ายแบบปลายเปิด (open-end spinning) เพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีคุณภาพและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ประกอบกับแนวความคิดของบริษัทฯ ที่ต้องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทางบริษัทฯ จึงใช้การย้อมสีธรรมชาติ เช่น คราม มะปูด เข และคราม ในการย้อมเส้นด้ายไหมเหล่านี้

เนื่องจากการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งพบว่าการเลี้ยงไหมต้องมีการถ้ำมูลไหมทุกวันเพื่อป้องกันการทับถมของมูลไหมที่อาจทำให้เกิดความชื้น ความร้อนและอาจนำไปสู่การระบาดของโรคไหมได้ง่าย มูลไหมเหล่านี้เป็นของเหลือทิ้งจากการเลี้ยงไหมซึ่งในการเลี้ยงไหมแต่ละรอบจะมีมูลเหลือทิ้งไปจำนวนมาก ในปัจจุบันมีการพยายามนำมูลไหมเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เช่น ทำปุ๋ย (เจิมขวัญ ศรีสวัสดิ์. 2558.: ออนไลน์) นำไปใส่ในหมอน (sweet dream and silkworm poos. 2011.: online) และทำชา (Chou, T.Y. et al. 2018.: 41-46) นอกจากนี้ การปลูกหม่อนเพื่อนำใบหม่อนเป็นอาหารของหนอนไหม หม่อนชนิดนี้มีใบใหญ่และออกใบมากจึงใช้เป็นอาหารของหนอนไหมได้ดี แต่ผลหม่อนจะมีขนาดเล็ก เมื่อสุกแล้วมีรสเปรี้ยวใช้รับประทานได้แต่ไม่นิยมมากนักเมื่อเทียบกับหม่อนที่ปลูกเพื่อรับประทานผล จากเหตุผลที่กล่าวมา คณะนักวิจัยจึงมีความคิดที่จะนำมูลไหมและลูกหม่อนมาใช้ประโยชน์ในอีกทางหนึ่ง นั่นคือการนำมาย้อมเส้นด้ายไหม และพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีไหมจากมูลไหมและลูกหม่อนที่สามารถควบคุมคุณภาพของเฉดสีและมีความคงทนของสีได้โดยใช้มอร์แดนต์ธรรมชาติเพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาสีย้อมจากมูลไหมและลูกหม่อน
- 2) เพื่อศึกษาผลของการติดสีบนเส้นด้ายไหมด้วยการย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อน

- 3) เพื่อศึกษาชนิดของมอร์แดนต์ต่อการติดสีบนเส้นด้ายไหมด้วยการย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อน
- 4) เพื่อศึกษาความคงทนของสีบนเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมและลูกหม่อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้ศึกษาการย้อมเส้นด้ายไหมด้วยมูลไหมและลูกหม่อน มีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

- 1) เส้นด้ายไหมหม่อนปั่น เบอร์ 5Ne จากบริษัท เนเชอรัล นิช จำกัด
- 2) วัสดุสีธรรมชาติที่ใช้ในการย้อม คือ มูลไหมและลูกหม่อน
- 3) สารช่วยติดจากธรรมชาติและเคมีจำนวน 8 ชนิด โดยใช้สารช่วยติดก่อนย้อม พร้อมการย้อมและหลังย้อม ได้แก่ กรดแทนนิก กรดซิตริก ไคโตซาน วานหางจระเข้ เพอร์สซัลเฟต คอปเปอร์ซัลเฟต สแตนนัสซัลเฟต และโครเมียมซัลเฟต
- 4) ศึกษาการทำผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนโดยการอบแห้งและใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 5) ศึกษาปัจจัยในการย้อม ดังนี้
 - ผลของความเข้มข้นของสีต่อความเข้มและเฉดสีบนไหม
 - ผลของมอร์แดนต์ต่อความเข้มและเฉดสีบนไหม
- 6) ศึกษาความคงทนของสีบนเส้นด้ายไหมหม่อนปั่นที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมและลูกหม่อน โดยทดสอบความคงทนของสี ดังนี้
 - ความคงทนของสีต่อการซักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 3-2552)
 - ความคงทนของสีต่อการขัดถูตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 5-2552)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) ได้กรรมวิธีการย้อมสีจากลูกหม่อนและมูลไหมที่ได้มาตรฐาน
- 2) ได้สีย้อมลูกหม่อนและมูลไหมในรูปผง
- 3) ได้วัสดุสิ่งทอที่ย้อมด้วยสีลูกหม่อนและมูลไหมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติพิเศษ เช่น สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

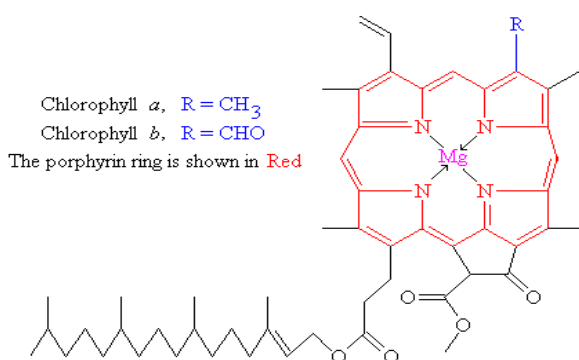
1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

กรอบแนวความคิดของการวิจัย

เกษตรกรไทยประกอบอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมมาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะการเลี้ยงแบบพื้นบ้านซึ่งชาวบ้านนิยมปลูกหม่อนบริเวณบ้านหรือสถานที่ใกล้เคียงเพื่อนำมาเลี้ยงหนอนไหมหม่อน จากนั้นนำรังไหมไปสาวไหมแล้วนำเส้นไหมที่ได้ไปทอเป็นผ้าเพื่อใช้ในครอบครัว

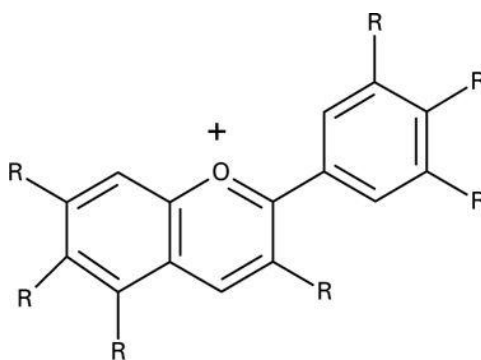
ต้นหม่อนเป็นพืชยืนต้นในตระกูล Moraceae โดยใบหม่อนสดประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 71.13-76.68 โปรตีนหยาบ (crude protein) ร้อยละ 4.72-9.96 แก้วร้อยละ 4.26-5.32 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.01-13.42 (Srivastava, S. *et al.* 2006.: 305-313) เป็นพืชอาหารที่พิเศษสุดสำหรับหนอนไหม (*Bombyx mori*) ซึ่งเป็นไหมบ้าน นิยมเลี้ยงโดยทั่วไป ใบหม่อน 108-120 กิโลกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นรังไหมได้ประมาณ 6-7 กิโลกรัม เมื่อสาวเป็นเส้นไหมจะได้ประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตไหมทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ และในครัวเรือนยังคงต้องปลูกหม่อนไว้สำหรับเลี้ยงไหม ซึ่งหม่อนที่ใช้ปลูกเพื่อการเลี้ยงไหมนั้น มีใบใหญ่และออกใบมาก ใช้เป็นอาหารของไหมได้ดี ส่วนผลจะออกเป็นช่อเล็ก เมื่อสุกแล้วจะมีรสเปรี้ยวจึงไม่นิยมกินผลหม่อน นอกจากนี้ ในขั้นตอนการเลี้ยงไหมต้องมีการถ่ายมูลไหมทุกวันเพื่อป้องกันการเกิดโรคระบาดของไหม ดังนั้น การใช้มูลไหมและลูกหม่อนให้เกิดประโยชน์ในด้านการย่อยสรีรจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ทรัพยากรในการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมให้เกิดประโยชน์สูงสุดและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วย

สารที่ให้สีเขียวในมูลไหมและลูกหม่อน คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) มีโครงสร้างทางเคมีตามภาพที่ 1.1-1.2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสารสีที่ละลายน้ำ มีความสามารถในการดูดซับเข้าเส้นใยดี แต่มีเสถียรภาพต่ำโดยเฉพาะเสถียรภาพต่อแสง



ภาพที่ 1.1 คลอโรฟิลล์

ที่มา: The molecule of the month. n.d.: online



ภาพที่ 1.2 แอนโทไซยานิน

ที่มา: Natta, G. 2014.: online

ปัญหาในการย้อมสีธรรมชาติส่วนใหญ่ คือ ควบคุมเฉดสียากและมีความคงทนต่ำ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาสีจากมูลไหมและลูกหม่อนให้อยู่ในรูปผงสีเพื่อการควบคุมเฉดสีได้ง่ายขึ้นและการย้อมสีโดยใช้มอร์แดนต์ธรรมชาติเพื่อเพิ่มความคงทนของสีย้อมจากมูลไหมและลูกหม่อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้มอร์แดนต์บางชนิด เช่น โคโคซาน ยังช่วยเพิ่มสมบัติด้านการต้านเชื้อแบคทีเรียให้กับวัสดุสิ่งทออีกด้วย

ขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

คัดเลือกมูลไหมจากหนอนไหมที่กินใบหม่อน ตากแดดให้แห้งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์และแทนนิน หาปัจจัยที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำสี เช่น อัตราส่วนต่อน้ำ (liquor ratio) อุณหภูมิ และ เวลาในการสกัด หาโปรไฟล์การย้อมเส้นด้ายที่เหมาะสม ทดสอบความคงทนของสีย้อม ทำฐานข้อมูลสูตรสีย้อมให้กับบริษัท เนเชอรัล ณิช จำกัด

1) การหาวิธีการย้อมสีมูลไหม

ตากแดดมูลหนอนไหมให้แห้ง ทดลองการเตรียมสีมูลไหมในรูปผงสี วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ หาโปรไฟล์การย้อมเส้นด้ายที่เหมาะสม ทดสอบความคงทนของสีย้อม ทำฐานข้อมูลสูตรสีย้อมให้กับบริษัท เนเชอรัล ณิช จำกัด

2) การหาวิธีการย้อมสีลูกหม่อน

คัดเลือกลูกหม่อนที่มีอายุใกล้เคียงกัน ล้างน้ำให้สะอาด ทดลองการเตรียมสีลูกหม่อนในรูปผงสี วิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน หาโปรไฟล์การย้อมเส้นด้ายที่เหมาะสม ทดสอบความคงทนของสีย้อม ทำฐานข้อมูลสูตรสีย้อมให้กับบริษัท เนเชอรัล ณิช จำกัด

3) การใช้มอร์แดนต์

ศึกษาชนิดของมอร์แดนต์ธรรมชาติต่อการติดสี เฉดสีและความคงทนของสีย้อมจากมูลไหมและลูกหม่อน ทดสอบสมบัติพิเศษของวัสดุสิ่งทอที่เตรียมได้ เช่น ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีธรรมชาติ

สีธรรมชาติ คือ สีที่สกัดได้จากวัตถุดิบที่มาจาก พืช สัตว์และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการตามธรรมชาติ แหล่งวัตถุดิบของสีธรรมชาติสามารถหาได้จากต้นไม้ ใบไม้ และจากบางส่วนของสัตว์หลายชนิด สามารถให้สีสันทตามที่ต้องการและด้วยกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสวยงามและสีสันทที่หลากหลาย

หนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่นิยมมากคือ สีย้อมวัสดุสิ่งทอ ซึ่งแหล่งวัตถุดิบสำหรับสีย้อมที่มักนำมาใช้กันมาก คือ พืช สัตว์และแร่ธาตุที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แหล่งวัตถุดิบที่นิยมใช้ทำสีธรรมชาติเพื่อย้อมวัสดุสิ่งทอ

แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ	ส่วนที่ให้สี	สีที่ได้
มะเกลือ	ผล	สีเทา สีดำ
เพกา	เปลือก	สีเขียวอ่อน สีเขียวขี้ม้า
ฝาง	แก่น ราก ฝัก	สีบานเย็น ชมพู แดงเลือดหมู สีเหลือง
ประดู่	เปลือก แก่น	สีม่วง สีแดงน้ำตาล
เข	แก่นไม้	สีเหลือง
ครั่ง	ตัว	สีแดง
คราม	ต้นและใบ	สีน้ำเงิน
ดอกคำฝอย	ดอก	สีแดง
ยอ	ราก เปลือก	สีแดง สีส้ม
หูกวาง	ใบ	สีทองอ่อน
สมอ	ผล เปลือก	สีดำ
ขนุน	แก่น ลำต้น	สีเหลืองอมส้ม
ขมิ้น	หัว	สีเหลือง
มะพร้าวแก่	เปลือก	สีน้ำตาล
มะพร้าวอ่อน	เปลือก	สีน้ำตาลชมพูอ่อน
นนทรี	เปลือก	สีน้ำตาลแกมเหลือง
คูณ	แก่นไม้	สีเหลือง
ลิ้นฟ้า	เปลือก	สีกาบ
มะเกลือ	ผล	สีดำ
มะขามเทศ	เปลือก	สีดำ

ที่มา: การย้อมผ้าสีธรรมชาติ. ม.ป.ป.: ออนไลน์ และ ศิริ ภาสูก. 2535.

2.1.1 ประเภทของสีย้อมธรรมชาติ

การแบ่งประเภทของสีธรรมชาติแบ่งได้หลายทาง การแบ่งประเภทในช่วงแรกสุด คือ การแบ่งตามลำดับตัวอักษรหรือชื่อตามพฤกษศาสตร์ ต่อมา มีการจัดแบ่งประเภทได้หลากหลายทาง เช่น ตามสี ส่วนประกอบทางเคมีหรือการใช้งาน

การแบ่งประเภทตามสี (Clark, M. 2011)

วิธีการนี้เป็นการแบ่งประเภทของสีธรรมชาติตามสีที่เกิดขึ้นบนเส้นใย

1) สีธรรมชาติสีเหลือง

สีเหลืองเป็นสัญลักษณ์ของการเติบโตและความสุขและเป็นสีที่มีมากที่สุด ในธรรมชาติซึ่งจำนวนของพืชที่ให้สีเหลืองมีปริมาณมากกว่าพืชให้สีอื่น สีเหลืองที่นิยมใช้มากที่สุดแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สีเหลืองธรรมชาติ

ประเภทของสี	ชื่อสามัญ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์
สีฟลาโวนอยด์	ดาวเรืองฝรั่งเศส	<i>Tagetes patula</i> , <i>Tagetes erecta</i>
	ทองกวาว	<i>Butea monosperma</i> , <i>Butea frondosa</i>
	ขนุน	<i>Artocarpus heterophyllus</i> , <i>integrifolia</i>
	หัวหอม	<i>Allium cepa</i>
	ลาร์คสปอร์เหลือง	<i>Delphinium zalil</i>
สีแคโรทีนอยด์	คำแสด	<i>Bixa orellana</i>
	หญ้าฝรั่น	<i>Crocus sativus</i>
	หางนกยูง	<i>Nyctanthes arbortristis</i>
	มะฮอกกานีอินเดีย	<i>Cedrela toona</i>
สีไดเอริลมีเทน	ขมิ้น	<i>Curcuma tinctoria</i> , <i>Curcuma longa</i>
	บาร์เบอร์รี่	<i>Barberis aristata</i> , <i>Berberis vulgaris</i>
ควินนอยด์	เทียนกิ่ง	<i>Lawsonia inermis</i>

ที่มา: Clark, M. 2011

2) สีธรรมชาติสีแดง

สีแดงบางชนิดสกัดได้จากรากและเปลือกของพืช ขณะที่บางชนิด เช่น โคควินิล พบอยู่ในร่างกายของแมลง สีแดงจากธรรมชาติเกือบทุกชนิดมีโครงสร้างพื้นฐานคือ ควิโนน (quinone) ซึ่ง

ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแอนทราควิโนน (anthraquinones) หรือแนฟโทควิโนน (naphthoquinones) ตัวอย่างสีแดงธรรมชาติที่ได้จากพืช สัตว์และแร่ธาตุ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สีแดงธรรมชาติที่สำคัญ

แหล่งกำเนิด	ชื่อสามัญ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์
จากพืช	คำฝอย	<i>Carthamus tinctorius</i>
	แมดเดอร์	<i>Rubia tinctorum</i>
	ฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i>
จากสัตว์	ครั่ง	<i>Laccifer lacca</i>
	โคชินีล	<i>Coccus cacti</i>
	เคอร์มิส	<i>Kermes vermilio</i>
จากแร่ธาตุ	ปรอทซัลไฟด์	Cinnabar

ที่มา: Clark, M. 2011

3) สีธรรมชาติสีน้ำเงิน

ตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติสีน้ำเงิน คือ ครามธรรมชาติ (natural indigo) และดอกไม้จากประเทศญี่ปุ่น ชื่อ หย้าน้ำค้าง (Tsuyukusa) ที่นิยมใช้ในการทำกระดาษ

4) สีธรรมชาติสีดำ

เมื่อชาวยุโรปค้นพบทวีปอเมริกาได้ใช้เปลือกของต้นลอกวูด (logwood) มาผลิตเป็นสีย้อมสีดำนับตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 และยังใช้สีดำนี้นในการย้อมไหมจนถึงปัจจุบัน สำหรับทวีปเอเชีย นิยมย้อมสีดำด้วยผลมะเกลือ ผลและเปลือกสมอและผลกระจาก

5) สีธรรมชาติสีน้ำตาล

สีย้อมสีน้ำตาลจากธรรมชาติมีโครงสร้างสีย้อมจากควิโนน แนฟโทควิโนนและแอนทราควิโนน โดยทั่วไปเกลือของทองแดงหรือเหล็กใช้เป็นสารช่วยติดและช่วยเปลี่ยนสีย้อมให้มีสีหม่นลง และมีเฉดสีเข้มขึ้นซึ่งตารางที่ 2.4 แสดงสีย้อมธรรมชาติสีน้ำตาลที่นิยมใช้

ตารางที่ 2.4 สีสันตามธรรมชาติที่นิยมใช้

ประเภทของสี	ชื่อสามัญ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์
แอนทราควิโนน	ครั่ง	<i>Laccifer lacca</i>
	แมคเดอร์	<i>Rubia tinctorum</i>
	โคชินีล	<i>Coccus cacti</i>
แนฟโทควิโนน	จันทน์แดง	<i>pterocarpus santalinus</i>

ที่มา: Clark, M. 2011

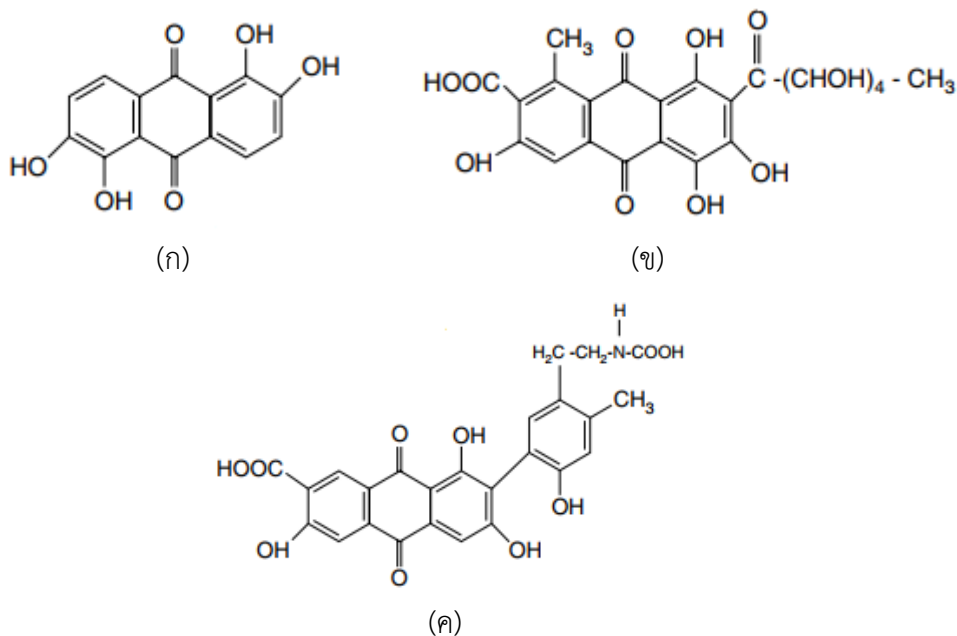
การแบ่งประเภทตามเคมีของสี (Clark, M. 2011; Dedhia, E.M. 1998)

สีที่พบในพืชส่วนใหญ่พบในส่วนใบ ดอก แก่น เปลือกและราก สีเหล่านี้สามารถสกัดออกจากพืชโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมซึ่งขึ้นกับเคมีของสีที่พบ ตัวอย่างของเคมีของสีมีดังนี้

1) แอนทราซีน (anthracenes)

แอนทราซีน ประกอบด้วยสองกลุ่มหลัก ได้แก่

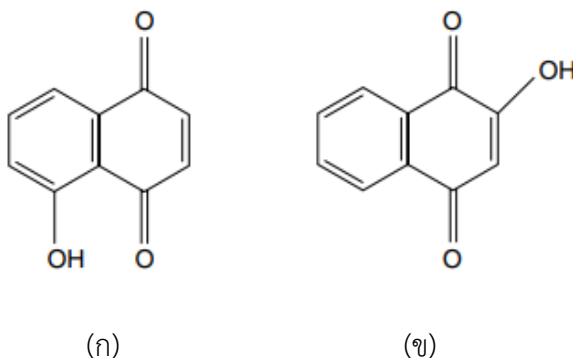
- แอนทราควิโนน ให้สีเหลือง ชมพูและแดง เช่น โคชินีลมีสารสี คือ กรดคาร์มินิก (carminic acid) ยอ (*Morinda citrifolia*) มีสารสี คือ มอรินโดน (morindone) และครั่ง มีสารสี คือ กรดแลกคาอิก (laccaic acid) (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างสี (ก) มอรินโดน (ข) กรดคาร์มินิก (ค) กรดแลกคาอิก

ที่มา: Clark, M. 2011

- แนนโทควิโนน ให้สีน้ำตาล ชมพูหรือม่วง เช่น วอลนัต (*Juglans regia*) มีสารสี คือ จูโกลน (juglone) เทียนกิ่งขาว (*Lawsonia inermis*) มีสารสี คือ ลอโซน (lawsone) ซึ่งโครงสร้างของสีแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างสี (ก) จูโกลน (ข) ลอโซน

ที่มา: Clark, M. 2011

2) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. ม.ป.ป.)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุสีเหลือง ส้ม แดงและส้ม-แดง พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ แคโรทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ แคโรทีน (carotene) เป็นรงควัตถุที่มีสีส้ม หรือส้ม-แดง และ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) มีสีเหลืองหรือส้ม-เหลือง บีตา-แคโรทีน (β -carotene) เป็นแคโรทีนอยด์หลักในสาหร่ายและพืชชั้นสูง

3) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) (ณัฐริกา ศิลาฉาย. 2548 และ กัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ. 2559)

สารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มหนึ่งของสารประกอบพอลิฟีนอล แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- ฟลาโวน (flavones) เป็นสารประกอบไม่มีสี เช่น อะจีพีนิน (agipenin) ลูเทโอลิน (luteolin) และไตรเซติน (tricetin)

- ฟลาโวนอล (flavonols) เกิดจากการที่มีหมู่ไฮดรอกซิลแทนที่ตำแหน่งที่ 3 ของสารประกอบฟลาโวน เป็นสารสีที่ให้สีเหลืองอ่อน พบในพืชจำพวกกะหล่ำดอก กระเทียม ขิง มันฝรั่ง และลูกเดี๋ย

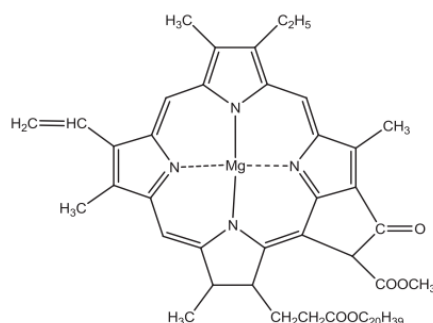
- แอนโทไซยานิดินส์ (anthocyanidins) มีสีน้ำเงิน ม่วงและแดง โดยเมื่อแอนโทไซยานิดินส์รวมตัวกับโมเลกุลน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานิน (anthocyanin) แอนโทไซยานินเป็น

สารสีที่ให้สีม่วง-น้ำเงิน ละลายน้ำ พบในดอกไม้ ผัก ผลไม้ เช่น ดอกอัญชัญ กะหล่ำปลีม่วง มะเขือม่วง และบลูเบอร์รี่

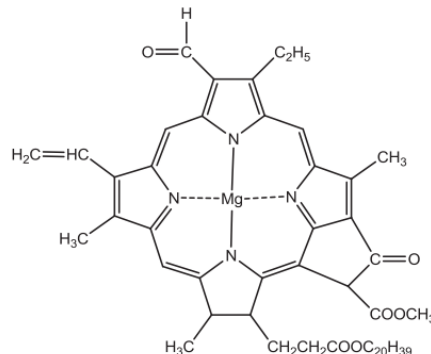
4) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในทุกส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช ในสาหร่ายและในแบคทีเรียบางชนิด โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) จำนวน 4 วง และมีอะตอมที่ศูนย์กลางเป็นแมกนีเซียม นอกจากนี้ คลอโรฟิลล์ยังสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ (ขวัญชนก ศรีทาสุข. 2556)

- คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ (ภาพที่ 2.3 (ก))
- คลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวแกมเหลือง พบได้ในพืชชั้นสูงและสาหร่ายสีเขียว (ภาพที่ 2.3 (ข))
- คลอโรฟิลล์ ซี ไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบในสาหร่ายชนิดต่าง ๆ เช่น สาหร่ายสีน้ำตาลและสีทอง
- คลอโรฟิลล์ ดี ไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบในสาหร่ายสีแดงรวมทั้งแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) คลอโรฟิลล์ เอ (ข) คลอโรฟิลล์ บี

ที่มา: Al-Alwani, M.A.M. et al. 2016

การแบ่งประเภทตามแหล่งกำเนิด (Vankar, P.S. 2016)

สีธรรมชาติแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 3 ประเภท คือ พืช แร่ธาตุและสัตว์ สีธรรมชาติจากพืชประมาณ 500 ชนิด ได้จากราก ใบ เปลือก ผล ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติบางประเภทที่ได้จากพืช

ส่วนของพืช	แหล่งสีย้อม
ราก	ขมิ้น บิทรุต
เปลือกลำต้น	ฝาง
ใบ	คราม ชา ตะไคร้ ยูคาลิปตัส
ดอก	ดาวเรือง
ผล เมล็ด	เปลือกทับทิม

ที่มา: Vankar, P.S. 2016

สีจากแร่ธาตุเป็นสีที่เกิดจากสารประกอบของโลหะจำพวกเหล็ก โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดงและนิกเกิล ซึ่งในอดีตเป็นกลุ่มสีที่มีความสำคัญมาก แต่ในปัจจุบันไม่ปรากฏแหล่งผลิตและการใช้สีกลุ่มนี้ สำหรับในประเทศไทยยังมีการใช้สีย้อมธรรมชาติจากแร่ธาตุในการย้อมสีสิ่งทอ เช่น การใช้สีจากโคลนและดินแดงซึ่งเป็นวัสดุที่มีสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกตและสารประกอบโลหะอยู่ ส่วนสีจากสัตว์ เป็นสารสีที่ได้จากสารที่ขับออกจากตัวสัตว์หรือตัวสัตว์เอง ตัวอย่างเช่น ครั่ง โดยครั้งจะดูดกินน้ำเลี้ยงของต้นไม้แล้วขับสารสีแดงที่เรียกว่า ยางครั่ง ออกมาหุ้มรอบตัวเป็นรัง และใช้สารสีแดงนี้ในการย้อมสีวัสดุสิ่งทอ (วัตถุดิบย้อมสีธรรมชาติ. 2554.)

การแบ่งประเภทตามวิธีการใช้งาน (Gulrajani, M.L. and Gupta, D. 1992 และ เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอกาส, 2539)

1) สีมอร์แดนต์ (mordant dyes) เป็นสีที่ต้องการมอร์แดนต์ในการใช้งาน เนื่องจากไม่มีการยึดติดกับเส้นใยที่นำมาย้อม สีมอร์แดนต์ควรมีหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนเพื่อสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเกลือโลหะได้ สีที่ได้จากการย้อมนี้มีความคงทน ไม่ซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่นิยมมีอยู่มาก เช่น การใช้ น้ำสกัดจากพืชที่มีแทนนิน เช่น ใบยูคาลิปตัส เปลือกทับทิม เปลือกเพกา เปลือกผลคำแสดและลูกหมาก สำหรับการย้อมสีเคมีต่าง ๆ เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต กรดแลกติกและกรดแทนนิก

2) สีแวต (vat dyes) โดยทั่วไปการย้อมประเภทนี้ เหมาะกับสีที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมต้องรีดิวซ์สีย้อมให้ละลายน้ำได้ แล้วจึงนำเส้นใยลงไปย้อม จากนั้นนำเส้นใยที่ย้อมแล้วไปออกซิไดซ์กับอากาศ หรือสารเคมีให้กลับอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้โมเลกุลของสียึดเกาะอยู่ภายในกับเส้นใย

3) สีไดเรกต์ (direct dye) การย้อมแบบนี้โมเลกุลของสีเกิดพันธะกับเส้นใยโดยตรง ถ้าเป็นเส้นใยในกลุ่มเซลลูโลส ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ

โมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนเส้นใยในกลุ่มโปรตีนมีหมู่อะมิโนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทั้งหมู่กรดและหมู่เบส ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออนิก

4) สีแอซิด (acid dyes) โมเลกุลของสีมีทั้งหมู่ซัลโฟนิคและหมู่คาร์บอกซิลิกซึ่งเกิดพันธะอิเล็กโตรวาเลนต์ (electrovalent bond) กับหมู่อะมิโนของขนสัตว์และไหม

5) สีดีสเพิร์ส (disperse dyes) สีดีสเพิร์สมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและความสามารถในการละลายต่ำ สีดีสเพิร์สใช้ย้อมบนเส้นใยสังเคราะห์ที่ไม่ชอบน้ำได้จากค่าพีเอชเป็นกลางจนถึงกรดอ่อน สีเหล่านี้ย้อมกับไหมและขนสัตว์ได้และสามารถย้อมมอร์แดนต์หลังการย้อม (post-mordanted) กับโครเมียม ทองแดงและดีบุก

6) สีเบสิก (basic dyes) ให้สีประจวบที่เกิิดพันธะอิเล็กโตรวาเลนต์กับหมู่คาร์บอกซิลิกกับขนสัตว์และไหมได้ สีเหล่านี้มีความคงทนต่อแสงต่ำ

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของสีธรรมชาติ

ในหลายปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มในการฟื้นฟูศิลปะการย้อมสีธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากสีย้อมธรรมชาติมีข้อดีที่เหนือกว่าสีสังเคราะห์ ซึ่งข้อดีกับข้อจำกัด (ข้อเสีย) ของสีธรรมชาติมีดังนี้ (Kumbasar, E.A. 2011; Sid, N. and EL-Hawary, S. 2019)

ข้อดีของสีธรรมชาติ

- 1) เฉดของสีย้อมที่ได้ เป็นสีอ่อนและอ่อนโยนต่อสายตามนุษย์
- 2) สีธรรมชาติเตรียมได้หลากหลายโดยการผสม การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของเทคนิคการย้อมสีหรือการใช้มอร์แดนต์ในการย้อมสีเดียวกันสามารถเปลี่ยนเฉดสีได้ ซึ่งทำได้ยากสำหรับสีสังเคราะห์
- 3) สีธรรมชาติสามารถเตรียมสีที่หาได้ยากได้
- 4) สีธรรมชาติโดยทั่วไปเป็นพวกพืชที่สามารถเกิดใหม่ได้และย่อยสลายได้
- 5) ข้อเสียในกระบวนการ สามารถใช้เป็นปุ๋ยได้ในงานเกษตรกรรม
- 6) พืชหลายชนิดเจริญเติบโตได้ดีในที่รกร้าง ดังนั้นการใช้ประโยชน์ในพื้นที่รกร้างเป็นการเพิ่มคุณค่าให้สีธรรมชาติ
- 7) อุตสาหกรรมนี้ต้องใช้แรงงานมาก จึงเป็นการสร้างโอกาสในการทำงานและรายได้
- 8) การใช้สีธรรมชาติมีความเป็นไปได้ในการได้รับเครดิตคาร์บอน (Carbon credit) เนื่องจากการลดการใช้สีสังเคราะห์ที่ทำจากปิโตรเลียม
- 9) ค่อนข้างปลอดภัยต่อผิวหนังและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์
- 10) สีธรรมชาติบางชนิดมีสีเข้มขึ้นตามเวลา ในขณะที่สีสังเคราะห์จะจางลงตามเวลา
- 11) เมื่อสีธรรมชาติตก สีจะไม่ติดกับผ้าชนิดอื่น

12) สีสรรมาชาติโดยทั่วไปป้องกันมอดได้และใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ในเสื้อผ้าเด็ก

ข้อเสียของสีธรรมชาติ

- 1) เป็นเรื่องยากที่จะทำให้เฉดสีเดิมซ้ำ เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบทางการเกษตรซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สถานที่และสายพันธุ์
- 2) เป็นเรื่องยากที่จะกำหนดสูตรสำหรับการใช้สีธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติและการพัฒนาของสีขึ้นกับองค์ประกอบของสีและวัสดุนั้น
- 3) การย้อมสีธรรมชาติต้องใช้ฝีมือและมีราคาแพงเนื่องจากแหล่งสีธรรมชาติให้สีปริมาณน้อยดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณสีสูงกว่า เวลาการย้อมนานกว่าและต้นทุนการใช้มอร์แดนต์
- 4) ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีธรรมชาติต้องมีการสำรวจ
- 5) ขาดความพร้อมทางเทคนิคในการสกัดและการย้อม
- 6) สีของวัสดุสิ่งทอย้อมสีธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกแสง เหงื่อและอากาศ
- 7) สีธรรมชาติเกือบทุกชนิดต้องใช้มอร์แดนต์เพื่อยึดติดสีกับวัสดุสิ่งทอ มอร์แดนต์อาจตกค้างในอ่างย้อมในขณะที่ย้อมและอาจก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดทิ้ง

2.1.3 การสกัดสี

การสกัดสีจากแหล่งสีธรรมชาติเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการย้อมสีบนวัสดุสิ่งทอ และการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการสกัดสีและการปรับตัวแปรการสกัดสีให้เหมาะสมสำหรับวัสดุ นั้นมีความสำคัญทางเทคนิคและทางเชิงพาณิชย์ทั้งในด้านผลผลิตของสีที่สกัดได้ ต้นทุนกระบวนการสกัดสีและต้นทุนการย้อม สีย้อมจากธรรมชาติได้จากวัตถุดิบที่มาจากทั้งพืช สัตว์และแร่ธาตุซึ่ง จำเป็นต้องแยกองค์ประกอบของสีที่มีอยู่ในแหล่งเหล่านี้ออกเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานบนวัสดุสิ่งทอ โดยตัวอย่างวิธีการสกัดสีย้อมจากธรรมชาติมีดังนี้

การสกัดสีโดยใช้น้ำ (aqueous extraction system) (Clark, M. 2011; Adinoyi, B.J. et al. 2015)

วิธีนี้ใช้ในการสกัดสีจากพืชและวัสดุอื่น ๆ และยังเป็นที่ยอมรับใช้กันในปัจจุบัน สำหรับ ขั้นตอนการสกัดสีโดยใช้น้ำที่เหมาะสม คือ นำวัสดุที่ต้องการสกัดสีที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผงจากนั้น นำไปสกัดสีในน้ำโดยใช้สภาวะที่แตกต่างกัน เช่น เวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ค่าพีเอช และปริมาณของวัสดุที่ต้องการสกัดต่อปริมาตรของน้ำ ซึ่งอาจหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีได้จากการวัดค่าการดูดซับที่ความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีที่สกัดได้โดยใช้เครื่องยูวี วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตัวอย่างสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีด้วยน้ำแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมบางชนิด

แหล่ง ธรรมชาติ	ลักษณะของ วัสดุ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	อัตราส่วน วัสดุต่อน้ำ	พีเอช	ร้อยละผลผลิตโดย น้ำหนักต่อน้ำหนัก
เปลือก ทับทิม	วัสดุแห้งและบด ให้เป็นผง	90	45	1: 20	11	40
แก่นขนุน	วัสดุแห้งและบด ให้เป็นผง	100	30	1: 20	11	40
แก่นไม้ จันทน์	ผง	80	90	1: 20	4.5	40
กระถิน	เปลือกไม้ตาก แห้งบดเป็นผง	100	120	1: 20	11	40
ดาวเรือง	กลีบดอกแห้ง บดเป็นผง	80	45	1: 20	11	40

ที่มา: Chakraborty, J.N. 2014

เมื่อครบกำหนดเวลาในการสกัดสีย้อมแล้ว กรองสารละลายสีย้อม โดยกากที่เหลือสามารถนำไปเลี้ยงสัตว์หรือทำปุ๋ยได้ ส่วนน้ำสีที่ผ่านการกรองก็ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการสกัดสีนาน ใช้พลังงานและน้ำในปริมาณสูงและได้ร้อยละผลผลิตของสีต่ำ

การสกัดสีย้อมด้วยกรดและด่าง (acidic and alkali methods)

วิธีการสกัดนี้มีความเป็นไปได้ ดังนั้นสีย้อมจำนวนมากจึงอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ (glycosides) การใช้กรดและด่าง เช่น กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมคาร์บอเนตช่วยในการไฮโดรไลซิส ไกลโคไซด์ได้สะดวกขึ้น ดังนั้นจึงช่วยให้การสกัดสีดีขึ้นและได้ผลผลิตของสีสูงขึ้น (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

Zhang, X. and Laursen, R.A. (2005) พยายามปรับปรุงการสกัดสีย้อมให้มีความเหมาะสมที่อ่อนลง โดยใช้เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA) และกรดฟอร์มิก แทนการใช้กรดไฮโดรคลอริก ผลการทดลองพบว่าการสกัดสีย้อมโดยใช้ EDTA และกรดฟอร์มิก ให้ข้อมูลของสีได้มากกว่าการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก Kumar, R. et al. (2016) สกัดสีย้อมจากผลคำสดโดยใช้การสกัดสีย้อมในสภาวะต่าง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ใช้อัตราส่วนของวัสดุที่ 8.5 กรัมต่อน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร โซเดียมคาร์บอเนต 0.3 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการสกัด 70 นาที

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (solvent method)

สีจากแหล่งธรรมชาติสามารถสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น เอทานอล คลอโรฟอร์ม อะซิโตน เมทานอลหรือของผสมของตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอลผสมเมทานอล หรือการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ผสมน้ำ ร้อยละผลผลิตที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีนี้สูงกว่าการสกัดโดยใช้การใช้น้ำ Miah, M.R. et al. (2016) ศึกษาการใช้ตัวทำละลายสองชนิดในการสกัดสีจากเปลือกหัวหอม ผลการทดลองพบว่าการย้อมสีขนสัตว์ด้วยสีที่สกัดจากเมทานอลให้สีที่เข้มกว่าการสกัดสีโดยใช้การใช้น้ำ

การสกัดโดยใช้เอนไซม์ (enzymatic method)

ในการสกัดสีสามารถใช้เอนไซม์ที่มีขายทางการค้าได้ เช่น เซลลูเลส (cellulase) อะไมเลส (amylase) และเพกตินเนส (pectinase) ซึ่งการใช้เอนไซม์ในการสกัดมีข้อดี คือ เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยา และเอนไซม์ทำงานภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงทั้งอุณหภูมิ ความดันและค่าพีเอชดังนั้นจึงลดการใช้พลังงานลงได้ (Sid, N. and EL-Hawary, S., 2019)

การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic method)

มีหลายงานวิจัยที่พบว่าการใช้อัลตราโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสีและช่วยลดเวลา อุณหภูมิและปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้ เนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์เป็นคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรซ์ ทำให้เซลล์พืชแตกออกจึงช่วยเร่งการปลดปล่อยสารต่าง ๆ ออกจากเซลล์ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น (ชุดิมา วันเพ็ญ และคณะ 2556)

อรัญญา พรหมกุล และคณะ (2558) ศึกษาผลของการใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการสกัดแอนโทไซยานินจากกากเม่า พบว่าการสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกให้ร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินสูงกว่าการไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก การสกัดแอนโทไซยานินจากกากเม่าที่กำลังคลื่นอัลตราโซนิกระดับสูงให้ปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดและได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกถึง 1.3 เท่า

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave method)

วิธีนี้เป็นการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วง 3×10^2 ถึง 3×10^5 เมกะเฮิรซ์ ร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์เพียงเล็กน้อยในการสกัดสี คลื่นไมโครเวฟช่วยให้เกิดการสกัดสีได้ในเวลาสั้น (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

คลื่นไมโครเวฟจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลมีขั้วทำให้คลื่นไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนทิศทางการรวดเร็ว โมเลกุลมีขั้วพยายามจัดเรียงตัวใหม่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจึงเกิดการชนกันและมีความร้อนเกิดขึ้น สำหรับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วและไม่มีหมู่แทนที่สามารถเกิดโพลาไรซ์ได้และเกิดความร้อนได้น้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดในระดับโมเลกุลบริเวณเล็ก ๆ โกลัณวิสต์และเกิดการนำความร้อนไปยังบริเวณพื้นที่ที่เหลือ ดังนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถทำให้ร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ

กลไกการทำงานของสารสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ เริ่มจาก ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ส่งตรงไปที่วัสดุซึ่งเป็นของแข็ง ความร้อนในชั้นแรกทำให้โมเลกุลของน้ำในของแข็งร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว โมเลกุลของน้ำที่ได้รับความร้อนระเหยเป็นไอทำให้ความดันไอสูงและความดันไอที่เกิดขึ้นทำให้เซลล์ แตก

อดิศักดิ์ หมั่นเกียง และคณะ (2558) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากมะเขือโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมด้วย ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากมะเขือ คือ อัตราส่วนมะเขือสดต่อตัวทำละลายคือ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้กำลังไมโครเวฟ 439.36 วัตต์ เวลาในการสกัด 182.58 วินาทีและความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 60.37

การสกัดด้วยการหมัก (fermentation method)

วิธีนี้เป็นการใช้เอนไซม์ที่สร้างจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในบรรยากาศเพื่อช่วยในการสกัด วิธวิธีการหมัก คือ การนำสารที่ต้องการสกัดไปบดแล้วใส่ในภาชนะปิด จากนั้นเติมด้วยตัวทำละลายที่ต้องการสกัด ตั้งทิ้งไว้ 3-7 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา กรองน้ำสารสกัดออก (อารีรัตน์ ชื่อดี. 2560)

การสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด (supercritical fluid extraction method)

เนื่องจากกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น การสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด (supercritical fluid extraction) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งเป็นทางเลือกแทนการสกัดสารด้วยตัวทำละลายธรรมดา วิธีนี้ประสบความสำเร็จในการสกัดสารประกอบอินทรีย์จากสมุนไพรต่าง ๆ รวมทั้งการสกัดสีธรรมชาติจากแหล่งวัตถุดิบ

การสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการสกัดสี เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์หาได้ง่าย ราคาถูก ไม่เป็นพิษ ใช้ต้นทุนพลังงานต่ำ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ไวไฟและไม่ก่อให้เกิดสารตกค้าง (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

Vankar, P.D. et al. (2002) ใช้การสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวดในการสกัดสีธรรมชาติจากเปลือกยูคาลิปตัส Chatterjee, D. et al. (2013) สกัดสีจากเปลือกมะเขือม่วงโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวดในการสกัด พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีคือ การใช้กรดซิตริกปริมาณ 10 กรัมในการปรับปรุงผิวเปลือกมะเขือม่วงก่อน จากนั้นสกัดสีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล โดยใช้เวลาในการสกัดนาน 1.5 ชั่วโมง ใช้อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 0.2 ลิตรต่อนาที

2.2 การทำแห้ง

ภายหลังการสกัดสีจากวัสดุธรรมชาติ สีจะอยู่ในรูปของสารละลาย จึงต้องอาศัยวิธีการทำแห้ง เพื่อแยกสารละลายที่ใช้ในการสกัดออกเพื่อให้ได้ผงสีที่มีความชื้นต่ำเหมาะแก่การเก็บรักษา

2.2.1 วิธีการทำแห้ง

การทำแห้งทำได้ 5 วิธี คือ

การทำแห้งด้วยแสงแดด (sun drying)

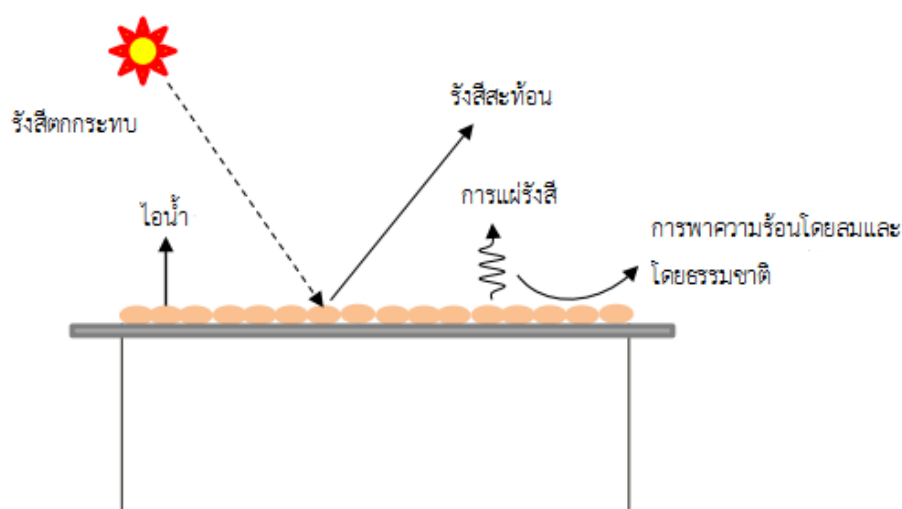
วิธีนี้เป็นวิธีที่เก่าแก่ ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียคือเป็นวิธีที่ขึ้นกับสภาพอากาศและอาจมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์สูง หากแสงแดดไม่เพียงพออาจเกิดการเน่าเสียได้ (ภาพที่ 2.4) (อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และ อมรชัย อารมณ์วิชานพ. 2557)



ภาพที่ 2.4 การทำแห้งด้วยแสงแดด

ที่มา: sicilian gastronomy. n.d.

หลักการในการทำให้วัสดุแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ คือ เมื่อรังสีตกกระทบวัสดุ รังสีบางส่วนสะท้อนออกภายนอก บางส่วนถูกดูดกลืนและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้น้ำในวัสดุระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 2.5) นอกจากนี้ ความร้อนที่เกิดขึ้นบางส่วนสูญเสียไปโดยการพาความร้อนตามธรรมชาติ โดยลมและการแผ่รังสีสู่สิ่งแวดล้อมจึงทำให้กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการสูญเสียความร้อนมาก (เสริม จันทร์ฉาย. 2560)



ภาพที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนและมวลสารของวัสดุเมื่อตากแดดธรรมชาติ

ที่มา: เสริม จันทรฉาย. 2560

การทำแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ (solar drying) (เสริม จันทรฉาย. 2560)

จากปัญหาของการทำแห้งด้วยแสงแดด นักวิจัยด้านพลังงานรังสีอาทิตย์จึงพัฒนาอุปกรณ์ “เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์” ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ในการทำแห้ง โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนรับรังสีอาทิตย์และส่วนวางผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. ม.ป.ป.

วิธีนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และใช้พลังงานความร้อนไประเหยน้ำออกจากวัสดุ น้ำที่ระเหยจากวัสดุจะลอยตัวและไหลออก อากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่เกิด

การหมุนเวียนภายในตู้อบ การทำแห้งวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อย ช่วยให้การทำแห้งเร็วขึ้นกว่าการตากแดดทั่วไป สามารถป้องกันฝนและแมลงได้ และเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยมา

การทำแห้งด้วยความร้อน (hot air drying)

วิธีนี้เป็นการปรับปรุงการทำแห้งด้วยแสงแดดโดยใช้อุปกรณ์ช่วยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งและมีความชื้นที่เหมาะสม การตากแห้งวิธีนี้ช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดด การทำแห้งโดยวิธีนี้มักใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่านทำให้ไอน้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายภายในตู้อบ (อาทิตยา พัฒนิบุลย์ และ อมรชัย อาภรณ์วิชานพ. 2557) (ภาพที่ 2.7)

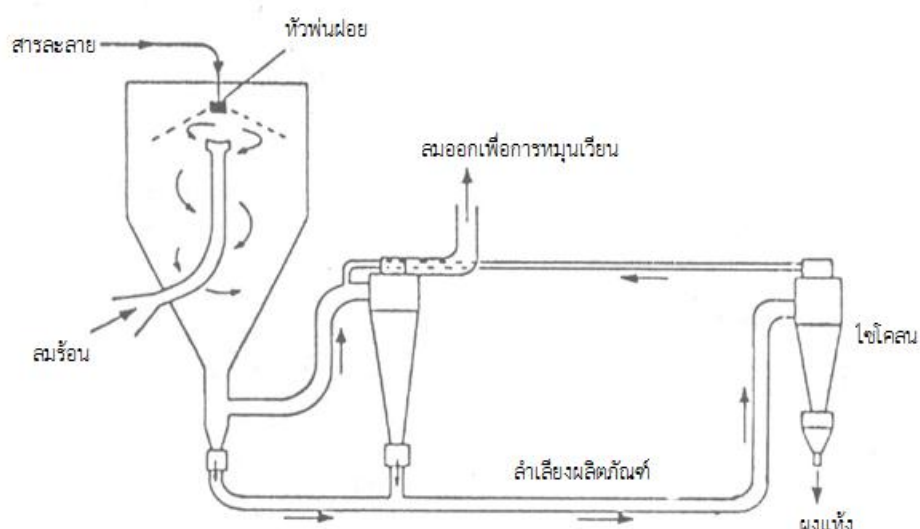


ภาพที่ 2.7 การทำแห้งด้วยความร้อน

ที่มา: การอบแห้ง. 2558

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

วิธีนี้เป็นการทำแห้งวัสดุที่เป็นของเหลวเป็นละออง โดยความชื้นในของเหลวจะระเหยออกอย่างรวดเร็ว หลังจากทีวัสดุถูกพ่นฝอยเข้าไปในกระแสนลมร้อนภายในห้องอบแห้ง ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงแห้งตกลงสู่ภาชนะรองรับ (ภาพที่ 2.8)

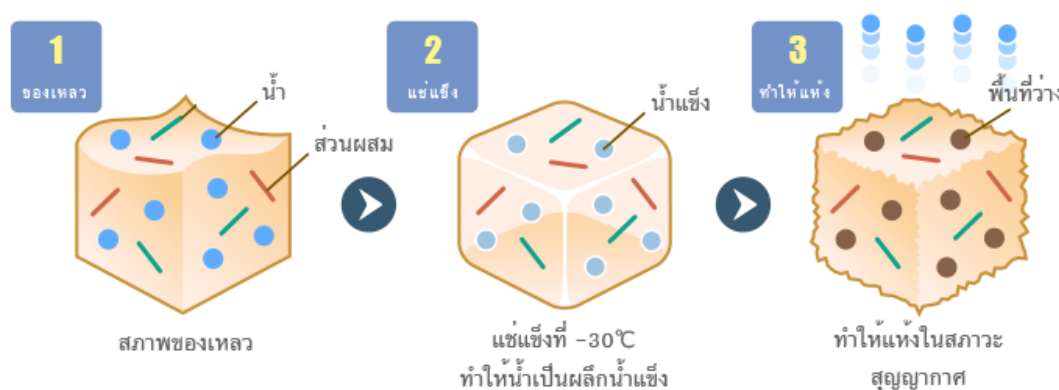


ภาพที่ 2.8 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: หลักการผลิตอาหารเบื้องต้น. 2562.

การทำแห้งด้วยความเย็น (freeze drying)

วิธีนี้เป็นการทำแห้งโดยการระเหิด (ภาพที่ 2.9) คือ น้ำระเหิดออกจากวัสดุในสภาวะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นรูพรุน โปร่ง คงรูปร่างเดิมได้ดี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 2.0 และสามารถดูดน้ำกลับสู่สภาพเดิมได้ง่าย (อาทิตย์ยา พัฒนิบูลย์ และ อมรชัย อาภรณ์ วิชา นพ. 2557) การทำแห้งด้วยวิธีนี้สามารถรักษาคุณภาพของวัสดุ เช่น สี กลิ่น รสชาติได้ดีเมื่อเทียบกับ การทำแห้งแบบพ่นฝอยหรือลมร้อน



ภาพที่ 2.9 หลักการการทำแห้งด้วยความเย็น

ที่มา: เทคนิคการถนอมอาหาร: กระบวนการอบพรีชดราย. ม.ป.ป.

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง (ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง. ม.ป.ป.)

ลักษณะของวัสดุ

วัสดุที่มีรูพรุนจะมีอัตราการอบแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในวัสดุสามารถเคลื่อนที่จากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้ วัสดุที่มีพื้นผิวมากมีอัตราการอบแห้งได้เร็วขึ้นเช่นกัน

ขนาดและพื้นที่ผิวของวัสดุ

วัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีพื้นที่ระเหยน้ำมาก ทำให้มีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นวัสดุที่มีความหนามาก อัตราการอบแห้งจะช้ากว่าวัสดุที่มีความหนาน้อย

ปริมาณของวัสดุที่อบแห้ง

วัสดุที่ต้องการอบแห้งในปริมาณมากมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าวัสดุที่ต้องการอบในปริมาณน้อย เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุได้อย่างทั่วถึง

อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนช่วยให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

ความเร็วของอากาศร้อน

อากาศร้อนทำหน้าที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากวัสดุ ดังนั้น เมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดได้ดีขึ้นจึงทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

ความดัน

การทำแห้งภายใต้ความดันช่วยให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.3 มอร์แดนต์

สารที่สร้างสัมพันธภาพของสีย้อมกับเส้นใยสิ่งทอซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลสีย้อมกับเส้นใย โดยทั่วไป เส้นใยเซลลูโลสไม่มีสัมพันธภาพที่ดีมากกับสีย้อมธรรมชาติเมื่อเทียบกับเส้นใยโปรตีน ดังนั้นจึงมีการเพิ่มขั้นตอนอีกขั้นหนึ่งขึ้นมา คือ การใช้มอร์แดนต์ (mordanting) ซึ่งมอร์แดนต์ หมายถึง วัตถุธาตุที่ใช้ผสมสีเพื่อให้สีติดแน่นกับผ้าที่ย้อม นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว มอร์แดนต์ยังช่วยทำให้สีย้อมธรรมชาติเปลี่ยนเฉดสีได้หลากหลายเฉดสีและป้องกันการตกสี (bleeding) และสีจางลง (fading) ได้

สีย้อมธรรมชาติที่มีสัมพันธภาพกับเส้นใยได้โดยไม่ต้องใช้มอร์แดนต์ เรียกว่า สีจับสแทนทีฟ (substantive dye) ในขณะที่สีย้อมที่ไม่มีสัมพันธภาพกับเส้นใยและต้องการใช้มอร์แดนต์ เรียก สีแอดดิทีฟ (additive dye) (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

2.3.1 ชนิดของมอร์แดนต์

มอร์แดนต์โลหะ

ในการย้อมสีธรรมชาติอาจใช้เกลือโลหะของเหล็ก ทองแดง ดีบุก โครเมียมและอะลูมิเนียมเป็นมอร์แดนต์ได้ สารส้มและเหล็กเป็นมอร์แดนต์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากพบในธรรมชาติจำนวนมาก ส่วนการใช้ดีบุกเป็นมอร์แดนต์นั้น ไม่ได้ถูกจำกัดโดยฉลากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่การที่พบดีบุกในน้ำทิ้งก็ไม่ใช่สิ่งที่ต้องการจากมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน นอกจากนี้โครเมียมและทองแดงอยู่ในบัญชีแดงภายใต้กฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงไม่ควรใช้มอร์แดนต์สองตัวนี้ในกรณีที่ต้องการรักษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การใช้ทองแดงเป็นมอร์แดนต์มีขีดจำกัดการใช้งานที่สูงกว่าโครเมียมจึงสามารถใช้ทองแดงในปริมาณน้อยเป็นมอร์แดนต์ได้โดยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

- 1) สารส้ม ช่วยจับยีสต์กับเส้นด้ายและช่วยให้สีสว่างขึ้น มักใช้กับการย้อมสีน้ำตาล-เหลือง-เขียว
- 2) จุนสี ช่วยให้สีติดและเข้มข้น ใช้กับการย้อมสีเขียว-น้ำตาล ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้มอร์แดนต์ทองแดง คือ ไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการตกค้าง ของทองแดงในน้ำทิ้งหลังการย้อมได้
- 3) เฟอร์รัสซัลเฟต เหล็กช่วยให้สีติดเส้นด้ายและช่วยเปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติเดิมจากพืชเป็นสีโทนเทา-ดำ ซึ่งมอร์แดนต์เหล็กมีข้อดี คือ สามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ แต่มีข้อควรระวังคือ ไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพราะเหล็กจะทำให้เส้นด้ายเปื่อย

มอร์แดนต์น้ำมัน

ในอดีต มีการใช้น้ำมันละหุ่ง (caster oil) และน้ำมันงา (til oil) เป็นมอร์แดนต์ ต่อมาภายหลังมีการใช้น้ำมันละหุ่งซัลโฟเนต (sulphonated caster oil) แทน (Adinoyi, B.J. et al. 2015)

แทนนิน

แทนนินเป็นสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ละลายในน้ำ ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโปรตีนกับโมเลกุลขนาดใหญ่อื่น ๆ ได้ สารแทนนินจะมีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชที่มีรสฝาดและขม เช่น ลูกหมาก เปลือกเพกา เปลือกสีเสียด เปลือกผลทับทิม เปลือกประดู่และใบยูคาลิปตัส แทนนินอาจอยู่ในรูปของกรดแทนนิกได้ แทนนินเกิดพันธะกับโมเลกุลของเส้นใยทั้งไฮโดรเจน ไอออนิกหรือพันธะโควาเลนต์ได้ขึ้นกับหมู่ฟังก์ชันบนโมเลกุลของเส้นใย (Adinoyi, B.J. et al. 2015) แทนนินบางชนิดเกิดพันธะกับเส้นใยและไม่มีสีทำให้เส้นใยที่ผ่านการย้อมสีแสดงสีของแหล่งสีจริงออกมา แต่แทนนินบางชนิดทำให้สีที่ย้อมมีความทึบมากขึ้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อมสีเหลือง ชมพูหรือน้ำตาล (Singh, S. and Singh, D.R. 2018) แหล่งแทนนินในพืชและปริมาณของแทนนินแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แหล่งแทนนินในพืชและปริมาณของแทนนิน

ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ชื่อสามัญ	ส่วนที่ให้แทนนิน	ร้อยละ
<i>Acacia catechu</i>	สีเสียด	เนื้อไม้	57-60
<i>Anacardium occidentale</i>	มะม่วงหิมพานต์	ใบ	20-25
<i>Castanea spp</i>	เกาลัด	เนื้อไม้	30
<i>Eucalyptus spp.</i>	ยูคาลิปตัส	เปลือกและเนื้อไม้	55
<i>Mangifera indica</i>	มะม่วง	เปลือกไม้	17
<i>Punica granatum</i>	ทับทิม	เปลือกผลไม้	26
<i>Tamatindus indica</i>	มะขาม	ผลไม้	20

ที่มา: Singh, S. and Singh, D.R. 2018

มอร์แดนต์อื่น ๆ

มอร์แดนต์อื่น ๆ ที่นำไปใช้ในการย้อมสี เช่น น้ำปูนใส กรดและน้ำโคลน ดังนี้

- 1) น้ำปูนใส น้ำปูนใสได้จากปูนขาวที่ใช้กินกับหมากหรือปูนจากการเผาเปลือกหอย โดยละลายปูนขาวในน้ำสะอาด ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนและนำน้ำปูนใสไปใช้เป็นสารช่วยย้อมต่อไป (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)
- 2) น้ำด่างหรือน้ำขี้เถ้า วิธีทำน้ำด่าง คือ เลือกพืชสด เช่น กล้วยและกากมะพร้าว นำมาผึ่งแดดให้หมาด จากนั้นเผาให้พืชเป็นขี้เถ้าสีขาวและนำขี้เถ้าไปใส่น้ำ กวนให้ทั่วและทิ้งไว้นาน 4-5 ชั่วโมงเพื่อให้ขี้เถ้าตกตะกอนและนำน้ำที่ได้ไปกรอง (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)
- 3) กรด กรดได้จากพืชที่มีรสเปรี้ยว เช่น น้ำมะนาว น้ำใบหรือฝักส้มป่อยและน้ำมะขามเปียก (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)
- 4) น้ำบาดาล หรือ น้ำสนิมเหล็ก ใช้น้ำบ่อบาดาลที่เป็นสนิม หรือนำเหล็กไปเผาไฟให้แดงแล้วนำไปแช่น้ำ ทิ้งไว้ 3 วันจึงนำน้ำสนิมมาใช้ได้ น้ำสนิมจะช่วยให้สีเข้มขึ้น ให้เฉดสีเทา-ดำเหมือนมอร์แดนต์เหล็ก แต่ถ้าสนิมมากเกินไปจะทำให้เส้นใยเปื่อยได้เช่นกัน (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)
- 5) น้ำโคลน เตรียมจากโคลนใต้สระ หรือบ่อที่มีน้ำขังตลอดปี ใช้ดินโคลนมาละลายในน้ำเปล่าสัดส่วนน้ำ 1 ส่วนต่อดินโคลน 1 ส่วนจะช่วยให้ได้โทนสีเข้มขึ้น หรือโทนสีเทา-ดำเช่นเดียวกับน้ำสนิม (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)

6) โปรตีนจากน้ำถั่วเหลือง ใช้ต้มกับเส้นด้ายก่อนการย้อมสีเพื่อช่วยในการเพิ่มโปรตีนบนเส้นด้ายทำให้สามารถย้อมสีติดได้ดีมากขึ้น ทางญี่ปุ่นจะชุบฝ้ายด้วยน้ำถั่วเหลืองก่อนเสมอ โดยแช่ไว้ 1 คืน ยิ่งทำให้สีติดมาก ในญี่ปุ่นการสีธรรมชาติทั้งหมดแช่เส้นใยด้วยน้ำถั่วเหลืองเสมอ (สารช่วยย้อม. ม.ป.ป.)

7) ไคโตซาน เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู ปัจจุบันมีการใช้ไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพมาใช้เพิ่มการดูดซึมสีของสิ่งทอและเพิ่มสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย คำพอง อยู่ศรี และ สุดาพร ดังควนิช (2552) ศึกษาการย้อมไหมที่เคลือบและไม่เคลือบไคโตซานด้วยสีจากเมล็ดคำแสด พบว่า ไหมที่เคลือบด้วยไคโตซานมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าไหมที่ไม่เคลือบด้วยไคโตซาน ไหมที่เคลือบด้วยไคโตซานมีความเข้มของสีสูงกว่าไหมที่ไม่เคลือบไคโตซาน ไหมที่เคลือบไคโตซานมีค่าความคงทนของสีต่อแสงและการซักสูงกว่าไหมที่ไม่เคลือบไคโตซาน

8) ว่านหางจระเข้ ว่านหางจระเข้เป็นไม้มัลลิก ลำต้นเป็นข้อปล้อง มีใบเดี่ยวที่ยาวและหนา อวบน้ำ แผ่นใบมีสีเขียว ขอบใบหยัก ช่างใบเป็นเกล็ดสีซึ่งมีสรรพคุณในการรักษาแผล เกล็ดประกอบด้วยน้ำร้อยละ 96 สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์เล็กน้อย วิตามินที่หลากหลายและกรดอะมิโน 18 ชนิด มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและไวรัส (Singh, S. and Singh, D.R. 2018) Nilani, P. et al. (2008) ใช้น้ำว่านหางจระเข้เป็นมอร์แดนต์ธรรมชาติในการย้อมสีดอกดาวเรืองบนเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า การใช้อัตราส่วนสีธรรมชาติต่อว่านหางจระเข้ที่ 10 ต่อ 10 แสดงผลการย้อมบนเส้นใยจากสัตว์ดีกว่าการย้อมบนเส้นใยจากพืชและเส้นใยสังเคราะห์และที่อัตราส่วนนี้ไม่ทำให้ผิวหนังระคายเคือง

2.3.2 วิธีการใช้มอร์แดนต์ (เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอกาส, 2539.)

สีธรรมชาติเป็นสีที่ละลายน้ำได้และมีสมบัติพิเศษที่สามารถยึดเกาะเส้นใยได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องใช้สารอื่นช่วยในการย้อม เพียงแต่นำสีผสมน้ำก็สามารถย้อมได้ สีธรรมชาติเริ่มย้อมที่อุณหภูมิห้อง แต่จะติดสีดีที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ระหว่างการย้อมต้องหมั่นคน เพราะสีธรรมชาติตกตะกอนง่าย เป็นสาเหตุที่เกิดการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม สีธรรมชาติมีสมบัติพิเศษอีกอย่างคือ ถ้าเกิดปัญหาสีไม่สม่ำเสมอ สามารถแก้ไขปัญหามาโดยการนำมาย้อมซ้ำจนกว่าสีจะมีความสม่ำเสมอ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบนี้ คือ เมื่อเส้นใยได้ผ่านกระบวนการย้อมสีและการย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับเส้นใยและสี ดังนั้นการย้อมแบบนี้จะทำให้สีติดดีขึ้น นอกจากนี้ การย้อมโดยใช้สารมอร์แดนต์ที่ต่างชนิดกัน แม้เป็นสีชนิดเดียวกัน เส้นใยที่ได้หลังจากการย้อมจะมีสีที่ต่างกัน การนำสารช่วยติดมาใช้ในการย้อมสีมี 3 แบบ คือ

การย้อมแบบมอร์แดนต์ก่อนการย้อมสี

นำวัสดุที่จะย้อมที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วใส่ลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายมอร์แดนต์ ทำให้อุ่นหรือเดือดนานประมาณ 15 นาที หรือ 1 ชั่วโมง ก่อนปล่อยแช่ทิ้งไว้ในสารละลาย 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างทำความสะอาดก่อนทำการย้อม

การย้อมแบบมอร์แดนต์พร้อมการย้อมสี

วิธีนี้ สารละลายของมอร์แดนต์จะถูกเติมลงไปโดยตรงในน้ำย้อม โดยใช้อุณหภูมิเดียวกับการย้อมสี การย้อมแบบนี้มีข้อเด่น ที่ขั้นตอนของกระบวนการลดลง แต่สีที่ได้ไม่คงทนเท่ากับการย้อมมอร์แดนต์ก่อนการย้อม

การย้อมแบบมอร์แดนต์หลังการย้อมสี

สารมอร์แดนต์สามารถย้อมได้หลังการย้อมสี เช่น เกลือของดีบุก เกลือของเหล็กแทนนิน หรือกรดแทนนิน การย้อมมอร์แดนต์แบบนี้อาจจะใช้การย้อมแยกอิสระ หรือในบางกรณีจะเติมมอร์แดนต์ลงไปในน้ำย้อมในช่วง 5 ถึง 10 นาที สุดท้ายก่อนนำวัสดุที่แช่ในน้ำย้อมออก บางกรณีแช่วัสดุในสารละลายเกลือดีบุก หรือเกลือของเหล็กหลังกระบวนการย้อมสี เพื่อช่วยในการเปลี่ยนเฉดสี

2.4 ไหมหม่อน

2.4.1 ประวัติการเลี้ยงไหมในไทย (วสันต์ นุ้ยภิรมย์. 2556.)

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเป็นอาชีพการเกษตรที่มีการพัฒนาควบคู่มากับความเจริญทางวัฒนธรรมของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศ มีประชากรปลูกหม่อนเลี้ยงไหมกว่าร้อยละ 90 ของประเทศ โดยส่วนใหญ่ทำคู่กับการทำนา การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในประเทศไทยเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อใดไม่สามารถยืนยันได้ แต่พอสันนิษฐานได้ว่าคงกระทำกันมานานแล้วโดยคนที่อพยพมาจากประเทศจีนนำไข่ไหมและพันธุ์หม่อนเข้ามา จนกระทั่งถึงรัชสมัยของรัชกาลที่ 5 ได้มีพระราชดำริว่าถึงแม้คนไทยเลี้ยงไหมโดยทั่วไป แต่เส้นไหมที่ผลิตได้เป็นเส้นหยาบ ไม่สม่ำเสมอทำให้ทอผ้าคุณภาพไม่ดีจึงทำนุบำรุงการผลิตไหมให้คุณภาพดีเพียงพอแก่การใช้ภายในประเทศ

พ.ศ. 2444 กระทรวงเกษตรราธิการจ้างผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่นชื่อ ศาสตราจารย์คาเมทาโร่ โทยาม่า (Kametarō Toyama) เพื่อปรับปรุงการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในประเทศไทยซึ่งผลการสำรวจพบว่าปัญหาที่ทำให้การเลี้ยงไหมของไทยไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากพันธุ์ไหมไม่ดี วิธีการเลี้ยงไหมของราษฎรยังไม่ถูกต้อง ไม่เอาใจใส่บำรุงรักษาแปลงหม่อนและมีโรคไหม้มาก ต่อมาในปี พ.ศ. 2445 กระทรวงเกษตรราธิการจ้างผู้เชี่ยวชาญชุดนี้ทดลองปลูกหม่อนเลี้ยงไหมและสาวไหมเพื่อหาแนวทางปรับปรุงอาชีพการเลี้ยงไหมให้เหมาะสมกับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2446 ทรงโปรดตั้งกรมช่างไหมเพื่อ

เป็นแนวทางการปรับปรุงพันธุ์พืชการเลี้ยงไหม และในปี พ.ศ. 2447 จัดตั้งสาขาของช่างไหมขึ้นและเปิดโรงเรียนช่างไหมเพื่อสอนประชาชนให้รู้จักการทำไหม ในปี พ.ศ. 2455 กระทรวงเกษตรการค้าการยกเลิกกรรมช่างไหมและสาขาต่าง ๆ เนื่องจากรัฐบาลสิ้นเปลืองเงินในการอุดหนุนมากแต่ไม่มีผลใด ๆ รัฐบาลจึงตกลงยกเลิกการบำรุงทำไหมเพื่อนำเงินไปบำรุงกิจการอื่น หลังจากนั้นการส่งเสริมการทำไหมก็ซบเซาไป แต่ราษฎรยังคงเลี้ยงไหมกันเป็นประเพณีสืบต่อไป

พ.ศ. 2475 รัฐบาลได้กลับมาพิจารณาการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมอีกครั้งโดยกระทรวงเศรษฐการ จัดตั้งโรงงานสาวไหมขึ้นที่จังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2500 กรมกสิกรรมโอนแผนกส่งเสริมการเลี้ยงไหมมาขึ้นกับกองการค้นคว้าและทดลองมีหน้าที่ศึกษาวิจัยปรับปรุงพันธุ์หม่อนและพันธุ์ไหม ต่อมาคือ สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร ต่อมาปี พ.ศ. 2511 มีการสถาปนากรมส่งเสริมการเกษตรขึ้นเป็นกรมหนึ่งในกระทรวงเกษตรและสหกรณ์และให้งานด้านการส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเป็นแผนงานหนึ่งของกรมส่งเสริมการเกษตร ต่อมาคือ กรมส่งเสริมการผลิตหม่อนไหม สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร มีหน้าที่ดำเนินการส่งเสริมการผลิตปลูกหม่อนเลี้ยงไหมและด้านการตลาดหม่อนไหมไทย ปี พ.ศ. 2548 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ปรับโครงสร้างของหน่วยงานที่ดูแลงานด้านหม่อนโดยการตัดโอนสองหน่วยงานรวมกันเป็นสถาบันหม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และปี พ.ศ. 2552 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ปรับโครงสร้างของหน่วยงานที่ดูแลงานด้านหม่อนโดยการตัดโอนสองหน่วยงานรวมกันเป็นสถาบันหม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถเป็นกรมหม่อนไหม

2.4.2 ชนิดของไหม

ไขของผีเสื้อไหมมีลักษณะค่อนข้างกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร ไข 1,000 ฟอง มีน้ำหนักเพียง 1 กรัม ไขไหมพันธุ์จากยุโรปมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าและหนักกว่าไหมพันธุ์เอเชีย หนอนไหมที่ฟักจากไขไหม ๆ มักมีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม ตามผิวลำตัวมีขนขึ้นปกคลุมทั่วไปเมื่อหนอนไหมเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ผนังลำตัวเริ่มเรียบขึ้นและสีผิวจางลงเนื่องจากการยืดออกของผนังลำตัวอย่างรวดเร็ว จากประวัติการเลี้ยงไหมสันนิษฐานว่าเริ่มมีการเลี้ยงไหมมาตั้งแต่ 4,000 กว่าปีมาแล้ว โดยจีนเป็นชาติแรกที่รู้จักการใช้ประโยชน์จากการเลี้ยงไหม หนอนไหมที่เลี้ยงในปัจจุบัน คือ *Bombyx mori* Linn.

การจำแนกหนอนไหม *Bombyx mori* Linn.

การจำแนกหนอนไหม *Bombyx mori* Linn. มีเกณฑ์หลากหลายอย่างในการจำแนก เช่น การจำแนกตามจำนวนการลอกคราบในระยะที่เป็นหนอน เช่น 3 ครั้ง 4 ครั้งหรือ 5 ครั้ง หรือ การจำแนกตามแหล่งที่พบ เช่น พันธุ์จีน พันธุ์ญี่ปุ่น พันธุ์ยุโรปหรือพันธุ์เขตร้อน การจำแนกตามสีของรัง เช่น รังไหมสีขาว รังไหมสีเหลือง (พันธุ์ไหมในประเทศไทย. 2556)

การจำแนกหนอนไหมตามทำเลในประเทศไทย (ชาญชัย ถาวรอนุกุลกิจ. 2537 และ พันธุ์ไหมในประเทศไทย. 2556)

1) ไหมพันธุ์พื้นเมือง คือ ไหมสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย และอาจมีการผสมข้ามสายพันธุ์พื้นเมืองด้วยกัน เป็นสายพันธุ์ที่สามารถฟักตัวได้ตลอดทั้งปี เลี้ยงง่าย ทนต่ออุณหภูมิสูง ปริมาณเส้นใยน้อย รังไหมมีสีเหลืองถึงสีเหลืองเข้ม ลักษณะค่อนข้างแหลม เรียว ชื่อของพันธุ์ไหมนี้มักนำหน้าด้วยคำว่า “นาง” เช่น นางน้อย นางเหลืองและนางเขียว

2) ไหมพันธุ์ไทยปรับปรุง เป็นพันธุ์ไหมที่ผสมข้ามกับพันธุ์ต่างประเทศและปรับปรุงสายพันธุ์ เพื่อให้ได้ลักษณะสายพันธุ์ที่ให้การต้านทานโรค คุณภาพและเพิ่มปริมาณผลผลิต ชื่อพันธุ์ไหมตั้งตามสถานี เช่น นค. 4 คือ หนองคาย 4 และ ปช. 21 คือ ปากช่อง 21

3) ไหมพันธุ์ลูกผสมในประเทศ หมายถึง พันธุ์ไหมที่ผลิตจากไหมสายพันธุ์ญี่ปุ่นและสายพันธุ์จีน มีคำย่อคือ K ซึ่งหมายถึง โคราซ เป็นสถานีเก็บรวบรวม คัดพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์

4) ไหมพันธุ์ลูกครึ่ง หมายถึง ลูกผสมระหว่างไหมไทยพื้นเมืองผสมกับไหมลูกผสมในประเทศ เช่น นางน้อย x และไหมไทยปรับปรุงผสมกับไหมลูกผสมในประเทศ เช่น นค. 4 ทั้งนี้รวมถึงการผสมที่สลับพ่อแม่ด้วย

5) ไหมลูกผสมต่างประเทศ หมายถึง ไหมลูกผสมจากต่างประเทศโดยการนำเข้ามาในรูปของไข่ไหมกล่อง

2.4.3 พันธุ์ไหม (ไหมพันธุ์รับรองของกรมวิชาการเกษตร. 2556)

ปัจจุบัน กรมวิชาการเกษตรได้รวบรวมและบำรุงรักษาพันธุ์ไหม โดยพันธุ์ไหมที่ผ่านการรับรองพันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร มีดังนี้

ไหมพันธุ์แท้

1) นครราชสีมา 60-1 มีลักษณะตามแบบพันธุ์แท้สายพันธุ์ญี่ปุ่น เป็นพันธุ์ไหมชนิดฟักออกในสภาพธรรมชาติปีละ 2 ครั้ง ลำตัวหนอนมีลายดำ สีผิวมีสีขาวขุ่นอมเหลือง เปลือกรังสีขาว รังมีขนาดประมาณ 1.6×3.0 เซนติเมตร

2) นครราชสีมา 60-2 มีลักษณะตามแบบพันธุ์แท้สายพันธุ์จีน เป็นพันธุ์ไหมชนิดฟักออกในสภาพธรรมชาติปีละ 2 ครั้ง ลำตัวหนอนสีขาวปลอด สีผิวขาวขุ่น รังมีสีขาวค่อนข้างกลม มีขนาดประมาณ 2.0×3.3 เซนติเมตร

3) อุบลราชธานี 60 มีลักษณะตามแบบพันธุ์แท้สายพันธุ์ญี่ปุ่น เป็นพันธุ์ไหมชนิดฟักออกในสภาพธรรมชาติปีละ 2 ครั้ง ลำตัวหนอนไหมมีสีขาวปลอด รังไหมมีลักษณะคอดกลาง เปลือกรังสีขาว ขนาดรัง 1.4×3.0 เซนติเมตร ไหมพันธุ์นี้เลี้ยงง่าย มีความแข็งแรงและให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองร้อยละ 30

4) นางน้อยศรีสะเกษ-1 เป็นพันธุ์ใหม่ที่มีจำนวนไข่ไหมสูง ลำตัวหนอนไหมมีสีขาวนวล รังไหมมีสีเหลืองหัวบ้านท้ายแหลม

5) นางน้อยสกลนคร เป็นพันธุ์ใหม่พันบ้านที่สามารถคัดแยกเพศได้ในระยะหนอนไหม กล่าวคือ เพศเมียมีลำตัวลาย ส่วนเพศผู้ไม่มีลาย ให้ผลผลิตรังไหมสูง

ไหมลูกผสม

1) นครราชสีมาลูกผสม 1 เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์โคราช 1 กับโคราช 8 เป็นพันธุ์ที่มีความแข็งแรงและสามารถให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ลำตัวหนอนไหมสีขาวอมเทา มีจุดหรือแต้มบนลำตัว 3 จุด รังไหมมีสีขาวย เนื้อรังแน่น ขนาดรังเฉลี่ย 2.0×4.5 เซนติเมตร

2) นครราชสีมาลูกผสม 60 เป็นไหมลูกผสมสามทาง ลำตัวหนอนไหมสีค่อนข้างคล้ำ มีจุดกระจายทั่วไป ลักษณะรังเป็นทรงกระบอก หัวท้ายมน เนื้อรังแน่น รังไหมมีสีเหลืองสามารถนำไปสาวเป็นเส้นพุ่งหรือยีนได้

3) ไหมลูกผสมอุบลราชธานี 60-35 เป็นพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ถึงร้อยละ 30 อายุหนอนไหมสั้นทำให้ลดต้นทุนการผลิตและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค สามารถเลี้ยงได้ทั้งปี รังไหมมีสีเหลือง มีขนาดประมาณ 1.5×3.2 เซนติเมตร

4) ไหมลูกผสมอุดรธานี เป็นไหมลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากไหมพันธุ์ SKN1 กับพันธุ์เขียวสกล เป็นพันธุ์ใหม่ที่เลี้ยงง่าย ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี รังไหมมีรูปร่างยาวรี ขนาด 1.75×3.65 เซนติเมตร รังไหมและเส้นไหมมีสีเหลือง

5) ไหมไทยลูกผสมสกลนคร 1 เป็นไหมลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากการผสมพันธุ์ไทย SP1 กับพันธุ์ลูกผสมรังสีขาว SB2 เพื่อให้ได้พันธุ์ที่แข็งแรงและให้ผลผลิตสูง หนอนไหมเพศเมียมีลาย ส่วนหนอนไหมเพศผู้ไม่มีลาย รังไหมมีรูปร่างยาวรี มีขนาด 4.8×3.5 เซนติเมตร รังไหมและเส้นไหมมีสีเหลือง

6) ไหมไทยลูกผสมสกลนคร 2 เป็นไหมลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากไหมไทยพันธุ์ SP1 กับไหมลูกผสมรังสีขาว SB7 เป็นพันธุ์ใหม่ที่มีความแข็งแรง ต้านทานต่อเชื้อโรคแกรสซอรีได้ ให้ผลผลิตสูง มีเส้นใยยาวและสาวง่าย

ไหมพันธุ์ไทยพื้นบ้าน

1) นางเหลือง เป็นพันธุ์ใหม่ที่หนอนไหมมีลำตัวสีเหลือง รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม เปลือกรังร้อยละ 13 ความยาวเส้นไหม 250 เมตร ขนาดเส้นไหม 2.4 ดีเนียร์

2) นางลาย หนอนไหมมีลายขาวดำตลอดลำตัว รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม เปลือกรังร้อยละ 12 ความยาวเส้นไหม 258 เมตร ขนาดเส้นไหม 2.9 ดีเนียร์

3) ชย. 1- ชย.3 หนอนไหมมีลำตัวสีขาว รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม เปลือกรังร้อยละ 12-14

- 4) แพงพวย หนอนไหมมีลำตัวขาวปลอด รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 5) นางไหม หนอนไหมมีลำตัวสีขาวมีจุดประ รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 6) ลำโรง 1 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวมีจุดประ รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 7) โนนถาชี หนอนไหมมีลำตัวขาว รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 8) เขียวสกล หนอนไหมมีลำตัวเขียว รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 9) กากี หนอนไหมมีลำตัวขาว รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 10) เนื้อสีตุ่น หนอนไหมมีลำตัวสีขาวนวล รังไหมมีสีจำปา หัวบ้านท้ายแหลม
- 11) เปื่อยหัวดง หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม

เนื่องจากไหมพันธุ์พื้นบ้านมีรังขนาดเล็กจึงให้ผลผลิตต่ำ เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จึงมีการพัฒนาไหมไทยพื้นบ้านให้มีผลผลิตสูงขึ้นโดยการผสมไหมพันธุ์พื้นบ้านกับไหมพันธุ์ต่างประเทศ ไหมที่ได้ยังคงที่มีเอกลักษณ์ของไหมพื้นบ้านแต่ให้ผลผลิตสูงขึ้น ตัวอย่างพันธุ์ไหมมีดังนี้

1) หนองคาย 4 หนอนไหมมีสีขาวนวล รังมีสีเหลืองอ่อน หัวบ้านท้ายแหลม ขนาดเส้นไหม 2.9 ดีเนียร์

2) ปากช่อง 21 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวนวล รังมีสีเหลืองอ่อน หัวบ้านท้ายแหลม ขนาดเส้นไหม 2.7 ดีเนียร์ สามารถเติบโตได้ดีในอุณหภูมิและความชื้นไม่สูงเกินไป

3) ร้อยเอ็ด 3 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวนวล รังไหมมีสีเหลืองจำปา เส้นไหมมีขนาด 2.6 ดีเนียร์ มีความแข็งแรงสูงเลี้ยงได้ทุกฤดูกาล

- 4) ศรีสะเกษ 1 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังไหมมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 5) รอ. 5 ลำตัวหนอนไหมมีสีขาว รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 6) 17 แอล หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 7) ยู ปี 12 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 8) ยู ปี 14 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม
- 9) บร. 4 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม

10) สร. 1 ส่วนหัวและลำตัวของหนอนไหมมีจุดประ รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม ขนาดเส้นไหม 2.12 ดีเนียร์

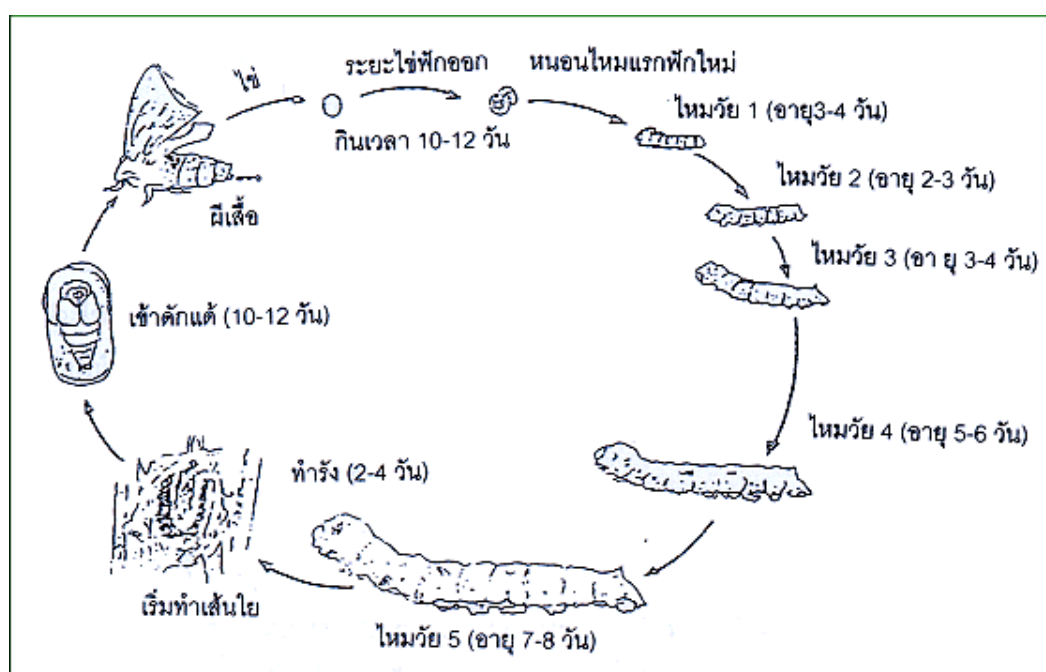
11) สร. 2 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวนวล รังมีสีเขียว หัวบ้านท้ายแหลม ขนาดเส้นไหม 2.65 ดีเนียร์

12) สร. 3 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวนวล รังมีสีขาว หัวบ้านท้ายแหลม ขนาดเส้นไหม 2.37 ดีเนียร์

13) สร. 4 หนอนไหมมีลำตัวสีขาวปลอด รังมีสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม

2.4.4 วงจรชีวิตของหนอนไหม

วงจรชีวิตของหนอนไหมใช้เวลาทั้งหมด 55-60 วัน ไช้ไหมมี 2 ชนิด คือ ไช้ที่ฟักตัวและ ไช้ที่ไม่ฟักตัว ไช้ไหมที่ผ่านการฟักตัวแล้วจะฟักออกเป็นตัวภายในเวลา 11-14 วัน ส่วนไช้ไหมชนิดไม่ฟักตัวจะฟักออกภายใน 9-12 วันหลังจากที่ผีเสื้อวางไข่ เมื่อไช้ไหมฟักออกมาเป็นตัวหนอน ตัวหนอนจะเริ่มกินใบหม่อน ระยะนี้เรียกว่า ระยะตัวหนอน มีทั้งหมด 5 วัยและใช้ระยะเวลาการเติบโตประมาณ 20-25 วัน หนอนไหมจะโตเต็มที่พร้อมทำรัง เรียกว่า ไหมสุก ไหมสุกจะหยุดกิน ลำตัวใส ส่ายหัวเพื่อพ่นเส้นใย นำหนอนไหมเข้าจ่อเพื่อให้ไหมพ่นเส้นใยทำรังห่อหุ้มตัวเองภายใน 1-2 วัน จากนั้นอีก 1-2 วัน จะเปลี่ยนรูปร่างเป็นดักแด้ จากนั้นอีกประมาณ 9-10 วัน ดักแด้จะเปลี่ยนเป็นผีเสื้อเจาะทะลุรังออกมาผสมพันธุ์ จากนั้นตัวเมียเริ่มวางไข่ครั้ง (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 วงจรชีวิตของหนอนไหม

ที่มา: วงจรชีวิตหนอนไหม. ม.ป.ป.

2.4.5 หลักการเลี้ยงไหม (เทคนิคการเลี้ยงไหม. ม.ป.ป.)

ไหมแบ่งออกเป็น 2 วัยใหญ่ ๆ คือ ไหมวัยอ่อนและไหมวัยแก่ ไหมวัยอ่อนเป็นหนอนไหมที่มีความต้านทานโรคต่ำ ต้องเลี้ยงในสภาพที่สะอาดเพื่อป้องกันเชื้อโรค ไหมวัยอ่อน คือ ไหมแรกฟัก ไหมวัย 1 2 และ 3 ส่วนไหมวัยแก่ คือ ไหมที่เลี้ยงตั้งแต่หนอนไหมต้นจากหนอนวัย 3 จนถึงไหมสุก โดยวิธีการเลี้ยงไหมวัยแก่สามารถเลี้ยงในกระด้ง กระบะหรือชั้นเลี้ยงก็ได้ ควรหมั่นสังเกตหนอนไหมตั้งแต่วัย 2 และคัดหนอนไหมที่ตัวเล็กหรือไม่สมบูรณ์ทิ้งในถังฟอมาลินความเข้มข้นร้อยละ 3

การเลี้ยงไหมแรกฟัก

หลังจากให้ไข่ไหมได้รับแสงอย่างน้อย 4 ชั่วโมงแล้ว นำแผ่นไข่ไหมมาวางบนกระดังหรือชั้นเลี้ยงไหม แกะกระดาษห่อไข่ไหมออกและสังเกตว่าหนอนไหมฟักออกมาเป็นตัวหมดแล้วหรือไม่ หากหนอนไหมฟักออกเป็นตัวน้อยกว่าร้อยละ 90 อาจทิ้งไข่ไหมไว้ระยะหนึ่งเพื่อรอการฟัก จากนั้นโรยยาฆ่าเชื้อบาง ๆ ให้ยาติดทั่วหนอนไหมทุกตัวทิ้งไว้นาน 10-15 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาให้โรยใบหม่อนขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตรลงบนแผ่นไข่ไหมประมาณ 40 กรัมต่อแผ่น ทิ้งไว้ 10-15 นาทีเพื่อให้หนอนไหมคลานขึ้นมาบนใบหม่อน จึงคว่ำแผ่นไข่ไหมแล้วเคาะให้หนอนไหมที่อยู่บนใบหม่อนตกลงบนพื้นที่เลี้ยงไหม และใช้ขนไก่ปิดให้หนอนไหมกระจายอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นให้ใบหม่อนหั่นประมาณ 80 กรัมต่อแผ่นเพื่อเป็นอาหารมื้อแรกและใช้ฟองน้ำชุบน้ำบิดหมาดๆ วางรอบกองใบหม่อน คลุมกองใบหม่อนด้วยกระดาษพาราฟินเพื่อเก็บรักษาความชื้น และให้อาหารไหมอีก 2-3 ครั้ง ในวันแรก (เวลา 14.00 น. 17.00 น. และ/หรือ 21.00 น.)

การเลี้ยงไหมวัย 1

ใช้ใบหม่อนขึ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร) ในการเลี้ยงไหมวัย 1 โดยให้ใบหม่อนอย่างน้อยวันละ 3 มื้อ คือ 06.00 น. 11.00 น. และ 16.00 น. และควรขยายพื้นที่เลี้ยงไหมทุกวันเพื่อลดความหนาแน่นของจำนวนหนอนไหมต่อพื้นที่ลง

เมื่อหนอนไหมเจริญเติบโตเต็มที่ จะหยุดพักการกินอาหารเพื่อเตรียมเปลี่ยนวัย เรียกช่วงนี้ว่า “ไหมนอน” ในสภาวะนี้ให้โรยปูนขาวหรือกลบเผาเพื่อปรับสภาพพื้นที่เลี้ยงไหมให้แห้งทำให้ไหมลอกคราบได้ดี เมื่อหนอนไหมลอกคราบเก่าออกเพื่อขึ้นวัยใหม่ เรียกว่า “ไหมตื่น” อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหมวัย 1 คือ 27-28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90

การเลี้ยงไหมวัย 2

หนอนไหมตื่นเป็นไหมวัย 2 ที่มีปากของหนอนไหมเป็นสีดำ ผิวลำตัวเหี่ยวย่น การเลี้ยงไหมวัยนี้ควรขยายพื้นที่เลี้ยงไหม 2 ครั้ง ให้ได้พื้นที่ 2-3 ตารางเมตรต่อแผ่น เมื่อเลี้ยงไหมวัย 2 ไปแล้วประมาณ 6 วันให้โรยปูนขาวหรือกลบเผาเพื่อปรับสภาพพื้นที่เลี้ยงไหมให้แห้งเช่นเดียวกับการเลี้ยงไหมวัย 1 ก่อนที่ไหมจะนอนอีกครั้งเพื่อเตรียมเปลี่ยนวัยโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหมวัย 2 คือ 26-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90

การเลี้ยงไหมวัย 3

ควรขยายพื้นที่เลี้ยงไหมวัยนี้ ให้ได้พื้นที่ 4-6 ตารางเมตรต่อแผ่น และประมาณวันที่ 10 ของการเลี้ยงหนอนไหม หนอนไหมจะเริ่มนอนอีกครั้ง ให้ดำเนินการขั้นตอนก่อนไหมนอนเช่นเดียวกับไหมวัย 1 และ 2 โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหมวัยนี้ คือ 25-26 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-85

การเลี้ยงไหมวัย 4

ควรขยายพื้นที่เลี้ยงไหมวัยนี้ ให้ได้พื้นที่ 10-14 ตารางเมตร หากพบปัญหาไหมนอนไม่สม่ำเสมอในช่วงไหมนอนวัย 4 ให้แยกหุ่นเลี้ยงไหมโดยวางตาข่ายให้ใบหม่อนทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง จึงยกตาข่ายแยกหนอนไหมตัวที่ไม่นอนออกจากไหมที่นอนแล้ว อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหมวัย 4 คือ 24-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75

การเลี้ยงไหมวัย 5

ไหมวัย 5 เป็นไหมวัยสุดท้ายที่ใกล้ให้ผลผลิต หนอนไหมวัยนี้กินใบหม่อนปริมาณมาก และควรขยายพื้นที่เลี้ยงไหมวัยนี้ ให้ได้พื้นที่ 18-24 ตารางเมตร อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหมวัย 5 คือ 24-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70

ไหมสุกหมายถึงหนอนวัย 5 ที่กินใบหม่อนเต็มที่แล้วพร้อมพ่นใย หากเป็นไหมไทยก็จะสังเกตง่าย ๆ คือ ลำตัวหนอนไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส ในขณะที่ไหมลูกผสมจะมีสีขาวโปร่งแสง เก็บไหมสุกเข้าจ่อด้วยมือ ปริมาณหนอนไหมต่อจ่อต้องมีความเหมาะสมไม่แน่นเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรังแกด จากนั้นให้หนอนไหมทำรังในจ่อประมาณ 5-6 วันจึงเก็บรังไหมจากจ่อและนำไปสาวเส้นไหมต่อไป

2.5 หม่อน

หม่อน (mulberry) มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน สำหรับในประเทศไทยพบว่ามี การปลูกหม่อนมากในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเพื่อการผลิตไหม

2.5.1 ประเภทของหม่อน

หม่อนแบ่งได้ 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้ คือ หม่อนที่ปลูกเพื่อทานผลสด และหม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหม (หม่อน. ม.ป.ป.)

หม่อนที่ปลูกเพื่อทานผลสด

หม่อนที่ปลูกเพื่อทานผลสด คือ black mulberry (*Morus nigra*) มีผลโตเป็นช่อ เมื่อผลสุกจะมีสีดำ มีรสเปรี้ยวอมหวาน นิยมรับประทานผลสดหรือนำไปแปรรูปเป็นอาหารและเครื่องดื่ม

หม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหม

หม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหม คือ white mulberry (*Morus alba* Linn.) หม่อนชนิดนี้ให้ผลเป็นช่อขนาดเล็กมีผลสีแดง มีรสเปรี้ยวจึงไม่นิยมนำไปรับประทาน แต่ใบมีจำนวนมากและมีขนาดใหญ่ จึงเหมาะใช้เป็นอาหารของหนอนไหม

2.5.2 ลักษณะของหม่อน

ลักษณะเด่นของหม่อนเป็นไม้ทรงพุ่มสูงประมาณ 2-5 เมตร ใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่ ด้านขอบใบมีรอยหยัก ใบมีลักษณะสาก ส่วนดอกมีสีขาวหม่นหรือแกมเขียว ออกเป็นช่อ ผลมีลักษณะเป็นผลรวม เมื่อสุกจะมีสีแดง สีม่วงแดง เมื่อสุกมากจะมีสีดำ ตามลำดับ (หม่อน/ ใบหม่อน (mulberry) ประโยชน์และสรรพคุณหม่อน. ม.ป.ป.)

ต้นหม่อน

หม่อนเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศจีนตอนใต้ เป็นไม้พุ่มขนาดกลางหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก เปลือกลำต้นเรียบมีสีน้ำตาลแดง สีขาวปนน้ำตาลหรือสีเทาปนขาว ในประเทศไทยนิยมปลูกต้นหม่อนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (หม่อน สรรพคุณและประโยชน์ของต้นหม่อน ใบหม่อน 50 ข้อ. 2560)

ใบหม่อน

ใบหม่อนเป็นใบเดี่ยว ลักษณะใบเป็นรูปไข่หรือรูปไข่กว้าง ปลายใบแหลมยาว โคนใบเว้าเป็นรูปหัวใจ (ภาพที่ 2.11) ใบมีขนาดกว้างประมาณ 8-14 เซนติเมตร ยาวประมาณ 12-16 เซนติเมตร



ภาพที่ 2.11 ใบหม่อน

ที่มา: วิธีการทำชาใบหม่อน. 2555.

ดอกหม่อน

หม่อนออกดอกเป็นช่อตามซอกใบและปลายยอด ดอกเป็นแบบแยกเพศแต่อยู่บนต้นเดียวกัน ลักษณะของช่อดอกเป็นทางกระรอกยาวประมาณ 2 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 ดอกหม่อน

ที่มา: หม่อน สรรพคุณและประโยชน์ของต้นหม่อน ใบหม่อน 50 ข้อ. 2560

ผลหม่อน

ผลหม่อนเกิดจากช่อดอกออกตามซอกใบ ลักษณะของผลเป็นรูปทรงกระบอกยาว ประมาณ 1-2.5 เซนติเมตร ผลมีสีเขียว เมื่อสุกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงหรือม่วงดำ มีรสหวานอมเปรี้ยว (ภาพที่ 2.13)



ภาพที่ 2.13 ผลหม่อน

ที่มา: แยมลูกหม่อนสำหรับคนเป็นเบาหวาน. 2557

2.5.3 พันธุ์หม่อน

หม่อนมีหลากหลายสายพันธุ์ บางพันธุ์มีการผสมพันธุ์ขึ้นใหม่เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีใบขนาดใหญ่ พันธุ์หม่อนที่ปลูกในประเทศไทยมีไม่น้อยกว่า 20 สายพันธุ์ เช่น หม่อนน้อย หม่อนตาดำ หม่อนจาก หม่อนสาและหม่อนหยวก (หม่อน. ม.ป.ป.)

หม่อนน้อย

หม่อนน้อยเป็นหม่อนพันธุ์พื้นเมือง เจริญเติบโตดี ลำต้นมีสีขาวนวล ใบมีขนาดใหญ่แต่ค่อนข้างบาง ดอกมีสีขาว ไม่ติดผล ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ใบมีลักษณะอ่อนนุ่มเหมาะสำหรับการเลี้ยงไหมวัยอ่อน ให้ผลผลิตใบหม่อนเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ คือ 1,750 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (หม่อน. ม.ป.ป.)

หม่อนตาดำ

หม่อนตาดำเป็นหม่อนพันธุ์พื้นเมือง เจริญเติบโตดี ท้องใบมีขนาดเล็กน้อย ใบเป็นรูปไข่และหนา (หม่อน. ม.ป.ป.)

นครราชสีมา 60

หม่อนพันธุ์นี้มีความต้านทานต่อโรคราแป้งได้ดี ใบมีลักษณะนุ่ม หนาปานกลาง เหี่ยวช้า หลังเก็บเกี่ยว ใบมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับหม่อนน้อย ให้ผลผลิตใบหม่อนเฉลี่ยต่อไร่สูง คือ 3,600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ทั่วไปและสามารถต้านทานต่อโรคราแป้งได้ดี (การปลูกหม่อน. 2556)

บุรีรัมย์ 60

ลักษณะเด่นของพันธุ์หม่อนนี้ คือ ให้ผลผลิตต่อไร่สูง คือ 4,328 กิโลกรัมต่อไร่ ใบมีขนาดใหญ่ หนาและอ่อนนุ่ม ใบไม่เหี่ยวง่ายหลังการเก็บเกี่ยว มีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงหม่อนน้อย แต่ไม่เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ (การปลูกหม่อน. 2556)

บุรีรัมย์ 51

หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 51 ได้จากการผสมพันธุ์หม่อนสายพันธุ์ LLIN JIO No. 40 จากประเทศจีนกับหม่อนน้อย หม่อนพันธุ์นี้ให้ผลผลิตต่อไร่ปานกลาง คือ 1,960 กิโลกรัมต่อไร่ ใบมีความอ่อนนุ่ม คุณภาพใบดีเหมาะสำหรับการเลี้ยงไหม ปลูกได้ดีในทุกสภาพพื้นที่ สามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดีกว่าพันธุ์บุรีรัมย์ 60

เชียงใหม่ 60

หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปลูกเพื่อทานผล ต้นพันธุ์หาง่าย ราคาไม่แพง ทนต่อโรคได้ดี ออกลูกเร็วและดก (หม่อน mulberry สายพันธุ์เชียงใหม่ 60. 2561)

กำแพงแสน เอ็มบี 42-1

หม่อนพันธุ์นี้เป็นหม่อนกินผลที่นำต้นพันธุ์มาจากประเทศจีน หม่อนพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ให้ผลและใบดีจึงใช้ประโยชน์ได้ทั้งการทานผลและเลี้ยงไหม (ปราโมทย์ สฤชดีนิรันดร์ และคณะ. 2555)

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหม่อน (หม่อน. ม.ป.ป.)

หม่อนเป็นพืชที่สามารถปลูกขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด แต่การปลูกหม่อนเพื่อผลิตใบหม่อนหรือผลหม่อนจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

แสงแดด

หม่อนควรได้รับแสงแดดเต็มที่ ถ้าได้รับแสงแดดไม่เพียงพอจะทำให้การเจริญเติบโตของต้นหม่อนไม่เต็มที่ผลทำให้ใบบาง เหยี่ยวง่าย คุณค่าทางอาหารในใบต่ำ

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยกำหนดลักษณะการเจริญเติบโตของหม่อน หม่อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส หม่อนจะคายน้ำสูง เหยี่ยวง่าย และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส ต้นหม่อนจะชะงักการเจริญเติบโต

น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นหม่อน หม่อนต้องการน้ำมากในการเจริญเติบโต การปลูกหม่อนควรให้ดินมีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ

อากาศ

อากาศที่เพียงพอทำให้หม่อนมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้อย่างดี

ดิน

ดินทำหน้าที่เป็นตัวค้ำพุงลำต้นและเป็นแหล่งธาตุอาหารกับหม่อน ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหม่อน คือ ดินร่วนปนทรายและเป็นดินที่มีหน้าดินลึกอย่างน้อย 1 เมตร มีอินทรีย์วัตถุสูง มีสมบัติการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี

2.5.5 ลักษณะของต้นหม่อนที่ดี (หม่อน. ม.ป.ป.)

ต้นหม่อนสำหรับปลูกเพื่อเลี้ยงไหม ควรมีสมบัติ ดังนี้

- 1) ให้ผลผลิตใบสูง มีน้ำหนักใบต่อไร่สูง
- 2) ใบหม่อนมีขนาดพอเหมาะ ไม่หนาหรือบางเกินไป
- 3) มีธาตุอาหารในใบสูง โดยเฉพาะโปรตีน
- 4) ขั้วปล้องถี่ มีจำนวนใบต่อกิ่งมากซึ่งมีผลให้ต้นเตี้ย เก็บเกี่ยวใบได้ง่าย
- 5) สามารถแตกกิ่งได้ดี
- 6) ลักษณะใบเหมาะสมต่อการเลี้ยงไหม
- 7) ตอบสนองต่อปุ๋ยดี
- 8) ทนต่อโรคและแมลงได้ค่อนข้างดี
- 9) ปลูกได้ทุกสภาพแวดล้อม

2.5.6 ประโยชน์ของหม่อน (สำนักงานการวิจัยการเกษตร. ม.ป.ป.: ออนไลน์)

ประโยชน์ของหม่อน มีดังนี้

อาหารสำหรับหนอนไหม

ใบหม่อนมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 22.60 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 42.25 ไขมัน ร้อยละ 4.57 ความชื้นร้อยละ 6.55 เส้นใยและเส้นใยร้อยละ 24.03 เป็นพืชอาหารสำหรับหนอนไหม (Bombyx mori) ซึ่งเป็นไหมบ้าน นิยมเลี้ยงโดยทั่วไป ปัจจุบันญี่ปุ่นได้พัฒนาพันธุ์ที่สามารถใช้ใบหม่อนและก้านอ่อนของหม่อนเป็นอาหารได้ ตลอดจนพันธุ์ไหมที่สามารถกินพืชตระกูลกระหล่ำได้ เช่น พันธุ์ Asagiri (J 601 x C 601) และพันธุ์ที่กินผลแอปเปิ้ลโดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ ตลอดจนปัจจุบันสามารถผลิตอาหารเทียมที่ไม่ใช้ใบหม่อนเป็นส่วนประกอบได้แล้ว แต่การเจริญเติบโตและผลผลิตรังไหมก็ไม่สมบูรณ์เท่าเทียมกับการใช้หม่อนเป็นอาหาร เนื่องจากหนอนไหมมีความสามารถในการเปลี่ยนโปรตีนจากใบหม่อนเป็นเส้นใยไหมได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น ใบหม่อน 108-120 กิโลกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นรังไหมได้ประมาณ 6-7 กิโลกรัม เมื่อสาวเป็นเส้นไหมจะได้ประมาณ 1 กิโลกรัม เป็นอันว่าอุตสาหกรรมการผลิตไหมทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ และในครัวเรือนยังคงต้องปลูกหม่อนไว้สำหรับเลี้ยงไหม

พืชสมุนไพร

ตำราสมุนไพรจีน กล่าวถึงสรรพคุณของหม่อนไว้อย่างมากมาย เช่น

- 1) ยอดหม่อน นำมาต้มใช้ดื่มและล้างตา เพื่อบำรุงสายตา
- 2) ใบหม่อน นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นพบว่าใบหม่อนสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกระต่าย ลดปริมาณน้ำตาลในเลือด ลดความดันโลหิตและลดอัตราการตายของหนูที่มีสาเหตุจากมะเร็งในตับได้
- 3) กิ่งหม่อน ช่วยทำให้เลือดไหลเวียนสะดวก รักษาอาการปัสสาวะสีเหลืองทำให้ลำไส้ทำงานได้ดี ขจัดความร้อนในปอดและกระเพาะอาหาร ขจัดการหมักหมมในกระเพาะอาหารและเสลดในปอด นอกจากนั้นยังใช้รักษาอาการปวดมือ เท้าเป็นตะคริวและเหน็บชา
- 4) ผลหม่อน รักษาโรคไขข้อ บำรุงหัวใจ บำรุงผมให้ดกดำ
- 5) รากหม่อน สามารถลดปริมาณน้ำตาลในเส้นเลือด นั่นคือ ลดความรุนแรงและรักษาโรคเบาหวานได้

อาหารและเครื่องดื่มมนุษย์

เกษตรกรของไทยจะปลูกต้นหม่อนไว้ก็เพื่อใช้ใบเลี้ยงไหม แต่ในทวีปยุโรป ออสเตรเลีย และอเมริกาเหนือ รู้จักหม่อนว่าเป็นต้นไม้ที่ผลรับประทานได้ มักนิยมปลูกไว้เพียง 2-3 ต้น ตามสนามหญ้าหน้าบ้านหรือหลังบ้าน นอกจากจะเป็นไม้ประดับแล้ว ยังมีผลไว้รับประทานในครอบครัวอีกด้วย นอกจากกินผลสดแล้ว ผลสุกยังใช้ทำน้ำผลไม้และไวน์ได้ กากที่เหลือจากการทำน้ำผลไม้หรือไวน์ใช้ทำแยมได้อีกด้วย ชาวญี่ปุ่นดื่มน้ำชาจากผงใบหม่อนและรากหม่อนมาเป็นเวลากว่า 60 ปี สืบต่อกันเป็น

ประเพณีมาช้านาน เพราะเชื่อกันว่าจะช่วยรักษาสุขภาพ Mr.Tsushida และคณะ พบ gamma-aminobutyric acid ในหม่อนและได้พัฒนามาเป็น “Gabaron Tea” เพื่อใช้รักษาโรคความดันโลหิตสูง

สารป้องกันกำจัดโรคพืช

นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น พบว่าเนื้อเยื่อของกิ่งหม่อนบริเวณ cortex และ xylem จะสร้างสาร phytoalecins (PA) ที่มีสมบัติในการต่อต้านเชื้อรา จึงทำให้หม่อนมีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อราบางชนิดได้ เช่น *Stigmating mori* และ *Fusarium solanif.sp.mori* ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กิ่งหม่อนแห้งตายและพบว่าสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้จาก epidermal cells ของลำต้นและราก คือ prenylflavon compounda เช่น luwanon C morucin albanin A-H และ albafrican A&B สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Rosellinia necatrix* ที่เป็นสาเหตุของโรครากขาวของหม่อนได้อย่างสิ้นเชิง การพัฒนาสารกำจัดโรคพืชชนิดใหม่ด้วยการใช้สารที่สกัดจากส่วนต่าง ๆ ของหม่อนเป็นความหวังของนักวิชาการโรคพืชในอนาคต คุณรังษิ เจริญสถาพร และคณะ พบว่าสารสกัดจากเปลือก รากหม่อน ที่ความเข้มข้น 5,000 ส่วนในล้านส่วน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ชนิด *Pythium sp.* *Phytophthora parasitica* และ *Phytophthora palmivora* ได้อย่างสมบูรณ์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum* และ *Botryodiplodia theobromae* ได้ร้อยละ 78-79 และเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ร้อยละ 61 ในห้องปฏิบัติการ

กระดาศ

คุณทิพรณี เสนะวงศ์ แห่งสถานีทดลองหม่อนไหมเชียงใหม่ และคุณเพิ่มศักดิ์ สุภาพร เหมินทร์ แห่งศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ได้ร่วมกันศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกลำต้นหม่อนไปทำกระดาศ ในเบื้องต้นพบว่า สามารถทำได้เช่นเดียวกับเปลือกลำต้นปอสา เพราะเป็นพืชอยู่ในวงศ์เดียวกัน

ไม้ประดับ

ประเทศในเขตอบอุ่นทั้งในทวีปเอเชีย อเมริกา ยุโรป และออสเตรเลีย มีการปลูกหม่อนไว้เป็นประดับตามสนามหญ้าหน้าบ้านหรือหลังบ้าน โดยเฉพาะหม่อนย้อยหรือหม่อนระย้า ที่มีลักษณะแตกต่างจากหม่อนทั่ว ๆ ไป คือ เมื่อแตกกิ่งใหม่กิ่งจะย้อยห้อยลงมาตามแรงดึงดูดของโลกทำให้ดูเป็นพุ่มสวยงาม

อาหารสัตว์

นอกจากใช้ใบหม่อนเป็นอาหารของหนอนไหมแล้ว ยังมีสัตว์อีกหลายชนิดที่ชื่นชอบรสชาติของใบหม่อน เช่น วัวและควาย นอกจากนี้ยังมีการใช้ใบหม่อนไปเลี้ยงปลา คุณกอบกุล แสนนาม วงษ์ นักวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยหม่อนไหมอุดรธานี ได้ทดลองเลี้ยงไหมด้วยเศษใบหม่อนที่เหลือจาก

การเลี้ยงไหมไปเลี้ยงปลานิล พบว่าปลานิลมีการอยู่รอดถึงร้อยละ 98 หลังการเลี้ยง 6 เดือน ในขณะที่การเลี้ยงด้วยอาหารปลากินพืชลอยน้ำอยู่รอดร้อยละ 94 แม้ว่าน้ำหนักปลาที่ได้จะน้อยกว่ากันก็ตาม (93.7 กรัม และ 133.0 กรัม/ตัว ตามลำดับ)

วัสดุเพาะเห็ด

คุณชวนพิศ สี่มาขจร และคุณพนีย ห้องทองแดง แห่งศูนย์วิจัยหม่อนไหมนครราชสีมาได้นำกิ่งหม่อนที่เหลือจากการเลี้ยงไหม เป็นวัสดุหลักในการเพาะเห็ดหอมและเห็ดนางรมโดยใช้มูลไหมหรือรำข้าวละเอียดในอัตราร้อยละ 5 เป็นส่วนผสมพบว่าสามารถใช้กิ่งหม่อนเป็นวัสดุเพาะเห็ดหอมสายพันธุ์ L31 และเห็ดนางรมสายพันธุ์จากภูฏาน อังการี และเยอรมนีได้ดี ยกเว้นการเพาะเห็ดหอม ไม่ควรใช้มูลไหมเป็นอาหารเสริม เนื่องจากมูลไหมทำให้วัสดุเพาะย่อยสลายเร็ว และเห็ดหอมต้องใช้เวลานานเชื้อเห็ดที่ออกดอกหมดแล้ว

ของที่ระลึกและอุปกรณ์กีฬา

ไม้หม่อนที่เหลือจากการตัดแต่งใช้ไปไปเลี้ยงไหมแล้ว กิ่งที่ลอกเปลือกออกและไม่ได้ลอกเปลือกสามารถนำมาประดิษฐ์เป็นของที่ระลึกหรือของใช้ได้หลากหลายชนิด กิ่งหม่อนขนาดใหญ่หรือโคนหม่อนนำมาแกะสลักเป็นรูปสัตว์ต่าง ๆ ในประเทศอินเดีย มีการใช้ไม้หม่อนทำอุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้เบสบอล คริกเก็ตและอื่น ๆ อุปกรณ์กีฬาที่ทำจากไม้หม่อนถือว่ามีคุณภาพสูง

ปุยและเชื้อเพลิง

ในประเทศอินเดีย บังคลาเทศและศรีลังกาใช้กิ่งหม่อนเป็นเชื้อเพลิง สำหรับประเทศไทยพบว่ามีการใช้กิ่งหม่อนเป็นเชื้อเพลิงน้อย แต่มักใช้กิ่งหม่อนเป็นปุ๋ยในแปลงหม่อน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang, H.; Tang, Z.; and Zhou, W. (2016) ศึกษาการย้อมแอนโทไซยานินที่สกัดจากผลหม่อนบนผ้าฝ้าย ใช้กรดซัคซินิก (succinic acid) ให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสเพื่อให้เกิดประจุลบสำหรับสีย้อม หลังการย้อมด้วยแอนโทไซยานิน ผ้าฝ้ายให้สีแดงและม่วงเข้ม การปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกเพิ่มความเข้มของสีของผ้าฝ้ายหลังการย้อม ผลการทดลองได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานทางการค้าได้

Chang, H.; and Lo, Y.J. (2010) ศึกษาการใช้สารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบทับทิมและแอนโทไซยานินจากผลหม่อนเป็นสีย้อมธรรมชาติสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell, DSSC) ประสิทธิภาพการแปลงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เตรียมได้จากคลอโรฟิลล์ของใบทับทิมคือ ร้อยละ 0.597 ในขณะที่ประสิทธิภาพการแปลงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เตรียมได้จากแอนโทไซยานินของผลหม่อนคือ ร้อยละ 0.548

Ma, Q.; et al. (2018) ศึกษาการเตรียมฟิล์มอัจฉริยะที่ตอบสนองทางการมองเห็นได้ โดยเตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อนุภาคโคโตนานาโนเมตรและสารสกัดจากหม่อน ฟิล์มที่เตรียมได้เปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจนำมาใช้เป็นฉลากสำหรับตรวจจับการเน่าเสียของอาหารได้

Wang, R. et al. (2016) โดยทั่วไป ของเสียจากงานเกษตรกรรม (มูลไหมและกากเห็ด) ใช้เป็นปุ๋ยในประเทศจีน ในการทดลองนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้มูลไหมและกากเห็ดในการลดการดูดซึมของโลหะหนักในผักกาดฮ่องเต้ (pakchoi) ผลการทดลองพบว่า การใช้มูลไหมหรือกากเห็ดเพียงอย่างเดียวช่วยเพิ่มการเติบโตของผักกาดฮ่องเต้ และช่วยลดปริมาณสารโลหะหนักในส่วนของผู้กินได้ แต่การใช้มูลไหมผสมกากเห็ดไม่แสดงผลที่ดีไปกว่าการใช้มูลไหมหรือกากเห็ดเพียงชนิดเดียว

Teli, M.D., Sheikh, J., and Shastrakar, P. (2013) แม้ว่าการใช้มอร์แดนต์โลหะจะมีประสิทธิภาพดี แต่มอร์แดนต์เหล่านี้ก็เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้โคโตนที่เป็นมอร์แดนต์ธรรมชาติในความเข้มข้นต่างกันบนผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยสีธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ใช้โคโตนเป็นมอร์แดนต์มีสีใกล้เคียงกับการใช้สารส้มเป็นมอร์แดนต์ และผ้าที่ได้มีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดีทั้งแกรมบวกและแกรมลบ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

- 1) มูลไหม จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เรือนไหม - ไบหม่อน (ภาพที่ 3.1 (ก))
- 2) ลูกหม่อน จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เรือนไหม - ไบหม่อน (ภาพที่ 3.1 (ข))
- 3) เส้นด้ายไหม เบอร์ 5 Ne จากบริษัท เนเชอรัล ณิช จำกัด (ภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1)



(ก) มูลไหมแห้ง



(ข) ลูกหม่อนแช่แข็ง

ภาพที่ 3.1 มูลไหมและลูกหม่อนจากห้างหุ้นส่วนจำกัด เรือนไหม - ไบหม่อน



ภาพที่ 3.2 เส้นด้ายไหม

ตารางที่ 3.1 สมบัติของเส้นด้ายไหม

สมบัติของเส้นใย	ค่า
ขนาดเส้นใย	3.15 ดีเทกซ์
เบอร์ด้าย	4.83 Ne
จำนวนเกลียว	10 รอบต่อนิ้ว
ความทนแรงดึง	3.712 เซนตินิวตันต่อเทกซ์
แรง ณ จุดขาด	4.384 นิวตัน
ร้อยละการยืดตัว	ร้อยละ 10.41

- 4) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส 10 (Zhucheng Dongxiao Biotechnology Co., Ltd, China)
- 5) กรดแทนนิก (tannic acid) (HiMedia Laboratories Pvt Ltd., India)
- 6) กรดซิตริก (citric acid) (Ajax Finechem Pty Ltd., Australia)
- 7) ไคโตซาน (chitosan) (low molecularweight) (Aldrich, Iceland)
- 8) ว่านหางจระเข้สายพันธุ์บาร์บาเดนซิส (Barbadensis) จากร้านเตี้ยยังฮะ ปากคลองตลาด
- 9) คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) (Ajax Finechem Pty Ltd., Australia)
- 10) เฟอรัสซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) (Ajax Finechem Pty Ltd., Australia)
- 11) สแตนนัสซัลเฟต (SnSO_4) (HiMedia Laboratories Pvt Ltd., India)
- 12) โครเมียมซัลเฟต ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) (HiMedia Laboratories Pvt Ltd., India)
- 13) สบู่มาตรฐาน
- 14) โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) (Elago Enterproses Pty Ltd, Australia)
- 15) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) (Ajax Finechem Pty Ltd., Australia)
- 16) ฟอลินฟีนอล (Folin & Ciacalteaus Phenol reagent) (Sisco Research Laboratories Pvt Ltd., India)
- 17) อะลูมิเนียมคลอไรด์
- 18) สารฟอนิกสีประจุบวก (cationic fixing agent)
- 19) น้ำปูนใส
- 20) กรดไฮโดรคลอริก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องทดลองย้อม (Sanolab Supermat lab dyeing machine) (Copro-Technology Co., Ltd., Taiwan)
- 2) เครื่องวัดสี (Datacolor 600 Spectrophotometer) (Datacolor, Inc., USA)
- 3) ตู้อบลมร้อน (Mettmert รุ่น UFB 400) (Mettmert GmbH + Co. KG, Germany)
- 4) เครื่องชั่งละเอียด (รุ่น AB204-S/FACT Mettler Toledo) (Mettler Toledo Co., Ltd., Switzerland)
- 5) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) (รุ่น YC-015) (Shanghai Pilotech Instrument & Equipment Co., Ltd, China)
- 6) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุ่น JSM-6610LV) (Joel Ltd., Japan)
- 7) เครื่องให้ความร้อน (hot plate)

- 8) เครื่องวัดพีเอช
- 9) เครื่องบดแบบลูกบอล (ball mill)
- 10) บิวเรต
- 11) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirrer)
- 12) ผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐาน
- 13) เครื่องทดสอบการซัก (รุ่น M228A Launder-Ometer) (SDL Atlas Textile Testing Solutions, USA)
- 14) เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Crockmeter รุ่น 670) (James H. Heal & Co., Ltd, England)
- 15) ตู้ไฟเทียบสี (Datacolor, Inc., USA)
- 16) เกรย์สเกลสำหรับวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสี
- 17) เกรย์สเกลสำหรับวัดระดับการเปื้อนติดสี

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การสกัดน้ำสีจากมูลไหมและลูกหม่อนสำหรับทำผงสี

มูลไหม

ชั่งมูลไหมแห้งหนัก 10 กรัม เติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ต้มเพื่อสกัดน้ำสีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกน้ำสีไปอบแห้งเพื่อทำเป็นผงสี

ลูกหม่อน

ชั่งลูกหม่อนหนัก 10 กรัม เติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำไปปั่นในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ให้ละเอียด จากนั้นนำไปต้มเพื่อสกัดน้ำสีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา กรองแยกน้ำสีเพื่อนำไปอบแห้งเป็นผงสี

3.3.2 การเตรียมมอร์แดนต์จากว่านหางจระเข้

เตรียมมอร์แดนต์จากว่านหางจระเข้จาก Berhanu, T and Ratnapandian, S. (2017) โดยล้างใบว่านหางจระเข้ให้สะอาด ปอกเปลือกที่เป็นส่วนสีเขียวออกทั้งหมดและใช้เจลว่านหางจระเข้ด้านใน บดเจลว่านหางจระเข้ 150 กรัม กรอง จากนั้นนำส่วนที่กรองไปอบให้แห้ง

3.3.3 การเตรียมผงสีมูลไหมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กรณีไม่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน

เตรียมสารละลายผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายผงสีที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที ศึกษาอุณหภูมิขาเข้า (inlet temperature) และอัตราป้อน (feed rate) ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อสัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม โดยตั้งค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20

กรณีใช้มอลโทเดกซ์ทริน

เตรียมสารละลายผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งผงสีมูลไหมที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 ต่อมอลโทเดกซ์ทรินโดยใช้อัตราส่วนที่ 100:0 85:15 และ 70:30 ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำสารละลายที่เตรียมไว้เข้าในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยตั้งค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหมผสมมอลโทเดกซ์ทริน

3.3.4 การเตรียมผงสีลูกหม่อนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เตรียมสารละลายผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งลูกหม่อนต่อมอลโทเดกซ์ทรินโดยใช้อัตราส่วนที่ 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำสารละลายที่เตรียมไว้เข้าในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยตั้งค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีลูกหม่อน

3.3.5 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีมูลไหมและลูกหม่อนจากการอบแห้ง

การย้อมแบบไม่ใช้มอร์แดนต์

ชั่งเส้นด้ายไหมหนัก 3 กรัม ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมหรือลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0-110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ใช้อัตราส่วนเส้นด้ายไหมต่อน้ำที่ 1 ต่อ 40 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม

ชั่งเส้นด้ายไหมหนัก 3 กรัม แช่ในสารละลายมอร์แดนต์ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 45 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา บีบสารละลายมอร์แดนต์ออกจากเส้นด้ายไหมพอหมาด จากนั้นย้อมเส้นด้ายไหมที่ผ่านการแช่สารละลายมอร์แดนต์แล้วด้วยผงสีจากมูลไหมหรือลูกหม่อน โดยใช้อัตราส่วนเส้นด้ายไหมต่อน้ำที่ 1 ต่อ 40 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม

ย้อมเส้นด้ายไหมหนัก 3 กรัม ด้วยสีจากมูลไหมหรือลูกหม่อน พร้อมกับเติมสารละลายมอร์แดนต์ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ใช้อัตราส่วนเส้นด้ายไหมต่อน้ำที่ 1 ต่อ 40 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม

ย้อมเส้นด้ายไหมหนัก 3 กรัม ด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน ใช้อัตราส่วนเส้นด้ายไหมต่อน้ำที่ 1 ต่อ 40 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที จากนั้นนำเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมแล้วไปแช่ในสารละลายมอร์แดนต์ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 45 นาที ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

นำเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมแล้วไปล้างด้วยน้ำสบู่อตามมาตรฐานความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้น ล้างเส้นด้ายไหมด้วยน้ำประปา 2-3 ครั้ง ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเส้นด้ายไหมแห้งแล้วนำเส้นด้ายไหมไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสี

3.3.6 การสังเคราะห์เลคพิกเมนต์จากสีสกัดจากลูกหม่อน

การสกัดน้ำสีจากลูกหม่อน

ซึ่งลูกหม่อน 360 กรัม ใส่ในน้ำจืดปริมาณเป็น 500 มิลลิลิตร นำมาปั่นในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ภาพที่ 3.3 (ก)) กรองเอาแต่น้ำสี (ภาพที่ 3.3 (ข)) และนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อป้องกันการบูดเน่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.3 การสกัดน้ำสีจากลูกหม่อน (ก) การปั่นลูกหม่อนในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ข) น้ำสี

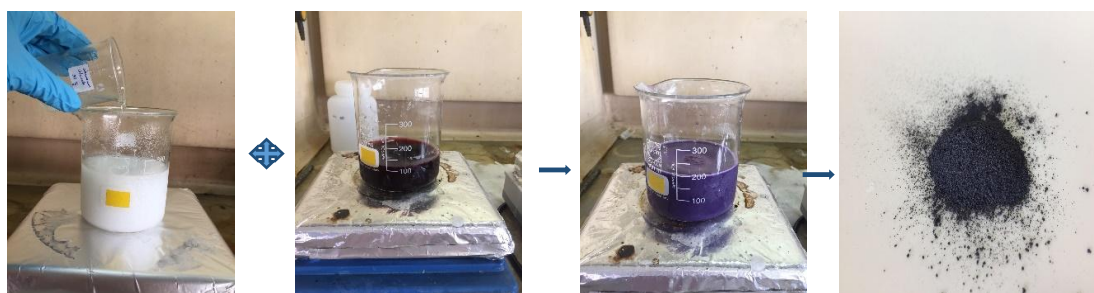
การสังเคราะห์เลคพิกเมนต์จากสีสกัดจากลูกหม่อน

1) เตรียมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยการชั่งโซเดียมไบคาร์บอเนต 555 ส่วน ละลายในน้ำ 7,500 ส่วน (อุณหภูมิของน้ำตั้งไว้ที่ 13 องศาเซลเซียส) เมื่อโซเดียมไบคาร์บอเนตละลาย จนสมบูรณ์อุณหภูมิควรอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส

2) เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminum chloride) $32\text{ }^{\circ}\text{Be}$ ปริมาณ 1,000 ส่วน ลงไปในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตตามข้อ 1) กวนสารละลายผสมจนกระทั่งวัดค่าพีเอชของ สารละลายได้เท่ากับ 5.5 ในขั้นตอนนี้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และได้สารแขวนลอยของอะลูมินา กวนสารประมาณ 30 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

3) เติมสีสกัดลูกหม่อนปริมาณ 3,000 ส่วน ลงในสารแขวนลอยในข้อ 2) พร้อมกับกวน อยู่ตลอดเวลา หลังจากนั้น เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ $32\text{ }^{\circ}\text{Be}$ ปริมาณ 250 ส่วน อย่าง ช้า ๆ โดยใช้บิวเรต กวนอย่างช้า ๆ ต่อไปจนกระทั่งสีย้อมดูดซับลงบนผิวอย่างสมบูรณ์

4) กรองสารและล้างคลอไรด์ไอออนออกจนหมด นำสารไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส แล้วนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบลูกบอล (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 การสังเคราะห์เลคพิกเมนต์จากสีสกัดจากลูกหม่อน

3.3.7 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยเลคพิกเมนต์ที่เตรียมจากลูกหม่อน

นำไหมผ่านการทำความสะอาดแล้ว แช่ในกรดสีน้ำสกัดลูกหม่อน บีบคั้นไหมกับน้ำสี เพื่อให้สีดูดซึมเข้าเส้นไหม จากนั้น เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ $32\text{ }^{\circ}\text{Be}$ และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจนสีน้ำลูกหม่อนเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินเข้ม บิดน้ำออกจากไหมและนำไหมไปแช่ ในอ่างสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์อีกครั้ง บิดน้ำส่วนเกินออกแล้วนำไปจุ่มแช่ในสารละลาย โซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเป็นการย้อมทับจนได้สีเข้มขึ้นเรื่อย ๆ ตามต้องการ ทำซ้ำจนกระทั่งไหมกินสี ย้อมจนหมดจึงนำไหมไปล้างน้ำและตากผึ่งลมให้แห้ง

3.3.8 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว

นำไหมที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว แช่ในกรดสีน้ำสกัดลูกหม่อน ปีบคั้นไหมกับน้ำสีเพื่อให้สีดูดซึมเข้าเส้นใย จากนั้นนำไหมไปแช่ในอ่างสารละลายสารฟีนิกสีประจุบวก (cationic fixing agent) และตามด้วยการแช่ในอ่างน้ำปูนใส จนกระทั่ง สีของน้ำลูกหม่อนเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว บิดน้ำออกจากไหม จากนั้นแช่ไหมในอ่างสีย้อมอีกครั้ง บิดน้ำส่วนเกินออก จุ่มแช่ในอ่างน้ำปูนใส เพื่อเป็นการย้อมทับจนได้สีเข้มขึ้นตามต้องการ ทำซ้ำจนกระทั่งไหมกินสีย้อมจนหมดจึงนำไหมไปล้างน้ำและตากผึ่งลมให้แห้ง

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 ร้อยละของปริมาณผงสี (%yield)

ชั่งน้ำหนักแห้งของมูลไหมหรือลูกหม่อนแช่แข็ง 10 กรัม เติมน้ำลงไปจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกเอาส่วนของน้ำสีและกากที่ได้ไปอบให้แห้งก่อนนำมาชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณผงสีและปริมาณกากของเหลือที่ได้คำนวณตามสมการที่ 1 และ 2

$$\text{ร้อยละของปริมาณผงสี (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผงสี}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100$$

สมการที่ 1

$$\text{ร้อยละของปริมาณกากของเหลือ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของกากของเหลือ}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100$$

สมการที่ 2

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์

วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ตามงานวิจัยของสันต์ ละอองศรี (2008) โดยมีวิธีการดังนี้ บดมูลไหมให้ละเอียดและชั่งน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง กรองกากออก ปรับปริมาตรของสารละลายให้เท่ากับ 30 มิลลิลิตร จากนั้นหุ้มภาชนะบรรจุสารละลายคลอโรฟิลล์ด้วยฟรอยด์เพื่อป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากการโดนแสง นำสารละลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดด้วยอะซิโตนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด จากสมการที่ 3

$$\text{คลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = \frac{[20.7(OD_{645}) + 8.02(OD_{663})]}{1000 \times W} \times V \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดย V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ตรวจวัดคลอโรฟิลล์
 m คือ น้ำหนักตัวอย่าง
 OD คือ ค่าการดูดกลืนแสง

3.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินตามงานวิจัยของอดิศักดิ์ จูมวงษ์ และ นารท นาคเฉลิม (2559) โดยมีวิธีการดังนี้ นำลูกหม่อน 9 กรัมใส่ลงในหลอดทดลอง เติม กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.5 N ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา กรองด้วยกระดาษกรอง และนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร

$$\text{Total absorbance} = [(OD_{535} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย}) / \text{ปริมาตรตัวอย่าง}] \times 100 \quad \text{สมการที่ 4}$$

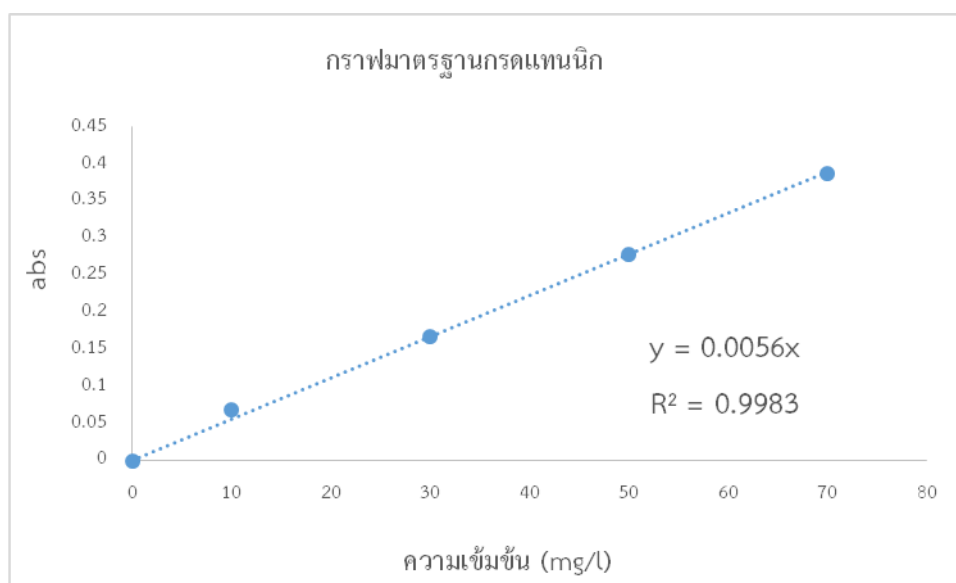
$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน} = \text{Total absorbance} / 98.2 \quad \text{สมการที่ 5}$$

3.4.4 ปริมาณแทนนิน

วิเคราะห์ปริมาณแทนนินด้วยวิธี Folin & Ciocalteus Phenol ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สารไฮโดรไลซ์แทนนินจากการเกิดปฏิกิริยากับฟอลินฟินอล ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร เปรียบเทียบปริมาณแทนนินกับกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก โดยเตรียมสารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้นตั้งแต่ 10 – 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมสารละลายกรดแทนนิกปริมาณ 3 มิลลิลิตร กับโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมฟอลินฟินอลปริมาณ 3 มิลลิลิตรลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 20 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร ผลการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้นต่าง ๆ

กรดแทนนิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0	10	30	50	70
ค่าการดูดกลืนแสง	0	0.06856	0.16731	0.2789	0.3880



ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของกรดแทนนิก

การหาปริมาณแทนนินในสารละลายตัวอย่างทำได้โดยเตรียมสารละลายผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักและผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก กรองเฉพาะสารละลายใส่ใส่หลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 3 มิลลิลิตรผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักหลอดละ 15 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำฟอสฟอริก 3 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีก่อนนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณแทนนินได้โดยใช้สมการที่ 6

$$\text{ปริมาณแทนนิน (mg/L)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ 735 nm}}{0.0084} \times \text{DF}$$

สมการที่ 6

เมื่อ DF คือ dilution factor

3.4.5 สันฐานวิทยาของผงสี

ศึกษาสันฐานวิทยาของผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนโดยใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-6610LV ผลิตโดย Joel Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสันฐานวิทยาของผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน มีขั้นตอนดังนี้ เทผงสีตัวอย่างลงบนเทปกาวสองหน้าติดกับแท่นรองรับซึ่งทำจากทองเหลือง (brass stub)

จากนั้นเคลือบทองลงบนผิวของผงสีเพื่อให้มีสมบัติการนำไฟฟ้า แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.6 สีของเส้นด้ายไหม

วัดค่าความเข้มสี และค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4.7 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนเส้นด้ายไหม 3 ชนิด ได้แก่ เส้นด้ายไหมที่ไม่ได้ย้อมสี เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมและเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ตามมาตรฐาน AATCC 100-2004 โดยแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกที่ใช้ในการทดสอบ คือ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ตามลำดับ คำนวณการลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามสมการที่ 7

$$R = ((B - A) \times 100) / B \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ R คือ การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

A คือ Log CFU/ml ของแบคทีเรียหลังการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 24)

B คือ Log CFU/ml ของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 0)

3.4.8 ความคงทนของสีต่อการซัก

ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักบนเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมและลูกหม่อนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 3-2552) ดังนี้ เย็บเส้นด้ายไหมติดกับผ้าฝ้ายขนาด 4×10 ตารางเซนติเมตร นำไปซักในสารละลายผงซักฟอกมาตรฐานความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนวัสดุสิ่งทอต่อน้ำที่ 1:50 ด้วยเครื่องย้อมอินฟาเรดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที จากนั้นนำผ้าไปล้างด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง ประเมินการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของเส้นด้ายไหมด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65 และประเมินผลการติดเปื้อนสีย้อมบนฝ้ายด้วยเกรย์สเกล

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายไหมด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี คือ ดีที่สุด (excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีปานกลาง คือ ดี (good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีบนฝ้ายด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

3.4.9 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูบนเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมและลูกหม่อนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 5-2552) ดังนี้ พันเส้นด้ายไหมให้ขนานกันตามแนวยาวกับกระดาษการ์ดแข็งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 5×14 เซนติเมตร ปรับภาวะขึ้นทดสอบและผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 4 จนขึ้นทดสอบอยู่ในภาวะสมดุล

การขัดถูแบบแห้ง

นำผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานที่ผ่านการปรับภาวะแล้วหุ้มหัวขัดถูให้แนวการทอขนานกับแนวการเคลื่อนที่ของหัวขัดถู ขัดถูไปกลับในอัตรา 1 รอบต่อ 1 วินาที จำนวน 10 รอบ จากนั้นนำผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานออกจากเครื่องและนำไปวางในห้องภาวะมาตรฐานเพื่อปรับภาวะ

การขัดถูแบบเปียก

นำผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานที่ผ่านการปรับภาวะแล้วจุ่มน้ำกลั่นให้ผ้ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 90-100 ทำการขัดถูเช่นเดียวกับการขัดถูแบบแห้ง จากนั้นนำผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานออกจากเครื่องและนำไปวางในห้องภาวะมาตรฐานเพื่อปรับภาวะ

ประเมินการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของเส้นด้ายไหมด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65 และประเมินผลการติดเปื้อนสีของบนผ้าฝ้ายขัดถูมาตรฐานด้วยเกรย์สเกล

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายไหมด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี คือ ดีที่สุด (excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีปานกลาง คือ ดี (good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีบนผ้าฝ้ายชุดมาตรฐานด้วยเกรย์สเกลในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

3.4.10 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ

ทดสอบความคงทนของสีต่อการจัดเก็บบนเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมและลูกหม่อนโดยเก็บเส้นด้ายไหมที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 เดือน วัดค่าความเข้มสี และค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมก่อนและหลังการจัดเก็บด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ร้อยละของปริมาณผงสี

สกัดสีจากมูลไหมและลูกหม่อนด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ร้อยละของผงสีที่สกัดได้และกากของเหลือแสดงในตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 ผลการสกัดสีจากมูลไหมและลูกหม่อน

วัสดุ	ผงสี (ร้อยละ)	กากของเหลือ (ร้อยละ)
มูลไหม	23.22 ± 0.24	73.94 ± 0.57
ลูกหม่อน	1.52 ± 0.12	10.62 ± 0.59

การสกัดสีจากมูลไหมด้วยน้ำ ได้ปริมาณผงสีร้อยละ 23.22 และปริมาณกากของเหลือร้อยละ 73.94 ส่วนการสกัดสีจากลูกหม่อนด้วยน้ำ ได้ปริมาณผงสีร้อยละ 1.52 และกากของเหลือร้อยละ 10.62 การที่ลูกหม่อนมีร้อยละของผงสีต่ำกว่ามูลไหมมาก เนื่องจากลูกหม่อนที่ใช้ในการสกัดสีเป็นลูกหม่อนแห้งซึ่งที่มีปริมาณน้ำสูงถึงร้อยละประมาณ 75 โดยน้ำหนักของลูกหม่อน ส่วนมูลไหมที่ใช้ในการสกัดสีเป็นมูลไหมแห้ง ร้อยละของผงสีที่สกัดได้จึงสูงกว่า

ลักษณะของผงสีอบแห้งจากมูลไหมและลูกหม่อน กากมูลไหมและกากลูกหม่อนหลังการสกัดสีมีลักษณะดังภาพที่ 4.1



(ก)



(ข)



(ค)



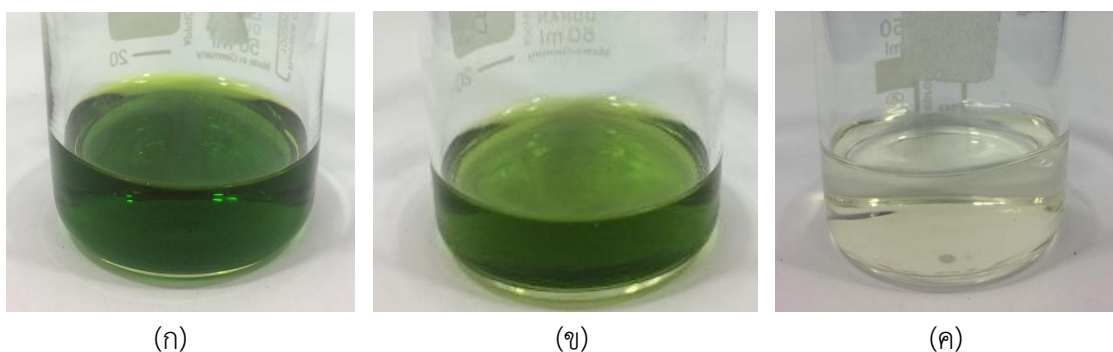
(ง)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของ (ก) ผงสีมูลไหมอบแห้ง (ข) กากมูลไหม (ค) ผงสีลูกหม่อนอบแห้ง
(ง) กากลูกหม่อน

ผงสีจากมูลไหมมีลักษณะมีสีดำและมีความมัน (ภาพที่ 4.1 (ก)) ในขณะที่ผงสีจากลูกหม่อนมีสีแดง-น้ำตาลและมีความเหนียวทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลในผลลูกหม่อน (ภาพที่ 4.1 (ค)) ส่วนกากมูลไหมและกากลูกหม่อน (ภาพที่ 4.1 (ข) และ 4.1 (ง)) มีลักษณะเป็นผงสีเขียว-น้ำตาล และสีแดง-น้ำตาลตามลำดับ

4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในมูลไหม

นำมูลไหมก่อนและหลังการสกัดสีและผงสีจากมูลไหมไปวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 และภาคผนวก ข

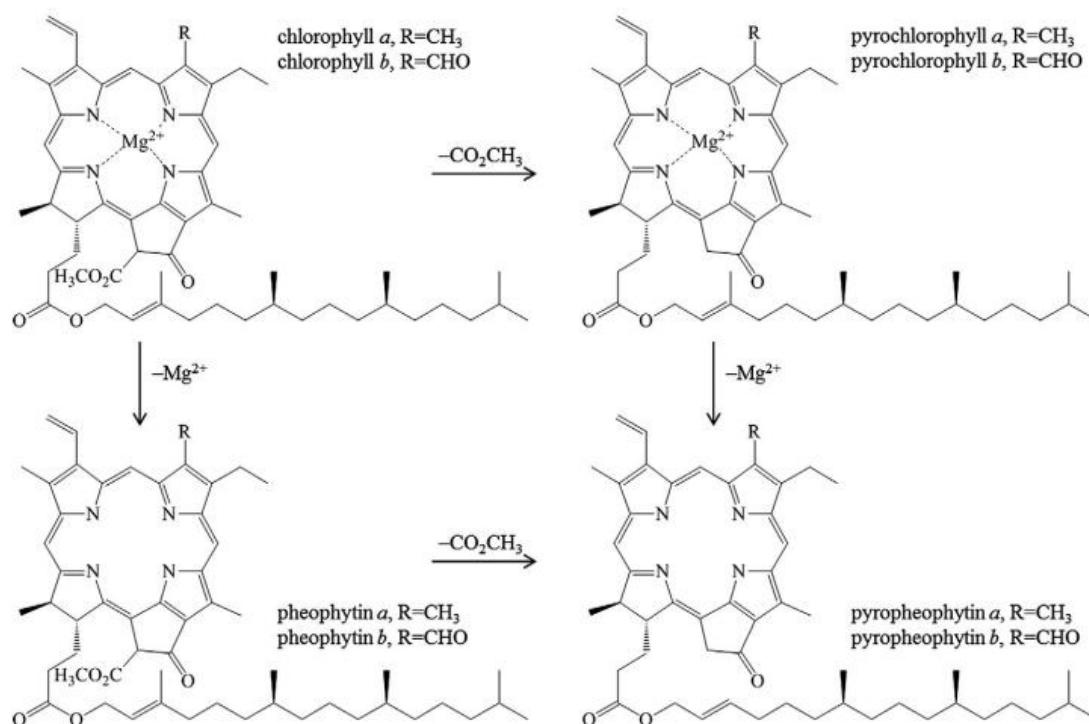


ภาพที่ 4.2 สารละลายสำหรับตรวจวัดคลอโรฟิลล์ (ก) มูลไหม (ข) กากมูลไหม (ค) ผงสีจากมูลไหม

ตารางที่ 4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์

วัสดุ	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
มูลไหม	54.84 ± 0.19
กากมูลไหม	20.70 ± 0.58
ผงสีจากมูลไหม	6.59 ± 0.37

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ระหว่างมูลไหม กากมูลไหมและผงสีจากมูลไหม (ตารางที่ 4.2) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในมูลไหมมีปริมาณสูงที่สุด คือ 54.84 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อนำมูลไหมไปสกัดสี พบว่ามูลไหมหลังการสกัดสี (กากมูลไหม) มีปริมาณคลอโรฟิลล์หลงเหลืออยู่ในกากมูลไหมพอสมควร แต่มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับมูลไหมก่อนการสกัดสี ส่วนผงสีจากมูลไหมที่ได้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมูลไหมและกากมูลไหม ซึ่งสอดคล้องกับสารละลายสำหรับการตรวจวัดคลอโรฟิลล์ในภาพที่ 4.2 ที่พบว่าสารละลายสำหรับตรวจวัดคลอโรฟิลล์จากมูลไหมมีสีเขียวเข้มที่สุด รองลงมาคือสารละลายสำหรับตรวจวัดคลอโรฟิลล์จากกากมูลไหมและสารละลายสำหรับตรวจวัดคลอโรฟิลล์จากผงสีมูลไหมมีสีเขียวยาวที่สุด เนื่องจากคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อน คลอโรฟิลล์สูญเสียอะตอมของแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ไปเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytins) และไพโรฟีโอไฟติน (pyropheophytins) ซึ่งมีสีน้ำตาลโอลีฟ (olive brown color) (Pumilia, G. et al. 2014) ดังภาพที่ 4.3

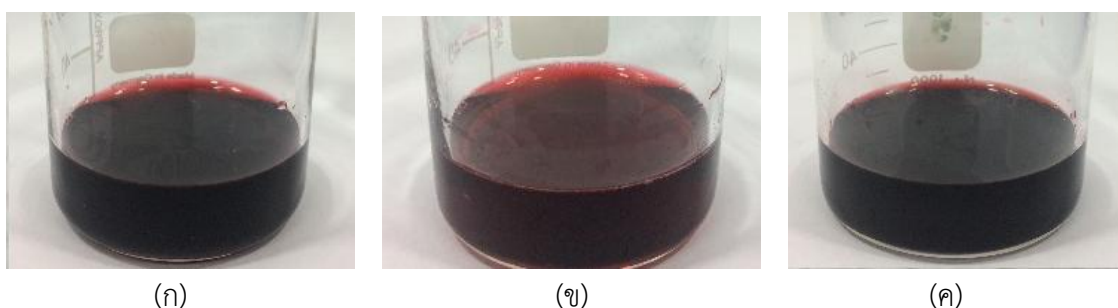


ภาพที่ 4.3 คลอโรฟิลล์และอนุพันธ์

ที่มา: Pumilia, G. et al. 2014

4.3 ปริมาณแอนโทไซยานินในลูกหม่อน

นำลูกหม่อนก่อนและหลังการสกัดสีและผงสีจากมูลไหมไปวัดปริมาณแอนโทไซยานิน ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.4 ตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ค



ภาพที่ 4.4 สารละลายสำหรับตรวจวัดแอนโทไซยานิน (ก) ลูกหม่อน (ข) กากลูกหม่อน
(ค) ผงสีจากลูกหม่อน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน

วัสดุ	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของลูกหม่อน)
ลูกหม่อนแห้ง	254.77 ± 2.67
กากลูกหม่อน	250.07 ± 1.04
ผงสีจากลูกหม่อนอบแห้ง	251.79 ± 3.64

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.3 พบว่า ลูกหม่อน กากลูกหม่อนและผงสีจากลูกหม่อนมีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยของ Suhl, H.J. et al. (2003) และ Liu, X. et al. (2004) พบว่า สารให้สีหลักกลุ่มแอนโทไซยานินจากผลลูกหม่อน คือ ไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyaniding-3-glucoside)

4.4 ปริมาณแทนนินของมูลไหมและลูกหม่อน

วิเคราะห์ปริมาณแทนนินในมูลไหม ผงสีมูลไหม ลูกหม่อนและผงสีลูกหม่อน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแทนนิน

วัสดุ	ค่าการดูดกลืนแสง	DF	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัมต่อกรัม) ต่อ 1 กรัม ตัวอย่างในน้ำ 100 มิลลิลิตร
มูลไหม	0.12672	25	565.71
ผงสีมูลไหม	0.12635	100	2,256.25
ลูกหม่อน	0	0	0
ผงสีลูกหม่อน	0.2712	1	484.26

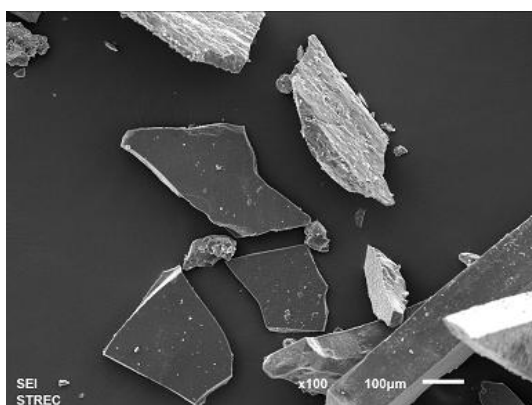
ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่า วัสดุจากมูลไหมทั้งจากมูลไหมและผงสีมูลไหมมีปริมาณแทนนินสูงกว่าวัสดุจากลูกหม่อน (ลูกหม่อนและผงสีลูกหม่อน) และพบว่าปริมาณแทนนินสูงขึ้น เมื่อทำมูลไหมและลูกหม่อนให้อยู่ในรูปผงสี

4.5 สัณฐานวิทยาของผงสี

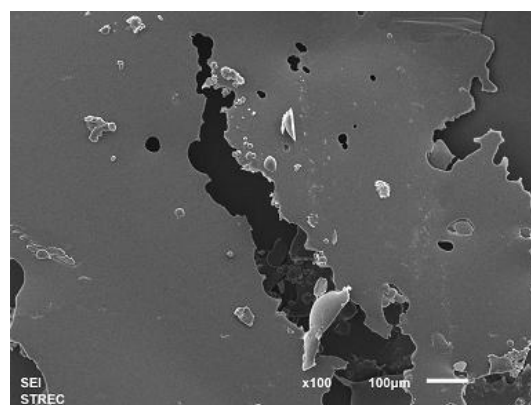
ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้วิธีการเตรียมผงสีต่างกัน คือ การอบและการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.5.1 สัณฐานวิทยาของผงสีจากการอบ

ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีสกัดจากมูลไหมและลูกหม่อนโดยวิธีการเตรียมผงสีแบบอบแห้ง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.5-4.6

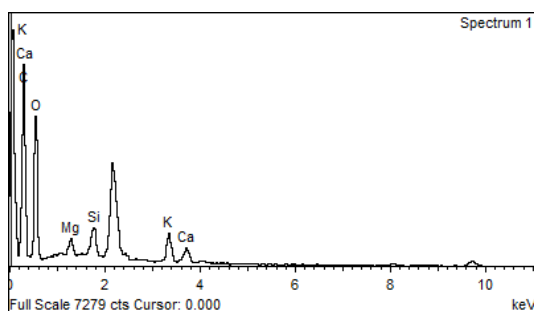


(ก)

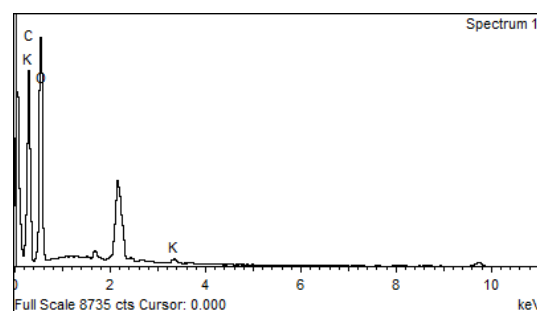


(ข)

ภาพที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของผงสีสกัดจาก (ก) มูลไหม (ข) ลูกหม่อน จากการอบที่กำลังขยาย 100 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.6 การวิเคราะห์ธาตุของผงสีสกัดจาก (ก) มูลไหม (ข) ลูกหม่อน

สัณฐานวิทยาของผงสีจากมูลไหม (ภาพที่ 4.5 (ก)) มีลักษณะเป็นเกล็ด โดยผงสีสกัดจากมูลไหมประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม คาร์บอน ออกซิเจน แมกนีเซียมและซิลิกอน ในขณะที่ผงสีจากลูกหม่อนมีลักษณะเป็นแผ่น (ภาพที่ 4.5 (ข)) ทั้งนี้เนื่องจากลูกหม่อนมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อเตรียมผงสีทำให้ผงสีที่ได้ไม่ค่อยคงตัว และผงสีจากลูกหม่อนประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียม คาร์บอนและออกซิเจน (ภาพที่ 4.6 (ข))

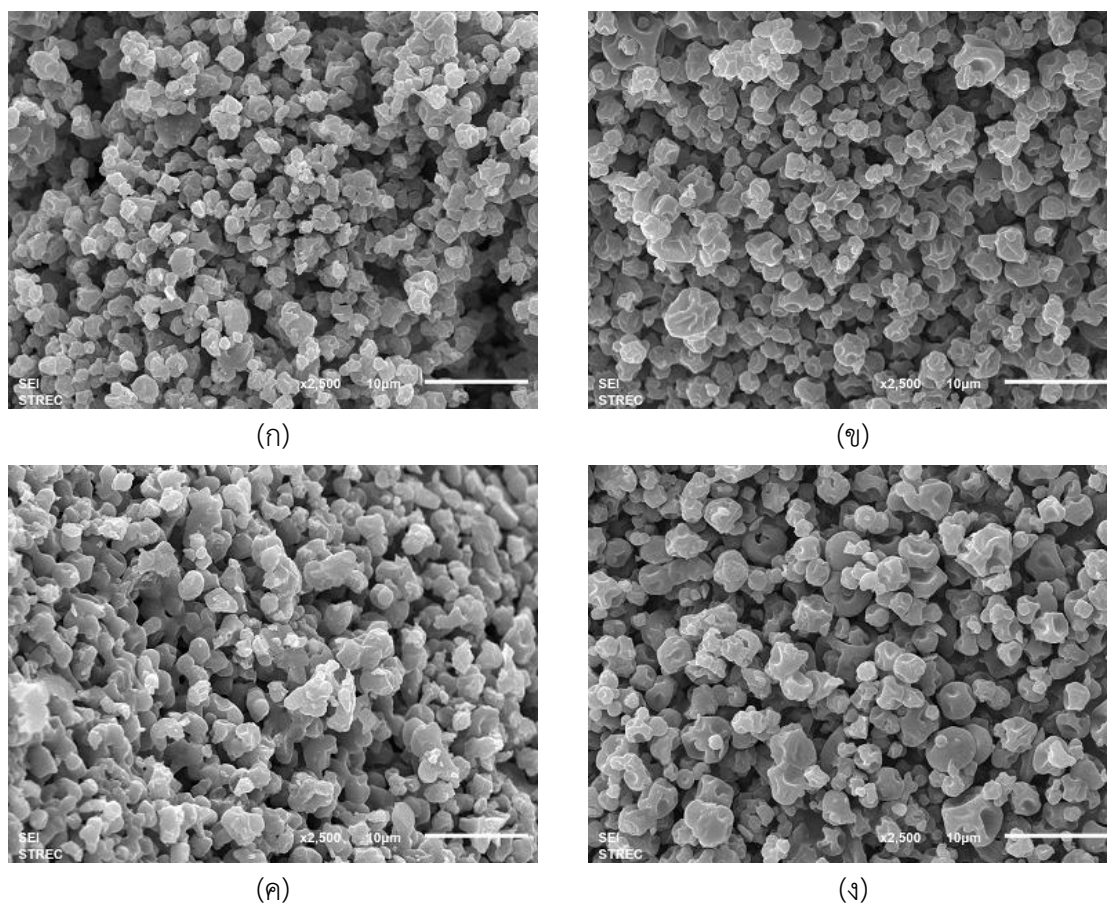
มูลไหมเป็นผลจากการให้อาหารหนอนไหมด้วยใบหม่อน เมื่อหนอนไหมกินใบหม่อน ใบหม่อนประมาณร้อยละ 60 ถูกขับออกจากร่างกายหนอนไหมโดยไม่มีการย่อย (Sohn, B.-H. et al. 2009) ดังนั้นมูลไหมอาจประกอบด้วยใบหม่อนและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เปลี่ยนรูปทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในลำไส้ของหนอนไหม (Park, J.-H. et al. 2011) ซึ่งใบหม่อนประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ มากมาย เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ซิลิกอน อะลูมิเนียม แมงกานีสและสังกะสี และพบว่าองค์ประกอบหลักคือ ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม (Yigit, D. 2010) (ภาพที่ 4.6 (ก))

4.5.2 สันฐานวิทยาของผงสีมูลไหมจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ศึกษาสันฐานวิทยาของผงสีสกัดจากมูลไหมโดยวิธีการเตรียมผงสีแบบใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ศึกษาอัตราการป้อนสารต่อสันฐานวิทยาของผงสีมูลไหม

ศึกษาอัตราการป้อนสารต่อสันฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียสและค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.7

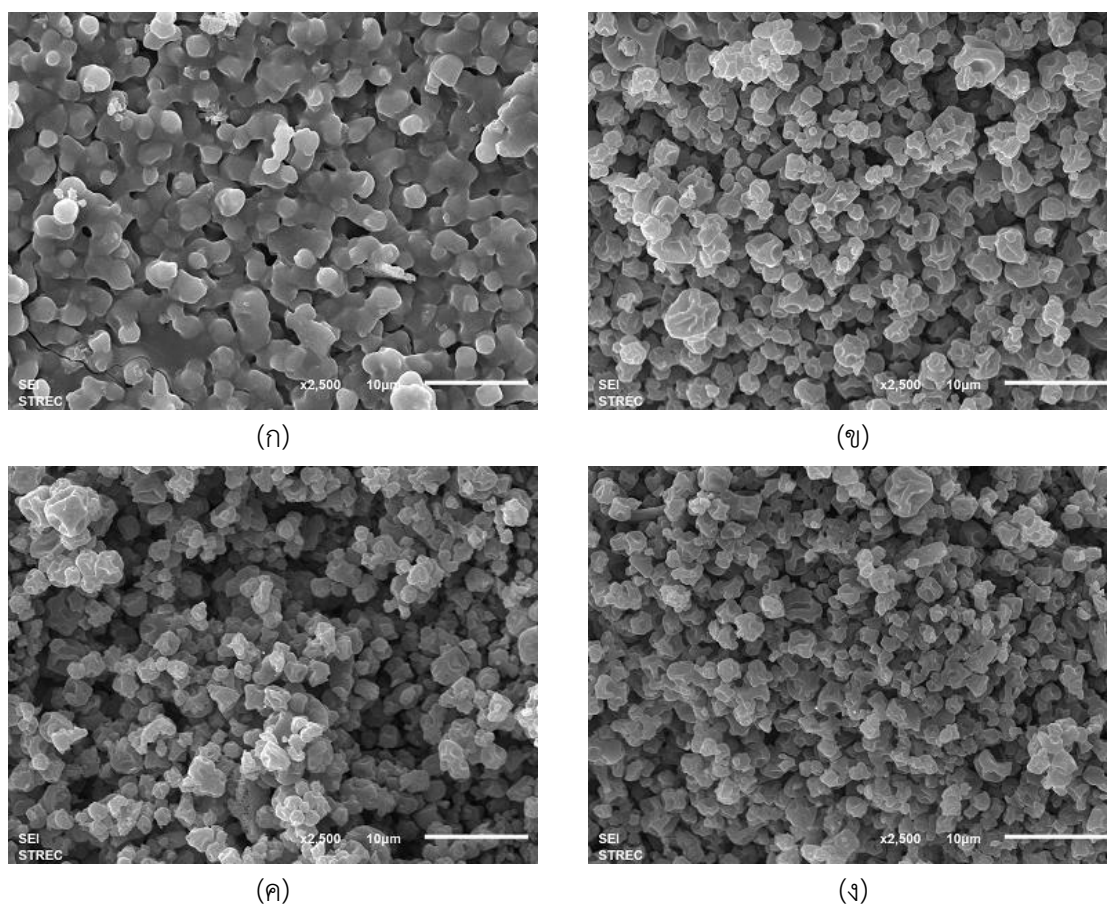


ภาพที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที

สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหมจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ภาพที่ 4.7) มีขนาดเล็กกว่าผงสีจากการอบแห้ง (ภาพที่ 4.5) อนุภาคผงสีมีรูปร่างกลมและมีโครงสร้างที่เกาะติดกัน ซึ่งการเกาะติดกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลทางไฟฟ้าสถิต (static electrical effects) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) (Martinez, F.M.L. et al. 2010) การใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีเกาะรวมกันเป็นก้อนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นระเหยออกจากสารได้น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารขึ้น

ศึกษาอนุภาิษาเข้าต่อสัณฐานวิทยาของผงสิมูลไหม

ศึกษาอนุภาิษาเข้าต่อสัณฐานวิทยาของผงสิมูลไหม เมื่อใช้ัอัตราการไหลที่ 10 รอบต่อ นาที และค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.8

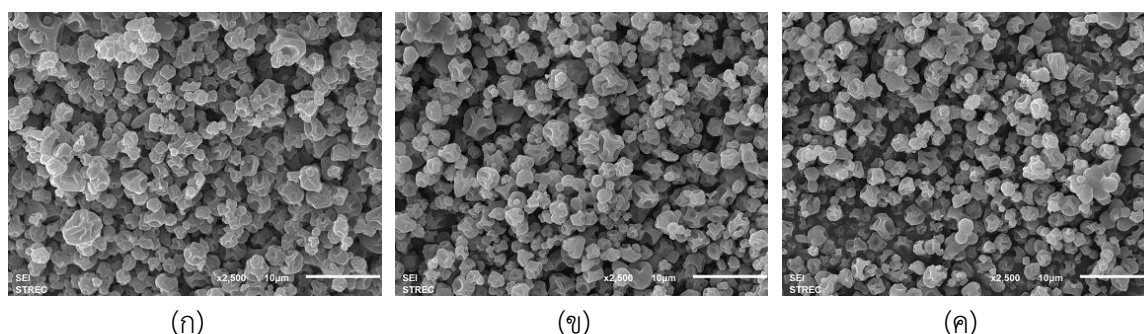


ภาพที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของผงสิมูลไหม เมื่อใช้ัอนุภาิษาเข้าสารต่างกัน (ก) 120 องศาเซลเซียส (ข) 140 องศาเซลเซียส (ค) 160 องศาเซลเซียส (ง) 180 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของผงสิมูลไหมจากการใช้ัเครื่องทำัแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า เมื่อใช้ัอนุภาิษาเข้าสูงัขึ้น อนุภาคของผงสิมูลไหมมีขนาดน้อยลงเนื่องจากความขึ้นในผงสิต่ำลง นอกจากนี้ ขนาดของอนุภาคผงสิมูลไหมมีขนาด 1-6 ไมโครเมตร การใช้ัอนุภาิษาเข้าสูงั ส่งผลให้ อนุภาคผงสิมูลไหมมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับการใช้ัอนุภาิษาเข้าที่ต่ำกว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับ Pajareon, S. and Theerakulkait, C. (2017) ที่ศึกษาการทำัแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากร้าข้าวหอมนิล ผลการทดลองพบว่าสัณฐานวิทยาของผงสารสกัดจากร้าข้าวหอมนิลจากการทำัแห้งแบบพ่นฝอยมีขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อใช้ัอนุภาิษาเข้าสูงั

ศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อสัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม

ศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อสัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม โดยควบคุมภาวะ ดังนี้ ใช้อุณหภูมิ อัตราการป้อนสารและค่าการไหลของอากาศที่ 140 องศาเซลเซียส 10 รอบต่อนาทีและ 20 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 100: 0
(ข) 85: 15 (ค) 70: 30

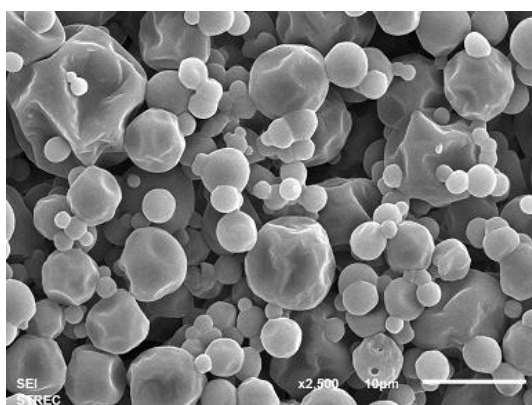
เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน พบว่าอนุภาคมีทรงกลมที่มีพื้นผิวหตุตัว (a spherical shape with a shriveled surface) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Kurozawa, L.E. et al. (2009) ที่ทำผงแห้งของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากเนื้อไก่ (chicken meat protein hydrolysate) ผสมมอลโทเดกซ์ทริน รอยบุมนี้เกิดจากการหตุตัวของอนุภาคในขณะทำแห้งและทำให้เย็นตัวลง รอยบุมเหล่านี้มีผลกระทบต่อสมบัติการไหลของอนุภาคของผง นอกจากนี้ ขนาดของอนุภาคผงสีลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน ผลการทดลองสอดคล้องกับ Phoungchandang, S. and Sertwasana, A. (2010) ที่ศึกษาการทำผงแห้งน้ำขิง โดยพบว่าขนาดอนุภาคของขิงผงลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินและกลูโคสเหลว

4.5.3 สัณฐานวิทยาของผงสีลูกหม่อนจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

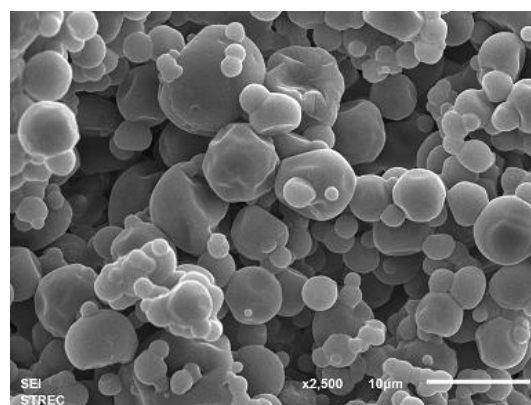
น้ำลูกหม่อนมีน้ำตาลสูง เมื่อนำน้ำลูกหม่อนไปทำแห้งแบบพ่นฝอย น้ำลูกหม่อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเริ่มแสดงพฤติกรรมการเกาะติดเมื่ออุณหภูมิที่ผิวสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของผลิตภัณฑ์ประมาณ 10 องศาเซลเซียส และเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิสูงถึง 20 องศาเซลเซียส น้ำลูกหม่อนจะเหนียวเกาะติดกับผนังเครื่อง ดังนั้นในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงต้องเติมสารลดความเหนียว เช่น มอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของผลิตภัณฑ์ได้จึงลดปัญหาการเกาะติดและทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น (Intipunya, P. and Thamee, T. 2014)

ศึกษาอัตราการป้อนสารต่อสัญญาณวิทยาของผงสีลูกหม่อน

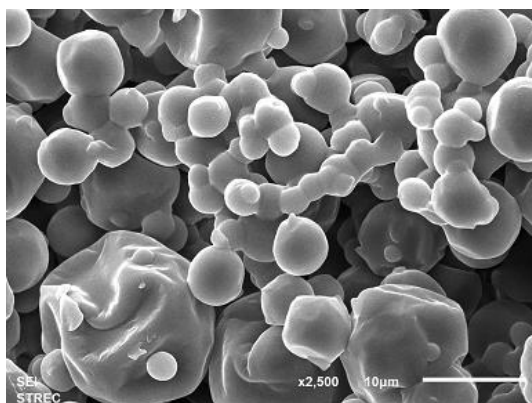
ศึกษาอัตราการป้อนสารต่อสัญญาณวิทยาของผงสีลูกหม่อนที่อัตราส่วนสีต่อมอลโท เดกซ์ทรีน 70 ต่อ 30 อุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียสและค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.10



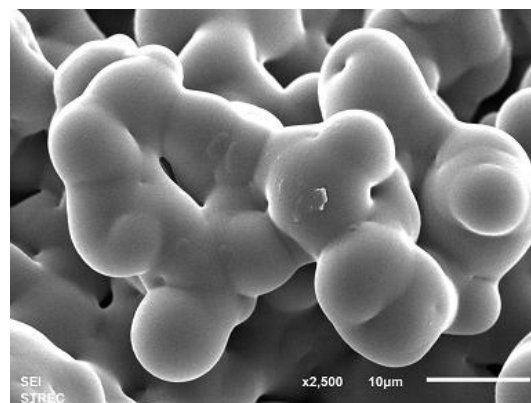
(ก)



(ข)



(ค)



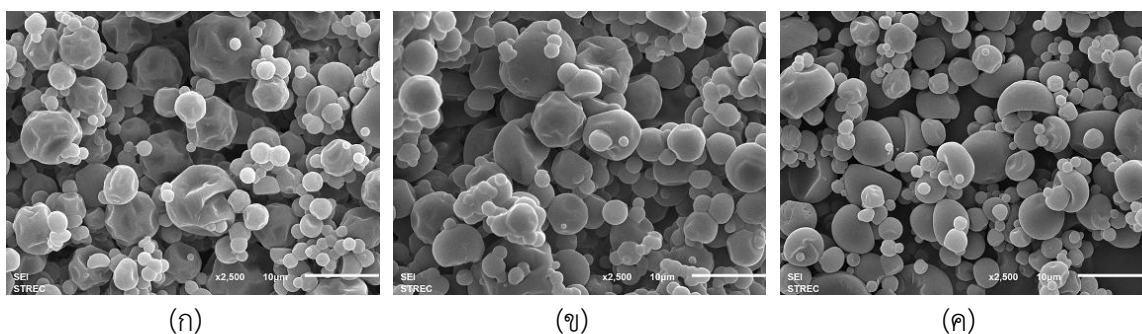
(ง)

ภาพที่ 4.10 สัญญาณวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที

การใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีเกาะรวมกันเป็นก้อนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นระเหยออกจากสารได้น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Wang, W. et al (2015) ที่พบว่าเมื่อลดอัตราการป้อนสารลง อนุภาคของซอสถั่วเหลืองผงมีลักษณะแห้งมากขึ้น

ศึกษาอุณหภูมิเข้าต่อสัญญาณวิทยาของผงสีลูกหม่อน

ศึกษาอุณหภูมิเข้าต่อสัญญาณวิทยาของผงสีมูลไหม เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโท เดกซ์ทรีน 70 ต่อ 30 อัตราการไหลที่ 10 รอบต่อนาที และค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของผงซิลิกาเหมือน เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าสารต่างกัน (ก) 130 องศาเซลเซียส (ข) 150 องศาเซลเซียส (ค) 170 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.11 แสดงสัณฐานวิทยาของผงซิลิกาเหมือนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าต่างกัน ผงซิลิกาเหมือนจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวของอนุภาคมีการหดตัวเล็กน้อยและมีขนาดแตกต่างกัน การหดตัวของพื้นผิวอนุภาคลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากภายใต้การทำแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิที่สูงช่วยให้อนุภาคเกิดการแห้งตัวได้อย่างรวดเร็ว พื้นผิวของอนุภาคมีลักษณะแข็งและช่วยป้องกันการหดตัวได้ (Wang, W. et al. 2015) และอนุภาคของผงสีติดกันน้อยลงด้วยเนื่องจากความชื้นในผงสีต่ำลง

ศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อสัณฐานวิทยาของผงซิลิกาเหมือน

ศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อสัณฐานวิทยาของผงซิลิกาเหมือน โดยควบคุมภาวะดังนี้ อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน 70 ต่อ 30 ใช้อุณหภูมิ อัตราการป้อนสารและค่าการไหลของอากาศที่ 150 องศาเซลเซียส 10 รอบต่อนาทีและ 20 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.12-4.13



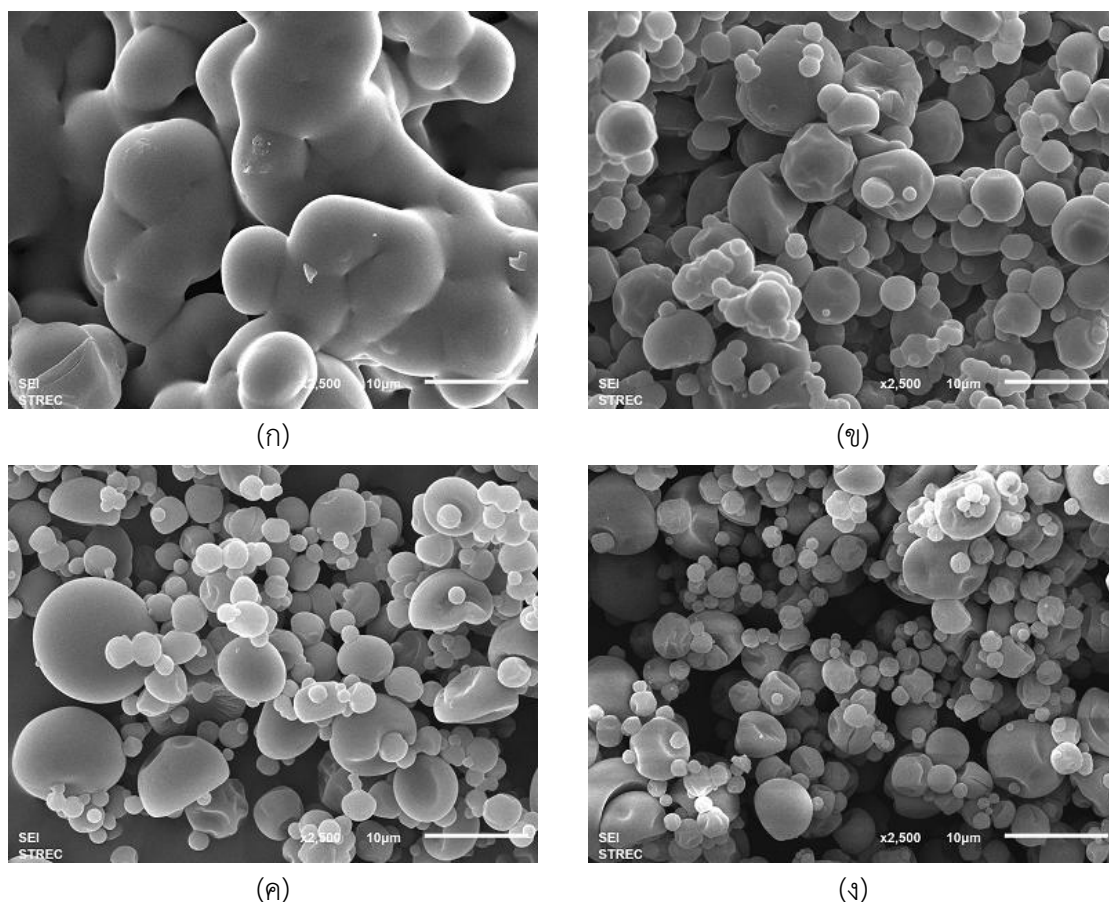
(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.12 ลักษณะของผงซิลิกาเหมือน เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่

(ก) 80: 20 (ข) 60: 40



ภาพที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของผงสีลูกหมอน เมื่อใช้อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 80: 20 (ข) 70: 30 (ค) 60: 40 (ง) 50: 50

ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ผงสีมีความสว่างมากขึ้น (ภาพที่ 4.12) เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว การเติมมอลโทเดกซ์ทรินลงไปจึงทำให้ผงสีมีสีอ่อนลง มีความสว่างสูงขึ้น

การใช้อัตราส่วนมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ทำให้ระดับการจับตัวของผงสีเป็นก้อนลดลง (ภาพที่ 4.13) เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศและการจับตัวเป็นก้อนลดลง (Farahnaky, A. et al. 2016)

4.6 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหมอน

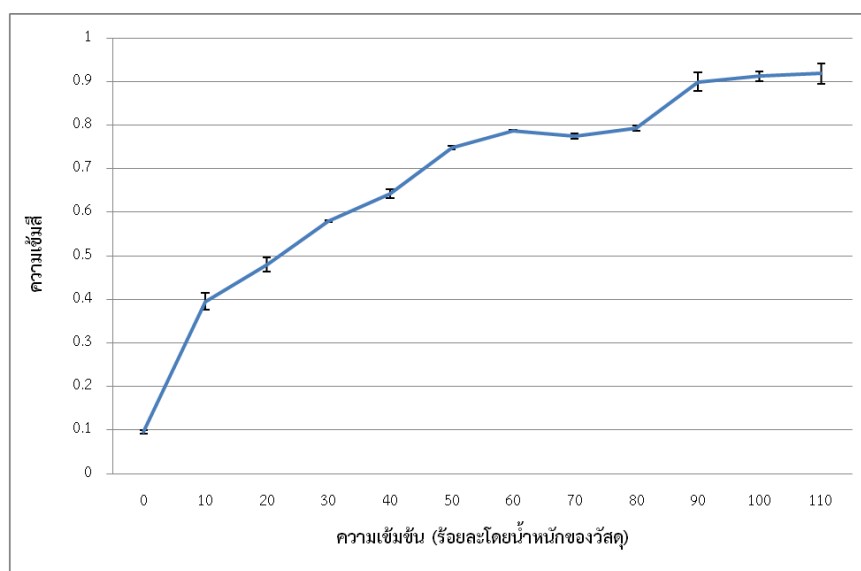
การเตรียมสีธรรมชาติให้อยู่ในรูปของผงสีจะช่วยควบคุมคุณภาพการย้อมในแต่ละครั้งให้มีความเข้มและเฉดสีที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการเตรียมสีในรูปสารละลายมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสีในสารละลายแต่ละครั้งไม่เท่ากัน เช่น ความชื้นของวัตถุดิบ ในงานวิจัยนี้ เลือกเทคนิคในการทำแห้ง 2 เทคนิค คือ การทำแห้งด้วยการอบแห้งและเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้ง

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมจากการอบแห้ง ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ แสดงในตารางที่ 4.5-4.6 ภาพที่ 4.14-4.18 และภาคผนวก จ และ ฉ

ตารางที่ 4.5 ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้ง

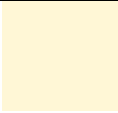
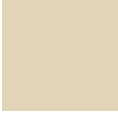
ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม)	ความเข้มสี (K/S)
0	0.0953 ± 0.0037
10	0.3951 ± 0.0192
20	0.4804 ± 0.0163
30	0.5788 ± 0.0023
40	0.6423 ± 0.0098
50	0.7476 ± 0.0045
60	0.7872 ± 0.0022
70	0.7744 ± 0.0064
80	0.7930 ± 0.0059
920	0.8990 ± 0.0214
100	0.9125 ± 0.0113
110	0.9186 ± 0.0232

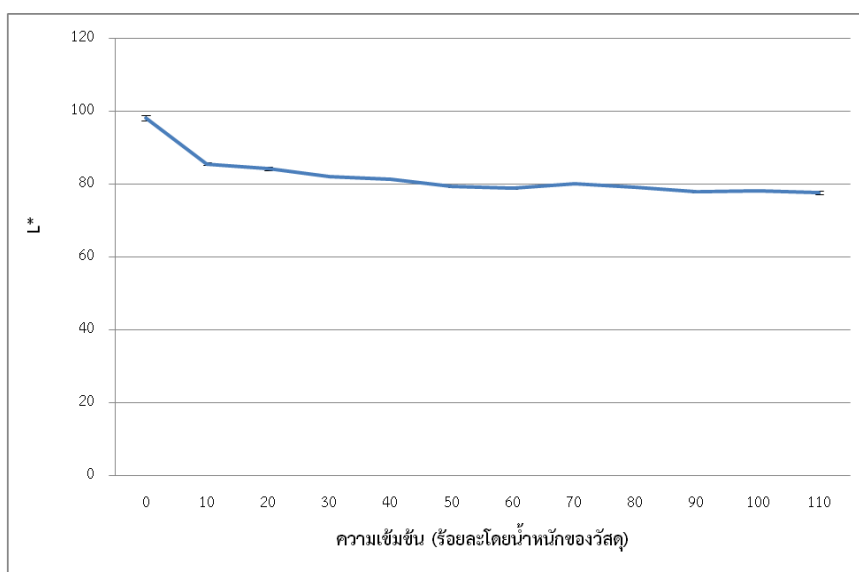


ภาพที่ 4.14 ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม

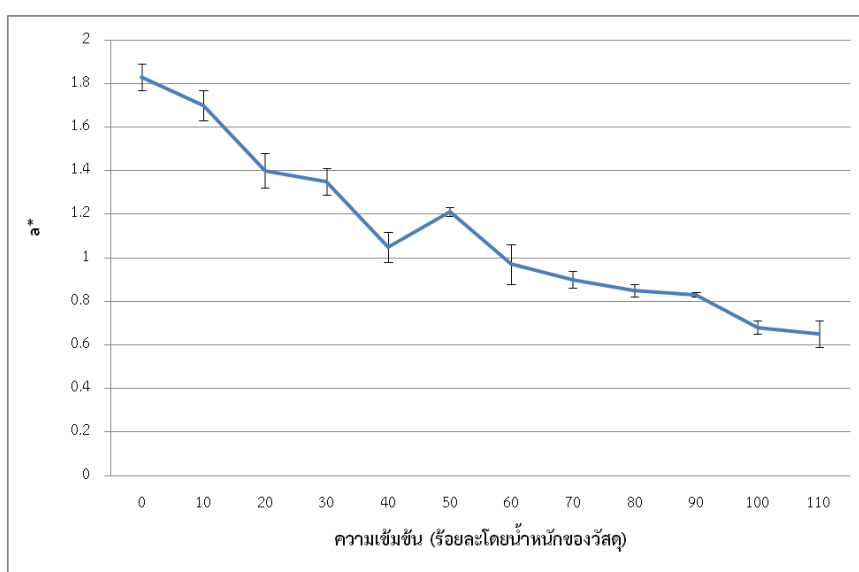
ค่าความเข้มสีบนเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของผงสีมูลไหมที่ใช้ในการย้อม (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.14)

ตารางที่ 4.6 ค่า CIE L*a*b* เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากมูลไหมอบแห้ง

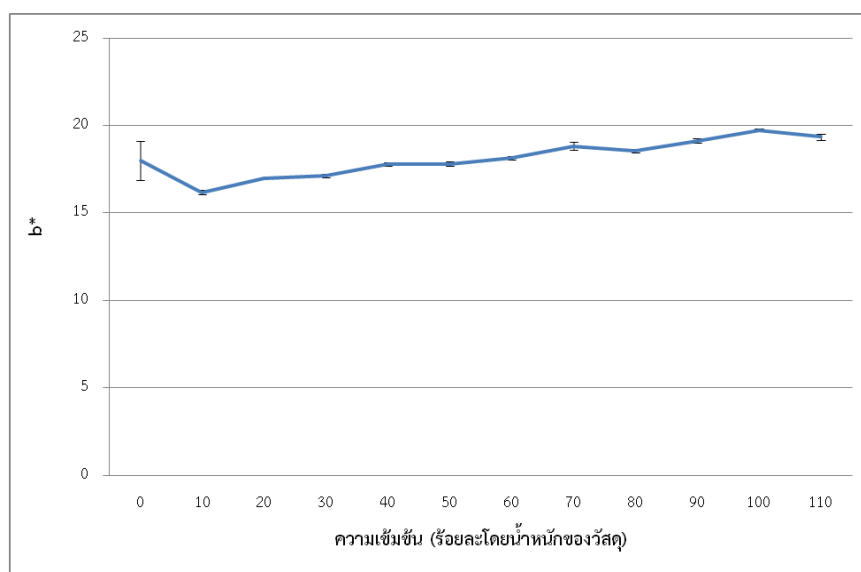
ความเข้มข้น (ร้อยละ โดยน้ำหนักของเส้นด้าย ไหม)	L*	a*	b*	สี
0	98.07 ± 0.68	1.83 ± 0.06	18.00 ± 1.11	
10	85.50 ± 0.44	1.70 ± 0.07	16.17 ± 0.12	
20	84.10 ± 0.46	1.40 ± 0.08	16.96 ± 0.06	
30	81.90 ± 0.02	1.35 ± 0.06	17.13 ± 0.08	
40	81.25 ± 0.16	1.05 ± 0.07	17.80 ± 0.09	
50	79.23 ± 0.13	1.21 ± 0.02	17.80 ± 0.12	
60	78.81 ± 0.14	0.97 ± 0.09	18.13 ± 0.10	
70	79.94 ± 0.08	0.90 ± 0.04	18.82 ± 0.24	
80	79.08 ± 0.15	0.85 ± 0.03	18.55 ± 0.08	
90	77.81 ± 0.34	0.83 ± 0.01	19.12 ± 0.13	
100	77.98 ± 0.26	0.68 ± 0.03	19.73 ± 0.08	
110	77.58 ± 0.60	0.65 ± 0.06	19.34 ± 0.20	



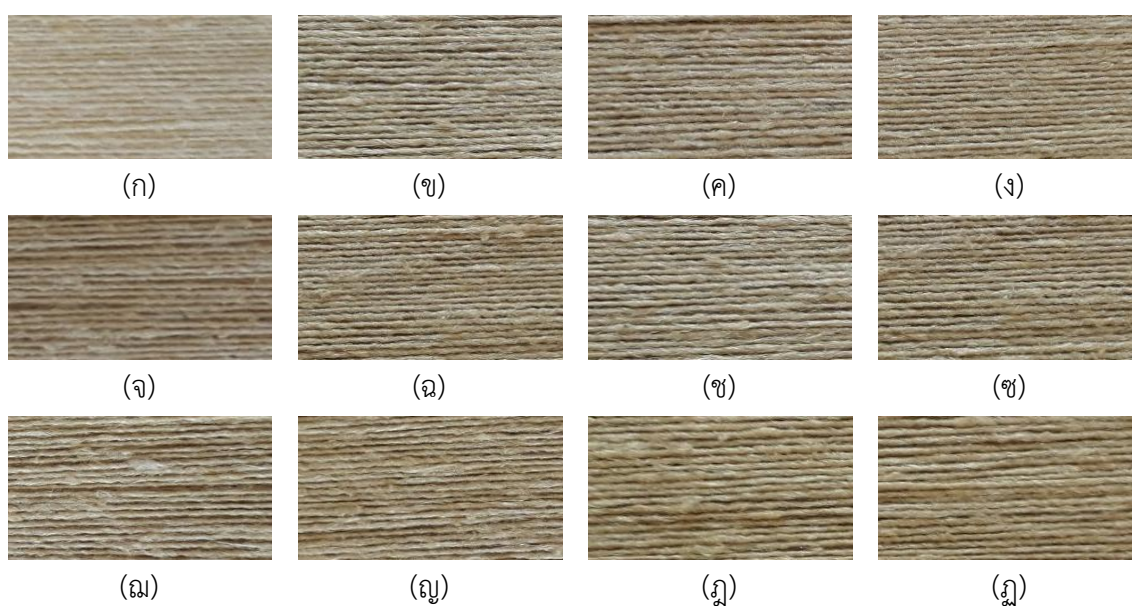
ภาพที่ 4.15 ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม



ภาพที่ 4.16 ค่าความแดง (a^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม



ภาพที่ 4.17 ค่าความเหลือง (b^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหม



ภาพที่ 4.18 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากมูลไหมเมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 (ช) ร้อยละ 60 (ซ) ร้อยละ 70 (ณ) ร้อยละ 80 (ญ) ร้อยละ 90 (ฎ) ร้อยละ 100 (ฏ) ร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

เมื่อนำผงสีที่สกัดจากมูลไหมด้วยการระเหยน้ำออกด้วยความร้อนมาทำการย้อมเส้นด้ายไหม ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมหลังการย้อมแสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.15-4.18 ค่าความเข้มสี

ของเส้นด้ายไหมสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมในอ่างย้อมเพิ่มขึ้น ซึ่งโมเลกุลของสีย้อมเหล่านี้สามารถยึดติดกับเส้นใยได้ (Shahid, A. et al. 2016)

ค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือ สีขาว เมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อมไหมสูงขึ้น ค่าความสว่างของสีลดลง ค่า a^* คือสีเขียว-สีแดง โดยถ้า a^* มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีออกไปทางเขียว และ a^* มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีออกไปทางแดง ซึ่งจากการย้อมไหมด้วยผงสีไหมพบว่ามีค่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงสีขึ้น ไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีไหมมีความแดงลดลง ส่วน b^* คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสีน้ำเงิน-เหลือง โดยถ้า b^* มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีออกไปทางน้ำเงิน และ b^* มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีออกไปทางเหลือง ซึ่งจากการย้อมไหมด้วยผงสีไหมพบว่ามีค่าความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงสีขึ้น

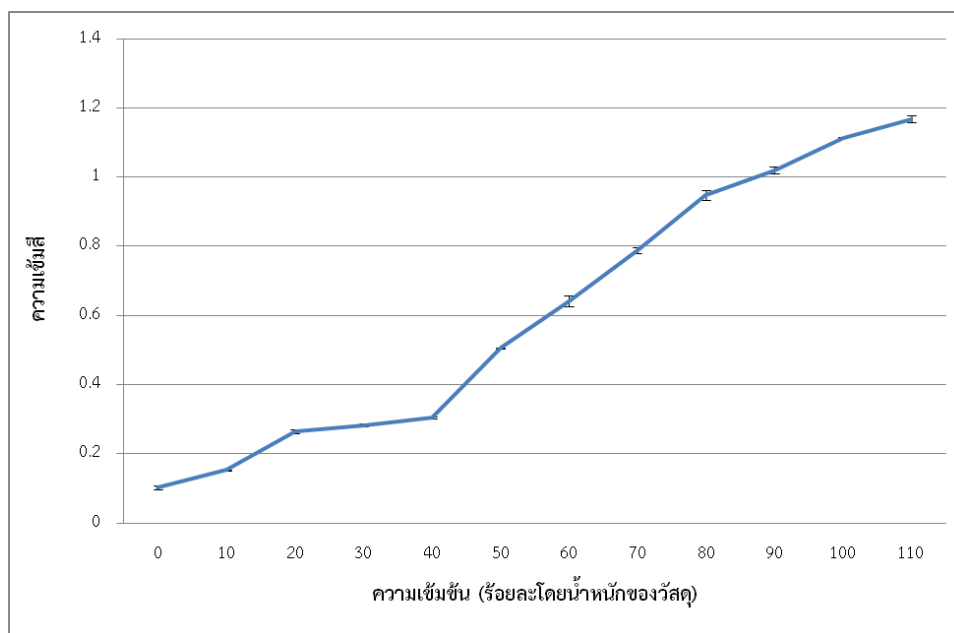
ไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีไหมสีเฉดสีน้ำตาลอมเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Jonani, L. and Winifred, D. (2013) ที่ใช้ใบหม่อนย้อมผ้าไหมได้สีน้ำตาลอมเหลือง (buff brown) การที่ย้อมได้เฉดสีน้ำตาลอมเหลืองแทนที่จะได้เฉดสีเขียวของคลอโรฟิลล์เนื่องจากคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากลูกหม่อนอบแห้ง

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากไหมจากการอบแห้ง ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ แสดงในตารางที่ 4.7-4.8 ภาพที่ 4.19-4.23 และภาคผนวก จ และ ข

ตารางที่ 4.7 ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนอบแห้ง

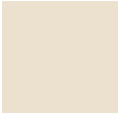
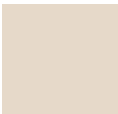
ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม)	ความเข้มสี (K/S)
0	0.1021 ± 0.0062
10	0.1528 ± 0.0023
20	0.2652 ± 0.0051
30	0.2831 ± 0.0043
40	0.3046 ± 0.0024
50	0.5060 ± 0.0011
60	0.6417 ± 0.0152
70	0.7885 ± 0.0076
80	0.9475 ± 0.0149
920	1.0193 ± 0.0096
100	1.1141 ± 0.0016
110	1.1678 ± 0.0099

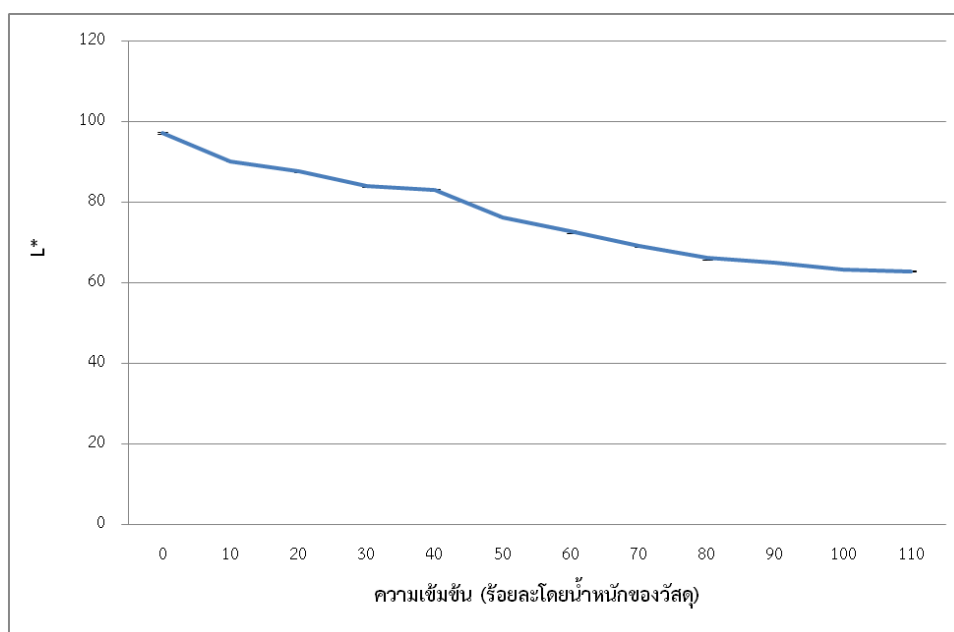


ภาพที่ 4.19 ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน

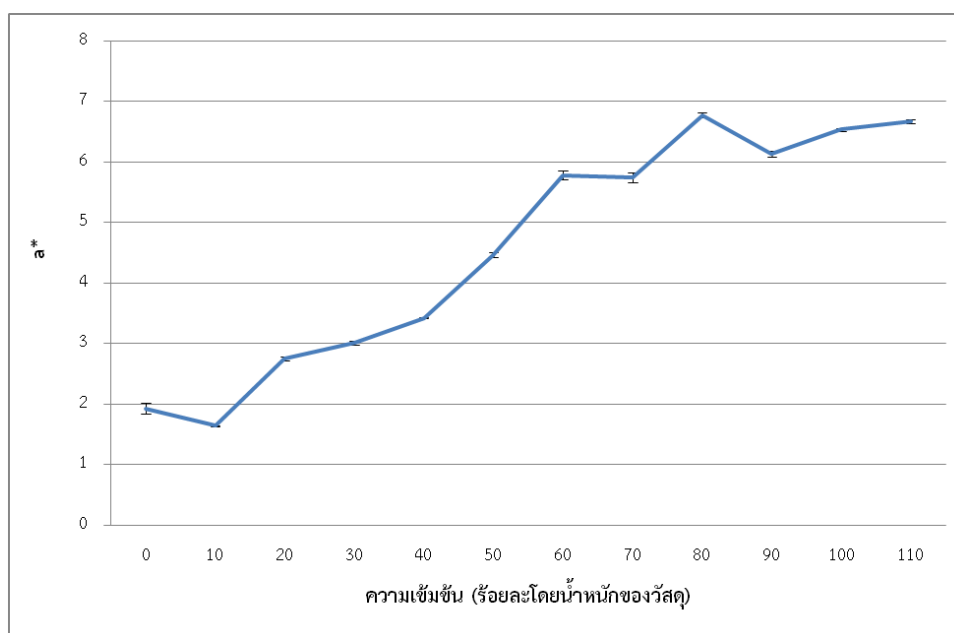
ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของผงสีลูกหม่อนที่ใช้ (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.19)

ตารางที่ 4.8 เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนอบแห้ง

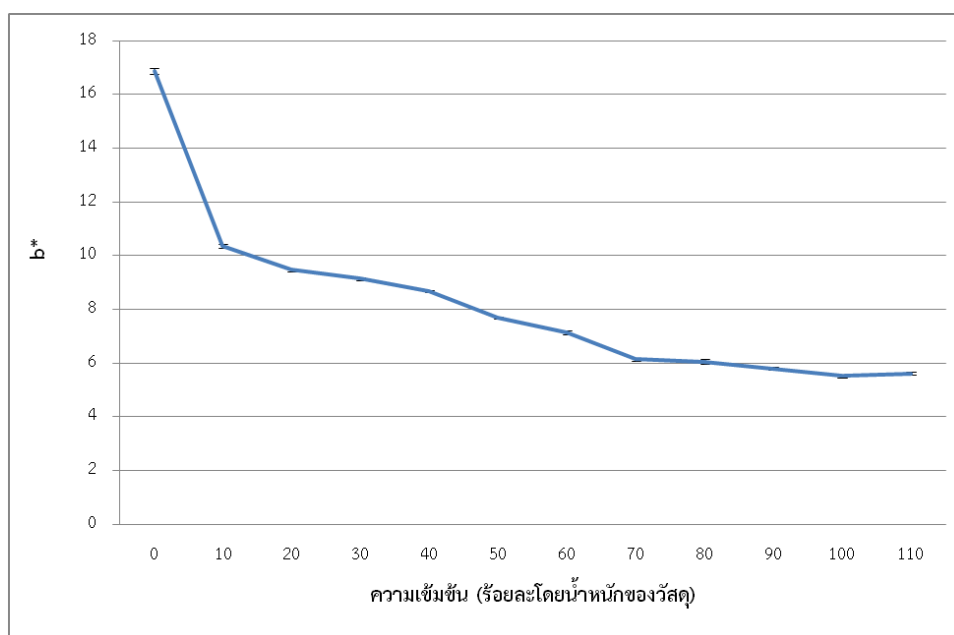
ความเข้มข้น (ร้อยละ โดยน้ำหนักของเส้นด้าย ไหม)	L*	a*	b*	สี
0	97.09 ± 0.24	1.92 ± 0.09	16.85 ± 0.11	
10	90.07 ± 0.10	1.64 ± 0.01	10.36 ± 0.08	
20	87.49 ± 0.12	2.75 ± 0.03	9.50 ± 0.06	
30	83.90 ± 0.20	3.01 ± 0.03	9.13 ± 0.05	
40	82.96 ± 0.15	3.42 ± 0.01	8.66 ± 0.04	
50	76.15 ± 0.02	4.46 ± 0.04	7.69 ± 0.03	
60	72.62 ± 0.34	5.78 ± 0.07	7.14 ± 0.07	
70	68.94 ± 0.11	5.74 ± 0.08	6.13 ± 0.04	
80	66.02 ± 0.31	6.77 ± 0.04	6.05 ± 0.08	
90	64.93 ± 0.13	6.13 ± 0.05	5.80 ± 0.04	
100	63.26 ± 0.08	6.53 ± 0.02	5.51 ± 0.05	
110	62.72 ± 0.12	6.67 ± 0.03	5.61 ± 0.05	



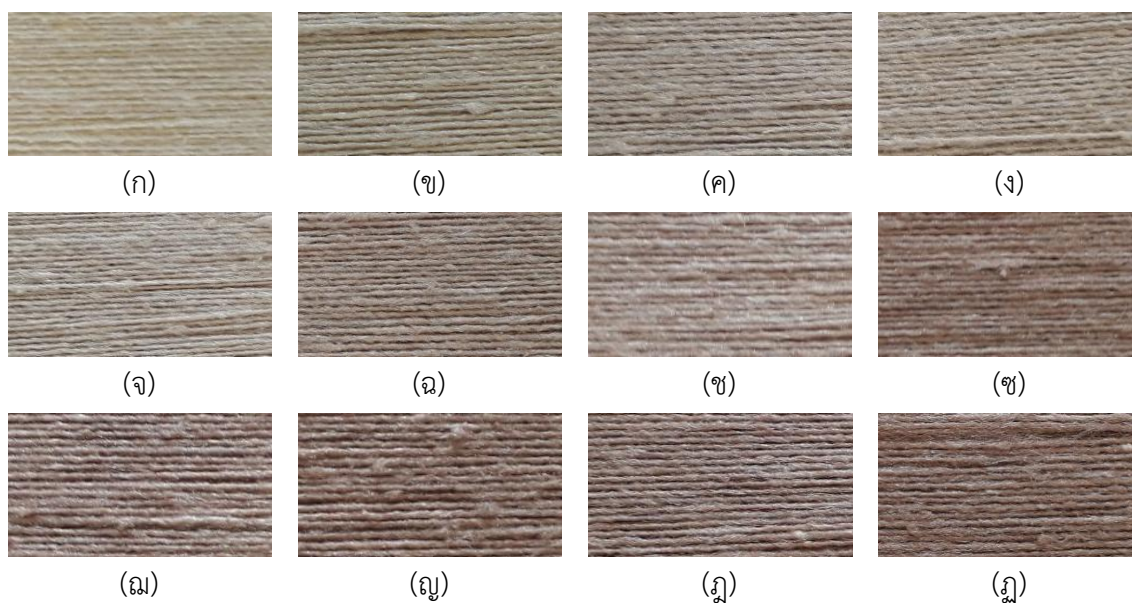
ภาพที่ 4.20 ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน



ภาพที่ 4.21 ค่าความแดง (a^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน



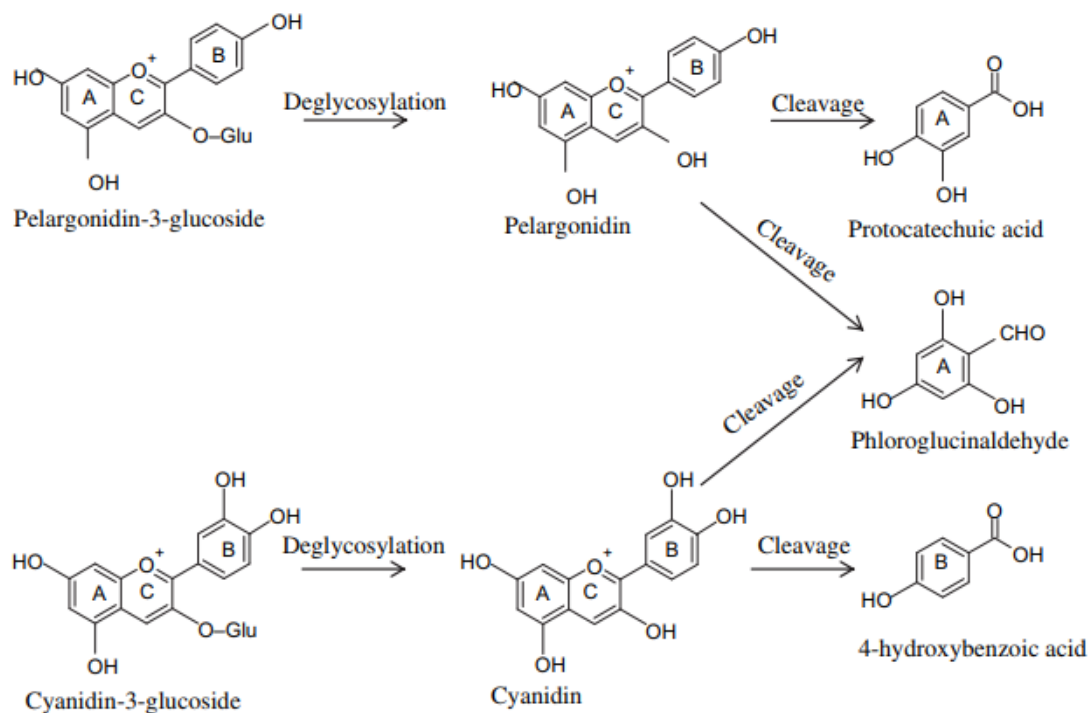
ภาพที่ 4.22 ค่าความเหลื่อม (b^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อน



ภาพที่ 4.23 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากลูกหม่อนเมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 (ช) ร้อยละ 60 (ซ) ร้อยละ 70 (ณ) ร้อยละ 80 (ญ) ร้อยละ 90 (ฎ) ร้อยละ 100 (ฏ) ร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.20-4.23 แสดงผลการย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีที่สกัดจากลูกหม่อน ด้วยการระเหยน้ำออกด้วยความร้อน ค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสีย้อมลูกหม่อนสูงขึ้น ค่าความสว่างของสีบนเส้นด้ายไหมลดลง ส่วนค่า a^* คือสีเขียว-สีแดง จากการย้อมพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงสีขึ้น เส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยลูกหม่อนมีความแดงสูงขึ้น และค่า b^* คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสีน้ำเงิน-เหลือง ซึ่งจากการย้อมไหมด้วยผงสีลูกหม่อนพบว่าค่าความเหลืองลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงสีขึ้น

สีของเส้นด้ายไหมจากการย้อมด้วยลูกหม่อนมีสีน้ำตาลแดงทั้งนี้เนื่องจากแอนโทไซยานินไม่เสถียรเมื่อโดนความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Wahyuningsih, S. et al. 2016) ซึ่งกลไกการสลายตัวของความร้อนที่เป็นไปได้ของแอนโทไซยานินแสดงในภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 กลไกการสลายตัวของความร้อนที่เป็นไปได้ของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Patras, A. et al. 2010

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ แสดงในตารางที่ 4.9 และภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.9 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับผงสีมูลไหมอบแห้ง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ผงสี	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
อบแห้ง	0.7872 ± 0.0022	78.81 ± 0.14	0.97 ± 0.09	18.13 ± 0.10	
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	0.7843 ± 0.0051	78.85 ± 0.08	0.97 ± 0.05	18.27 ± 0.14	

ค่าความเข้มสีและค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมจากการอบแห้งและการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการทำผงสีมูลไหมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่ได้เติมสารช่วยพา (carrier) ลงไปด้วย ดังนั้นผงสีที่ได้คือผงสีจากมูลไหมเท่านั้น

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากลูกหม่อนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากลูกหม่อนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยเทียบกับผงสีลูกหม่อนอบแห้ง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ผงสี	อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
			L*	a*	b*	
อบแห้ง	-	0.9475 ± 0.0149	66.02 ± 0.31	6.77 ± 0.04	6.05 ± 0.08	
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	80:20	0.8410 ± 0.0082	71.54 ± 0.35	5.30 ± 0.17	7.67 ± 0.47	
	60:40	0.4768 ± 0.0248	77.70 ± 0.69	5.13 ± 0.09	8.77 ± 0.21	

ความเข้มสีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อนจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าต่ำกว่าการย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการเติมมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งเป็นสารช่วยพาลงไปด้วยในการทำผงสี ดังนั้น ผงสีที่ได้จะประกอบด้วยสีจากลูกหม่อนและมอลโทเดกซ์ทริน

4.7 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนแบบใส่มอร์แดนต์

การย้อมสีธรรมชาตินั้นสามารถสร้างความหลากหลายของเฉดสีและเพิ่มสมบัติด้านความคงทนของสีได้ด้วยการเติมสารมอร์แดนต์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดของสารมอร์แดนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มและเฉดสีบนเส้นด้ายไหมในกระบวนการย้อม

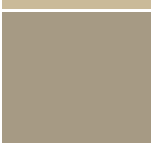
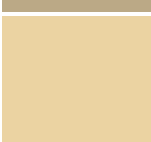
การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้ง

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมจากการอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมโดยใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม พร้อมการย้อมและหลังการย้อม ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ แสดงในตารางที่ 4.11-4.14 และภาคผนวก ณ

ตารางที่ 4.11 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
-	0.7872 ± 0.0022	78.81 ± 0.14	0.97 ± 0.09	18.13 ± 0.10	
กรดแทนนิก	0.9228 ± 0.0041	77.67 ± 0.16	2.26 ± 0.01	18.04 ± 0.11	
กรดซิตริก	0.9209 ± 0.0142	77.74 ± 0.17	1.44 ± 0.04	18.60 ± 0.07	
ไคโตซาน	1.2291 ± 0.0116	69.56 ± 1.05	1.77 ± 0.05	16.63 ± 0.28	
ว่านหางจระเข้	0.9713 ± 0.0038	76.76 ± 0.18	1.38 ± 0.03	18.43 ± 0.19	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.0485 ± 0.0089	69.84 ± 0.07	0.64 ± 0.01	12.11 ± 0.03	
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.720.9 ± 0.0435	64.90 ± 0.34	3.01 ± 0.08	15.00 ± 0.08	
สแตนนัสซัลเฟต	1.2315 ± 0.0253	74.36 ± 0.29	2.64 ± 0.08	20.03 ± 0.24	
โครเมียมซัลเฟต	1.2857 ± 0.0175	71.85 ± 0.14	2.32 ± 0.02	19.56 ± 0.08	

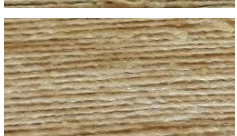
ตารางที่ 4.12 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
กรดแทนนิก	1.2452 ± 0.0099	73.83 ± 0.37	2.45 ± 0.04	18.00 ± 0.22	
กรดซิตริก	2.2692 ± 0.0034	63.27 ± 0.06	5.28 ± 0.03	18.81 ± 0.06	
ไคโตซาน	1.1571 ± 0.0090	77.98 ± 0.02	3.00 ± 0.00	22.35 ± 0.07	
ว่านหางจระเข้	1.0554 ± 0.0022	76.38 ± 0.02	1.87 ± 0.00	19.03 ± 0.04	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.6428 ± 0.0076	64.20 ± 0.03	2.09 ± 0.01	13.02 ± 0.08	
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.4749 ± 0.0212	70.09 ± 0.33	2.90 ± 0.02	20.52 ± 0.23	
สแตนนัสซัลเฟต	0.8874 ± 0.0015	85.60 ± 0.03	3.42 ± 0.02	27.21 ± 0.01	
โครเมียมซัลเฟต	1.3610 ± 0.0058	73.03 ± 0.04	3.69 ± 0.02	21.85 ± 0.04	

ตารางที่ 4.13 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
กรดแทนนิก	0.8157 ± 0.0019	80.22 ± 0.03	1.50 ± 0.02	18.84 ± 0.04	
กรดซิตริก	0.7699 ± 0.0080	80.93 ± 0.13	1.24 ± 0.04	19.01 ± 0.02	
ไคโตซาน	0.8251 ± 0.0044	79.47 ± 0.17	1.56 ± 0.00	18.88 ± 0.09	
ว่านหางจระเข้	0.8571 ± 0.0020	78.83 ± 0.06	0.82 ± 0.01	18.85 ± 0.05	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.5149 ± 0.0006	68.34 ± 0.02	1.83 ± 0.01	16.31 ± 0.01	
คอปเปอร์ซัลเฟต	0.9289 ± 0.0019	75.59 ± 0.01	-1.30 ± 0.01	18.78 ± 0.02	
สแตนนัสซัลเฟต	0.9579 ± 0.0049	78.79 ± 0.16	1.87 ± 0.01	20.60 ± 0.09	
โครเมียมซัลเฟต	0.9172 ± 0.0056	76.76 ± 0.03	1.12 ± 0.01	17.54 ± 0.04	

ตารางที่ 4.14 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในขั้นตอนต่างกัน

ชนิดของมอร์แดนต์	ขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์		
	ก่อนการย้อม	พร้อมการย้อม	หลังการย้อม
-			
กรดแทนนิก			
กรดซิตริก			
ไคโตซาน			
ว่านหางจระเข้			
เฟอร์รัสซัลเฟต			
คอปเปอร์ซัลเฟต			
สแตนนัสซัลเฟต			
โครเมียมซัลเฟต			

ค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่มอร์แดนต์ทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับโลหะที่มีประจุบวกได้ ในกรณีของไหม ประจุลบของสีและประจุบวกของโลหะมีแรงดึงดูดต่อหมู่อะมิโนที่มีประจุบวก (positively charged amino groups)

และหมู่คาร์บอกซิลิกที่มีประจุลบ (negatively charged carboxyl groups) ตามลำดับ ดังนั้นมอร์แดนต์เข้าสู่เส้นใยและสร้างพันธะไฮออนิกระหว่างสีย้อมกับเส้นใย โลหะกับเส้นใย และสีย้อมกับไอออนของโลหะได้ หนึ่งในโมเลกุลของสีย้อมสามารถสร้างพันธะกับเส้นใยได้หนึ่งที แต่ว่าหนึ่งโมเลกุลของมอร์แดนต์สามารถสร้างพันธะกับ 2 หรือมากกว่ากับสีย้อม ผลที่ได้คือ เมื่อมีโมเลกุลของมอร์แดนต์บนเส้นใยมอร์แดนต์จะจับโมเลกุลสีย้อม 2 โมเลกุล ดังนั้นการใช้มอร์แดนต์จึงทำให้ความเข้มข้น (Uddin, M.G. 2014) ขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์ที่แตกต่างกัน (ก่อน พร้อมและหลังการย้อม) ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเส้นด้ายไหมแตกต่างกัน อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระเจิงแสงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเส้นใยและเกลือของโลหะ (Jihad, R. 2014)

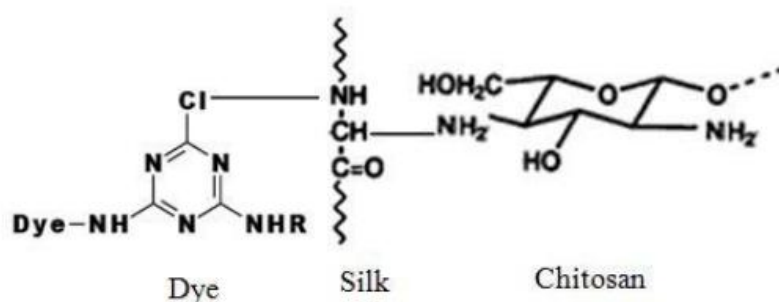
ชนิดของมอร์แดนต์มีผลต่อเฉดสีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหม (ตารางที่ 4.11-4.14) การใช้กรดซิตริกเป็นมอร์แดนต์พร้อมการย้อมมีความเข้มข้นของสีสูง การใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสซัลเฟตให้ค่าความเข้มข้นสูงกว่าการใช้สแตนนัสซัลเฟตซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Monkholrattanasit, R. et al. (2016)

การใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ทำให้ค่าความเข้มข้นสูงกว่าการใช้สแตนนัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ เนื่องจากคอปเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสซัลเฟตสามารถสร้างสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน (coordination complexes) ได้ เนื่องจากเลขโคออร์ดิเนชันของคอปเปอร์ซัลเฟตและเฟอร์รัสซัลเฟต คือ 4 และ 6 ตามลำดับ บางตำแหน่งโคออร์ดิเนชัน (coordination site) ยังว่างเมื่อเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย ดังนั้น โลหะเหล่านี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสามชนิด (ternary complex) คือ ตำแหน่งหนึ่งติดกับเส้นใยและอีกตำแหน่งหนึ่งติดกับสีย้อม (Monkholrattanasit, R. et al. 2016) นอกจากนี้ การใช้สแตนนัสซัลเฟตสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับสีย้อมได้ดีแต่เกิดพันธะไม่แข็งแรงกับเส้นใย ทำให้สีย้อมเข้าไปสู่เส้นใยได้ยากและลดการที่สีย้อมจะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย

ค่า L^* คือค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างของสี L^* เท่ากัน 0 หมายถึงสีดำ ส่วน L^* เท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว การที่ค่าความสว่างของไหมที่ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นเฟอร์ริกโดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เฟอร์รัสและเฟอร์ริกอยู่ร่วมกันบนเส้นใยและมีสเปกตราคาบเกี่ยวกันซึ่งทำให้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดเลื่อนไปสู่เฉดสีที่เข้มขึ้น (Monkholrattanasit, R. et al. 2011)

การใช้วานหางจระเข้เป็นมอร์แดนต์ทำให้ค่าความเข้มข้นและความเหลืองบนเส้นด้ายไหมเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับไหมที่ย้อมโดยไม่ใช้สารช่วยติด เนื่องจากวานหางจระเข้มีองค์ประกอบหลักคือ กรดคริสแซมมิก (crysammic acid) ซึ่งให้สีเหลืองทองบนเส้นใยโปรตีน (Srivastava, A. and Singh, T.G. 2011)

การใช้ไคโตซานเป็นมอร์แดนต์ก่อนการย้อมให้ค่าความเข้มสีสูงกว่าการใช้ไคโตซานเป็นมอร์แดนต์พร้อมและหลังการย้อม ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Chairat, M. (2009) ที่พบว่าการจุ่มแช่ไหมด้วยไคโตซานก่อนการย้อมครั้งช่วยเพิ่มการดูดสีย้อมในไหมและลดการที่สีย้อมจะหลุดออกจากเส้นด้ายไหม กลไกที่เป็นไปได้ในการย้อมโมเลกุลสีย้อม-ไหม-ไคโตซานแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 กลไกที่เป็นไปได้ในการย้อมโมเลกุลสีย้อม-ไหม-ไคโตซาน

ที่มา: Hosseini, M. 2013

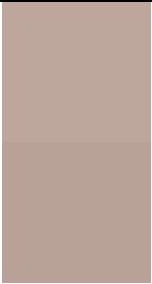
การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากลูกหม่อนอบแห้ง

ย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีลูกหม่อนจากการอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมโดยใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม พร้อมการย้อมและหลังการย้อม ค่าความเข้มสีและ $\text{CIE L}^*\text{a}^*\text{b}^*$ แสดงในตารางที่ 4.15-4.18 และภาคผนวก ญ

ตารางที่ 4.15 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
-	0.9475 ± 0.0149	66.02 ± 0.31	6.77 ± 0.04	6.05 ± 0.08	
กรดแทนนิก	0.9089 ± 0.0023	67.29 ± 0.02	7.68 ± 0.01	6.58 ± 0.01	
กรดซิตริก	0.9757 ± 0.0054	67.60 ± 0.11	7.20 ± 0.01	8.07 ± 0.05	
ไคโตซาน	1.0295 ± 0.0028	66.05 ± 0.09	6.14 ± 0.02	7.48 ± 0.06	
ว่านหางจระเข้	1.0367 ± 0.0073	67.16 ± 0.14	7.05 ± 0.03	8.66 ± 0.03	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.1879 ± 0.0066	59.63 ± 0.07	-0.87 ± 0.01	0.55 ± 0.22	
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.3864 ± 0.0015	60.97 ± 0.02	1.35 ± 0.02	6.07 ± 0.05	
สแตนนัสซัลเฟต	1.3276 ± 0.0039	61.71 ± 0.05	1.11 ± 0.03	0.69 ± 0.03	
โครเมียมซัลเฟต	0.8015 ± 0.0033	67.74 ± 0.01	4.91 ± 0.02	4.28 ± 0.03	

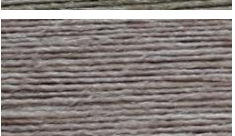
ตารางที่ 4.16 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
กรดแทนนิก	0.8646 ± 0.0035	70.00 ± 0.08	7.61 ± 0.02	8.49 ± 0.04	
กรดซิตริก	0.9416 ± 0.0012	68.31 ± 0.03	7.12 ± 0.02	8.38 ± 0.02	
ไคโตซาน	0.6001 ± 0.0045	73.16 ± 0.07	7.62 ± 0.02	6.73 ± 0.01	
ว่านหางจระเข้	0.8574 ± 0.0054	69.26 ± 0.07	6.86 ± 0.01	7.48 ± 0.04	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.0317 ± 0.0008	62.86 ± 0.03	-0.62 ± 0.02	1.85 ± 0.02	
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.2052 ± 0.0021	64.82 ± 0.02	1.69 ± 0.01	8.02 ± 0.03	
สแตนนัสซัลเฟต	0.9096 ± 0.0012	67.85 ± 0.06	0.92 ± 0.03	1.69 ± 0.01	
โครเมียมซัลเฟต	0.8417 ± 0.0047	66.13 ± 0.07	-1.45 ± 0.02	1.87 ± 0.03	

ตารางที่ 4.17 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม

ชนิดของมอร์แดนต์	ความเข้มสี	CIE L*a*b*			เฉดสี
		L*	a*	b*	
กรดแทนนิก	0.6793 ± 0.0017	72.78 ± 0.04	7.16 ± 0.01	7.98 ± 0.02	
กรดซิตริก	0.8317 ± 0.0030	69.53 ± 0.03	6.79 ± 0.01	7.92 ± 0.04	
ไคโตซาน	0.7859 ± 0.0071	70.11 ± 0.10	7.80 ± 0.01	7.78 ± 0.03	
ว่านหางจระเข้	0.8901 ± 0.0017	68.62 ± 0.02	5.83 ± 0.02	7.48 ± 0.01	
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.5328 ± 0.0085	57.76 ± 0.06	-1.47 ± 0.01	2.53 ± 0.02	
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.2604 ± 0.0064	63.61 ± 0.06	-1.74 ± 0.00	7.05 ± 0.04	
สแตนนัสซัลเฟต	1.0830 ± 0.0011	64.38 ± 0.01	0.49 ± 0.02	3.37 ± 0.02	
โครเมียมซัลเฟต	1.0171 ± 0.0081	65.21 ± 0.03	3.77 ± 0.02	5.54 ± 0.03	

ตารางที่ 4.18 สีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในขั้นตอนต่างกัน

ชนิดของมอร์แดนต์	ขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์		
	ก่อนการย้อม	พร้อมการย้อม	หลังการย้อม
-			
กรดแทนนิก			
กรดซิตริก			
ไคโตซาน			
ว่านหางจระเข้			
เฟอร์รัสซัลเฟต			
คอปเปอร์ซัลเฟต			
สแตนนัสซัลเฟต			
โครเมียมซัลเฟต			

เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยมอร์แดนต์จากสารธรรมชาติ เช่น กรดแทนนิก กรดซิตริก ไคโตซานและว่านหางจระเข้ มีเฉดสีใกล้เคียงกับการย้อมโดยไม่ใช้มอร์แดนต์ แต่การใช้มอร์แดนต์โลหะทำให้เฉดสีเปลี่ยนแปลงไป (ตารางที่ 4.15-4.18)

ขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์ที่แตกต่างกัน (ก่อน พร้อมและหลังการย้อม) ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเส้นด้ายไหมแตกต่างกัน อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระเจิงแสงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเส้นใยและเกลือของโลหะ (Jihad, R. 2014)

การใช้สแตนนัสซัลเฟต สีในสารละลายจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน-ม่วงซึ่งแสดงว่า Sn^{2+} สามารถสร้างสารเชิงซ้อนสีม่วงกับแฟลวิลเลียม แคตไอออน (flavylium cation) ได้ โดยแฟลวิลเลียม แคตไอออนเป็นรูปแบบของแอนโทไซยานินเมื่ออยู่ในสภาวะกรด (Wang, H. et al. 2014)

การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์เปลี่ยนเฉดสีเป็นโทนเทาดำเนื่องจากเปลี่ยนแปลงของเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นเฟอร์ริก โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศและเกิดการสร้างสารเชิงซ้อน 1:2 โลหะ-สีย้อม ของเกลือของเหล็กภายในโครงสร้างของวัสดุที่ผ่านการย้อมทำให้เกิดเฉดสีเข้มขึ้น รูปแบบของเฟอร์รัสและเฟอร์ริกที่มีร่วมกันในเส้นใยและสเปกตรัมที่ทับซ้อนกัน ทำให้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดเลื่อนไปสู่เฉดสีที่เข้มขึ้น (Monkholrattanasit, R. et al. 2011 และ Gawish, S.M. et al. 2017)

4.8 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยเลคพิกเมนต์ที่เตรียมจากลูกหม่อน

การย้อมไหมด้วยสีสกัดลูกหม่อนด้วยวิธีการย้อมเย็น ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยเลคพิกเมนต์ที่เตรียมจากลูกหม่อน

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยเลคฟิกเมนต์จากลูกหม่อนที่ผ่านการย้อมทับหลายครั้ง (ภาพที่ 4.26) เส้นด้ายไหมมีสีน้ำตาล เนื่องจากแอนโทไซยานินจากลูกหม่อนไม่เสถียร เมื่อปล่อยทิ้งไว้ สีของไหมเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีน้ำตาล

4.9 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดจากลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว

การย้อมไหมด้วยสีสกัดจากลูกหม่อนด้วยวิธีการย้อมเย็นสำหรับเจดสีเขียว ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.27



อ่างน้ำสีสกัดลูกหม่อน



อ่าง cationic fixing agent



อ่างน้ำปูนใส

ภาพที่ 4.27 การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยน้ำสีสกัดจากลูกหม่อนสำหรับเจดสีเขียว

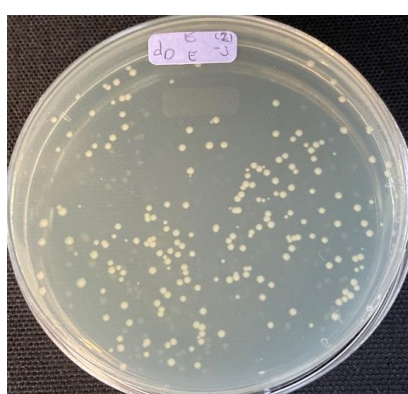
ไหมดูดจับสีย้อมจากลูกหม่อนได้เส้นไหมสีแดง จากนั้นเมื่อนำไหมไปแช่ในอ่างสารละลายสารผงสีประจุบวกแล้วตามด้วยอ่างน้ำปูนใส ไหมจะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีเขียว

4.10 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยมูลไหมและลูกหม่อน

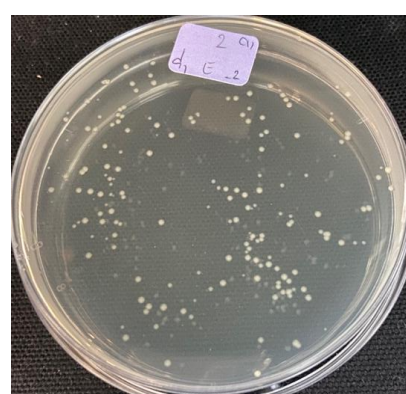
ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายไหมก่อนการย้อม เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมและลูกหม่อนจากการอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 และ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ตามลำดับ โดยเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ คือ แบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*Escherichia coli*) และชนิดแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ตามมาตรฐาน AATCC 100-2004 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.28-4.33

ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน

ตัวอย่าง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
เส้นด้ายไหมก่อนการย้อม	0	0
เส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีมูลไหม	0	36.02
เส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีลูกหม่อน	0	11.95

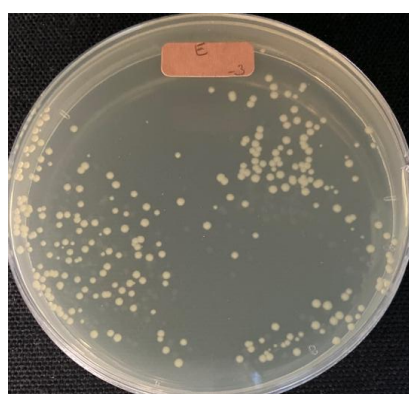


ก

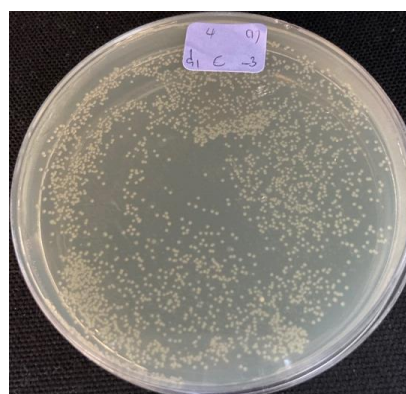


ข

ภาพที่ 4.28 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนเส้นด้ายไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-2}



ก

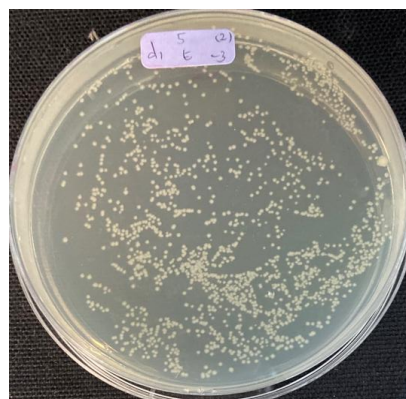


ข

ภาพที่ 4.29 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนเส้นไหมย้อมมูลไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}

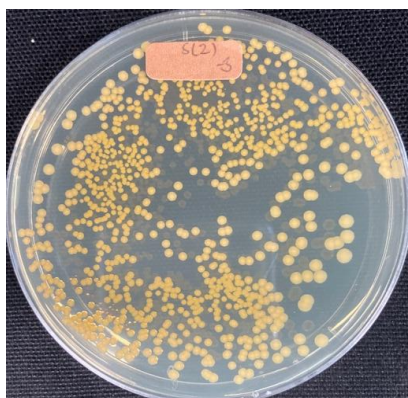


ก

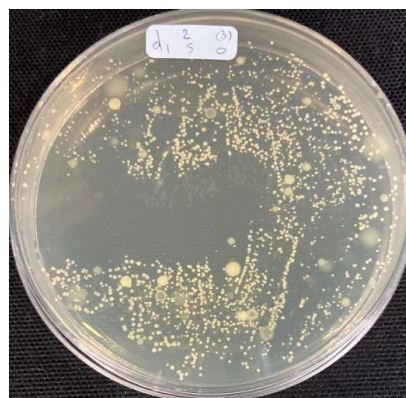


ข

ภาพที่ 4.30 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนเส้นไหมย้อมลูกหม่อน (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}

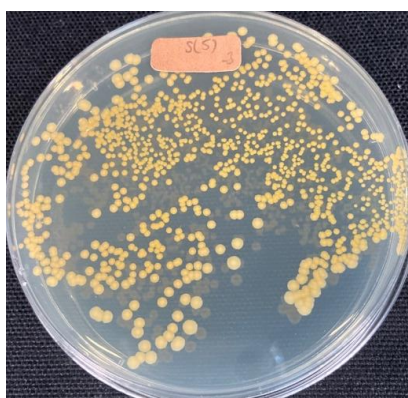


ก

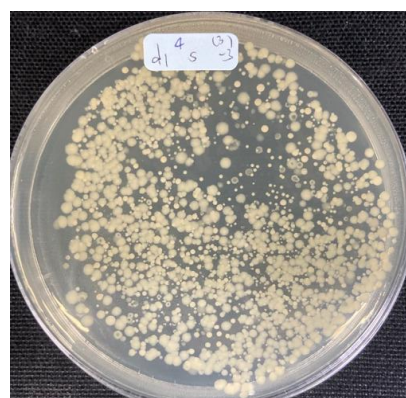


ข

ภาพที่ 4.31 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนเส้นด้ายไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^0

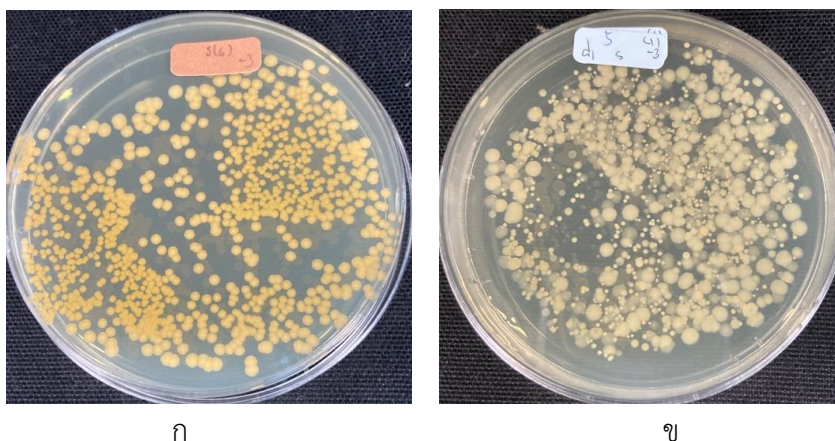


ก



ข

ภาพที่ 4.32 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนเส้นไหมย้อมมูลไหม (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}



ภาพที่ 4.33 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนเส้นไหมย้อมลูกหม่อน (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} และ (ข) 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3}

เส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อนมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้เล็กน้อย และไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Muharrami, L.K. et al. (2019) ที่ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากใบพุทราอินเดียกับเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* พบว่า ที่สารสกัดจากใบพุทราอินเดียความเข้มข้นต่ำ ไม่สามารถทำลายผนังเซลล์ของ *E. coli* ได้ เนื่องจากความเข้มข้นที่ต่ำเกินไป นอกจากนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางจากบริเวณโซนใสของการยับยั้ง (diameter of inhibition zone) เชื้อ *S. aureus* กว้างกว่าเชื้อ *E. coli*

เส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากมูลไหมมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้มากกว่าเส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากลูกหม่อน ทั้งนี้เนื่องจากสีย้อมธรรมชาติที่ประกอบด้วยแทนนิน เคอร์คิวมินอยด์ (curcuminoids) ควินิน (quinines) และอื่น ๆ มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ (Harish, T. et al. 2010) สำหรับงานวิจัยนี้ ผงสีมูลไหมและลูกหม่อนมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 4.4) โดยปริมาณแทนนินจากผงสีมูลไหมมีมากกว่าผงสีลูกหม่อน ดังนั้น สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ย้อมสีจากมูลไหมจึงสูงกว่าการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผงสีลูกหม่อน

4.11 ความคงทนของสีต่อการซัก

นำเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมและย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ไปทดสอบความคงทนของสีต่อการซักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 3-2552) ผลการเปลี่ยนแปลงของสีและการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายของสีจากเส้นด้ายไหมแสดงในตารางที่ 4.20-4.21

ตารางที่ 4.20 ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและผงสีจากลูกหม่อน เมื่อทดสอบความคงทนต่อการซัก

ภาวะการย้อม	ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นด้ายไหม					
	ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหม			ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อน		
	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม	มอร์แดนต์พร้อมการย้อม	มอร์แดนต์หลังการย้อม	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม	มอร์แดนต์พร้อมการย้อม	มอร์แดนต์หลังการย้อม
-		3			2/3	
กรดแทนนิก	4	4	5	4/5	4	4
กรดซิตริก	3/4	3/4	4/5	4	4/5	4
ไคโตซาน	3/4	4	2/3	4	4	4
ว่านหางจระเข้	4/5	4	5	4	4	4
เพอร์สซัลเฟต	3/4	3/4	3	4	4/5	4
คอปเปอร์ซัลเฟต	3	3/4	4	4/5	5	4/5
สแตนนัสซัลเฟต	3	3	2/3	4	4/5	4
โครเมียมซัลเฟต	3/4	4/5	4/5	4	5	4

ตารางที่ 4.21 การติดเปื้อนสีจากเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมบนผ้าฝ้าย

ภาวะการย้อม	ระดับการติดเปื้อนสีจากเส้นด้ายไหม					
	ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหม			ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อน		
	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม	มอร์แดนต์พร้อมการย้อม	มอร์แดนต์หลังการย้อม	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม	มอร์แดนต์พร้อมการย้อม	มอร์แดนต์หลังการย้อม
-		5			5	
กรดแทนนิก	5	5	5	5	5	5
กรดซิตริก	5	5	5	5	5	5
ไคโตซาน	5	5	5	5	5	5
ว่านหางจระเข้	5	5	5	5	5	5
เพอร์สซัลเฟต	5	5	5	5	5	5
คอปเปอร์ซัลเฟต	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสซัลเฟต	5	5	5	5	5	5
โครเมียมซัลเฟต	5	5	5	5	5	5

ผลการทดสอบความคงทนต่อการซักของเส้นด้ายไหมย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนด้วยเกรย์สเกล พบว่า การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนแบบไม่ใช้มอร์แดนต์มีการเปลี่ยนแปลงสีระดับ 3 และ 2/3 ตามลำดับ การใช้มอร์แดนต์ทั้งก่อน พร้อมและหลังการย้อมให้ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีดีขึ้น ยกเว้น การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมโดยใช้โคโตซานและสแตนนัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์หลังการย้อม ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำลง คือ 2/3 เมื่อเทียบกับการย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมแบบไม่ใช้มอร์แดนต์ (ระดับ 3) (ตารางที่ 4.20) ส่วนการติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายประกอบพบว่า ไม่มีการติดเปื้อนสีในทุกตัวอย่างการทดสอบ (ตารางที่ 4.21)

สีธรรมชาติส่วนใหญ่มักมีความคงทนของสีต่อการซักในระดับต่ำ เนื่องจากพันธะระหว่างเส้นใยกับโมเลกุลสีไม่แข็งแรง การใช้มอร์แดนต์โลหะเป็นสารช่วยติดช่วยให้เกิดสารเชิงซ้อนกับสีได้ ทำให้สีเข้มขึ้นหรือเปลี่ยนเฉดสีไปและทำให้ความคงทนของสีดีขึ้น สำหรับสีธรรมชาติ ความคงทนของสีต่อการซักขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของสีและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของสี (Samanta, P. et al. 2018)

4.12 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

ความคงทนของสีต่อการขัดถูเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงสีบนพื้นผิววัสดุสิ่งทอที่ถูกขัดถูหรือวัดการติดเปื้อนสีบนผ้าขาวที่ใช้ในการขัดถูทั้งภาวะเปียกและแห้ง ระดับความคงทนของสีต่อการซักตามมาตรฐานเกรย์สเกลสำหรับทั้งการเปลี่ยนแปลงของสีบนวัสดุสิ่งทอและการติดเปื้อนสีบนผ้าที่ใช้ในการขัดถู โดยสเกลมีตั้งแต่ระดับ 1 คือ แย่ ไปถึงระดับ 5 คือ ดีเยี่ยม

นำเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมและย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ไปทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121 เล่ม 5-2552) ผลการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นด้ายไหมและการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าฝ้ายขาวมาตรฐานแสดงในตารางที่ 4.22-4.23

ตารางที่ 4.22 ระดับการติดเปื้อนของผ้าขาวและการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายใหม่ที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหม เมื่อทดสอบความคงทนต่อการขัดถู

ภาวะการ ย้อม	ระดับการติด เปื้อน/การ เปลี่ยนแปลงสี	มอร์แคนต์								
		-	กรด แทนนิก	กรด ซิตริก	โคโคซาน	ว่านหาง จระเข้	เฟอร์รัส ซัลเฟต	คอปเปอร์ ซัลเฟต	สแตนเลส ซัลเฟต	โครเมียม ซัลเฟต
มอร์แคนต์ ก่อนการ ย้อม	เส้นด้ายใหม่ ภาวะแห้ง	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	เส้นด้ายใหม่ ภาวะเปียก	5	5	5	4	4/5	5	5	4	4
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	4/5	4/5	4/5	5	3/4	4	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4/5	4/5	5	4	4	2/3	3/4	4
	เส้นด้ายใหม่ ภาวะแห้ง	5	5	5	5	5	4	5	5	5
	เส้นด้ายใหม่ ภาวะเปียก	5	5	5	5	5	4	4	4/5	5
มอร์แคนต์ พร้อมการ ย้อม	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	5	4/5	5	4/5	4	4/5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	3/4	3/4	4	4	3	3/4	4	4/5
	เส้นด้ายใหม่ ภาวะแห้ง	5	5	5	5	5	5	5	5	3
	เส้นด้ายใหม่ ภาวะเปียก	5	4/5	5	4/5	4/5	5	5	5	3
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	5	5	5	4/5	4/5	4/5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4	4	5	4/5	4	3/4	4	4

ตารางที่ 4.23 ระดับการติดเปื้อนของผ้าขาวและการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อน เมื่อทดสอบความคงทนต่อการขัดถู

ภาวะการ ย้อม	ระดับการติด เปื้อน/การ เปลี่ยนแปลงสี	มอร์แคนต์								
		-	กรด แทนนิก	กรด ซิตริก	โคโคซาน	ว่านหาง จระเข้	เฟอร์รัส ซัลเฟต	คอปเปอร์ ซัลเฟต	สแตนเลส ซัลเฟต	โครเมียม ซัลเฟต
มอร์แคนต์ ก่อนการ ย้อม	เส้นด้ายไหม ภาวะแห้ง	5	5	5	4	5	5	4/5	5	5
	เส้นด้ายไหม ภาวะเปียก	5	5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5	5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	5	4	5	5	5	5	5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4	3/4	4/5
	เส้นด้ายไหม ภาวะแห้ง	5	4/5	4/5	5	4/5	4/5	4/5	5	5
มอร์แคนต์ พร้อมการ ย้อม	เส้นด้ายไหม ภาวะเปียก	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	5	4/5	5	4/5	4/5	5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	4/5	4/5
	เส้นด้ายไหม ภาวะแห้ง	5	4/5	5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5
	เส้นด้ายไหม ภาวะเปียก	5	4	5	4	4	4/5	4	4	5
มอร์แคนต์ หลังการย้อม	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะแห้ง	5	5	5	4/5	5	4/5	4/5	4/5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	ผ้าฝ้ายขาว ภาวะเปียก	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5

สีบนเส้นด้ายไหมและผ้าขาวหลังการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูแบบเปียกมีการเปลี่ยนแปลงสีสูงกว่าการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูแบบแห้ง (ตารางที่ 4.22-4.23) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการขัดถู อนุภาคสีที่ไม่ยึดติดกับเส้นใยและอยู่บนพื้นผิววัสดุสิ่งทออาจถูกทำลายและไปเกาะติดผ้าขาวที่ใช้ในการขัดถูได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้การขัดถูแบบเปียก อนุภาคของสีย้อมที่ไม่ยึดติดกับเส้นใยพยายามเคลื่อนที่จากวัสดุสิ่งทอแห้งที่ผ่านการย้อมแล้วไปที่ผ้าขัดถูที่เปียกซึ่งก่อให้เกิดการเปื้อนติดสีได้ ทำให้ผ้าฝ้ายที่ใช้ในการขัดถูแบบเปียกจึงมีการติดเปื้อนสีสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ใช้ใน

การขัดถูแบบแห้ง นอกจากนี้ โดยทั่วไป แรงที่ใช้ในการขัดถูในภาวะเปียกมีค่าประมาณ 2 เท่าของแรงที่ใช้ในภาวะแห้ง ดังนั้น การคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะเปียกสำหรับตัวอย่างเดียวกันมักมีระดับต่ำกว่าการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะแห้ง (Samanta, P. et al. 2018) และการเปลี่ยนแปลงของสีบนเส้นด้ายไหมหลังการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูแบบแห้งและแบบเปียกแตกต่างกันตามชนิดของมอร์แดนต์และขั้นตอนการใช้มอร์แดนต์

Samanta, P. et al. (2018) อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนของสีต่อการขัดถูสำหรับสีธรรมชาติ คือ

- 1) น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีของสี
- 2) ชนิดของมอร์แดนต์และความเข้มข้นของมอร์แดนต์
- 3) ความเข้มข้นของสีธรรมชาติ ร้อยละของกรดสี
- 4) กระบวนการย้อมสี ระดับการตรึงสี
- 5) กระบวนการหลังย้อมที่ช่วยตรึงสี
- 6) ชนิดของเส้นใย ความทนแรงดึงของเส้นใยและความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะเปียกและแห้ง
- 7) ชนิดของวัสดุสิ่งทอที่ใช้ เช่น ลักษณะพื้นผิว ชนิดของเส้นใยและผ้า
- 8) ระดับการสัมผัส เช่น ความดัน เวลา ความชื้น และอุณหภูมิ

4.13 ความคงทนของสีต่อการเก็บรักษา

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้ง

เก็บรักษาเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม นาน 4 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทดสอบค่าความเข้มสีและค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมหลังการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับก่อนการเก็บรักษา ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.24-4.28 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.24 ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของ มอร์แดนต์	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม		มอร์แดนต์พร้อมการย้อม		มอร์แดนต์หลังการย้อม	
	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน
ไม่ย้อม	0.0953 ± 0.0037	0.4935 ± 0.0031	0.0953 ± 0.0037	0.4935 ± 0.0031	0.0953 ± 0.0037	0.4935 ± 0.0031
ไม่ใช้มอร์แดนต์	0.7872 ± 0.0022	2.5053 ± 0.0623	0.7872 ± 0.0022	2.5053 ± 0.0623	0.7872 ± 0.0022	2.5053 ± 0.0623
กรดแทนนิก	0.9228 ± 0.0041	3.1043 ± 0.0920	1.2452 ± 0.0099	4.6274 ± 0.0372	0.8157 ± 0.0019	3.0968 ± 0.2938
กรดซิตริก	0.9209 ± 0.0142	3.2358 ± 0.2543	2.2692 ± 0.0034	12.0238 ± 0.9756	0.7699 ± 0.0080	2.4213 ± 0.2573
ไคโตซาน	1.2291 ± 0.0116	4.6545 ± 0.1934	1.1571 ± 0.0090	3.9984 ± 0.2974	0.8251 ± 0.0044	2.6168 ± 0.0309
วุ้นหางจระเข้	0.9713 ± 0.0038	2.9201 ± 0.1504	1.0554 ± 0.0022	3.4483 ± 0.1832	0.8571 ± 0.0020	2.3925 ± 0.1426
เพอร์สัลเฟต	1.0485 ± 0.0089	3.5916 ± 0.1168	1.6428 ± 0.0076	6.6946 ± 0.1112	1.5149 ± 0.0006	5.8737 ± 0.0561
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.720.9 ± 0.0435	6.6239 ± 0.4694	1.4749 ± 0.0212	5.9528 ± 0.3712	0.9289 ± 0.0019	3.2772 ± 0.1135
สแตนนัสซัลเฟต	1.2315 ± 0.0253	4.5866 ± 0.0491	0.8874 ± 0.0015	2.7647 ± 0.1329	0.9579 ± 0.0049	3.0174 ± 0.0539
โครเมียมซัลเฟต	1.2857 ± 0.0175	4.8984 ± 0.1636	1.3610 ± 0.0058	5.2591 ± 0.3063	0.9172 ± 0.0056	3.0641 ± 0.1466

ตารางที่ 4.25 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
ไม่ย้อม	98.07 ± 0.68	1.83 ± 0.06	18.00 ± 1.11	81.87 ± 0.08	2.34 ± 0.06	17.92 ± 0.03
ไม่ใช้มอร์แดนต์	78.81 ± 0.14	0.97 ± 0.09	18.13 ± 0.10	64.20 ± 0.64	1.54 ± 0.11	20.19 ± 0.28
กรดแทนนิก	77.67 ± 0.16	2.26 ± 0.01	18.04 ± 0.11	62.31 ± 0.62	2.54 ± 0.14	20.20 ± 0.13
กรดซิตริก	77.74 ± 0.17	1.44 ± 0.04	18.60 ± 0.07	62.04 ± 0.28	2.10 ± 0.07	20.69 ± 0.02
ไคโตซาน	69.56 ± 1.05	1.77 ± 0.05	16.63 ± 0.28	53.53 ± 0.79	2.39 ± 0.09	20.22 ± 0.13
วุ้นหางจระเข้	76.76 ± 0.18	1.38 ± 0.03	18.43 ± 0.19	62.11 ± 0.95	1.89 ± 0.03	19.95 ± 0.20
เพอร์สัลเฟต	69.84 ± 0.07	0.64 ± 0.01	12.11 ± 0.03	54.25 ± 0.31	1.44 ± 0.12	14.99 ± 0.20
คอปเปอร์ซัลเฟต	64.90 ± 0.34	3.01 ± 0.08	15.00 ± 0.08	50.36 ± 0.81	3.86 ± 0.19	19.67 ± 0.33
สแตนนัสซัลเฟต	74.36 ± 0.29	2.64 ± 0.08	20.03 ± 0.24	57.99 ± 0.31	3.28 ± 0.07	22.89 ± 0.27
โครเมียมซัลเฟต	71.85 ± 0.14	2.32 ± 0.02	19.56 ± 0.08	55.61 ± 0.34	3.22 ± 0.13	23.27 ± 0.41

ตารางที่ 4.26 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
กรดแทนนิก	73.83 ± 0.37	2.45 ± 0.04	18.00 ± 0.22	57.54 ± 0.24	3.04 ± 0.10	20.27 ± 0.19
กรดซิตริก	63.27 ± 0.06	5.28 ± 0.03	18.81 ± 0.06	45.95 ± 1.31	6.23 ± 0.09	24.03 ± 0.15
ไคโตซาน	77.98 ± 0.02	3.00 ± 0.00	22.35 ± 0.07	62.19 ± 1.40	3.69 ± 0.37	24.35 ± 0.04
ว่านหางจระเข้	76.38 ± 0.02	1.87 ± 0.00	19.03 ± 0.04	60.39 ± 0.64	2.33 ± 0.07	20.28 ± 0.20
เฟอรัสซัลเฟต	64.20 ± 0.03	2.09 ± 0.01	13.02 ± 0.08	47.18 ± 0.45	2.84 ± 0.03	16.50 ± 0.37
คอปเปอร์ซัลเฟต	70.09 ± 0.33	2.90 ± 0.02	20.52 ± 0.23	53.70 ± 0.73	3.65 ± 0.29	24.72 ± 0.39
สแตนนัสซัลเฟต	85.60 ± 0.03	3.42 ± 0.02	27.21 ± 0.01	71.08 ± 0.74	4.13 ± 0.43	26.19 ± 4.73
โครเมียมซัลเฟต	73.03 ± 0.04	3.69 ± 0.02	21.85 ± 0.04	56.96 ± 0.61	4.45 ± 0.23	25.62 ± 0.41

ตารางที่ 4.27 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
กรดแทนนิก	80.22 ± 0.03	1.50 ± 0.02	18.84 ± 0.04	62.96 ± 1.79	2.09 ± 0.14	20.64 ± 0.20
กรดซิตริก	80.93 ± 0.13	1.24 ± 0.04	19.01 ± 0.02	65.37 ± 1.13	2.03 ± 0.10	19.71 ± 0.78
ไคโตซาน	79.47 ± 0.17	1.56 ± 0.00	18.88 ± 0.09	65.08 ± 0.23	2.01 ± 0.07	21.16 ± 0.22
ว่านหางจระเข้	78.83 ± 0.06	0.82 ± 0.01	18.85 ± 0.05	65.10 ± 0.69	1.25 ± 0.08	19.99 ± 0.33
เฟอรัสซัลเฟต	68.34 ± 0.02	1.83 ± 0.01	16.31 ± 0.01	52.18 ± 0.41	2.64 ± 0.01	19.60 ± 0.26
คอปเปอร์ซัลเฟต	75.59 ± 0.01	-1.30 ± 0.01	18.78 ± 0.02	59.06 ± 0.75	-0.81 ± 0.06	20.72 ± 0.20
สแตนนัสซัลเฟต	78.79 ± 0.16	1.87 ± 0.01	20.60 ± 0.09	63.83 ± 0.38	2.41 ± 0.14	22.26 ± 0.55
โครเมียมซัลเฟต	76.76 ± 0.03	1.12 ± 0.01	17.54 ± 0.04	60.90 ± 0.88	1.65 ± 0.08	19.48 ± 0.27

ตารางที่ 4.28 สีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม		มอร์แดนต์พร้อมการย้อม		มอร์แดนต์หลังการย้อม	
	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน
ไม่ย้อม						
ไม่ใช้มอร์แดนต์						
กรดแทนนิก						
กรดซิตริก						
ไคโตซาน						
ว่านหางจระเข้						
เฟอร์รัสซัลเฟต						
คอปเปอร์ซัลเฟต						
สแตนนัสซัลเฟต						
โครเมียมซัลเฟต						

หลังการเก็บรักษาเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมแล้วที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 เดือน พบว่า เส้นด้ายไหมมีค่าความสว่างลดลง ส่วนค่าความเข้มสี ค่าความเหลืองและค่าความแดงสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไหมเกิดการเสื่อมสภาพจากแสง (photodeterioration) กล่าวคือ ส่วนออสณฐานของไหมมีกรดอะมิโนส่วนที่เหลือ (amino acid residues) ที่ประกอบด้วยทริปโตเฟน ไทโรซีนและฟีนอลอะลานีนซึ่งสามารถดูดซับแสงยูวีที่มีความยาวคลื่น 250-300 นาโนเมตรได้ ทำให้ทริปโตเฟนและไทโรซีนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น กรดอะมิโนส่วนที่เหลือเหล่านี้เปลี่ยนเป็นหมู่โครโมฟอร์ทำให้วัสดุเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง น้ำตาลหรือเทาได้ (Dyer, J.M. et al. 2006)

การย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากลูกหม่อนอบแห้ง

เก็บรักษาเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากลูกหม่อนอบแห้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม นาน 4 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทดสอบค่าความเข้มสีและค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมหลังการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับก่อนการเก็บรักษา ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.29-4.33 และภาคผนวก ฎ

ตารางที่ 4.29 ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของ มอร์แดนต์	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม		มอร์แดนต์พร้อมการย้อม		มอร์แดนต์หลังการย้อม	
	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน
-	0.9475 ± 0.0149	2.8704 ± 0.1367	0.9475 ± 0.0149	2.8704 ± 0.1367	0.9475 ± 0.0149	2.8704 ± 0.1367
กรดแทนนิก	0.9089 ± 0.0023	2.5417 ± 0.2317	0.8646 ± 0.0035	2.5765 ± 0.1040	0.6793 ± 0.0017	2.1750 ± 0.0929
กรดซิตริก	0.9757 ± 0.0054	3.1415 ± 0.1938	0.9416 ± 0.0012	2.6308 ± 0.0716	0.8317 ± 0.0030	2.5145 ± 0.1036
ไคโตซาน	1.0295 ± 0.0028	3.3119 ± 0.0393	0.6001 ± 0.0045	1.8594 ± 0.0618	0.7859 ± 0.0071	2.6372 ± 0.2144
ว่านหางจระเข้	1.0367 ± 0.0073	3.0293 ± 0.3635	0.8574 ± 0.0054	2.8144 ± 0.2032	0.8901 ± 0.0017	2.6934 ± 0.0400
เฟอร์รัสซัลเฟต	1.1879 ± 0.0066	3.5178 ± 0.1330	1.0317 ± 0.0008	3.1314 ± 0.2501	1.5328 ± 0.0085	5.3867 ± 0.3064
คอปเปอร์ซัลเฟต	1.3864 ± 0.0015	4.1716 ± 0.1591	1.2052 ± 0.0021	3.7199 ± 0.0720	1.2604 ± 0.0064	4.1679 ± 0.0993
สแตนนัสซัลเฟต	1.3276 ± 0.0039	4.2041 ± 0.2991	0.9096 ± 0.0012	2.7167 ± 0.1855	1.0830 ± 0.0011	3.2399 ± 0.0641
โครเมียมซัลเฟต	0.8015 ± 0.0033	2.4276 ± 0.0936	0.8417 ± 0.0047	2.4684 ± 0.0710	1.0171 ± 0.0081	3.0331 ± 0.1878

ตารางที่ 4.30 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์ก่อนการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
-	66.02 ± 0.31	6.77 ± 0.04	6.05 ± 0.08	53.55 ± 0.84	7.64 ± 0.24	9.79 ± 0.25
กรดแทนนิก	67.29 ± 0.02	7.68 ± 0.01	6.58 ± 0.01	54.00 ± 1.21	8.53 ± 0.23	8.43 ± 0.26
กรดซิตริก	67.60 ± 0.11	7.20 ± 0.01	8.07 ± 0.05	52.20 ± 0.93	8.14 ± 0.11	10.17 ± 0.05
ไคโตซาน	66.05 ± 0.09	6.14 ± 0.02	7.48 ± 0.06	50.70 ± 0.31	7.17 ± 0.07	9.74 ± 0.17
ว่านหางจระเข้	67.16 ± 0.14	7.05 ± 0.03	8.66 ± 0.03	53.61 ± 2.12	7.86 ± 0.20	11.25 ± 0.24
เฟอรัสซัลเฟต	59.63 ± 0.07	-0.87 ± 0.01	0.55 ± 0.22	45.69 ± 0.61	-0.40 ± 0.07	2.67 ± 0.05
คอปเปอร์ซัลเฟต	60.97 ± 0.02	1.35 ± 0.02	6.07 ± 0.05	46.76 ± 0.53	1.92 ± 0.19	8.47 ± 0.19
สแตนนัสซัลเฟต	61.71 ± 0.05	1.11 ± 0.03	0.69 ± 0.03	47.27 ± 1.15	2.15 ± 0.08	2.83 ± 0.09
โครเมียมซัลเฟต	67.74 ± 0.01	4.91 ± 0.02	4.28 ± 0.03	53.28 ± 0.67	5.55 ± 0.19	6.16 ± 0.07

ตารางที่ 4.31 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์พร้อมการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
กรดแทนนิก	70.00 ± 0.08	7.61 ± 0.02	8.49 ± 0.04	55.54 ± 0.74	8.14 ± 0.09	10.21 ± 0.08
กรดซิตริก	68.31 ± 0.03	7.12 ± 0.02	8.38 ± 0.02	54.96 ± 0.41	7.81 ± 0.26	10.60 ± 0.04
ไคโตซาน	73.16 ± 0.07	7.62 ± 0.02	6.73 ± 0.01	58.29 ± 0.54	8.07 ± 0.02	8.18 ± 0.14
ว่านหางจระเข้	69.26 ± 0.07	6.86 ± 0.01	7.48 ± 0.04	53.30 ± 1.06	8.02 ± 0.96	9.99 ± 1.47
เฟอรัสซัลเฟต	62.86 ± 0.03	-0.62 ± 0.02	1.85 ± 0.02	48.31 ± 1.42	-0.08 ± 0.08	3.86 ± 0.38
คอปเปอร์ซัลเฟต	64.82 ± 0.02	1.69 ± 0.01	8.02 ± 0.03	50.42 ± 0.33	2.03 ± 0.25	10.40 ± 0.24
สแตนนัสซัลเฟต	67.85 ± 0.06	0.92 ± 0.03	1.69 ± 0.01	53.65 ± 1.23	1.99 ± 0.05	3.64 ± 0.21
โครเมียมซัลเฟต	66.13 ± 0.07	-1.45 ± 0.02	1.87 ± 0.03	51.69 ± 0.49	-1.24 ± 0.08	3.54 ± 0.17

ตารางที่ 4.32 ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหมเมื่อใช้มอร์แดนต์หลังการย้อม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์แดนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 เดือน			ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
กรดแทนนิก	72.78 ± 0.04	7.16 ± 0.01	7.98 ± 0.02	57.66 ± 0.45	7.79 ± 0.10	9.82 ± 0.23
กรดซิตริก	69.53 ± 0.03	6.79 ± 0.01	7.92 ± 0.04	54.86 ± 0.67	7.34 ± 0.10	9.72 ± 0.06
ไคโตซาน	70.11 ± 0.10	7.80 ± 0.01	7.78 ± 0.03	53.69 ± 1.35	8.51 ± 0.09	9.39 ± 0.06
ว่านหางจระเข้	68.62 ± 0.02	5.83 ± 0.02	7.48 ± 0.01	54.42 ± 0.25	6.65 ± 0.19	9.74 ± 0.17
เฟอรัสซัลเฟต	57.76 ± 0.06	-1.47 ± 0.01	2.53 ± 0.02	41.45 ± 0.70	-0.70 ± 0.07	4.79 ± 0.26
คอปเปอร์ซัลเฟต	63.61 ± 0.06	-1.74 ± 0.00	7.05 ± 0.04	48.01 ± 0.36	-0.99 ± 0.09	9.44 ± 0.09
สแตนนัสซัลเฟต	64.38 ± 0.01	0.49 ± 0.02	3.37 ± 0.02	49.82 ± 0.25	1.93 ± 0.02	5.31 ± 0.04
โครเมียมซัลเฟต	65.21 ± 0.03	3.77 ± 0.02	5.54 ± 0.03	50.72 ± 1.09	4.52 ± 0.10	7.37 ± 0.14

ตารางที่ 4.33 สีของเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีจากลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม ก่อนและหลังการเก็บรักษา

ชนิดของมอร์	มอร์แดนต์ก่อนการย้อม		มอร์แดนต์พร้อมการย้อม		มอร์แดนต์หลังการย้อม	
	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน	0 เดือน	4 เดือน
ก่อนการย้อม						
ไม่ใช้สารช่วยติด						
กรดแทนนิก						
กรดซิตริก						
ไคโตซาน						
ว่านหางจระเข้						
เฟอร์รัสซัลเฟต						
คอปเปอร์ซัลเฟต						
สแตนนัสซัลเฟต						
โครเมียมซัลเฟต						

เส้นด้ายไหมหลังการเก็บรักษามีค่าความสว่างลดลง ส่วนค่าความเข้มสี ค่าความเหลืองและค่าความแดงสูงขึ้น เนื่องจากไหมเสื่อมสภาพจากแสง (Dyer, J.M. et al. 2006) นอกจากนี้ สีจากลูกหม่อนที่เป็นสารแอนโทไซยานินนั้นเปลี่ยนเฉดสีเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโครโมฟอร์ (Lima, E. et al. 2007)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

- 1) การสกัดผงสีมูลไหมด้วยน้ำ ได้ปริมาณผงสีร้อยละ 23.22 และผงสีประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม คาร์บอน ออกซิเจน แมกนีเซียมและซิลิกอน ในขณะที่ การสกัดผงสีจากลูกหม่อนด้วยน้ำ ได้ปริมาณผงสีร้อยละ 1.52 มีลักษณะเป็นแผ่นเหนียวเนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียม คาร์บอนและออกซิเจน
- 2) การทำผงสีด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น สำหรับผงสีมูลไหมไม่จำเป็นต้องใช้สารช่วยพาแต่สำหรับผงสีลูกหม่อนจำเป็นต้องใช้สารช่วยพา การใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีเกาะรวมกันเป็นก้อนมากขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าสูงขึ้น อนุภาคของผงสีติดกันน้อยลง นอกจากนี้ ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้นส่งผลให้ผงสีมีความสว่างมากขึ้นและการจับตัวของผงสีเป็นก้อนลดลง
- 3) เส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมมีเฉดสีน้ำตาลอมเหลือง ส่วนสีของเส้นด้ายไหมจากการย้อมด้วยลูกหม่อนมีสีน้ำตาลแดง
- 4) หากไม่มีการใช้สารช่วยพาในการเตรียมผงสีด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เส้นด้ายไหมมีสีไม่แตกต่างกันกับการย้อมด้วยผงสีจากการอบแห้ง แต่หากมีการเติมสารช่วยพา เส้นด้ายไหมมีสีอ่อนลงเมื่อเทียบกับการย้อมด้วยผงสีจากการอบแห้ง
- 5) ชนิดของมอร์แดนต์และขั้นตอนการใส่มอร์แดนต์มีผลต่อเฉดสีของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน
- 6) เส้นด้ายไหมที่ย้อมสีจากมูลไหมและลูกหม่อนมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้
- 7) ความคงทนของสีต่อการซักเมื่อใช้มอร์แดนต์ให้ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีดีขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใช้มอร์แดนต์ ความคงทนของสีต่อการขัดถูของเส้นด้ายไหมอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก และเส้นด้ายไหมมีค่าความสว่างลดลง ค่าความเหลืองสูงขึ้นหลังการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักติดกัน 4 เดือน

รายการเอกสารอ้างอิง

เจิมขวัญ ศรีสวัสดิ์. 2558. “การผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำเข้มข้นจากมูลหนอนไหมอีรี่”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

https://www.nnr.nstda.or.th/event/assets/download/rde_conf_2016/sec_2_1_2/8.เจิมขวัญ-ปุ๋ยมูลหนอนไหมอีรี่.pdf (วันที่สืบค้น 14 เมษายน 2561).

“เทคนิคการเลี้ยงไหม”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.qsds.go.th/KMweb/knowledge/knowledge12.html> (วันที่สืบค้น 7 มกราคม 2562)

“เทคนิคการถนอมอาหาร: กระบวนการอบฟรีซดราย”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://thaicosmosfoods.co.th/th/technology-and-food-safety.php> (วันที่สืบค้น 30 พฤษภาคม 2562).

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอกาส, 2539. **เคมีของสีธรรมชาติและการย้อม**. กรุงเทพมหานคร: ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

เสริม จันทน์ฉาย. 2560. “เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://phy.sc.su.ac.th/book/SolarDrying2017.pdf> (วันที่สืบค้น 29 พฤษภาคม 2562).

“แยมลูกหม่อนสำหรับคนเป็นเบาหวาน”. 2557. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://thaiwholefood.wordpress.com/2014/04/14/%E0%B9%81%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87/> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“ไหมพันธุ์รับรองของกรมวิชาการเกษตร”. 2556. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

https://www.qsds.go.th/qssc_lei/inside_page.php?pageid=27 (วันที่สืบค้น 28 พฤษภาคม 2562).

กัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ. 2559. “แอนโทไซยานิน...รงควัตถุมีประโยชน์ในผักผลไม้สีแดง.” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http://agri-](http://agri-tech.sakaeo.buu.ac.th/images/imagenews/Aril2559/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AD.%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%87_%E0%B8%9B602.pdf)

[tech.sakaeo.buu.ac.th/images/imagenews/Aril2559/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AD.%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%87_%E0%B8%9B602.pdf](http://agri-tech.sakaeo.buu.ac.th/images/imagenews/Aril2559/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AD.%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%87_%E0%B8%9B602.pdf) (วันที่สืบค้น 8 พฤษภาคม 2562).

“การปลูกหม่อน”. 2556. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

https://www.qsds.go.th/qsds_netu/inside_page.php?pageid=16 (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“การย้อมผ้าสีธรรมชาติ”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://sites.google.com/site/jutamaspasalung/txy-xd/kar-yxm-pha-si-thrmchati> (วันที่สืบค้น 15 เมษายน 2562).

“การอบแห้ง”. 2558. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://ienergyguru.com/2015/09/drying/> (วันที่สืบค้น 29 พฤษภาคม 2562).

ขวัญชนก ศรีทราสุข. 2556. “คลอโรฟิลล์กับสุขภาพ.” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://biology.ipst.ac.th/?p=963> (วันที่สืบค้น 8 พฤษภาคม 2562).

คำพอง อยู่ศรี และ สุดาพร ตั้งควนิช. 2552. “การย้อมไหมที่เคลือบโคโคซานด้วยสีจากเมล็ดคำแสด”. *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*. 40(3)(พิเศษ): 365-368.

ชาญชัย ถาวรอนุกุลกิจ. 2537. “การผลิตไหม” เอกสารประกอบการสอนวิชา การผลิตหม่อนไหม ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 351 หน้า

ชุติมา วันเพ็ญ และคณะ. 2556.

“ผลของการพรีทรีตเมนต์ด้วยอัลตราซาวด์ต่อการสกัดอินูลินจากหัวแก่นตะวัน”. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 36(2): 249-258.

ณัฐริกา ศิลาลาย. 2548. “ฟลาโวนอยด์ในใบชา: หน้าที่ การใช้ประโยชน์และการวิเคราะห์”. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 2(1): 2-10.

“ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://www.ideasmodel.com/guide/%E0%B8%95%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A2%E0%B9%8C.html> (วันที่สืบค้น 29 พฤษภาคม 2562).

ปราโมทย์ สฤตสินรินทร์ และคณะ. 2555. “พันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 (KPS-MB-42-1)”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.gotoknow.org/posts/483537> (วันที่สืบค้น 17 พฤษภาคม 2562).

“ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://www.thaismartdryer.com/content/11734/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B>

[8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B4%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B9%81%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%87](http://thaiphamai.blogspot.com/2013/04/blog-post_6126.html) (วันที่สืบค้น 29 พฤษภาคม 2562).

“พันธุ์ใหม่ในประเทศไทย”. 2556. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://thaiphamai.blogspot.com/2013/04/blog-post_6126.html (วันที่สืบค้น 7 มกราคม 2562)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. ม.ป.ป. “carotenoid/แคโรทีนอยด์.” ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1228/carotenoid-%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B9%8C> (วันที่สืบค้น 7 พฤษภาคม 2562).

“วงจรชีวิตหนอนไหม”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://watthana672557.wordpress.com/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A1/%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A1/> (วันที่สืบค้น 27 พฤษภาคม 2562).

วสันต์ นุ้ยภิรมย์. 2556. “การส่งเสริมการผลิตและการแปรรูปไหมไทยพื้นบ้านของไทย”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.mfa.go.th/dvifa/contents/filemanager/files/nbt/nbt5/IS/IS5050.pdf> (วันที่สืบค้น 27 พฤษภาคม 2562).

“วัตถุดิบย้อมสีธรรมชาติ”. 2554. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://kmipc6.blogspot.com/2011/05/blog-post_29.html (วันที่สืบค้น 8 พฤษภาคม 2562).

“วิธีการทำขาใบหม่อน”. 2555. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://chabaimon.blogspot.com/> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

ศิริ ผาสุก. 2535. **สมุนไพรให้สี**. เจริญวิทย์การพิมพ์: กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยหม่อนไหม. 2554. “ไหมไทย: ลักษณะของไหมพันธุ์ไทย.” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.thaikasetsart.com/%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%93%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A1/>

8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%98/ (วันที่สืบค้น 27 พฤษภาคม 2562).

“สารช่วยย่อย”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://sites.google.com/site/intrapornspenjit/toryod/reuxng-na-ru-2> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

สำนักงานการวิจัยการเกษตร. ม.ป.ป. “ประโยชน์ของหม่อน”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

http://www.arda.or.th/kasetinfo/silk/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=76 (วันที่สืบค้น 14 เมษายน 2561).

“หม่อน mulberry สายพันธุ์เชียงใหม่ 60”. 2561. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://kasetvilize.blogspot.com/2018/12/mulberry-60.html> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“หม่อน สรรพคุณและประโยชน์ของต้นหม่อน ใบหม่อน 50 ข้อ”. 2560. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://medthai.com/%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99/> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“หม่อน”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=7&chap=3&page=t7-3-infodetail02.html> (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“หม่อน/ ใบหม่อน (mulberry) ประโยชน์และสรรพคุณหม่อน”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://puechkaset.com/หม่อน/> (วันที่สืบค้น 15 เมษายน 2561).

“หม่อน”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

http://mis.agri.cmu.ac.th/course/course_lecture_download.asp?CourseNO=357427&CID=988 (วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2562).

“หลักการผลิตอาหารเบื้องต้น”. 2562. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.healthcarethai.com/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3/> (วันที่สืบค้น 30 พฤษภาคม 2562).

อดิศักดิ์ จูมวงษ์ และ นารท นาคเฉลิม. 2559. “สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและการต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดกรีนโอ๊ค เราโอ๊คและเรดคอรอล” วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 3 ฉบับพิเศษ III: M10/1-6.

อดิศักดิ์ หมั่นเกียง และคณะ. 2558. “การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากมะเขี๋ยงโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมด้วยในการสกัด.” การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 36. 29-31 ตุลาคม 2558. ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 422-429.

อรัญญา พรหมกุล และคณะ. 2558. “การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสกัดแอนโทไซยานินจากกากมะ.” **แก่นเกษตร**. 43 (ฉบับพิเศษ 1): 830-835.

อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และ อมรชัย อารณวิธานพ. 2557. “เทคโนโลยีการอบแห้ง” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a_p64-67.pdf (วันที่สืบค้น 29 พฤษภาคม 2562).

อารีรัตน์ ชื่อดิ. 2560. “การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร.” **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย**. 1(1): 1-14.

Adinoyi, B.J. et al. 2015. “Indigenous extraction of natural dyes from natural resources as a catalyst to revitalize dwindling Nigeria’s textile industry.” **Nigerian Journal of Textiles**. 1(2): 43-52.

Al-Alwani, M.A.M. et al. 2016. “Dye-sensitized solar cells: development, structure, operation principles, electron kinetics, characterisation, synthesis materials and natural photosensitisers.” **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 65: 183-213.

Berhanu, T and Ratnapandian, S. 2017. “Extraction and optimization of natural dye from Hambo Hambo (Cassia singueana) plant used for coloration of tanned leather materials.” **Advances in Materials Science and Engineering**. 2017.: 7516409.

Chairat, M. 2009. “Thermodynamics study of lac dyeing of silk yarn coated with chitosan.” **Walailak Journal of Science and Technology**. 6(1): 93-107.

Chakraborty, J.N. 2014. **Fundamentals and practices in colouration of textiles**. 2nd ed. New Delhi: Woodhead Publishing.

Chang, H.; and Lo, Y.J. 2010. “Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells” **Solar Energy**. 84(10): 1833-1837.

Chatterjee, D. et al. 2013. “Solvent and supercritical carbon dioxide extraction of color from eggplants: characterization and food applications.” **LWT – Food Science and Technology**. 51: 319-324.

Chou, T.Y. et al. 2018. "Tea silkworm droppings as an enriched source of tea flavonoids". **Journal of Food and Drug Analysis**. 26.: 41-46.

Clark, M. 2011. **Handbook of Textile and Industrial Dyeing**. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing.

Dedhia, E.M. 1998. "Natural dyes". **Colourage**. 45(3):. 45-49.
effects on powder properties and characterization". **Carbohydrate Polymers**. 81: 864-870.

Dyer, J.M. et al. (2006). "Characterization of photo-oxidation products within photoyellowed wool proteins: tryptophan and tyrosine derived chromophores." **Photochemical & Photobiological Sciences**. 5(7): 698-706.

Farahnaky, A. et al. 2016. "Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: antiplasticizing effect of maltodextrin." **Food and Bioproducts Processing**. 98: 133-141.

Gawish, S.M. et al. 2017. "Effect of mordants on UV protection and antimicrobial activity of cotton, wool, silk and nylon fabrics dyed with some natural dyes." **Journal of Nanomedicine & Nanotechnology**. 8(1): 1000421.

Harish, T. et al. 2010. "Evaluation of various techniques for extraction of natural colorants from pomegranate rind-ultrasound and enzyme assisted extraction." **Indian Journal of Fibre and Textile Research**. 35(3): 272-276.

Hosseini, M. 2013. "Enhancing dye-ability and antibacterial features of silk through pre-treatment with chitosan." **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**. 8(3): 102-111.

Intipunya, P. and Thamee, T. 2014. "Effects of spray drying process on quality of mulberry-honey mixed powder." **Thai Agricultural Research Journal**. 32(2): 139-153.

Jihad, R. 2014. "Dyeing of silk using natural dyes extracted from local plants." **International Journal of Scientific & Engineering Research**. 5(11): 809-818.

Jonani, L. and Winifred, D. 2013. "Suitability of dyes from mulberry and coffee leaves on silk fabrics using eco-friendly mordants." **International Journal of Scientific and Research Publications**. 3(11): 1-4.

Kumbasar, E.A. 2011. **Natural dyes**. UK: IntechOpen.

Kurozawa, L.E. et al. 2009. "Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate". **Journal of Food Engineering**. 94: 326-333.

Lima, E. et al. 2007. "Capturing natural chromophores on natural and synthetic alumibosilicates." **Studies in Surface Science and Catalysis**. 170: 2110-2115.

Liu, X. et al. 2004. "Quantification and purification of mulberry anthocyanins with macroporous resins" **Journal of Biomedicine and Biotechnology**. 5: 326-331.

Ma, Q.; et al. 2018. "Intelligent poly(vinyl alcohol)-chitosan nanoparticles-mulberry extracts films capable of monitoring pH variations". **International Journal of Biological Macromolecules**. 108.: 576-584.

Martinez, F.M.L. et al. 2010. "Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on powder properties and characterization". **Carbohydrate Polymers**. 81: 864-870.

Miah, M.R. et al. 2016. "Eco-friendly dyeing of wool fabric using natural dye extracted from onion's outer shell by using water and organic solvents." **International Research Journal of Engineering and Technology**. 3(9): 450-467.

Monkholrattanasit, R. et al. 2011. "Dyeing, fastness and UV protection properties of silk and wool fabrics dyed with eucalyptus leaf extract by the exhaustion process." **Fibres & Textiles in Eastern Europe**. 19(3): 94-99.

Monkholrattanasit, R. et al. 2016. "Dyeing, fastness and UV protection properties of cotton fabric dyed with mangrove bark extract." **Cellulose Chemistry and Technology**. 50: 163-171.

Muharrami, L.K. et al. 2019. "Antibacterial activity of leaves extract of bukkol (*Ziziphus manuritania* Lam) against *E. coil* and *S. aureus*." In International Conference on Basic Sciences and Its Applications. **KnE Engineering**. 180-189.

Natta, G. 2014. "Morus Alba: antioxidant and anti-diabetic Properties". [online] Available from: <http://flipper.diff.org/app/items/6107> (Accessed 15 April 2018)

Nilani, P. et al. 2008. "A study on the effect of marigold flower dye with natural mordant on selected fibers." **Journal of Pharmacy Research**. 1(2): 175-181.

Pajareon, S. and Theerakulkait, C. 2017. "Effects of spray drying at different inlet air temperatures on antioxidative activity and some properties of homnil rice bran extract powder." **Pakistan Journal of Nutrition**. 16(10): 782-788.

Park, J.-H. et al. 2011. "Isolation of megastigmane sesquiterpenes from silkworm (*Bombyx mori* L.) dropping and their promotion activity on HO-1 and SIRT1." **Archives of Pharmacal Research**. 34(4): 533-542.

Patras, A. et al. 2010. "Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation." **Trends in Food Science & Technology**. 21: 3-11.

Phoungchandang, S. and Sertwasana, A. 2010. "Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders." **ScienceAsia**. 36: 40-45.

Pumilia, G. et al. 2014. "Change in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) during roasting." **Food Research International**. 65: 193-198.

Samanta, P. et al. 2018. "Fundamentals of natural dyeing of textiles: Pros and Cons." **Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering**. 2(4): 69-75.

Shahid, A. et al. 2016. "Effect of different dyeing parameters on color strength & fastness properties of cotton-elastane (CE) and lyocell-elastane (LE) knit fabric." **International Journal of Textile Science**. 5(1): 1-7.

"sicilian gastronomy". n.d. [online]. Available from:
<https://www.wishsicily.com/sicilian-gastronomy/32> (Accessed 29 May 2019)

Sid, N. and EL-Hawary, S. 2019. " High-performance natural dyes for cellulosic fibers review-part 1." **Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science**. 16(1): 21-33.

Singh, S. and Singh, D.R. 2018. "Application of natural mordants on textile." **International Journal of Applied Home Science**. 5(1): 252-260.

Sohn, B.-H. et al. 2009. "Isolation and identification of lipids from the silkworm (*Bombyx mori*) droppings." **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**. 52(4): 336-341.

Srivastava, A. and Singh, T.G. 2011. "Utilization of aloe vera for dyeing natural fabrics." **Asian Journal of Home Science**. 6(1): 1-4.

Srivastava, S. Kapoor, R., Thathola, A., and Srivastava, R.P. 2006. "Nutritional quality of leaves of some genotypes of mulberry (*Morus alba*)". **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. 57(5-6): 305-313.

Suhl, H.J. et al. 2003. "Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract" **Nahrung**. 47: 132-135.

"Sweet dream and silkworm poos". 2011. [online]. Available from: <https://herschelian.wordpress.com/2011/02/24/sweet-dreams-and-silkworm-poo/> (Accessed 14 April 2018)

Teli, M.D., Sheikh, J., and Shastrakar, P. 2013. "Exploratory investigation of chitosan as mordant for eco-friendly antibacterial printing of cotton with natural dyes". **Journal of Textiles**. 2013.: 320510

"The molecule of the month". n.d. [online]. Available from: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/motm.htm> (Accessed 14 April 2018)

Uddin, M.G. 2014. "Effects of different mordants on silk fabric dyed with onion outer skin extracts." **Journal of Textiles**. 2014.: 405626.

Vankar, P.D. et al. 2002. "Supercritical fluid extraction of natural dye from eucalyptus bark used for cotton dyeing in microwave and sonicator." **Canadian textile Journal**. 119(5): 32-35.

Vankar, P.S. 2016. **Handbook of natural dyes for industrial applications**. 2nd ed. NIIR project consultancy services. India.

Wahyuningsih, S. et al. 2016. "The effect of pH and color stability of anthocyanin on food colorant." **International Conference on Food Science and Engineering**. 193: 012047.

Wang, H. et al. 2014. "Dyeing of silk with anthocyanins dyes extract from *Liriope platyphylla* fruits." **Journal of Textiles**. 2014.: 587497.

Wang, H.; Tang, Z.; and Zhou, W. 2016. "A method for dyeing cotton fabric with anthocyanin dyes extracted from mulberry (*Morus rubra*) fruits". **Coloration Technology**. 123(3): 222-231.

Wang, R. et al. 2016. "Evaluation of silkworm excrement and mushroom dreg for the remediation of multiple heavy metal/metalloid contaminated soil using pakchoi". **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 124.: 239-247)

Wang, W. et al. 2015. "Impacts of spray-drying conditions on the physicochemical properties of soy sauce powders using maltodextrin as auxiliary drying carrier." **CyTA-Journal of Food**. 13(4): 548-555.

Yigit, D. 2010. "Elemental composition of various mulberry species" **Asian Journal of Chemistry**. 22(5): 3554-3560.

Zhang, X. and Laursen, R.A. 2005. "Development of mild extraction methods for the analysis of natural dyes in textiles of historical interest using LC-diode array detector-MS." **Analytical Chemistry**. 77(7): 2022-2025.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ร้อยละผลผลิต

ตารางที่ ก-1 ร้อยละของปริมาณผงสีจากมูลไหม

ตัวอย่างที่	น้ำหนักของสารในสารละลาย (กรัม)	น้ำหนักสารหลังการอบ (กรัม)	ร้อยละของปริมาณ ผงสี
1	2.1757	0.5043	23.18
2	2.3327	0.5478	23.48
3	2.0747	0.4773	23.01
	ค่าเฉลี่ย		23.22
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.24

ตารางที่ ก-2 ร้อยละของปริมาณกากของเหลือจากมูลไหม

ตัวอย่างที่	น้ำหนักของมูลไหมก่อนการสกัด (กรัม)	น้ำหนักของมูลไหมแห้ง หลังการสกัด (กรัม)	ร้อยละของปริมาณ กากของเหลือ
1	10.0112	7.3387	73.31
2	10.0341	7.4342	74.09
3	10.0032	7.4447	74.42
	ค่าเฉลี่ย		73.94
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.57

ตารางที่ ก-3 ร้อยละของปริมาณผงสีจากลูกหม่อน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักของสารในสารละลาย (กรัม)	น้ำหนักสารหลังการอบ (กรัม)	ร้อยละของปริมาณ ผงสี
1	2.5441	0.0417	1.64
2	2.5131	0.0381	1.52
3	2.4871	0.0347	1.40
	ค่าเฉลี่ย		1.52
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.12

ตารางที่ ก-4 ร้อยละของปริมาณกากของเหลือจากลูกหม่อน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักของลูกหม่อนก่อนการ	น้ำหนักของมูลไหมแห้ง	ร้อยละของปริมาณ
	สกัด (กรัม)	หลังการสกัด (กรัม)	
1	10.0451	1.0121	10.08
2	10.0007	1.1254	11.25
3	10.0015	1.0543	10.54
	ค่าเฉลี่ย		10.62
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.59

ภาคผนวก ข

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ตารางที่ ข-1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของมูลไหม

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1	0.5009	1.341	2.015	55.05
2	0.5009	1.332	2.006	54.68
3	0.5009	1.334	2.013	54.76
ค่าเฉลี่ย	0.5009	1.336	2.011	54.84
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.005	0.005	0.19
มาตรฐาน				

ตารางที่ ข-2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของกากมูลไหม

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1	0.5001	0.485	0.942	20.04
2	0.5001	0.507	0.982	20.95
3	0.5001	0.511	0.990	21.12
ค่าเฉลี่ย	0.5001	0.501	0.971	20.70
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.014	0.026	0.58
มาตรฐาน				

ตารางที่ ข-3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผงสีจากมูลไหม

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1	0.5000	0.155	0.557	6.53
2	0.5000	0.148	0.550	6.24
3	0.5000	0.166	0.579	6.99
ค่าเฉลี่ย	0.5000	0.156	0.562	6.59
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.009	0.015	0.37
มาตรฐาน				

ภาคผนวก ค

ปริมาณแอนโทไซยานิน

ตารางที่ ค-1 ปริมาณแอนโทไซยานินของลูกหม่อน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร	ปริมาณการดูดกลืน ต่อ 100 กรัมของ ลูกหม่อน	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลูกหม่อน)
1	2.0008	6.308	25,242.09	257.05
2	2.0008	6.268	25,082.03	255.42
3	2.0008	6.180	24,729.89	251.83
ค่าเฉลี่ย	2.0008	6.252	25,018.00	254.77
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0000	0.07	262.04	2.67

ตารางที่ ค-2 ปริมาณแอนโทไซยานินของกากลูกหม่อน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร	ปริมาณการดูดกลืน ต่อ 100 กรัมของ ลูกหม่อน	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลูกหม่อน)
1	2.0003	6.136	24,547.68	249.98
2	2.0003	6.114	24,459.67	249.08
3	2.0003	6.165	24,663.70	251.16
ค่าเฉลี่ย	2.0003	6.138	24,557.02	250.07
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0000	0.03	102.34	1.04

ตารางที่ ค-3 ปริมาณแอนโทไซยานินของผงสีลูกหม่อน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร	ปริมาณการดูดกลืน ต่อ 100 กรัมของ ลูกหม่อน	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลูกหม่อน)
1	2.0113	6.196	24,924.03	253.81
2	2.0113	6.044	24,312.59	247.58
3	2.0113	6.200	24,940.12	253.97
ค่าเฉลี่ย	2.0113	6.147	24,725.58	251.79
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0000	0.07	357.75	3.64

ภาคผนวก ง

ปริมาณแทนนิน

ตารางที่ ง-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร

วัสดุ	ค่าการดูดกลืนแสง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มูลไหม	0.13017	0.12327	0.12672	0.12672	0.00345
ผงสีมูลไหม	0.12810	0.12460	0.12635	0.12635	0.00175
ลูกหม่อน	0	0	0	0	0
ผงสีลูกหม่อน	0.28379	0.27556	0.25420	0.27118	0.01527

ภาคผนวก จ

ค่าความเข้มข้นเส้นด้ายไหมเมื่อใช้ผงสีมูลไหมและมูลหม่อนที่ความเข้มข้นต่างกัน

ตารางที่ จ-1 ค่าความเข้มข้นเส้นด้ายไหมเมื่อใช้ผงสีมูลไหมความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของผงสีมูล ไหม (ร้อยละโดย น้ำหนักของวัสดุสิ่งทอ)	ความเข้มข้นสี				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
0	0.0915	0.0989	0.0955	0.0953	0.0037
10	0.4047	0.4075	0.3730	0.3951	0.0192
20	0.4993	0.4710	0.4710	0.4804	0.0163
30	0.5763	0.5808	0.5794	0.5788	0.0023
40	0.6534	0.6387	0.6349	0.6423	0.0098
50	0.7439	0.7462	0.7526	0.7476	0.0045
60	0.7870	0.7851	0.7894	0.7872	0.0022
70	0.7779	0.7783	0.7670	0.7744	0.0064
80	0.7870	0.7987	0.7933	0.7930	0.0059
90	0.8812	0.9228	0.8929	0.8990	0.0214
100	0.9210	0.8997	0.9169	0.9125	0.0113
110	0.9158	0.8969	0.9430	0.9186	0.0232

ตารางที่ จ-2 ค่าความเข้มข้นเส้นด้ายไหมเมื่อใช้ผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของผงสีลูกหม่อน (ร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุสิ่งทอ)	ความเข้มสี				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	0.1036	0.1074	0.0953	0.1021	0.0062
10	0.1505	0.1551	0.1529	0.1528	0.0023
20	0.2609	0.2639	0.2708	0.2652	0.0051
30	0.2830	0.2874	0.2788	0.2831	0.0043
40	0.3027	0.3072	0.3038	0.3046	0.0024
50	0.5049	0.5070	0.5061	0.5060	0.0011
60	0.6262	0.6565	0.6425	0.6417	0.0152
70	0.7846	0.7836	0.7972	0.7885	0.0076
80	0.9496	0.9612	0.9316	0.9475	0.0149
90	1.0101	1.0186	1.0293	1.0193	0.0096
100	1.1153	1.1123	1.1146	1.1141	0.0016
110	1.1633	1.1610	1.1791	1.1678	0.0099

ภาคผนวก จ

ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีย้อมไหมอบแห้ง

ตารางที่ ฉ-1 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	97.30	1.89	16.78
2	98.60	1.83	18.27
3	98.32	1.78	18.95
ค่าเฉลี่ย	98.07	1.83	18.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.68	0.06	1.11

ตารางที่ ฉ-2 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	86.01	1.62	16.03
2	85.20	1.75	16.25
3	85.30	1.73	16.24
ค่าเฉลี่ย	85.50	1.70	16.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.44	0.07	0.12

ตารางที่ ฉ-3 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	84.23	1.38	16.90
2	84.48	1.33	17.01
3	83.59	1.48	16.97
ค่าเฉลี่ย	84.10	1.40	16.96
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.46	0.08	0.06

ตารางที่ ฉ-4 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	81.91	1.40	17.21
2	81.88	1.36	17.13
3	81.91	1.29	17.05
ค่าเฉลี่ย	81.90	1.35	17.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.02	0.06	0.08

ตารางที่ ฉ-5 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	81.33	0.97	17.70
2	81.35	1.11	17.88
3	81.07	1.07	17.83
ค่าเฉลี่ย	81.25	1.05	17.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.16	0.07	0.09

ตารางที่ ฉ-6 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	79.14	1.22	17.84
2	79.37	1.19	17.90
3	79.17	1.22	17.66
ค่าเฉลี่ย	79.23	1.21	17.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.13	0.02	0.12

ตารางที่ ฉ-7 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	78.68	1.00	18.28
2	78.96	1.05	18.42
3	78.80	0.87	18.23
ค่าเฉลี่ย	78.81	0.97	18.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.14	0.09	0.10

ตารางที่ ฉ-8 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	79.49	0.86	18.60
2	79.41	0.93	18.79
3	79.57	0.91	19.07
ค่าเฉลี่ย	79.49	0.90	18.82
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.08	0.04	0.24

ตารางที่ ฉ-9 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	79.12	0.88	18.56
2	78.92	0.83	18.47
3	79.21	0.83	18.62
ค่าเฉลี่ย	79.08	0.85	18.55
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.15	0.03	0.08

ตารางที่ ฉ-10 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	77.75	0.82	18.98
2	77.50	0.83	19.24
3	78.17	0.84	19.15
ค่าเฉลี่ย	77.81	0.83	19.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.34	0.01	0.13

ตารางที่ ฉ-11 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	77.85	0.71	19.67
2	78.28	0.65	19.82
3	77.81	0.68	19.71
ค่าเฉลี่ย	77.98	0.68	19.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.26	0.03	0.08

ตารางที่ ฉ-12 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมความเข้มข้นร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	76.93	0.70	19.11
2	78.12	0.68	19.50
3	77.69	0.58	19.41
ค่าเฉลี่ย	77.58	0.65	19.34
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.60	0.06	0.20

ภาคผนวก ข

ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนอบแห้ง

ตารางที่ ข-1 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	97.05	1.85	16.83
2	96.87	1.89	16.97
3	97.35	2.03	16.76
ค่าเฉลี่ย	97.09	1.92	16.85
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.24	0.09	0.10

ตารางที่ ข-2 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	90.13	1.64	10.27
2	89.95	1.64	10.38
3	90.12	1.63	10.42
ค่าเฉลี่ย	90.07	1.64	10.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.10	0.01	0.08

ตารางที่ ข-3 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	87.50	2.78	9.48
2	87.60	2.75	9.56
3	87.36	2.73	9.45
ค่าเฉลี่ย	87.49	2.75	9.50
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.12	0.03	0.06

ตารางที่ ข-4 ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE $L^*a^*b^*$		
	L^*	a^*	b^*
1	83.87	3.03	9.08
2	83.71	3.03	9.13
3	84.11	2.97	9.18
ค่าเฉลี่ย	83.90	3.01	9.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.20	0.03	0.05

ตารางที่ ข-5 ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE $L^*a^*b^*$		
	L^*	a^*	b^*
1	82.81	3.42	8.63
2	83.10	3.41	8.64
3	82.97	3.42	8.71
ค่าเฉลี่ย	82.96	3.42	8.66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.15	0.01	0.04

ตารางที่ ข-6 ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE $L^*a^*b^*$		
	L^*	a^*	b^*
1	76.14	4.50	7.72
2	76.13	4.45	7.68
3	76.17	4.43	7.67
ค่าเฉลี่ย	76.15	4.46	7.69
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.02	0.04	0.03

ตารางที่ ข-7 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	72.93	5.84	7.18
2	72.25	5.71	7.06
3	72.69	5.80	7.19
ค่าเฉลี่ย	72.62	5.78	7.14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.34	0.07	0.07

ตารางที่ ข-8 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	68.97	5.82	6.13
2	69.03	5.74	6.10
3	68.82	5.67	6.17
ค่าเฉลี่ย	68.94	5.74	6.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11	0.08	0.04

ตารางที่ ข-9 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	65.92	6.76	6.01
2	65.77	6.74	5.99
3	66.37	6.81	6.14
ค่าเฉลี่ย	66.02	6.77	6.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.31	0.04	0.08

ตารางที่ ข-10 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	65.06	6.17	5.85
2	64.94	6.08	5.79
3	64.80	6.14	5.77
ค่าเฉลี่ย	64.93	6.13	5.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.13	0.05	0.04

ตารางที่ ข-11 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	63.17	6.55	5.45
2	63.29	6.51	5.52
3	63.32	6.52	5.55
ค่าเฉลี่ย	63.26	6.53	5.51
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.08	0.02	0.05

ตารางที่ ข-12 ค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนความเข้มข้นร้อยละ 110 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
1	62.66	6.68	5.56
2	62.85	6.64	5.65
3	62.64	6.69	5.63
ค่าเฉลี่ย	62.72	6.67	5.61
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.12	0.03	0.05

ภาคผนวก ซ

ค่าความเข้มสี และค่า CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมและลูกหม่อน
ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ ข-1 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	0.7867	78.93	1.03	18.21
2	0.7784	78.78	0.93	18.18
3	0.7878	78.84	0.96	18.43
ค่าเฉลี่ย	0.7843	78.85	0.97	18.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0051	0.08	0.05	0.14

ตารางที่ ข-2 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน 80:20) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	0.8315	71.92	5.13	7.15
2	0.8463	71.24	5.46	7.87
3	0.8451	71.46	5.31	8.04
ค่าเฉลี่ย	0.8410	71.54	5.30	7.69
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0082	0.35	0.17	0.47

ตารางที่ ข-3 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน 60:40) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	0.4944	78.48	5.04	8.58
2	0.4876	77.45	5.20	8.99
3	0.4484	77.16	5.17	8.75
ค่าเฉลี่ย	0.4768	77.70	5.13	8.77
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0248	0.69	0.09	0.21

ภาคผนวก ฅ

ค่าความเข้มสี และ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมที่ความเข้มข้นร้อยละ 60
โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในกระบวนการต่างกัน

ตารางที่ ฅ-1 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดแทนนิกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.9245	77.48	2.25	17.92
2	0.9181	77.79	2.26	18.05
3	0.9257	77.73	2.26	18.14
ค่าเฉลี่ย	0.9228	77.67	2.26	18.04
ค่าเบี่ยงเบน	0.0041	0.16	0.01	0.11
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.2563	73.40	2.40	17.75
2	1.2375	74.05	2.47	18.10
3	1.2417	74.03	2.48	18.16
ค่าเฉลี่ย	1.2452	73.83	2.45	18.00
ค่าเบี่ยงเบน	0.0099	0.37	0.04	0.22
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.8136	80.22	1.52	18.81
2	0.8172	80.20	1.50	18.82
3	0.8162	80.25	1.48	18.89
ค่าเฉลี่ย	0.8157	80.22	1.50	18.84
ค่าเบี่ยงเบน	0.0019	0.03	0.02	0.04
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-2 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดซิตริกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.9158	77.74	1.42	18.56
2	0.9370	77.57	1.49	18.68
3	0.9100	77.91	1.41	18.57
ค่าเฉลี่ย	0.9209	77.74	1.44	18.60
ค่าเบี่ยงเบน	0.0142	0.17	0.04	0.07
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.2672	63.20	5.25	18.75
2	2.2731	63.31	5.30	18.81
3	2.2672	63.29	5.30	18.86
ค่าเฉลี่ย	2.2692	63.27	5.28	18.81
ค่าเบี่ยงเบน	0.0034	0.06	0.03	0.06
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.7726	80.88	1.26	19.01
2	0.7764	80.84	1.26	19.03
3	0.7609	81.08	1.19	18.99
ค่าเฉลี่ย	0.7699	80.93	1.24	19.01
ค่าเบี่ยงเบน	0.0080	0.13	0.04	0.02
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-3 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โคโตซานเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.2316	68.36	1.82	16.31
2	1.2392	70.00	1.74	16.75
3	1.2165	70.31	1.74	16.82
ค่าเฉลี่ย	1.2291	69.56	1.77	16.63
ค่าเบี่ยงเบน	0.0116	1.05	0.05	0.28
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.1470	77.97	3.00	22.27
2	1.1602	78.00	3.00	22.39
3	1.1641	77.96	3.00	22.40
ค่าเฉลี่ย	1.1571	77.98	3.00	22.35
ค่าเบี่ยงเบน	0.0090	0.02	0.00	0.07
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.8299	79.28	1.56	18.78
2	0.8243	79.54	1.56	18.93
3	0.8212	79.60	1.56	18.94
ค่าเฉลี่ย	0.8251	79.47	1.56	18.88
ค่าเบี่ยงเบน	0.0044	0.17	0.00	0.09
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-4 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้ว่านหางจระเข้เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.9705	76.56	1.35	18.22
2	0.9755	76.80	1.40	18.50
3	0.9680	76.91	1.38	18.57
ค่าเฉลี่ย	0.9713	76.76	1.38	18.43
ค่าเบี่ยงเบน	0.0038	0.18	0.03	0.19
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.0538	76.38	1.87	18.98
2	1.0579	76.36	1.87	19.04
3	1.0545	76.40	1.87	19.06
ค่าเฉลี่ย	1.0554	76.38	1.87	19.03
ค่าเบี่ยงเบน	0.0022	0.02	0.00	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.8562	78.81	0.83	18.80
2	0.8594	78.79	0.82	18.86
3	0.8557	78.90	0.82	18.89
ค่าเฉลี่ย	0.8571	78.83	0.82	18.85
ค่าเบี่ยงเบน	0.0020	0.06	0.01	0.05
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-5 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้เพอร์สซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.0579	69.77	0.64	12.14
2	1.0401	69.90	0.65	12.09
3	1.0476	69.84	0.63	12.11
ค่าเฉลี่ย	1.0485	69.84	0.64	12.11
ค่าเบี่ยงเบน	0.0089	0.07	0.01	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.6391	64.18	2.10	12.93
2	1.6378	64.23	2.08	13.09
3	1.6515	64.19	2.10	13.05
ค่าเฉลี่ย	1.6428	64.20	2.09	13.02
ค่าเบี่ยงเบน	0.0076	0.03	0.01	0.08
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	1.5145	68.34	1.84	16.30
2	1.5145	68.33	1.84	16.31
3	1.5156	68.36	1.82	16.31
ค่าเฉลี่ย	1.5149	68.34	1.83	16.31
ค่าเบี่ยงเบน	0.0006	0.02	0.01	0.01
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-6 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้คอปเปอร์ ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.6743	65.24	2.93	14.93
2	1.7279	64.89	3.01	15.08
3	1.7604	64.57	3.08	15.00
ค่าเฉลี่ย	1.7209	64.90	3.01	15.00
ค่าเบี่ยงเบน	0.0435	0.34	0.08	0.08
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.4666	70.20	2.91	20.61
2	1.4592	70.34	2.91	20.68
3	1.4990	69.72	2.87	20.26
ค่าเฉลี่ย	1.4749	70.09	2.90	20.52
ค่าเบี่ยงเบน	0.0212	0.33	0.02	0.23
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.9310	75.58	-1.31	18.75
2	0.9281	75.60	-1.30	18.79
3	0.9275	75.59	-1.30	18.79
ค่าเฉลี่ย	0.9289	75.59	-1.30	18.78
ค่าเบี่ยงเบน	0.0019	0.01	0.01	0.02
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-7 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้สแตนนัสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.2165	74.29	2.62	19.77
2	1.2607	74.12	2.72	20.10
3	1.2173	74.68	2.57	20.23
ค่าเฉลี่ย	1.2315	74.36	2.64	20.03
ค่าเบี่ยงเบน	0.0253	0.29	0.08	0.24
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.8879	85.58	3.44	27.20
2	0.8885	85.58	3.41	27.20
3	0.8857	85.63	3.41	27.22
ค่าเฉลี่ย	0.8874	85.60	3.42	27.21
ค่าเบี่ยงเบน	0.0015	0.03	0.02	0.01
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.9587	78.65	1.86	20.50
2	0.9624	78.76	1.88	20.64
3	0.9526	78.97	1.87	20.66
ค่าเฉลี่ย	0.9579	78.79	1.87	20.60
ค่าเบี่ยงเบน	0.0049	0.16	0.01	0.09
มาตรฐาน				

ตารางที่ ฅ-8 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โครเมียมซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.2925	71.82	2.33	19.63
2	1.2988	71.72	2.32	19.56
3	1.2659	72.00	2.30	19.48
ค่าเฉลี่ย	1.2857	71.85	2.32	19.56
ค่าเบี่ยงเบน	0.0175	0.14	0.02	0.08
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.3556	73.04	3.67	21.81
2	1.3604	73.07	3.69	21.89
3	1.3671	72.99	3.70	21.86
ค่าเฉลี่ย	1.3610	73.03	3.69	21.85
ค่าเบี่ยงเบน	0.0058	0.04	0.02	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.9112	76.78	1.11	17.49
2	0.9181	76.78	1.12	17.55
3	0.9222	76.72	1.12	17.57
ค่าเฉลี่ย	0.9172	76.76	1.12	17.54
ค่าเบี่ยงเบน	0.0056	0.03	0.01	0.04
มาตรฐาน				

ภาคผนวก ญ

ค่าความเข้มสี และ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 80
โดยน้ำหนักของเส้นด้ายไหม เมื่อใช้มอร์แดนต์ในกระบวนการต่างกัน

ตารางที่ ญ-1 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดแทนนิกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.9066	67.30	7.68	6.57
2	0.9089	67.30	7.67	6.59
3	0.9112	67.27	7.69	6.59
ค่าเฉลี่ย	0.9089	67.29	7.68	6.58
ค่าเบี่ยงเบน	0.0023	0.002	0.01	0.01
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.8632	69.97	7.59	8.46
2	0.8686	69.95	7.61	8.47
3	0.8621	70.09	7.63	8.53
ค่าเฉลี่ย	0.8646	70.00	7.61	8.49
ค่าเบี่ยงเบน	0.0035	0.08	0.02	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.6810	72.73	7.16	7.96
2	0.6793	72.80	7.17	7.99
3	0.6777	72.81	7.15	7.98
ค่าเฉลี่ย	0.6793	72.78	7.16	7.98
ค่าเบี่ยงเบน	0.0017	0.04	0.01	0.02
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๒-2 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดซิตริก เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.9805	67.49	7.21	8.01
2	0.9767	67.62	7.19	8.10
3	0.9699	67.70	7.19	8.09
ค่าเฉลี่ย	0.9757	67.60	7.20	8.07
ค่าเบี่ยงเบน	0.0054	0.11	0.01	0.05
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.9412	68.30	7.10	8.36
2	0.9430	68.29	7.13	8.40
3	0.9406	68.34	7.13	8.39
ค่าเฉลี่ย	0.9416	68.31	7.12	8.38
ค่าเบี่ยงเบน	0.0012	0.03	0.02	0.02
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.8305	69.53	6.79	7.88
2	0.8294	69.56	6.78	7.92
3	0.8351	69.50	6.80	7.95
ค่าเฉลี่ย	0.8317	69.53	6.79	7.92
ค่าเบี่ยงเบน	0.0030	0.03	0.01	0.04
มาตรฐาน				

ตารางที่ ญ-3 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โคโตซาน เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.0326	65.95	6.12	7.43
2	1.0286	66.07	6.13	7.48
3	1.0273	66.12	6.16	7.54
ค่าเฉลี่ย	1.0295	66.05	6.14	7.48
ค่าเบี่ยงเบน	0.0028	0.09	0.02	0.06
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.5957	73.23	7.64	6.73
2	0.6046	73.10	7.63	6.73
3	0.6000	73.15	7.60	6.72
ค่าเฉลี่ย	0.6001	73.16	7.62	6.73
ค่าเบี่ยงเบน	0.0045	0.07	0.02	0.01
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.7779	70.22	7.79	7.75
2	0.7914	70.04	7.81	7.79
3	0.7884	70.07	7.80	7.81
ค่าเฉลี่ย	0.7859	70.11	7.80	7.78
ค่าเบี่ยงเบน	0.0071	0.10	0.01	0.03
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๗-4 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้ว่านหางจระเข้เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.0448	67.00	7.01	8.63
2	1.0347	67.22	7.06	8.67
3	1.0306	67.26	7.07	8.69
ค่าเฉลี่ย	1.0367	67.16	7.05	8.66
ค่าเบี่ยงเบน	0.0073	0.14	0.03	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.8578	69.21	6.85	7.44
2	0.8519	69.34	6.86	7.49
3	0.8626	69.23	6.86	7.51
ค่าเฉลี่ย	0.8574	69.26	6.86	7.48
ค่าเบี่ยงเบน	0.0054	0.07	0.01	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	0.8885	68.61	5.81	7.47
2	0.8918	68.61	5.82	7.48
3	0.8901	68.64	5.85	7.48
ค่าเฉลี่ย	0.8901	68.62	5.83	7.48
ค่าเบี่ยงเบน	0.0017	0.02	0.02	0.01
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๕-5 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้เพอร์สัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.1952	59.55	-0.88	0.53
2	1.1863	59.64	-0.88	0.55
3	1.1823	59.69	-0.86	0.56
ค่าเฉลี่ย	1.1879	59.63	-0.87	0.55
ค่าเบี่ยงเบน	0.0066	0.07	0.01	0.02
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.0313	62.84	-0.61	1.83
2	1.0313	62.90	-0.61	1.85
3	1.0326	62.84	-0.64	1.86
ค่าเฉลี่ย	1.0317	62.86	-0.62	1.85
ค่าเบี่ยงเบน	0.0008	0.03	0.02	0.02
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	1.5246	57.80	-1.47	2.51
2	1.5415	57.69	-1.47	2.55
3	1.5324	57.78	-1.48	2.53
ค่าเฉลี่ย	1.5328	57.76	-1.47	2.53
ค่าเบี่ยงเบน	0.0085	0.06	0.01	0.02
มาตรฐาน				

ตารางที่ ญ-6 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.3877	60.95	1.34	6.03
2	1.3847	60.98	1.34	6.13
3	1.3867	60.99	1.37	6.05
ค่าเฉลี่ย	1.3864	60.97	1.35	6.07
ค่าเบี่ยงเบน	0.0015	0.02	0.02	0.05
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.2033	64.83	1.69	8.00
2	1.2074	64.79	1.68	8.02
3	1.2050	64.83	1.70	8.05
ค่าเฉลี่ย	1.2052	64.82	1.69	8.02
ค่าเบี่ยงเบน	0.0021	0.02	0.01	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	1.2677	63.54	-1.74	7.01
2	1.2581	63.64	-1.74	7.05
3	1.2555	63.65	-1.74	7.09
ค่าเฉลี่ย	1.2604	63.61	-1.74	7.05
ค่าเบี่ยงเบน	0.0064	0.06	0.00	0.04
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๗-7 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้สแตนเลสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	1.3245	61.70	1.14	0.66
2	1.3319	61.67	1.10	0.69
3	1.3263	61.76	1.09	0.71
ค่าเฉลี่ย	1.3276	61.71	1.11	0.69
ค่าเบี่ยงเบน	0.0039	0.05	0.03	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.9100	67.80	0.95	1.69
2	0.9106	67.85	0.92	1.69
3	0.9083	67.91	0.90	1.68
ค่าเฉลี่ย	0.9096	67.85	0.92	1.69
ค่าเบี่ยงเบน	0.0012	0.06	0.03	0.01
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	1.0818	64.39	0.50	3.36
2	1.0840	64.38	0.49	3.36
3	1.0833	64.37	0.47	3.39
ค่าเฉลี่ย	1.0830	64.38	0.49	3.37
ค่าเบี่ยงเบน	0.0011	0.01	0.02	0.02
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๗-8 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โครเมียมซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	0.7987	67.75	4.89	4.25
2	0.8007	67.73	4.92	4.28
3	0.8051	67.73	4.91	4.30
ค่าเฉลี่ย	0.8015	67.74	4.91	4.28
ค่าเบี่ยงเบน	0.0033	0.01	0.02	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	0.8367	66.19	-1.43	1.83
2	0.8461	66.06	-1.44	1.88
3	0.8424	66.14	-1.47	1.89
ค่าเฉลี่ย	0.8417	66.13	-1.45	1.87
ค่าเบี่ยงเบน	0.0047	0.07	0.02	0.03
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	1.0166	65.21	3.79	5.51
2	1.0180	65.18	3.77	5.56
3	1.0166	65.24	3.76	5.55
ค่าเฉลี่ย	1.0171	65.21	3.77	5.54
ค่าเบี่ยงเบน	0.0081	0.03	0.02	0.03
มาตรฐาน				

ภาคผนวก ก

ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหม
หลังการเก็บรักษานาน 4 เดือน

ตารางที่ ๑-1 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมเมื่อไม่ผ่านการย้อม

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	0.4958	81.78	2.34	17.95
2	0.4899	81.88	2.41	17.89
3	0.4948	81.89	2.33	17.93
ค่าเฉลี่ย	0.4935	81.87	2.34	17.92
ค่าเบี่ยงเบน	0.0031	0.08	0.06	0.03
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๑-2 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อไม่ใช้มอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	2.5656	63.77	1.50	20.05
2	2.5092	63.89	1.67	20.01
3	2.4413	64.94	1.46	20.51
ค่าเฉลี่ย	2.5053	64.20	1.54	20.19
ค่าเบี่ยงเบน	0.0623	0.64	0.11	0.28
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๓-3 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดแทนนิกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.1760	61.86	2.62	20.07
2	3.1363	62.06	2.63	20.33
3	3.0005	63.02	2.38	20.20
ค่าเฉลี่ย	3.1043	62.31	2.54	20.20
ค่าเบี่ยงเบน	0.0920	0.62	0.14	0.13
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	4.6313	57.55	3.05	20.37
2	4.6625	57.29	3.13	20.06
3	4.5883	57.77	2.94	20.39
ค่าเฉลี่ย	4.6274	57.54	3.04	20.27
ค่าเบี่ยงเบน	0.0372	0.24	0.10	0.19
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.7605	65.02	1.93	20.84
2	3.2267	62.13	2.13	20.45
3	3.3034	61.74	2.20	20.64
ค่าเฉลี่ย	3.0968	62.96	2.09	20.64
ค่าเบี่ยงเบน	0.2938	1.79	0.14	0.20
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๓-4 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้กรดซิตริก เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.1396	61.88	2.14	20.68
2	3.5242	61.88	2.14	20.68
3	3.0437	62.36	2.02	20.72
ค่าเฉลี่ย	3.2358	62.04	2.10	20.69
ค่าเบี่ยงเบน	0.2543	0.28	0.07	0.02
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	10.8975	47.45	6.16	24.17
2	12.6054	45.00	6.33	23.88
3	12.5686	45.41	6.21	24.03
ค่าเฉลี่ย	12.0238	45.95	6.23	24.03
ค่าเบี่ยงเบน	0.9756	1.31	0.09	0.15
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.1767	66.48	2.14	18.95
2	2.6896	64.23	1.94	20.51
3	2.3975	65.39	2.02	19.66
ค่าเฉลี่ย	2.4213	65.37	2.03	19.71
ค่าเบี่ยงเบน	0.2573	1.13	0.10	0.78
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๕-5 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โคโตซานเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	4.6750	53.43	2.37	20.18
2	4.4517	54.37	2.32	20.37
3	4.8369	52.79	2.49	20.12
ค่าเฉลี่ย	4.6545	53.53	2.39	20.22
ค่าเบี่ยงเบน	0.1934	0.79	0.09	0.13
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	4.3272	60.63	4.12	24.34
2	3.7481	63.35	3.49	24.39
3	3.9199	62.59	3.47	24.31
ค่าเฉลี่ย	3.9984	62.19	3.69	24.35
ค่าเบี่ยงเบน	0.2974	1.40	0.37	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.5873	65.33	2.06	21.37
2	2.6141	65.04	1.93	20.94
3	2.6489	64.87	2.03	21.17
ค่าเฉลี่ย	2.6168	65.08	2.01	21.16
ค่าเบี่ยงเบน	0.0309	0.23	0.07	0.22
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๖-6 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้ว่านหางจระเข้เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.0344	61.37	1.88	19.83
2	2.9763	61.78	1.92	19.84
3	2.7498	63.18	1.87	20.18
ค่าเฉลี่ย	2.9201	62.11	1.89	19.95
ค่าเบี่ยงเบน	0.1504	0.95	0.03	0.20
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	3.2508	61.09	2.25	20.08
2	3.4813	60.24	2.34	20.29
3	3.6127	59.83	2.39	20.47
ค่าเฉลี่ย	3.4483	60.39	2.33	20.28
ค่าเบี่ยงเบน	0.1832	0.64	0.07	0.20
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.4062	65.00	1.19	19.90
2	2.5278	64.47	1.23	20.35
3	2.2436	65.84	1.34	19.71
ค่าเฉลี่ย	2.3925	65.10	1.25	19.99
ค่าเบี่ยงเบน	0.1426	0.69	0.08	0.33
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๗-7 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้เพอร์สซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.7264	53.89	1.57	15.21
2	3.5282	54.45	1.37	14.95
3	3.5203	54.41	1.37	14.81
ค่าเฉลี่ย	3.5916	54.25	1.44	14.99
ค่าเบี่ยงเบน	0.1168	0.31	0.12	0.20
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	6.6896	46.77	2.84	16.08
2	6.8082	47.11	2.81	16.64
3	6.5860	47.67	2.87	16.78
ค่าเฉลี่ย	6.6946	47.18	2.84	16.50
ค่าเบี่ยงเบน	0.1111	0.45	0.03	0.37
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	5.8211	52.65	2.63	19.87
2	5.9328	51.92	2.65	19.58
3	5.8672	51.97	2.63	19.35
ค่าเฉลี่ย	5.8737	52.18	2.64	19.60
ค่าเบี่ยงเบน	0.0561	0.41	0.01	0.26
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๘-8 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	6.4194	50.40	3.78	19.44
2	7.1608	49.53	4.07	20.05
3	6.2913	51.15	3.72	19.53
ค่าเฉลี่ย	6.6239	50.36	3.86	19.67
ค่าเบี่ยงเบน	0.4694	0.81	0.19	0.33
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	6.2600	53.04	3.82	24.95
2	6.0581	53.57	3.82	24.94
3	5.5404	54.49	3.31	24.27
ค่าเฉลี่ย	5.9528	53.70	3.65	24.72
ค่าเบี่ยงเบน	0.3712	0.73	0.29	0.39
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	3.1793	59.76	-0.76	20.91
2	3.2508	59.16	-0.80	20.75
3	3.4016	58.27	-0.87	20.51
ค่าเฉลี่ย	3.2772	59.06	-0.81	20.72
ค่าเบี่ยงเบน	0.1135	0.75	0.06	0.20
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๙-9 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้สแตนเลสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	4.5340	57.95	3.28	22.76
2	4.6313	57.71	3.21	22.70
3	4.5944	58.32	3.34	23.20
ค่าเฉลี่ย	4.5866	57.99	3.28	22.89
ค่าเบี่ยงเบน	0.0491	0.31	0.07	0.27
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.6240	71.94	3.64	28.67
2	2.7820	70.65	4.46	20.73
3	2.8880	70.66	4.29	29.16
ค่าเฉลี่ย	2.7647	71.08	4.13	26.19
ค่าเบี่ยงเบน	0.1329	0.74	0.43	4.73
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.9613	63.96	2.25	22.11
2	3.0220	63.41	2.51	21.80
3	3.0688	64.13	2.46	22.86
ค่าเฉลี่ย	3.0174	63.83	2.41	22.26
ค่าเบี่ยงเบน	0.0539	0.38	0.14	0.55
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๑๐-10 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีมูลไหมเมื่อใช้โครเมียมซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	4.7130	55.89	3.09	22.85
2	5.0227	55.23	3.34	23.30
3	4.9594	55.72	3.24	23.66
ค่าเฉลี่ย	4.8984	55.61	3.22	23.27
ค่าเบี่ยงเบน	0.1636	0.34	0.13	0.41
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	5.2900	57.02	4.63	25.91
2	5.5488	56.32	4.53	25.79
3	4.9390	57.54	4.19	25.15
ค่าเฉลี่ย	5.2591	56.96	4.45	25.62
ค่าเบี่ยงเบน	0.3063	0.61	0.23	0.41
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	3.0594	60.70	1.74	19.22
2	3.2130	60.13	1.59	19.45
3	2.9199	61.86	1.61	19.76
ค่าเฉลี่ย	3.0641	60.90	1.65	19.48
ค่าเบี่ยงเบน	0.1466	0.88	0.08	0.27
มาตรฐาน				

ภาคผนวก ก

ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อน
หลังการเก็บรักษานาน 4 เดือน

ตารางที่ ๑-1 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อไม่ใช้มอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
1	2.7658	54.18	7.81	10.08
2	2.8204	53.86	7.36	9.66
3	3.0251	52.60	7.75	9.64
ค่าเฉลี่ย	2.8704	53.55	7.64	9.79
ค่าเบี่ยงเบน	0.1367	0.84	0.24	0.25
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๒-2 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้กรดแทนนิกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	2.3053	55.20	8.28	8.13
2	2.5513	54.02	8.74	8.61
3	2.7685	52.78	8.57	8.55
ค่าเฉลี่ย	2.5417	54.00	8.53	8.43
ค่าเบี่ยงเบน	0.2317	1.21	0.23	0.26
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.4908	56.25	8.05	10.29
2	2.6922	54.77	8.22	10.21
3	2.5466	55.61	8.15	10.14
ค่าเฉลี่ย	2.5765	55.54	8.14	10.21
ค่าเบี่ยงเบน	0.1040	0.74	0.09	0.08
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.0688	58.18	7.68	9.56
2	2.2416	57.42	7.85	10.01
3	2.2145	57.37	7.85	9.90
ค่าเฉลี่ย	2.1750	57.66	7.79	9.82
ค่าเบี่ยงเบน	0.0929	0.45	0.10	0.23
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๓-3 ค่าความเข้มสีและ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้กรดซิตริกเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	2.9613	53.04	8.07	10.14
2	3.1168	52.35	8.08	10.15
3	3.3465	51.20	8.27	10.23
ค่าเฉลี่ย	3.1415	52.20	8.14	10.17
ค่าเบี่ยงเบน	0.1938	0.93	0.11	0.05
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.6819	54.56	7.83	10.57
2	2.5490	55.37	8.06	10.64
3	2.6616	54.94	7.54	10.58
ค่าเฉลี่ย	2.6308	54.96	7.81	10.60
ค่าเบี่ยงเบน	0.0716	0.41	0.26	0.04
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.5513	54.56	7.24	9.66
2	2.5946	54.39	7.34	9.74
3	2.3975	55.62	7.43	9.77
ค่าเฉลี่ย	2.5145	54.86	7.34	9.72
ค่าเบี่ยงเบน	0.1036	0.67	0.10	0.06
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๓-4 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้โคโคซานเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.3501	50.66	7.17	9.89
2	3.3141	50.41	7.11	9.55
3	3.2717	51.03	7.24	9.79
ค่าเฉลี่ย	3.3119	50.70	7.17	9.74
ค่าเบี่ยงเบน	0.0393	0.31	0.07	0.17
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	1.8904	58.11	8.05	8.34
2	1.8995	57.86	8.06	8.10
3	1.7882	58.89	8.09	8.10
ค่าเฉลี่ย	1.8594	58.29	8.07	8.18
ค่าเบี่ยงเบน	0.0618	0.54	0.02	0.14
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.8426	52.43	8.52	9.34
2	2.4149	55.12	8.60	9.46
3	2.6540	53.52	8.42	9.36
ค่าเฉลี่ย	2.6372	53.69	8.51	9.39
ค่าเบี่ยงเบน	0.2144	1.35	0.09	0.06
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๕-5 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้วานหาง
จระเข้เป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	2.6845	55.77	7.78	11.50
2	3.4091	51.53	8.09	11.22
3	2.9944	53.54	7.72	11.03
ค่าเฉลี่ย	3.0293	53.61	7.86	11.25
ค่าเบี่ยงเบน	0.3635	2.12	0.20	0.24
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.9853	52.39	9.12	11.69
2	2.8680	53.05	7.38	9.15
3	2.5897	54.46	7.55	9.14
ค่าเฉลี่ย	2.8144	53.30	8.02	9.99
ค่าเบี่ยงเบน	0.2032	1.06	0.96	1.47
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.7313	54.15	6.70	9.74
2	2.6973	54.49	6.80	9.91
3	2.6515	54.63	6.44	9.57
ค่าเฉลี่ย	2.6934	54.42	6.65	9.74
ค่าเบี่ยงเบน	0.0400	0.25	0.19	0.17
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๖-6 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้เพอร์สซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	3.3647	46.40	-0.42	2.72
2	3.5842	45.38	-0.45	2.62
3	3.6045	45.30	-0.32	2.66
ค่าเฉลี่ย	3.5178	45.69	-0.40	2.67
ค่าเบี่ยงเบน	0.1330	0.61	0.07	0.05
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	3.0282	49.09	-0.06	4.18
2	3.4165	46.67	-0.02	3.44
3	2.9494	49.18	-0.17	3.95
ค่าเฉลี่ย	3.1314	48.31	-0.08	3.86
ค่าเบี่ยงเบน	0.2501	1.42	0.08	0.38
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	5.0512	42.11	-0.77	4.54
2	5.6516	40.72	-0.70	4.77
3	5.4574	41.53	-0.63	5.06
ค่าเฉลี่ย	5.3867	41.45	-0.70	4.79
ค่าเบี่ยงเบน	0.3064	0.70	0.07	0.26
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๗-7 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้คอปเปอร์ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	4.0899	46.79	1.81	8.29
2	4.0699	47.27	2.14	8.67
3	4.3550	46.22	1.81	8.45
ค่าเฉลี่ย	4.1716	46.76	1.92	8.47
ค่าเบี่ยงเบน	0.1591	0.53	0.19	0.19
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	3.6417	50.69	1.75	10.17
2	3.7350	50.52	2.19	10.64
3	3.7832	50.05	2.16	10.39
ค่าเฉลี่ย	3.7199	50.42	2.03	10.40
ค่าเบี่ยงเบน	0.0720	0.33	0.25	0.24
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	4.2779	47.61	-0.97	9.47
2	4.0849	48.32	-1.08	9.34
3	4.1408	48.09	-0.91	9.51
ค่าเฉลี่ย	4.1679	48.01	-0.99	9.44
ค่าเบี่ยงเบน	0.0993	0.36	0.09	0.09
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๘-8 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้สแตนเลสซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	4.0749	47.87	2.11	2.91
2	3.9913	48.00	2.10	2.85
3	4.5460	45.94	2.24	2.74
ค่าเฉลี่ย	4.2041	47.27	2.15	2.83
ค่าเบี่ยงเบน	0.2991	1.15	0.08	0.09
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.5632	54.77	2.04	3.87
2	2.9228	52.33	1.95	3.46
3	2.6641	53.86	1.97	3.58
ค่าเฉลี่ย	2.7167	53.65	1.99	3.64
ค่าเบี่ยงเบน	0.1855	1.23	0.05	0.21
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	3.1793	50.08	1.90	5.35
2	3.3069	49.58	1.94	5.28
3	3.2335	49.79	1.94	5.30
ค่าเฉลี่ย	3.2399	49.82	1.93	5.31
ค่าเบี่ยงเบน	0.0641	0.25	0.02	0.04
มาตรฐาน				

ตารางที่ ๙-9 ค่าความเข้มสีและ CIE L*a*b* ของเส้นด้ายไหมที่ย้อมด้วยผงสีลูกหม่อนเมื่อใช้โครเมียมซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์

ตัวอย่างที่	K/S	CIE L*a*b*		
		L*	a*	b*
มอร์แดนต์ก่อนการย้อม				
1	2.3424	53.83	5.43	6.18
2	2.4127	53.47	5.45	6.22
3	2.5278	52.54	5.76	6.08
ค่าเฉลี่ย	2.4276	53.28	5.55	6.16
ค่าเบี่ยงเบน	0.0936	0.67	0.19	0.07
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์พร้อมการย้อม				
1	2.5161	51.19	-1.24	3.39
2	2.5023	51.71	-1.17	3.73
3	2.3868	52.17	-1.32	3.51
ค่าเฉลี่ย	2.4684	51.69	-1.24	3.54
ค่าเบี่ยงเบน	0.0710	0.49	0.08	0.17
มาตรฐาน				
มอร์แดนต์หลังการย้อม				
1	2.9553	51.10	4.61	7.42
2	2.8967	51.57	4.55	7.48
3	3.2473	49.49	4.41	7.21
ค่าเฉลี่ย	3.0331	50.72	4.52	7.37
ค่าเบี่ยงเบน	0.1878	1.09	0.10	0.14
มาตรฐาน				

ภาคผนวก ฐ
การถ่ายทอดเทคโนโลยี

Crafts Bangkok 2019

ไบเทคบางนา

4-7 เมษายน 2562



อบรมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การย้อมสีธรรมชาติและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในการ
ผลิตไหม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้า อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย
27-29 สิงหาคม 2562



The Celebrations of Glory ICONSIAM ฉลองครบรอบ 1 ปี ไอคอนสยาม

ณ ไอคอนสยาม

1-28 พฤศจิกายน 2562



แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

1. ด้านนโยบาย

-

2. ด้านสาธารณะ

-

3. ด้านชุมชนและพื้นที่

คณะผู้วิจัยลงพื้นที่เพื่ออบรมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การย้อมสีธรรมชาติและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในการผลิตไหม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้า อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย เมื่อวันที่ 27-29 สิงหาคม 2562



4. ด้านพาณิชย์

บริษัท เนเชอรัล นิซ จำกัด ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากงานวิจัยนี้ นำเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อนไปจัดจำหน่ายในงานแสดงสินค้าต่าง ๆ เช่น Crafts Bangkok 2019 และ The celebrations of Glory ICONSIAM



5. ด้านวิชาการ

นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เตรียมเลคเชอร์แมนต์จากผงสี ลูกหม่อน และนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพย้อมเส้นด้ายไหมด้วยผงสีจากมูลไหมและลูกหม่อน ซึ่งเป็นสอนให้นิสิตและนักศึกษาได้คิดและวางแผนอย่างเป็นระบบ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นนักวิจัยในอนาคต