การลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอ

นงนุช ศศิธร

กาญจนา ลือพงษ์

จำลอง สาริกานนท์

วิโรจน์ ผดุงทศ

พิชิตพล เจริญทรัพยานันท์

ไพรัตน์ ปุญญาเจริญนนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณเงินผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๐

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น

Silk Degumming with *Carica payapa* Linn.'s Latex

Nongnut Sasithorn

Kanchana Luepong

Chamlong Sarikanon

Wiroj Padungtos

Phichitphol Jaroensapayanant

Phairat Punyacharoennon

This Report is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,

Faculty of Industry Textile and Fashion Design Fiscal Year 2007

ชื่อเรื่อง : การลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอ
ผู้วิจัย : นงนุช ศศิธร
กาญจนา ลือพงษ์
จำลอง สาริกานนท์
วิโรจน์ ผดุงทศ
พิชิตพล เจริญทรัพยานันท์
ไพรัตน์ ปุญญาเจริญนนท์
พ.ศ. ๒๕๕๐

บทคัดย่อ

การลอกกาวเป็นกระบวนการพื้นฐานสำหรับการตกแต่งเส้นด้ายและผ้าจากเส้นใยไหม มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น กาวไหมหรือ เซริซิน ไขมันและ ขี้ผึ้ง ออกจากเส้นใยไหม หลักการของการลอกกาวไหมคือ การทำลายพันธะเพปไทด์ของกรดอะมิโนที่มีอยู่ในเซริซินให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ การลอกกาวไหมสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการใช้กรด ด่าง เอนไซม์ น้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน และสบู่ ก็เป็นสารที่นำมาใช้ในการลอกกาวไหมได้ การลอกกาวไหมแบบดั้งเดิมนิยมใช้การต้มด้วยน้ำสบู่ผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ผิวสัมผัสของเส้นใยไหมจะถูกทำลายมาก ปัจจุบันมีการนำเอนไซน์โปรติเอสมาใช้ในการลอกกาวไหม แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากต้องใช้กระบวนการเฉพาะและมีราคาสูง ทำให้มีความคิดที่จะหาสารจากธรรมชาติที่มีราคาถูกมาทดแทน โดยทำการศึกษาเอนไซน์ปาเปนที่ได้จากยางมะละกอแห้งมาใช้ในการลอกกาวที่ภาวะต่างๆ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลอกกาวไหมโดยการใช้เอนไซน์ปาเปนจากยางมะละกอแห้ง เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลอกกาวไหมและสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม ทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 55 - 85 องศาเซลเซียส เวลา 10 - 40 นาที และความเข้มข้นของสารละลายยางมะละกอแห้งตั้งแต่ 0 - 4 %owf จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของการลอกกาวไหม โดยทดสอบความแข็งแรงเส้นใยไหมและทดสอบการติดสีไดเร็กท์ (C.I. Direct Red 80) ผลการติดสีจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการลอกกาวไหมที่ได้ ลักษณะปรากฏและสัณฐานวิทยาของเส้นใย จากการศึกษาพบว่าภาวะที่เหมาะสมกับการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอแห้ง คือทำการลอกกาวที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ความเข้มข้นของสารละลายยางมะละกอแห้ง 4 % owf มีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมอยู่ในเกณฑ์ดี เส้นใยไหมที่ได้มีความมันเงา ผิวสัมผัสนุ่ม ผิวของเส้นใยไม่ถูกทำลาย และไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของเส้นไหม

คำสำคัญ : ลอกกาวไหม ปาเปน

Title : Silk Degumming with *Carica payapa* Linn.'s Latex

Reseacher : Nongnut Sasithorn

Kanchana Luepong

Chamlong Sarikanon

Wiroj Padungtos

Phichitphol Jaroensapayanant

Phairat Punyacharoennon

Year : 2007

Abstract

Degumming process is a fundamental process for silk yarn and silk fabric finishing. The main objective is scouring the substrate such as silk gum (sericin), wax and fatty acid from silk fiber. The principle of degumming process is destroying the peptide linkage of amino acid in sericin structure into a small molecule which is soluble in water. The hydrolysis reaction performed by acid, alkaline, enzyme, surfactant as soap, and high pressure steam process. The conventional methods favor degumming with soap and sodium carbonate. This process has a problem on the surface area of silk. Proteolytic enzymes can answer this problem but it seldom use because of a specific condition and high cost. For this reason, the insteading of papain enzyme from dry latex of *Carica payapa* Linn. was decided to use for silk degumming at any condition study.

This research was concerned with the silk degumming using papain enzyme form dry latex of *Carica payapa* Linn. The degumming process was performed at the temperature vary from 55 - 85 degree Celsius, time from10 to 40 minutes and the amount of dry latex ranging from 0 to 4% owf in order to study the suitable condition for degumming and surface morphology. The efficiency of degumming process was evaluated by determination of tensile strength and staining test with direct dyes (C.I. Direct Red 80). Staining result will be opposed to degumming efficiency. The result was revealed; the appropriate conditions for silk degumming with dry *Carica payapa* Linn.'s latex were recommended as follows : the amount of dry latex solution of 4 % owf at 75 degree Celsius for 30 minutes. The degummed fibers leaves lustrous, soft and surface smooth. This condition does not have effect to tensile strength and fiber surface.

Keywords: degumming, papain

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ สนับสนุนข้อมูล และข้อเสนอแนะในการทำงานจากบุคคลหลายฝ่ายดังนี้

1. คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำการวิจัยในครั้งนี้
2. นักศึกษาแผนกวิชาเคมีสิ่งทอ ผู้ช่วยในการทดลอง
3. บิดา มารดา และบุคคลอีกหลายท่านที่มีส่วนช่วยผลักดันให้การศึกษาโครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมดไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นงนุช ศศิธร
กาญจนา ลือพงษ์
จำลอง สาริกานนท์
วิโรจน์ ผดุงทศ
พิชิตพล เจริญทรัพยานันท์
ไพรัตน์ ปุญญาเจริญนนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	1
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 นิยามศัพท์	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไหม (Silk)	3
2.2 หนอนไหม	4
2.3 สมบัติทั่วไปของเส้นใยไหม	12
2.4 มะละกอ (Papaya)	18
2.5 ปาเปน (Papain)	21
2.6 การลอกกาวไหม	26
2.7 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed Literature)	28
3 วิธีดำเนินการ	30
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	31
3.2 วิธีทดลอง	31
3.3 การทดสอบสมบัติของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว	32
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	34
4.1 ความคงทนต่อแรงดึงขาด	34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ประสิทธิภาพในการลอกกาว 45

4.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม 57

4.4 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิด (Nylosan Red F-GS) 63

5 สรุปผลการทดลอง 65

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก 67

ภาคผนวก ก 68

ภาคผนวก ข 82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ปริมาณของกรดอะมิโนนิดต่างๆ ในไฟโบรอิน 14

2.2 ปริมาณของกรดอะมิโนนิดต่างๆ ในเซริซิน 15

4.1 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 0 %owf 34

4.2 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 1%owf 36

4.3 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 2%owf 38

4.4 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 3%owf 40

4.5 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4%owf 42

4.6 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 0 %owf 45

4.7 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 1 %owf 47

4.8 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 2 %owf 49

4.9 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 3 %owf 51

4.10 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf 53

4.11 ลักษณะสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสี Hirus Supra Red 3BL 140% 55

4.12 ลักษณะของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวในภาวะต่างๆ 61

4.13 ลักษณะสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสี Nylosan Red F-GS 63

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2.1 แผนที่ของเส้นทางผ้าไหมโบราณ 3

2.2 หนอนไหมระยะต่างๆ 5

2.3 วงจรชีวิตของหนอนไหม 6

2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สมบูรณ์ของหนอนไหม 9

2.5 องค์ประกอบของเส้นใยไหมดิบ 13

2.6 เส้นไหมดิบและเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว 17

2.7 มะละกอ 19

2.8 กลไกการทำงานของเอนไซม์ปาเปน 24

3.1 กระบวนการทดลอง 30

4.1 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 0 %owf 34

4.2 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 1 %owf 37

4.3 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 2 %owf 39

4.4 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 3 %owf 41

4.5 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 4 %owf 43

4.6 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม (ความเข้มข้นยางมะละกอ 0%owf) 46

4.7 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม (ความเข้มข้นยางมะละกอ 1%owf) 48

4.8 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม (ความเข้มข้นยางมะละกอ 2%owf) 50

4.9 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม (ความเข้มข้นยางมะละกอ 3%owf) 52

4.10 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม (ความเข้มข้นยางมะละกอ 4%owf) 54

4.11 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยไหม 57

4.12 เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมในภาวะต่างๆ 58

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

4.13 ผลของเวลาในการลอกกาวไหม 59

4.14 เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว 60

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ไหม เป็นเส้นใยที่มีความเฉพาะตัว สวยงาม หรูหราและมีคุณค่า ด้วยไหมมีความมันเงา ผิวสัมผัสนุ่มนวล มีการทิ้งตัวที่ดี ดูดซึมความชื้นได้ดี ส่งผลให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย แห้งง่าย พื้นผิวเรียบทำให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกเปื้อนติดได้ยาก มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ เราอาจคิดว่าเส้นไหมที่สาวได้จากรังไหมจะมีความสวยงาม เงามันและนุ่มนวลตามธรรมชาติอย่างลักษณะปรากฏที่มองเห็นในผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทั่วๆ ไป เช่น การนำไหมมาตัดเย็บเป็นเสื้อผ้า ผ้าพันคอ และอื่นๆ แต่ก่อนที่จะนำมาใช้ในกระบวนการเหล่านี้ มีความจำเป็นจะต้องเตรียมโดยการนำไปตกแต่งก่อนโดยกระบวนการลอกกาวไหม การฟอกขาวไหม และการย้อมสี เพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติตามต้องการ กระบวนการขั้นแรกจะต้องทำการลอกกาวไหมเพื่อกำจัดกาวไหมที่เคลือบอยู่บนเส้นไหม ที่มีผลต่อความแข็งกระด้าง ไม่เงามัน เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีความอ่อนนุ่มและความมันวาว มีเหมาะสมแก่การนำไปทอ-ย้อม เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและมีความสวยงาม

หลักการลอกกาวไหมคือการไฮโดรไลซ์กาวไหมหรือทำลายพันธะเพปไทด์ของกาวไหมให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำได้ เช่นกรดอะมิโนและโอลิโกเมอร์ของกรดอะมิโน การไฮโดรไลส์กาวไหมทำได้หลายวิธีเช่นการใช้กรด ด่าง เอนไซม์ หรือแม้กระทั่งการใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน และสบู่ก็เป็นสารที่นำมาใช้ในการลอกกาวไหมได้ โดยทั่วไปการลอกกาวไหมใช้สารเคมีจำพวกสบู่และด่าง แต่เนื่องจากเส้นใยไหมเป็นเส้นใยที่มีความคงทนต่อด่างต่ำ จึงทำให้ให้เส้นใยไหมถูกทำลายได้ง่าย และก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากต้องใช้ด่างปริมาณสูงในการลอกกาว แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเอนไซม์โปรติเอสมาใช้ในการลอกกาวไหมเช่นกัน แต่การใช้เอนไซม์นี้มีปัญหาในด้านของราคาที่ค่อนข้างสูง ต้องมีกระบวนการเฉพาะทำให้ต้นทุนในการลอกกาวไหมด้วยวิธีการนี้มีราคาแพงกว่ากระบวนการแบบทั่วไป

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้มีแนวคิดที่จะหาเอนไซม์จากสารจากธรรมชาติที่มีความสามารถในการลอกกาวเส้นใยไหมและมีราคาไม่สูงมากนักมาใช้งาน จากการศึกษาพบว่าในยางมะละกอมีเอนไซม์ปาเปน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อยสารประกอบประเภทโปรตีนได้ โดยมะละกอปีนพืชที่มีปลูกอยู่ทั่วไปในทุกพื้นที่และมีราคาถูก จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในศึกษาการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอดิบ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอดิบ
2. ไหมดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นไหมพันธุ์ที่มีใช้อยู่ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
3. พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา
   - สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม
   - ความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวไหม
   - ความสามารถในการติดสีของเส้นใยหลังผ่านการลอกกาว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำยางมะละกอซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ มาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอ
2. ลดต้นทุนในการใช้สารเคมีราคาแพงในการเตรียมวัสดุทางด้านสิ่งทอ

1.5 นิยามศัพท์

- เอนไซม์ : ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ เป็นสารประกอบพวกโปรตีน สามารถลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา เอนไซม์จะเร่งเฉพาะชนิดของปฏิกิริยา และชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา
- ปาเปน : เอนไซม์ชนิดหนึ่งในยางมะละกอ มีสมบัติในการช่วยย่อยโปรตีน
- เซราซิน : สารโปรตีนที่เป็นตัวห่อหุ้มและเป็นตัวยึดให้ไฟโบรอิน 2 เส้นรวมกัน
- ไฟโบรอิน : เส้นใยที่เป็นสารประกอบโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ รวมเป็นพอลิเมอร์ ประกอบด้วยส่วนที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบ และส่วนที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยที่ส่วนที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบมีผลต่อความเหนียวของเส้นใยไหม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silk)

ไหมได้รับการขนานนามว่าเป็น *ราชินีแห่งเส้นใย* เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์ มีความสวยงาม ดูหรูหราและมีคุณค่า มีความเงามัน นุ่มนวล มีการทิ้งตัวที่ดี ดูดซึมความชื้นได้ดี ทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย ไม่เหนียวเหนอะหนะ แห้งง่าย มีพื้นผิวที่เรียบทำให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกเปื้อนติดได้ยาก มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ จึงทำให้ไหมและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยไหมได้รับความนิยมสูงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เมื่อย้อนดูประวัติศาสตร์พบว่าไหมผลิตมากทางซีกโลกตะวันออก แต่ความต้องการเส้นไหมมีมากทั้งในซีกโลกตะวันตกและตะวันออก ผ้าไหมจึงกลายเป็นสินค้าสำคัญที่ต้องมีการสั่งซื้อข้ามซีกโลกจากโลกตะวันออกไปยังโลกตะวันตกอย่างเป็นลำเป็นสัน จนเกิดเส้นทางสายไหมที่รู้จักกันดี ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แผนที่ของเส้นทางผ้าไหมโบราณ
ที่มา : Hahn, S. 1991 : 18

ในสมัยโบราณที่ประเทศจีนหรือย้อนหลังไป 3,000 ปีก่อนคริสต์กาล พบหลักฐานการเลี้ยงหม่อนไหม ต่อมาในช่วงก่อนศตวรรษที่ 2 เส้นทางสายไหมได้ขยายออกจากประเทศจีนผ่านเอเชียกลางไปยังประเทศอินเดียและซีเรีย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาณาจักรโรมัน ในยุคนั้นผ้าไหมทอ

จัดเป็นสินค้าที่ดีเลิศและเป็นที่ต้องการมากของชาวยุโรป ได้มีการแลกเปลี่ยนไหมกับไวน์ เรซิน น้ำหวานอัลมอนด์ ทองแดง ดีบุก และขนสัตว์ เป็นต้น แต่เนื่องจากต้นกำเนิด องค์ประกอบของผ้าไหม และกระบวนการผลิตผ้าไหมได้มีการปิดบังเป็นความลับ ทำให้ประเทศจีนได้ป้องกันเอกสิทธิ์ของผ้าไหมเป็นระยะเวลานานถึง 2,000 ปี

ในศตวรรษที่ 2 ก่อนคริสต์กาล ผู้ลี้ภัยได้นำความรู้ในการผลิตผ้าไหมไปยังประเทศเกาหลีและประเทศญี่ปุ่น ในปีคริสตศักราช 2001 เอกอัครราชทูตหลายๆ ท่านได้ไปยังประเทศจีน ได้มีการสอบถามเพิ่มเติมจากผู้ปกครองเกี่ยวกับเรื่องความลับในการผลิตผ้าไหม แต่ไม่ประสบความสำเร็จ ในคริสตศักราช 552 ผู้ปกครองอาณาจักรโรมันตะวันออกพระเจ้าจัสติเนียน (Justinian) (483 – 565) ได้ออกคำสั่งให้พระ 2 รูป ชาวไบเซนไทน์รับหน้าที่เป็นตัวแทนในการสืบค้นความลับเกี่ยวกับการเลี้ยงไหม การดูแล รายละเอียดของกระบวนการผลิตเส้นใยไหมเป็นอย่างไร ซึ่งพระทั้ง 2 รูป ได้นำไข่หนอนไหม ใส่ไว้ข้างในโพรงไม้เท้าของท่านแล้วออกจากเมืองโคทาน ไปยังยุโรป

ในยุคกลางของศตวรรษที่ 17 ชาวอาหรับได้เผยแพร่ผ้าไหมไปยังดินแดนแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และไกลออกไปสู่ประเทศสเปนและอิตาลี ในศตวรรษที่ 15 โดยการส่งเสริมของพระเจ้าหลุยส์ที่ 16 (1423 - 1483) อุตสาหกรรมผ้าไหมของฝรั่งเศสได้ปรับปรุงเทคนิคการทอได้ดีขึ้น ทั้งได้อนุญาตให้ทำการผลิตและจัดกระบวนการทำงานให้เข้าหลักการทอให้ดีขึ้น ทั้งได้อนุญาตให้ทำการผลิตและจัดกระบวนการทำงานให้เข้าหลักแห่งเหตุผล และที่เมืองไลอันซ์ซึ่งอยู่ในทางภาคตะวันออกของฝรั่งเศสได้กลายเป็นเมืองศูนย์กลางผ้าไหมที่สำคัญ ดังเช่นช่วงต้นศตวรรษที่ 14 การค้าขายผ้าไหมของเยอรมันได้เจริญรุ่งเรืองใน Augsburg, Nuremberg, ULM และ Regensburg อุตสาหกรรมผ้าไหมของพรัชเซีย (Prussian) ได้ประสบความสำเร็จภายใต้ Frederick The Grate (1712 – 1786) ไปสิ้นสุดของศตวรรษที่ 18 แต่ก็เป็นระยะเวลาไม่นานเท่าไรก็ได้นำเรื่องราวขึ้นมาระบุวันที่อยู่ในช่วงระหว่าง 1934 และ 1945 ที่ประเทศเยอรมันได้ให้การสนับสนุนการผลิตผ้าไหมอีกครั้งหนึ่ง การผลิตผ้าไหมในยุโรปทุกวันนี้เป็นเรื่องที่เล็กน้อยไม่มีความสำคัญ แต่ก็ได้ผลิตในปริมาณที่เล็กน้อยที่ฟาร์มผ้าไหม Lullingstone ใกล้กับ Sevenoaks ในเมือง Kent และได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของประเพณีอันเกี่ยวกับผ้าไหม ซึ่งชาวอังกฤษได้ใช้ผ้าไหมนำมาทำชุดแต่งงานจนถึงปัจจุบัน (Hahn, S. 1991 : 18 – 19)

2.2 หนอนไหม

ไหมที่ใช้ในการผลิตเป็นวัสดุสิ่งทอนั้นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* อยู่ในวงศ์ Bombycidae และอันดับ Lapidoptora ไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ ซึ่ง

ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตนั้นมีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ตัวหนอนไหมจะเจริญเติบโตโดยการลอกคราบประมาณ 3 - 4 ครั้งในระยะเวลาประมาณ 20 - 22 วัน และจะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 10,000 เท่า โดยการกินใบหม่อนเพียงอย่างเดียว และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จะหยุดกินอาหาร สารอาหารชนิดต่างๆ ที่ได้จากใบหม่อนจะนำไปสร้างความเจริญเติบโต โดยผ่านการย่อยและดูดซึม ปริมาณ 1 ใน 3 ของสารอาหารทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่ดูดซึมจากใบหม่อนจะถูกนำไปใช้ผลิตสารที่ใช้ในการชักใยทำรัง เพื่อมาห่อหุ้มตัว หรือเส้นไหมที่นำมาทอเป็นผืนผ้า โดยความยาวของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และการดูแลในช่วงที่เป็นหนอนไหม

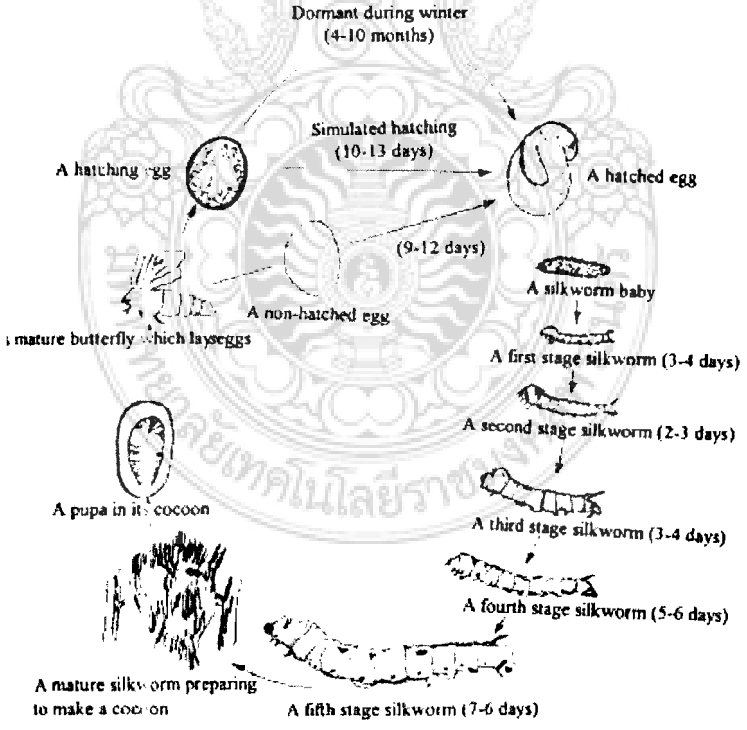
โดยปกติวงจรชีวิตของหนอนไหมซึ่งเริ่มตั้งแต่ไข่จนเป็นผีเสื้อใช้เวลาประมาณ 45 – 52 วัน หลังจากแม่ผีเสื้อวางไข่แล้วไข่จะเจริญเติบโตเรื่อยๆ จนมีอายุได้ 8 วัน จะเริ่มมีจุดสีดำเกิดขึ้นก่อน ต่อมาจุดดำนี้จะขยายตัวจนทำให้ไข่เปลี่ยนเป็นสีดำอมเทา ประมาณวันที่ 10 หนอนไหมก็จะฟักออกจากไข่ ปกติหนอนไหมจะฟักออกตอนเช้าหลังจากฟักแล้วไม่เกิน 3 ชั่วโมง หนอนไหมก็จะเริ่มกินอาหาร การเจริญเติบโตของหนอมไหมในระยะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ภาพที่ 2.2 หนอนไหมระยะต่างๆ

ที่มา : http://www.moac.go.th/builder/mu/index.php?page=415&clicksub=415&sub=127

หนอนไหมเมื่อโตเต็มที่แล้วจะขับของเหลวชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยสารที่โปร่งแสง ไม่มีสี 2 ชนิด จากต่อมไหม ออกมาทางต่อมน้ำลาย 2 ต่อม ที่อยู่คนละด้านขนานกันทางส่วนหัวของหนอนไหม ต่อมน้ำลายแต่ละต่อมมีชื่อเฉพาะคือ Aqueduct หรือ Collector ต่อมหนึ่งและ Spinning อีก

ต่อมหนึ่ง สำหรับต่อม Aqueduct นั้นใหญ่กว่าต่อม Spinning เมื่อหนอนจะชักใยมันจะขับสารของเหลวจากถุงในต่อม Aqueduct ออกทาง Spinning head หรือ Spinneret ซึ่งเป็นช่องเล็กๆ ผ่านออกสู่ภายนอกที่ช่องใต้ขากรรไกร ของเหลวดังกล่าวเมื่อถูกอากาศจะแข็งตัวทันทีกลายเป็นสายใยซึ่งเรียกว่า สายไหม เส้นไหมที่ได้นั้นประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ สองเส้นรวมกันเรียกว่า Bave ซึ่งแต่ละเส้นเรียกว่า Brin สามารถแยกออกจากกันได้ ในรังไหมแต่ละรังขนาดของสายไหมก็แตกต่างกันไป กล่าวคือ ชั้นนอกสุดของรังเส้นไหมละเอียดกว่า ชั้นกลางซึ่งค่อนข้างหยาบ แต่ชั้นในสุดจะมีความละเอียดมากกว่าชั้นนอก เส้นไหมที่ได้จากไหมที่เลี้ยงในประเทศจีน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นไหมชั้นนอกวัดได้ประมาณ 0.00052 นิ้ว ส่วนชั้นในสุดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.00017 นิ้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น เส้นไหมก็ยังมีขนาดใหญ่กว่า สำหรับน้ำหนักของเส้นใยไหมจะหนักกว่าใยของโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน หนอนไหมแต่ละตัวชักใยได้ยาวไม่เท่ากัน โดยสามารถชักใยที่สาวออกมาแล้วได้ยาวตั้งแต่ 350 - 1,200 เมตร ซึ่งแล้วแต่พันธุ์ไหม



ภาพที่ 2.3 วงจรชีวิตของหนอนไหม

ไหมที่มีการนำมาเลี้ยงมีหลายพันธุ์จำแนกออกได้ตามลักษณะต่างๆ เช่น จำแนกตามจำนวนวงชีวิตต่อปี ได้แก่ พันธุ์ที่ฟักออกจากไข่ตามธรรมชาติได้ 1 หรือ 2 ครั้งต่อปี พันธุ์นี้มี

กำเนิดมาจากเขตอบอุ่นกับพันธุ์ที่ฟักไข่ตามธรรมชาติได้หลายครั้งต่อปี ซึ่งมีกำเนิดในเขตร้อน ถ้าจำแนกจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ พันธุ์ญี่ปุ่น พันธุ์จีน พันธุ์ยุโรป ไทยพันธุ์ญี่ปุ่นและพันธุ์จีนจะมีความแข็งแรงสูงกว่าพันธุ์ยุโรป นอกจากนี้อาจจำแนกตามสีของรังไหม ได้แก่ พันธุ์ที่รังไหมสีขาว สีเหลือง สีเหลืองทอง สีเหลืองอมชมพู พันธุ์ที่มีผู้นิยมเลี้ยงและมีราคาสูง คือ พันธุ์ที่ให้รังสีขาว (มณฑา จันทร์เกตุเลี๊ยด. 2541 : 79)

2.2.1 สายพันธุ์ไหมในปัจจุบัน

สายพันธุ์ไหมในโลกนี้มีการแบ่งตามมาตรฐานของนักวิทยาศาสตร์ได้หลายอย่าง เช่น แบ่งตามจำนวนครั้งในการลอกคราบของหนอนไหม แบ่งตามสีของรังไหม แบ่งตามรูปร่างของรังไหม แบ่งตามถิ่นกำเนิด และแบ่งตามจำนวนครั้งในการฟักของไข่ไหมใน 1 ปี

การแบ่งตามจำนวนครั้งในการฟักไข่ใน 1 ปี อาจจะ 1 ครั้งหรือหลายครั้ง ซึ่งลักษณะของสายพันธุ์ที่มีการฟักของไข่ไหมที่ต่างกันบ่งบอกถึงลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน รวมทั้งผลจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ ในปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการฟักของไข่ไหมสายพันธุ์ที่ฟักปีละ 1 ครั้ง สามารถฟักได้หลายครั้งขึ้นตามความต้องการ แต่ประเด็นของการแบ่งในลักษณะนี้ คือพันธุกรรมที่อยู่ในแต่ละสายพันธุ์ที่ไม่เหมือนกันคือ

1. *Monovoltine (ฟักปีละ 1 ครั้ง)* พันธุ์ที่อยู่ในแถบอากาศหนาว เช่น ประเทศในแถบยุโรป หนอนไหมจะมีอายุยาวกว่าสายพันธุ์อื่น หนอนไหมตัวใหญ่เส้นไหมมีคุณภาพดี แต่หนอนไหมไม่แข็งแรง โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้นความยาวเส้นไหมต่อรัง ประมาณ 1,200 - 1,500 เมตร

2. *Bivoltine (ฟักปีละ 2 ครั้ง)* พันธุ์ที่อยู่ในแถบอากาศอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี หนอนไหมมีอายุสั้นกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ Monovoltine หนอนไหมแข็งแรง แต่เส้นไหมมีคุณภาพด้อยกว่า Monovoltine ดังนั้นจึงนิยมนำมาผสมกับ Monovoltine เพื่อให้ได้พันธุ์ไหมที่มีคุณภาพเส้นที่ดีขึ้น รังไหมมีสีขาว เหมาะสำหรับเลี้ยงในประเทศเขตอบอุ่น และนิยมเลี้ยงในฤดูร้อนของประเทศในเขตอบอุ่น ความยาวเส้นไหมต่อรังประมาณ 1,000 - 1,200 เมตร

3. *Ploy voltine (ฟักปีละหลายครั้ง)* พันธุ์ไหมที่อยู่ในแถบอากาศร้อนชื้น เช่น ไทย ลาว หนอนไหมมีอายุสั้นกว่าทั้ง 2 สายพันธุ์ข้างต้นและมีความแข็งแรงมาก รังมีขนาดเล็ก รังไหมมีทั้งสีขาวและสีเหลือง สามารถสาวเป็นเส้นไหมได้ปริมาณน้อย เส้นไหมมีความมันเงาสูง แต่จะมีปุ่มปมมาก และเป็นสายพันธุ์ที่ไม่สามารถจำศีลได้เหมือน Monovoltine และ Bivoltine ดังนั้นไข่ไหมจึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้ ต้องใช้ไข่ไหมต่อเนื่องทั้งปี ความยาวเส้นไหมต่อรังประมาณ 200 - 400 เมตร

สายพันธุ์ไหมที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน มีการนำสายพันธุ์ต่างๆ มาผสมกัน เพื่อให้ได้ลูกผสมที่ตรงตามความต้องการ และลูกผสมที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาสายพันธุ์ คือ ลูกผสมของพันธุ์จีนกับพันธุ์ญี่ปุ่น ซึ่งอาจจะเป็น Bivoltine อย่างเดียวกัน หรือมีการผสมโดยเลือดของ Monovoltine เข้าไปบ้างเพื่อให้รังไหมมีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นไหมมีความยาวมากขึ้น และคู่ที่ผสมที่น่าจับตามองอีกคู่หนึ่งก็คือ การนำสายพันธุ์ Polyvoltine ไปผสมกับสายพันธุ์ Bivoltine จนสามารถได้ลูกผสมที่มีความยาวเส้นไหมต่อรัง ที่ 900 - 1,200 เมตร รังมีขนาดใหญ่ หนอนไหมแข็งแรง สามารถเลี้ยงได้ในสภาพอากาศร้อนชื้น รังไหมที่ได้อาจมีทั้งสีขาวหรือสีเหลือง แล้วแต่ความต้องการในการพัฒนาและเส้นไหมที่ได้จะมีความมันเงาสูง เส้นเรียบสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมจากพันธุ์ลูกผสมอื่นๆ โดยไหมที่เลี้ยงกัน แต่ละพันธุ์มีลักษณะเด่นดังนี้

- *พันธุ์จีน* ไข่ไหมพันธุ์นี้ฟักตัวปีละครั้ง และฟักได้หลายครั้งตลอดปี รังมีลักษณะกลม มีหลายสี เช่น สีเหลือง ขาว เส้นใยเล็กและเรียบ

- *พันธุ์ยุโรป* ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไข่ฟักได้ปีละครั้ง พันธุ์นี้ทั้งไข่หนอนและรังไหมมีขนาดใหญ่ วงชีวิตยาว สีรังเป็นสีขาว รังมีลักษณะรีคล้ายรูปไข่

- *พันธุ์ญี่ปุ่น* ไข่ฟักออกเป็นตัวปีละครั้งหรือสองครั้ง รังค่อนข้างใหญ่ ลักษณะคล้ายฝักถั่วลิสง รังอาจมีสีขาว เหลือง

- *พันธุ์ไทย* ไข่ฟักตลอดปี รังเล็กบาง มีขี้ไหมมาก ลักษณะรังคล้ายรูปกระสวย สีเหลือง

2.2.2 พันธุ์ไหมที่เลี้ยงกันในเมืองไทย

ไหมพันธุ์พื้นเมืองไทยซึ่งมีอยู่หลายพันธุ์ด้วยกัน เช่น พันธุ์นางขาว พันธุ์นางน้ำ พันธุ์นางลาย เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์แท้ที่ให้ผลผลิตเส้นใยต่ำ แต่ทนทานต่อโรคต่างๆ ได้ดี และระยะ 10 ปีเศษมานี้ ได้เริ่มนำพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์จีนและญี่ปุ่นมาเลี้ยง

แหล่งเลี้ยงไหมที่สำคัญของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ขอนแก่น ร้อยเอ็ด บุรีรัมย์ นครราชสีมา สุรินทร์ อุบลราชธานี หนองคาย ชัยภูมิ ศรีสะเกษ นครพนม มหาสารคาม สกลนคร และกาฬสินธุ์ ส่วนในภาคอื่นๆ มีการเลี้ยงไหมเหมือนกัน เช่น ภาคเหนือที่จังหวัดเพชรบูรณ์ ภาคตะวันออกที่จังหวัดระยอง ภาคตะวันตกที่จังหวัดกาญจนบุรี และภาคใต้ที่จังหวัดชุมพร แต่เพิ่งจะมีการเลี้ยงกันมาเมื่อไม่นานมานี้

2.2.3 การเลี้ยงไหม

กระบวนการเลี้ยงไหม เรียกว่า Sericulture ในวงจรการเพาะเลี้ยงหนอนไหมแสดงดังภาพที่ 2.3 เริ่มจากขั้นตอนการวางไข่ของตัวแมลงไหม หลังจากที่ไข่สุกและแตกออก เป็นตัว

หนอนถูกเลี้ยงด้วยใบหม่อนอ่อน โดยใช้เวลาประมาณ 35 วัน หนอนไหมเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วจนมีน้ำหนักประมาณ 10,000 เท่า ของเมื่อแรกเกิด กิ่งไม้เล็กๆ ที่วางเตรียมในจานก็จะถูกหนอนไหมนำไปใช้เริ่มสร้างรัง เรียกว่า รังไหม (Cocoon) ซึ่งมีลักษณะเป็นใยไหมที่เกิดจากหนอนไหมอัดปล่อยของเหลวออกจากต่อมรวมสองต่อมในรูเดียวกันจากส่วนหัวของตัวหนอน ดังนั้นจึงได้ออกมาเป็นเส้นใยคู่ที่เกาะติดกันด้วยกาวไหมที่เรียกว่า เซริซิน (Sericin) ช่วงเวลาเพียง 2 - 3 วัน หนอนไหมสามารถปั่นเส้นใยออกมาได้ยาวถึง 1 ไมล์ (1.6 กิโลเมตร) และล้อมรอบตัวของมันเองเอาไว้อย่างสมบูรณ์ เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโตต่อไปจะเปลี่ยนสภาพเป็นดักแด้ แล้วจึงโตเป็นแมลง จากนั้นก็จะปล่อยสารละลายที่สามารถละลาย เส้นใยที่เป็นรังไหมให้เปิดเป็นรูบริเวณปลายของรังเพื่อคลานออกสู่ภายนอกได้ในธรรมชาติ การผสมและวงจรของไหมดังกล่าวเพียงปีละครั้งเท่านั้น แต่ในการเพาะเลี้ยงและการผลิตต้องอาศัยหลักวิชาการทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย อาจสามารถทำให้ถึงปีละ 3 ครั้ง (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2542 : 87 – 88) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สมบูรณ์ของหนอนไหมดังแสดงในภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สมบูรณ์ของหนอนไหม

ที่มา : Hahn, S. 1991 : 20

2.2.4 การต้มรังไหมและการหาเงื่อนเส้นไหม

การต้มรังไหม มีวัตถุประสงค์เพื่อให้กาวเซริซินซึ่งเป็นโปรตีนที่ยึดเส้นไหม ละลายและอ่อนตัว เส้นไหมจะคลายตัวออกอย่างเป็นระเบียบทำให้สาวเส้นไหมออกได้ง่าย ถ้าต้มรังไหมมากไปก็จะเกิดเศษไหมมากตอนดึงหาเงื่อน หากต้มรังไหมแข็งเกินไปจะทำให้สาวขาดบ่อยๆ ดึงเส้นใยยาก เส้นใยที่สาวได้ก็ลดลง นอกจากนี้น้ำที่ใช้ต้มรังไหมต้องเป็นน้ำสะอาดไม่กระด้าง เพราะการใช้น้ำกระด้างต้มจะทำให้เกิดขี้ไหมมากขึ้นในช่วงการสาวไหม

การต้มรังไหมสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการลอยของรังไหม ถ้ารังไหมมีน้ำภายในรังไม่เกิน 95 เปอร์เซ็นต์ รังไหมจะลอยน้ำ การต้มรังไหมแบบนี้เหมาะกับการสาวไหมด้วยความเร็วสูงและอุณหภูมิสูง เช่น การสาวแบบพื้นบ้าน แต่ถ้ารังไหมมีน้ำภายในรัง 97 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่ารังไหมก็จะจมน้ำ ซึ่งเหมาะกับการสาวไหมโดยเครื่องมัลติเอ็น หรือเครื่องสาวแบบอัตโนมัติ ที่ใช้อุณหภูมิในการสาวไหมไม่สูง เช่น 38 - 40 องศาเซลเซียส

- *การต้มแบบรังไหมลอย* เติมน้ำใส่ภาชนะแล้วต้มให้ได้ 95 - 98 องศาเซลเซียส ใส่รังไหมให้จมทิ้งไว้ 30 - 60 วินาที ต่อมานำไปแช่น้ำอุ่น 60 - 70 องศาเซลเซียส นาน 1 - 3 นาที แล้วจึงนำไปแช่ที่น้ำร้อน 98 - 99 องศาเซลเซียส ให้จมน้ำนาน 2 - 3 นาที แล้วปล่อยให้ลอยน้ำ ต้มต่อไปนาน 4 - 6 นาที ค่อยๆ ลดอุณหภูมิของน้ำลงจนถึง 95 - 96 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ในน้ำนาน 1 นาที

- *การต้มแบบรังไหมจม* นำรังไหมไปต้มในน้ำร้อน 98 - 100 องศาเซลเซียส นาน 30 - 60 วินาที แล้วนำมาใส่ในน้ำอุ่น 50 - 60 องศาเซลเซียส นาน 1 - 3 นาที แล้วจึงนำไปแช่ให้จมในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 4 - 5 นาที แล้วนำไปใส่ในน้ำอุ่นอีกครั้งนาน 1 - 3 นาที เพื่อให้น้ำซึมเข้าไปในรังไหม จากนั้นต้มรังไหมในน้ำร้อนอีกครั้งนาน 2 - 3 นาที โดยเทน้ำราดรังไหมตลอดเวลา

สำหรับการสาวไหมแบบพื้นบ้าน เกษตรกรอาจจะทำการต้มรังไหมโดยต้มน้ำให้ร้อนเกือบเดือดหรือประมาณ 90 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำรังไหมที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อต้มสาว กดรังไหมให้จมลงใต้น้ำเพื่อไล่อากาศออกจากรังไหม รังไหมด้านในจะอ่อนตัวลง สีผิวรังไหมจะเปลี่ยนเป็นสีฉ่ำน้ำทั้งรัง รักษาระดับอุณหภูมิของน้ำไว้ที่ประมาณ 60 - 70 องศาเซลเซียส ในกรณีที่รังไหมที่นำมาสาวเป็นรังไหมที่อบแห้งหรือผึ่งแดดไว้ให้แห้ง เนื่องจากสาวไหมไม่ทัน ก่อนที่จะนำรังไหมมาต้ม ต้องไล่อากาศออกจากรังไหมเพื่อให้รังไหมดูดซึมน้ำเข้า โดยนำไปต้มในน้ำร้อน 90 – 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 - 10 นาที เพื่อไล่อากาศออกจากรังไหมแล้วนำรังไหมไปใส่ในน้ำอุ่น หรือลดอุณหภูมิทันที โดยการพรมน้ำหรือเติมน้ำเย็นลงไปเพื่อให้นำเข้าไปแทนที่อากาศภายในรัง การต้มรังไหมก่อนที่จะสาวโดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นเป็นข้อมูลพื้นฐานในการต้มรังไหม

ทั้งนี้รังไหมแต่ละชนิดและสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน อาจต้องปรับระยะเวลาและอุณหภูมิในการต้มไปบ้าง ซึ่งต้องอาศัยทักษะความชำนาญของผู้ทำการต้ม

การหาเงื่อน รังไหมที่ต้มแล้วจะมีเส้นไหมกระจายออกจากผิวรังนำเส้นไหมนั้นมาดึงเพื่อที่จะหาเงื่อน โดยดึงเส้นใยออกมาจนได้เส้นใยไหม 1 เส้นต่อรัง ซึ่งจะได้เป็นรังไหมที่พร้อมจะทำการสาว หลังจากนั้นจึงนำรังไหมที่ต้มมาแช่ในน้ำอุณหภูมิประมาณ 30 - 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิน้ำร้อนเกิดไปจะทำให้เซริซินละลายมาก ผลผลิตเส้นไหมที่ได้จะลดลง ถ้าน้ำเย็นเกินไปจะทำให้สาวยาก ปริมาณน้ำที่ใส่พอท่วมรังไหมและไม่ควรแช่รังไหมไว้นาน ควรสาวไหมทันทีหลังจากต้มรังเสร็จ

2.2.5 การสาวไหม

การสาวไหม คือ ขบวนการดึงเส้นไหมออกจากเปลือกรัง โดยเส้นใยจากหลายๆ รังที่ต้มแล้วนำมาสาวจะถูกพันเป็นเกลียวรวมกันเป็นเส้นไหม โดยเส้นใยจะพันกันเป็นเกลียวทำให้เกิดการยึดเกาะซึ่งกันและกัน เส้นไหมที่ได้จึงมีความเหนียวทนทานและเลื่อมมันจากการหักเหของแสง การสาวไหมในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. *การสาวไหมในระดับเกษตรกร* เครื่องสาวไหมที่ใช้จะมีทั้งแบบพื้นบ้าน แบบปรับปรุงโดยใช้แรงคนและแบบปรับปรุงโดยใช้มอเตอร์ อุณหภูมิน้ำในขณะสาวประมาณ 60 - 80 องศาเซลเซียส เส้นไหมที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดจะใช้เป็นเส้นพุ่งในการผลิตผ้าไหม

2. *การสาวไหมในระดับอุตสาหกรรม* เครื่องสาวไหมที่ใช้เป็นเครื่องจักรที่ทันสมัย ได้แก่ เครื่องสาวแบบมัลติเอ็น และเครื่องสาวแบบอัตโนมัติ อุณหภูมิน้ำของน้ำที่ใช่อยู่ประมาณ 37 - 40 องศาเซลเซียส เส้นไหมที่ได้จะละเอียด ไม่มีปุ่มปม มีความหนาและความยืดตัวได้มาตรฐาน สามารถผลิตได้ทั้งเส้นยืนและเส้นพุ่ง

การสาวไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีคุณภาพดี เส้นไหมจะต้องเรียบสวยมีความเหนียวและการเกาะตัวดี มีขนาดสม่ำเสมอและเป็นไปตามความต้องการ ดังนั้นในขณะที่สาวต้องเติมรังไหมอย่างสม่ำเสมอทดแทนรังไหมที่สาวเปลือกรังหมดไป เพื่อรักษาปริมาณรังไหมให้คงที่ตลอดเวลาของการสาวไหม ขนาดของเส้นไหมจะมีหน่วยวัดเรียกว่า ดีเนียร์ โดยกำหนดจากความยาวต่อน้ำหนัก เส้นไหมขนาด 1 ดีเนียร์ จะมีความยาวเส้นใย 9,000 เมตร มีน้ำหนัก 1 กรัม โดยขนาดของเส้นไหมจะแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ไหมพันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ จะมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 2.2 - 2.8 ดีเนียร์ พันธุ์ไทยหรือไทยลูกผสมจะมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 - 2.1 ดีเนียร์ อัตราความเร็วในการสาวต้องเหมาะสมกับชนิดเครื่องสาวและความชำนาญของผู้สาว นอกจากนี้ในระหว่างการสาวจะต้องมีการทำเกลียวเส้นไหม เพื่อให้เส้นไหมที่ได้เกิดแรงยึดเกาะกัน มีความเหนียวทนทานโดยความยาวของช่วงที่ทำเกลียวที่เหมาะสมไม่ควรต่ำกว่า 10 เซนติเมตร สำหรับ

การสาวไหมด้วยเครื่องจักรในระดับอุตสาหกรรม จะสาวไหมได้ทั้งเส้นเล็ก เช่นขนาด 20/22 ดีเนียร์ และเส้นใหญ่ขนาด 100/120 หรือ 150/200 ดีเนียร์ โดยส่วนใหญ่จะมีตัวควบคุมขนาดเส้นไหม หรือตัวควบคุมจำนวนรังไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมขนาดตามต้องการ ส่วนการสาวไหมในระดับเกษตรกรจะใช้รังไหมในการสาวประมาณ 80 - 85 รัง เพื่อให้ได้เส้นไหมขนาดประมาณ 150/200 ดีเนียร์ ซึ่งผู้สาวไหมจะต้องมีความชำนาญประสบการณ์และสังเกตเป็นอย่างดีเพื่อจะได้สามารถควบคุมปริมาณรังไหมให้ได้ขนาดเส้นไหมที่สม่ำเสมอ เมื่อทำการสาวไหมไประยะหนึ่งน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำสกปรก ควรเปลี่ยนน้ำสาวเพื่อให้สีของเส้นไหมที่ได้สม่ำเสมอ เกษตรกรสามารถทำการสาวไหมโดยอาจสาวแยกสาวเปลือกรังชั้นนอกและชั้นในหรือสาวรวมได้ดังนี้

- การสาวไหมเปลือกนอกหรือไหมลีบ คือ วิธีการสาวไหมจากเปลือกรังชั้นนอกซึ่งมีประมาณ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ ของเปลือกรังทั้งหมด โดยทั้งไปจะนิยมสาวโดยใช้พวกสาวแบบพื้นบ้าน หรืออาจจะสาวด้วยเครื่องสาวแบบปรับปรุงก็ได้ ลักษณะเส้นไหมที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างหยาบกระด้างและใหญ่ เส้นไม่สม่ำเสมอ มีปุ่มปม และขี้ไหมปะปนอยู่ด้วย เรียกว่า ไหมสาม หรือไหมชั้นนอก ส่วนรังไหมชั้นในจะตักออกจากห้อมสาว และนำไปสาวอีกครั้ง เส้นไหมที่ได้จาเปลือกรังชั้นในจะมีขนาดเล็กอ่อนนุ่มเรียบเป็นเงา มัน สีสม่ำเสมอ เรียกเส้นไหมนี้ว่าไหมหนึ่ง หรือไหมยอดหรือไหมน้อย

- การสาวไหมที่มีการสาวติดต่อกันทั้งเปลือกรังชั้นนอก และเปลือกรังชั้นในจนกระทั่งหมดเปลือกรังไหม และจะต้องมีการเติมรังไหมในหม้อต้มสาวอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เส้นไหมที่ได้ออกมามีการประปนกันของเปลือกรังชั้นนอกและชั้นใน ลักษณะเส้นไหมค่อนข้างหยาบและมีขนาดใหญ่กว่าไหมหนึ่ง เรียกว่า ไหมสอง หรือไหมสามรวม

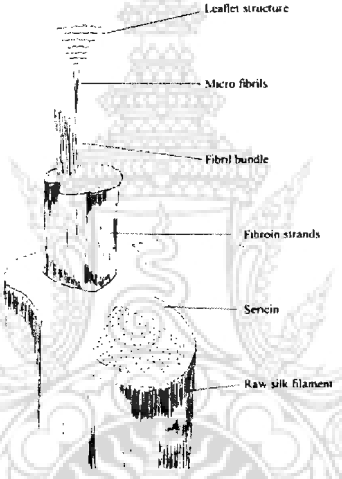
การทำไจไหมเป็นการเตรียมเส้นไหมเพื่อนำออกจำหน่าย เส้นไหมที่สาวได้จะต้องมีการกรอใส่ในระวิงเพื่อทำเป็นไจไหมที่มีขนาดเส้นรอบวงมาตรฐานเท่ากับ 150 เซนติเมตร และแต่ละไจไหมควรจะมีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม โดยในระหว่างการกรอควรให้เส้นไหมที่กรอส่ายไปมา ไขว้เป็นรูปข้าวหลามตัดเพื่อความสะดวกในการเตรียมเส้นไหมเพื่อใช้ในการทอผ้า และเมื่อกรอเรียบร้อยแล้วจึงทำการมัดหัดไหมทั้งสองข้าง แล้วทำการแบ่งเส้นไหมในแต่ละไจออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้เส้นด้ายร้อยเพื่อไม่ให้เส้นไหมในไจกระจายออกพันกัน ด้ายที่ผูกไว้ควรมีการเก็บรักษาเงื่อนหัวท้ายของเส้นไหมและมีความยาวพอเหมาะไม่แน่นเกินไป เพื่อความสะดวกในการฟอกย้อมและทอผ้า

2.3 สมบัติทั่วไปของเส้นใยไหม

เส้นไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว (Filament) เส้นใยไหมเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่ยาวด้วยการควบแน่น ความเร็วในการสร้างใย

ประมาณ 7 - 8 เซนติเมตรต่อวินาที ยืดออกด้วยความเร็วต่ำ และเส้นใยเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารคอลลอยด์ที่บริสุทธิ์

องค์ประกอบของเส้นใยไหมดิบดังแสดงในภาพที่ 2.5 รังไหมจะประกอบด้วยเส้นไหมดิบที่เรียกว่าเส้นไหมไฟโบรอิน (Fibroin) สองเส้นร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่เกาะติดกันและเคลือบด้วยกาวไหม หรือที่เรียกว่า เซริซิน (Sericin) ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในเส้นไหมจะมีไขมันและน้ำมันอยู่ประมาณ 0.5 - 1 เปอร์เซ็นต์ และสารสีธรรมชาติประมาณ 1 - 1.4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของกาวไหมจะขึ้นกับพันธุ์ไหม เช่น ไหมเลี้ยงพันธุ์ *Bombyx mori* หรือ Mulberry silk จะมีกาวไหม 20 – 30 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.5 องค์ประกอบของเส้นใยไหมดิบ

2.3.1 ไฟโบรอิน (Fibroin)

ไฟโบรอินเป็นเส้นใยที่เรียกว่าไฟบรัสโปรตีน (Fibrous protein) ซึ่งเป็นสารประกอบโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ กันรวมเป็นพอลิเมอร์ ประกอบด้วยส่วนที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline Region) และส่วนที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous Region) โดยที่ส่วนที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบเป็นตัวที่มีบทบาทในการที่จะทำให้ไหมเกิดความเหนียวมากหรือน้อย โดยส่วนที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบมีผลต่อการติดสีของไหม

ไฟโบรอินประกอบด้วยกรดอะมิโนที่สำคัญ อยู่ 4 ตัวด้วยกันคือ Glycine ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ Alanine ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ Serine ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และ Tyrosine ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลืออีกประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ สำหรับซัลเฟอร์ในเส้นใยไหมจะมีปริมาณน้อยมากขึ้นกับโมเลกุลข้างเคียง จึงทำให้เส้นไหมมีความแตกต่างจากเส้นใยขนสัตว์ แม้ว่าจะเป็นเส้นใยโปรตีนเหมือนกัน เนื่องจากไฟโบรอินมีโครงสร้างที่เป็นผลึกมาก มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ และสายโซ่โมเลกุลของพอลิเปปไทด์ที่มีน้ำหนัก

โมเลกุลสูงมีลักษณะเหยียดยาว ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนจึงทำให้ไฟโบรอินไม่ละลายน้ำ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ใน ไฟโบรอิน

Amino acids	***Bombyx mori***	***Antheraea pernyi***
Glycine	446.0	265.0
Alanine	294.0	441.0
Valine	22.0	7.0
Leucine	5.3	8.0
Isoleucine	6.6	-
Serine	121.0	118.0
Threonine	9.1	1.0
Aspartic acid	13.0	47.0
Glutamic acid	10.2	8.0
Lysine	3.2	1.0
Arginine	4.7	26.0
Histidine	1.4	8.0
Tyrosine	51.7	49.0
Phenylalanine	6.3	6.0
Proline	3.6	3.0
Tryptophan	1.1	1.1
Methionine	1.0	-
(Cystein)2	2.0	-

สมบัติของไฟโบรอิน

1. ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ และสารละลายอนินทรีย์อื่นๆ

2. ไม่ละลายน้ำแต่เกิดการดูดซึมของน้ำ ทำให้เกิดการพองตัว

3. พองตัวได้ดีในสารละลายด่าง

4. การพองตัวของไฟโบรอินมีขอบเขตจำกัดที่ 18 องศาเซลเซียส ทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 16 – 18 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 30 - 65 เปอร์เซ็นต์

2.3.2 เซริซิน (Sericin)

เซริซินจัดเป็นสารโปรตีนเช่นเดียวกันแต่เป็นส่วนที่เรียกว่า Non Fibrous Material ต่างจากไฟโบรอินอย่างมากทั้งสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ หน้าที่ของเซริซินคือเป็นตัวห่อหุ้มและเป็นตัวยึดให้ไฟโบรอิน 2 เส้นรวมกัน องค์ประกอบหลักทางเคมีของเซริซินเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนชนิด Serine ในปริมาณสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 16 - 38 เปอร์เซ็นต์ โดยจะแตกต่างกันไปตามหนอนไหมแต่ละพันธุ์ เนื่องจากโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าไฟโบรอิน จึงทำให้เซริซินละลายได้ในน้ำร้อน นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้เมื่อต้มด้วย สารละลายสบู่ สารซักฟอกสังเคราะห์หรือกรดอินทรีย์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ใน เซริซิน

Amino acids	***Bombyx mori***	***Antheraea pernyi***
Glycine	127.0	149.9
Alanine	55.1	27.8
Valine	26.8	11.9
Leucine	7.2	9.9
Isoleucine	5.5	8.0
Serine	319.7	226.3
Threonine	82.5	149.6
Aspartic acid	138.4	122.5
Glutamic acid	58.0	67.4
Lysine	32.6	14.7
Arginine	28.6	54.5
Histidine	13.0	25.0
Tyrosine	34.0	49.2
Phenylalanine	4.3	6.0
Proline	5.7	19.1
Tryptophan	-	-
Methionine	0.5	1.3
(Cystein)	1.4	1.8

สมบัติของเซริซิน

1. สารแข็งสีเหลืองทึบแสง ขณะที่มีเซริซินจะรู้สึกหยาบและความมันเงาไม่มี

2. ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซีโตน เบนซิน และตัวทำละลายอื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในน้ำและสารละลายของกรดและด่าง ความสามารถในการละลายน้ำของเซริซินจะแตกต่างกับไฟโบรอิน เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่มีหมู่ช่วยในการละลายน้ำได้สูง มีความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวต่ำและโมเลกุลภายในมีปฏิกิริยาต่อกันต่ำ นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำของเซริซินยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส เซริซินจะเกิดการพองตัวได้ โดยที่ไม่ต้องใช้สารเคมี ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดการลอกกาวอย่างสมบูรณ์ของไหมเมื่อ ทำการต้มเป็นเวลาหลายๆ ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อัตราการละลายจะเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส สามารถลอกกาวไหมออกจากเส้นใยได้โดยใช้เวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง

3. เซริซินละลายได้ดีในสารละลายของกรดและด่าง เพราะเซริซินจัดเป็นโปรตีนที่มีทั้งความเป็นกรดและด่าง จึงมีความสามารถในการจับตัวเป็นเกลือกับสารละลายกรดหรือด่าง โดยการใช้สารละลายด่างอ่อนๆ pH 9.5 - 10 เส้นใยจะถูกลอกอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 95 - 100 องศาเซลเซียส

4. เซริซินไม่ทนต่อการเน่าเปื่อยและจะเกิดการแตกตัวได้ง่ายโดยใช้ จุลินทรีย์

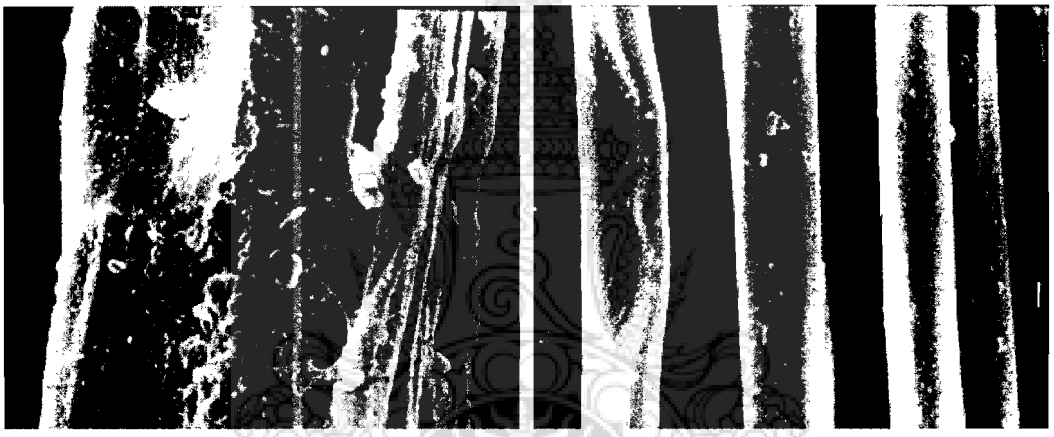
5. สารละลายของเซริซินที่ได้จากการตกแต่งจะมีลักษณะเป็นวุ้น

2.3.3 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหม

ภาพขยายลักษณะเส้นไหมดิบและเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแสดงในภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของใยไหมดิบเป็นเส้นใยคู่ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอเมื่อลอกกาวออกแล้วจะไม่ปรากฏเป็นเส้นใยเดี่ยว เรียบ สม่ำเสมอ และโปร่งแสง มีรูปร่างภาคตัดขวางเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปรี มีขนาดต่างๆ กัน

ลักษณะ	มีรูปร่างภาคตัดขวางเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปรีมีขนาดต่างๆ กัน
ความยาว	มีความยาว 400 - 1,400 เมตร
สี	มีสีเหลืองจนถึงขาว
ความเงามัน	มีความเงามันมากเมื่อลอกกาวไหมออกแล้ว
ความเหนียว	มีความเหนียวมากที่สุด ความเหนียวของไหมลดลงประมาณ 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปียก

ความหยืดหยุ่น	มีความยืดหยุ่นดี สามารถยืดได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวเดิม
การคืนตัว	การคืนตัวต่อแรงที่มากระทำสามารถคืนตัวได้ดีรองจากขนแกะ ส่วนการคืนตัวต่อรอยยับดีพอควร แต่ไม่รวดเร็วเท่าขนแกะ
ความร้อน	ไหมสามารถทนความร้อนได้ถึง 170 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้น ไหมทนความร้อนได้ดีกว่าขนสัตว์
ความถ่วงจำเพาะ	มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.25 ซึ่งน้อยกว่าฝ้าย แฟลกซ์ และขนสัตว์



ภาพที่ 2.6 เส้นไหมดิบและเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว

2.3.4 สมบัติทางเคมีของเส้นใยไหม

กรด	กรดส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อไหม เช่นเดียวกับพวกขนแกะ กรดแก่ที่เข้มข้นจะทำลายใยไหม เช่น พวกกรดดินประสิว ทำให้ใยไหมเป็นสีเหลือง ไหมทนกรดได้น้อยกว่าขนสัตว์เพราะไม่มีพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่ โมเลกุล ดังนั้นเหงื่อที่มีความเป็นกรดจะสามารถทำลายเส้นใยไหมได้
ด่าง	เส้นใยไหมสามารถทนด่างได้ดีกว่าขนแกะ ด่างแก่ เช่น โซดาไฟร้อน สามารถละลายไหมได้ สารละลายด่างทำให้เส้นไหมเกิดการพองตัวเพราะโมเลกุลของด่างจะแทรกเข้าไปทำให้โมเลกุลของเส้นไหมบางส่วนเกิดการแยกจากกัน จากโครงสร้างของโมเลกุลของเส้นไหมที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และ แรง

แวนเดอวาลส์ เท่านั้น จึงทำให้เส้นไหมเกิดการไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่าง และถ้าปล่อยให้เส้นไหมอยู่ในสารละลายด่างเป็นเวลานานๆ ก็จะยิ่งผลทำให้พันธะเปปไทด์ของเส้นไหมเกิดการไฮโดรไลซ์และเส้นไหมก็จะถูกทำลายในที่สุด ความแข็งแรงและความเงามันก็จะลดลง

เกลือคลอไรด์	เส้นใยไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีเกลือคลอไรด์อยู่ เช่น เหงื่อ สารดับกลิ่นและน้ำทะเล
สารฟอก	เส้นใยไหม จะถูกทำลายด้วยสารฟอกพวกออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องจะทำลายใยไหมได้ วิธีการฟอกคล้ายกับพวกขนแกะ
เชื้อรา	ไหมทนต่อเชื้อรา ราจะทำลายเส้นไหมในสภาวะที่รุนแรงเท่านั้น
แมลง	แมลงไม่ทำลายผ้าไหมที่สะอาด แต่ถ้าผ้าไหมสกปรกและมีสารปรุงแต่ง อาจถูกพวกแมลงทำลายได้
แสง	ใยไหมไม่ทนต่อแสงจ้า หากทิ้งไว้นานๆ หลายครั้ง จะทำลายไหมรวดเร็วกว่าที่ทำลายฝ้ายหรือขนแกะ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของไหมไม่เป็นร่างแหและไม่ยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์เช่นเดียวกับขนสัตว์
การย้อมสี	ย้อมเหมือนกับการย้อมขนสัตว์แต่สีที่ได้จะเข้มกว่า ไหมดูดซึมสีที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าขนแกะ สีย้อมที่ใช้ เช่น แอซิด ไดเร็กท์ เบสิค และแวต
ตัวทำละลายอินทรีย์	ตัวทำละลายในการซักแห้ง ไม่มีผลเสียต่อไหม

2.4 มะละกอ (Papaya)

มะละกอมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica payapa* Linn. อยู่ในวงศ์ Caricaceae เป็นไม้ผลล้มลุกขนาดกลาง ความสูงระหว่าง 5 - 20 ฟุต ลำต้นอวบน้ำ มะละกอเป็นพืชปลูกง่ายโตเร็ว ให้ผลเร็ว ให้ผลได้ตลอดทั้งปี โดยทั่วไปมะละกอเป็นพืชที่ไม่ค่อยมีแมลงรบกวน และปลูกได้ดีในดินทั่วไป แต่ต้องเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี น้ำไม่ขังแฉะและมีอินทรีย์วัตถุมากพอสมควร มีหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 130 - 150 วัน หลังจากปลูกด้วยเมล็ดและสามารถให้ผลผลิต 3 - 4 ปี ถ้าไม่มีปัญหาโรคแมลงทำลาย สามารถเก็บเกี่ยวผลดิบได้เมื่ออายุ 3 - 4 เดือน และเก็บเกี่ยวผลสุกได้เมื่ออายุ 5 - 6 เดือนหลังดอกบาน มะละกอ 1 ต้น สามารถให้ผลผลิต 25 - 30 กิโลกรัมต่อปี

หรือ 2,966 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักผลอยู่ระหว่าง 0.7 - 2.50 กิโลกรัม

มะละกอเป็นที่รู้จักกันดีในประเทศไทย เพราะเป็นต้นไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในครัวเรือนและนำมาใช้เป็นประโยชน์หลายอย่าง มะละกอไม่ใช่พืชพื้นเมืองของไทยแต่ถูกนำมาปลูกนานจนกลายเป็นพืชพื้นเมืองของไทย มะละกอมีส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้มากเกือบทุกส่วน ทั้งทางด้านโภชนาการ ทางด้านอุตสาหกรรม และทางด้านเภสัชกรรม

ภาพที่ 2.7 มะละกอ

มะละกอเป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบร้อนของทวีปอเมริกาและทวีปอเมริกากลางในประเทศเม็กซิโกตอนใต้และคอสตาริกา ในปี คริสต์ศักราช 1513 - 1524 ต่อมาได้แพร่หลายออกไปอย่างรวดเร็วทั่วโลก โดยเฉพาะบริเวณที่มีอากาศเหมาะสม สำหรับประเทศไทยมีการปลูกมะละกอมานานแล้วแต่ไม่มีหลักฐานว่าเริ่มปลูกตั้งแต่สมัยใด ปัจจุบันมีการปลูกเป็นสวนขนาดใหญ่ในหลายจังหวัด เช่น จังหวัดนครราชศรีมา ราชบุรี สมุทรสาคร เพชรบูรณ์ สระบุรี และชุมพร

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (Botanical Characteristics)

1. ราก (Root)

ระบบของรากมะละกอ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- *ระบบรากแก้ว (Top root)* ระบบรากชนิดนี้จะพบได้ในพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วๆ ไป (Dicotyledon) โดยทั่วไปการงอกของเมล็ด อันดับแรกจะมีรากแรก (Radical root) งอกออกจากเมล็ดก่อน จากนั้นเจริญเป็นราก (Primary root) รากไพรมารี่นี้เจริญเป็นรากแก้วต่อไป

- *ระบบรากแขนง (Branching root)* การงอกแรกสุดก็เช่นเดียวกันกับการงอกแบบแรก แต่แทนที่รากแก้วเจริญเป็นรากเดี่ยวที่เห็นได้อย่างเด่นชัด กลับแตกเป็นปลายแขนงขนาด

ใกล้เคียงกันตั้งแต่ 2 - 3 รากขึ้นไป ลักษณะเช่นนี้จะปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดเมื่อต้นกล้าอายุได้หนึ่งเดือนหรือมากกว่านั้น

2. ต้น (Stem)

ต้นมะละกอเป็นต้นไม้เนื้ออ่อนและอวบน้ำ (Herb and Succulence) ไม่มีแก่นกลางเหมือนต้นไม้ชนิดอื่น ลำต้นกลม กลวงยกเว้นตรงข้อต่อ เป็นลำชะลูดขึ้นไปรอบๆ ของลำต้นจะมีตาอันเป็นที่เกิดของดอกและใบ ส่วนมากจะไม่ค่อยมีกิ่งก้านสาขา แต่ถ้าส่วนยอดถูกทำลายตาที่อยู่ด้านข้างจะเจริญงอกมาเป็นกิ่ง และสามารถเจริญเติบโตออกดอกและติดผลได้เช่น เดียวกับมะละกอต้นอื่นๆ

3. ใบ (Leaves)

ใบของมะละกอมีลักษณะใหญ่และกว้างถึง 25 - 27 เซนติเมตร เหมือนใบปาล์มแต่มีเนื้ออ่อนนุ่มกว่า ในมะละกอจะติดอยู่ส่วนยอดของลำต้น มีก้านใบกลวงยาวประมาณ 1 เมตร การเกิดของใบเรียงตัวกันเป็นเกลียว สีของก้านใบจะแตกต่างกันตามพันธุ์ ใบของมะละกอเมื่อแก่จะมีสีเหลือง ใบล่างจะร่วงก่อนหมุนเวียนสลับกันไปตามลำดับความเจริญ

4. ดอก (Flowers)

ดอกของมะละกอมีอยู่หลายชนิด การเกิดดอกแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของต้นในขณะที่มีการพัฒนาตาดอก นอกจากนี้มะละกอบางต้นเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงชนิดของดอกที่เกิดขึ้นก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้เกิดปัญหาต่อการปลูกมะละกอเป็นอย่างมากหากเกิดเป็นดอกที่ไม่สามารถติดผลได้ หรือถึงแม้จะติดผลได้ แต่ผลก็จะมีรูปร่างร่างผิดปกติ จึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดของดอก และการเปลี่ยนแปลงเพศของดอกมะละกอสำหรับใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกต้นที่มีลักษณะดีเพื่อประโยชน์ในการผลิตมะละกอ ดอกมะละกอแบ่งโดยอาศัยลักษณะทางเพศได้ดังนี้

1. *ดอกตัวผู้ (Male flower)* : ดอกตัวผู้มีก้านดอกยาวลักษณะของดอกเล็กยาว และมีกลีบดอกรวมกันจากฐานดอกขึ้นไป ส่วนของความยาวดอก ดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ มีสีเขียวและสั้นติดอยู่ที่ฐานดอก กลีบดอกมีสีขาวอยู่ 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้ติดอยู่ 2 อัน ยาว 1 อัน และสั้น 1 อัน รวมเป็น 10 อัน ตรงกลางดอกจะมีรังไข่ (Ovary) เล็กๆ แต่ไม่มีปลายเกสรตัวเมีย (Stigma) ที่รับเอาละอองเกสรตัวผู้ได้ ต้นตัวผู้บางต้นอาจปรากฏว่าบางทีจะมีดอกกระเทยเป็นผล ผลจะมีขนาดเล็ก ยาว เรียวแหลม หรือคดงอไม่สมบูรณ์

2. *ดอกตัวเมีย (Female flower)* : ดอกตัวเมียมีลักษณะกลีบดอกใหญ่แยกตัวจากรังไข่คือการติดกับฐานดอก (Receptacle) กลีบดอกและยอดเกสรตัวผู้ ขนาดของดอกใหญ่ 2 - 2 ½ นิ้ว เกิดจากเหนือฐานก้านใบ (Axils) ดอกอาจจะมีดอกเดียวหรือหลายดอกในก้านดอกเดียว ก้านดอก

สั้นติดอยู่กับดอก รังไข่ประกอบด้วย 5 คาร์เปล (Carpel) จะสังเกตได้ชัดจากรอยเป็นทางหรือเหลี่ยมที่รังไข่ หรือจะสังเกตได้จากเหลี่ยมของผล ผลที่เกิดจากดอกตัวเมียมีรูปร่างค่อนข้างกลมหรือกลมรี

3. *ดอกกระเทย (Hermaphodrite):* ดอกกระเทย หมายถึง ดอกมะละกอที่มีเกสรตัวผู้ หรือเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกันลักษณะของดอกมีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอกมีลักษณะค่อนข้างยาว 5 กลีบที่กลีบดอกมีเกสรตัวผู้ค่อนข้างยาวติดอยู่ รังไข่มีลักษณะยาว มีความสม่ำเสมอกันตั้งแต่โคนถึงปลาย เกสรตัวเมียของดอกกระเทยอาจจะได้รับการผสมจากเกสรตัวผู้จากดอกเดียวกัน หรือผสมกับเกสรตัวผู้ของดอกตัวผู้บนต้นกระเทยก็ได้ หรืออาจได้รับการผสมจากต้นตัวผู้และต้นกระเทยตัวอื่นๆ ก็ได้ เมื่อผสมกันติดแล้วรังไข่จะขยายตัวเป็นผลลักษณะของผลมีหลายแบบแต่ส่วนมากมักจะเป็นผลทีมีรูปร่างยาว

5. ผล

ผลของมะละกอมีอยู่หลายแบบด้วยกันตามลักษณะของดอก เช่น ผลกลม ผลยาว และมีรูปทรงกระบอก นอกจากนี้ผลมะละกอยังมีรูปทรงที่แตกต่างออกไปอีกตามลักษณะพันธุ์ ความสมบูรณ์ของต้นและของดอก ความยาวของผลที่มีขนาดโตเต็มที่ไล่ลงไปถึงที่มีขนาดเล็กที่สุด ตั้งแต่ผสมติดและรังไข่เจริญเป็นผล จนถึงผลสุก จะกินเวลาประมาณ 4 เดือน ผลเมื่อยังไม่สุกจะห่อน้ำยาง ซึ่งจะมียางสีขาวคล้ายนมสด น้ำยางของมะละกอนี้จะมีน้ำย่อยพวกปาเปน (Papain)

6. ยางมะละกอ

ยางมะละกอได้จากส่วนผล ลำต้น และใบ แต่จะมีมากที่สุดที่ผลดิบโดยจะให้น้ำยางแห้งได้ถึงประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล ในยางจะมีเอนไซม์สำคัญซึ่งสามารถย่อยโปรตีนได้แต่ฤทธิ์การย่อยของยางจากผลอ่อนจะน้อยกว่าผลที่แก่กว่า ยางมะละกออาจแยกส่วนประกอบออกได้เป็นเอนไซม์ 5 ชนิดใหญ่ๆ คือ ปาเปน (Papain) ไคโมปาเปน เอ (Chymopapain A) ไคโมปาเปน บี (Chymopapain B) และ เปบติเดส เอ (Papaya Peptidase A) ซึ่งต่อมาเรียกว่า Proteinase omega และ ไลโซไซม์ (Lysozyme) มีความอยู่ตัว ทนความร้อนและทนต่อสภาพกรดได้ดี สายพันธุ์มะละกอที่สามารถผลิตน้ำยางสดได้สูงคือ สายพันธุ์จำปาดำ และแขกดำ

2.5 ปาเปน (Papain)

ปาเปนเป็นสารน้ำย่อยที่ผลิตจากยางมะละกอ มีสมบัติในการช่วยย่อยโปรตีน (Intracellular Proteolytic Enzyme) สารชนิดนี้พบอยู่ในยางมะละกอของทุกส่วนของต้น ส่วนที่พบมากที่สุดก็คือในผลดิบ

ปาเปนเป็นเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนประเภท Sulfhydryl proteases กล่าวคือ เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนและถูกยับยั้งโดย Sulfhydryl reagent หรือ Sulfhydryl group (-SH) หรือ Thiol group (-SH) มีบทบาทสำคัญต่อ Active site จะสูญเสีย Activity เมื่อ Sulfhydryl group เปลี่ยนแปลง ปาเปนประกอบไปด้วย Single Polypeptide Chain ที่บริเวณ Active site จะมีหมู่ Sulfhydryl, Carboxyl หรือ Histidryl (Cys, His, Asp) สามารถพบปาเปนได้ในยางมะละกอประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบปาเปนในผลสุก เอนไซม์ตัวนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างที่ pH ประมาณ 4 น้ำยางจากต้นอ่อนและต้นเพศผู้ที่เจริญเต็มที่แล้วจะมีปาเปนมาก ฤทธิ์การย่อยโปรตีนจากยางของต้นที่มี 2 เพศ จะน้อยกว่ายางจากต้นเพศเมีย

วิธีการแยกสกัดปาเปนสามารถกระทำได้หลายวิธี การเก็บยางในอุณหภูมิเขตเมืองร้อนเป็นเวลา 2 - 24 ชั่วโมง โดยไม่ได้ทำให้ยางแห้งจะทำให้ฤทธิ์ปาเปนลดลงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ การเติม EDTA และ/หรือ $NaHSO_3$ จะช่วยป้องกันการสูญเสียฤทธิ์ของยางได้ ส่วนเกลือแกงนั้นจะทำให้การจับเป็นก้อนแข็งของยางเกิดได้ช้าลงแต่แห้งเร็วขึ้น และฤทธิ์ของปาเปนลดลงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาง

2.5.1 วิธีการผลิตปาเปนดิบ

1. ผลมะละกอควรเป็นผลดิบที่มีอายุนับจากการติดผลถึงวันกรีดเอายางอยู่ระหว่าง 70 – 100 วัน ในช่อดอกหนึ่งๆ อาจมีผลติดอยู่หลายผล เมื่อผลมีอายุได้ประมาณ 2 อาทิตย์ ควรเด็ดทิ้งให้เหลือเพียงผลเดียว เพื่อที่จะได้สมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยวและสะดวกในการกรีดเอายาง

2. กรีดผลมะละกอด้วยมีดสแตนเลสหรือพลาสติกที่คม ไม่ควรจะใช้โลหะที่ทำด้วยเหล็กหรือสังกะสี เพื่อจะได้ยางที่ขาวและมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนได้ดี วิธีกรีดให้เริ่มกรีดจากด้านหัวของผลหรือส่วนที่ตีดอยู่กับก้านผลลงมาตามยาวจนถึงส่วนปลายผล กรีดให้ลึกประมาณ 1/8 นิ้ว

3. ภาชนะที่ใช้รองรับยางมะละกอจากรอยกรีด ควรใช้ถาดอลูมิเนียมหรือถ้วยแก้วรองน้ำยางรองจนกระทั่งไหลหมดจากแผลกรีด และเวลาที่เหมาะที่สุดในการกรีด คือ เวลาเช้ามืดจนกระทั่งถึง 10 โมงเช้า ถ้าสายกว่านี้แดดจะร้อนทำให้น้ำยางไหลช้าและจับตัวแข็งได้ง่าย

4. การกรีดมะละกอแต่ละครั้งควรกรีดครั้งละ 4 แผล ในระยะที่เท่าๆ กันแล้วเว้นระยะไป 3 วัน ให้กรีดอีก 4 แผล กรีดทั้งหมด 4 ครั้งรวมเป็น 18 แผล ของการกรีดมะละกอหนึ่งผล

5. เมื่อรวบรวมยางมะละกอจากการกรีดแต่ละครั้งของหลายๆ ผล ให้รีบนำไปกรองในตะแกรงขนาด 50 Mesh sieve เพื่อจะหาเศษวัตถุที่ไม่ต้องการออกทิ้ง จากนั้นใช้โพแตสเซี่ยมเมตาไบซัลไฟท์ (Potassium metabisulphite) ผสมลงไปกับน้ำยางในอัตรา 50 มิลลิกรัมต่อน้ำยาง 100 กรัม เพื่อป้องกันน้ำยางเสียแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นก็เทใส่ถาดอะลูมิเนียมตามแดดไว้จน

กระทั่งน้ำระเหยไป ให้เหลือแต่ปาเปนที่มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว แต่เมื่อทำเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ๆ ควรรีบนำยางอบในเครื่องอบความร้อนสุญญากาศ ในอุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำยางจะแห้งเป็นเกล็ดสีขาวทั้งหมดโดยไม่ต้องตากแดด

6. หลังจากนั้นเก็บนำเกล็ดสีขาวทั้งหมดบดให้ละเอียด แล้วกรองด้วยตะแกรงขนาด 10 Mesh sieve เพื่อจะได้ผลสีขาวละเอียด จากนั้นจึงเก็บไว้ในถุงพลาสติก หรือถุงดีบุกเสร็จแล้วปิดปากถึงให้สนิท เก็บในที่เย็นและแห้ง วิธีนี้จะได้ปาเปนร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักของมะละกอ โดยคุณภาพของน้ำย่อยปาเปนที่ดีควรประกอบด้วยปาเปน 15 – 30 เปอร์เซ็นต์

2.5.2 การผลิตปาเปนบริสุทธิ์

การผลิตปาเปนบริสุทธิ์ เพื่อให้คุณภาพของปาเปนดียิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยการแยกปาเปนออกจากน้ำยางสดหรือยางแห้งโดยวิธีทางเคมี เช่น การตกตะกอนปาเปนด้วยแอลกอฮอล์ แอมโมเนียมซัลเฟต หรือสารประกอบอื่นๆ ในภาวะที่เหมาะสม ตามเอกสารสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา เลขที่ 3011, 952 3,210,257 และ 1,078,838 โดยมีวิธีที่ง่ายและสะดวกในการปฏิบัติ 3 วิธีคือ

1. นำน้ำยางสดจากผลมะละกอมาเก็บค้างคืนในตู้เย็น 1 คืน เพื่อทิ้งให้น้ำยางจับตัวกันเป็นก้อน แล้วนำมากวนกับเอธทิลแอลกอฮอล์ (95%) 3 มิลลิกรัมต่อกรัม กรองอย่างเร็วด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างตะกอนซ้ำอีกครั้งด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ ตามด้วยอะซิโตน เพื่อไล่แอลกอฮอล์ออกจากตะกอนมากที่สุด นำตะกอนมาเกลี่ยบางๆ บนถาดแก้ว อบในตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 - 5 ชั่วโมงจนแห้ง บดให้ละเอียด เก็บในภาชนะบรรจุแก้วชาผนึกฝาให้แน่นเก็บไว้ในที่มืดและเย็น

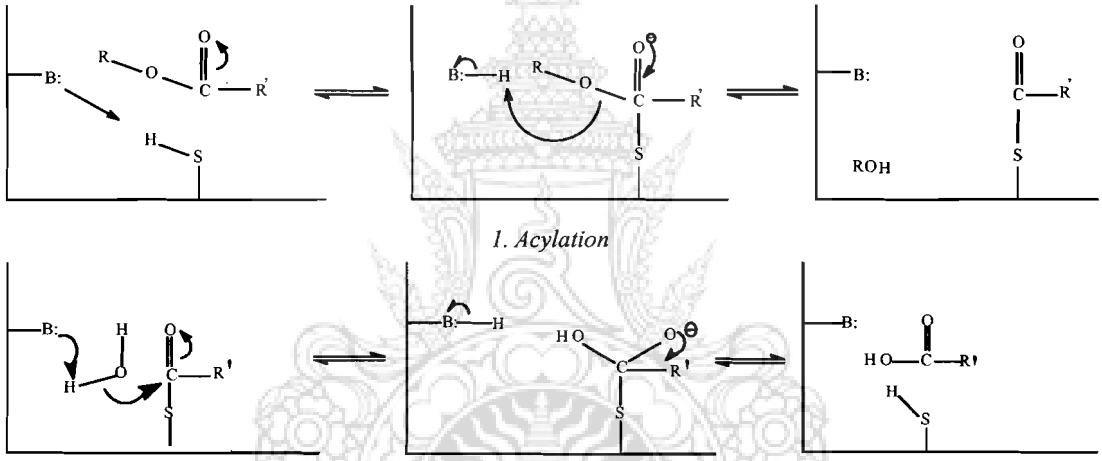
2. นำน้ำยางสดจากมะละกอซึ่งจับตัวกันเป็นก้อนแล้ว 6 ส่วน มาเติมเกลือ 2 ส่วน กวนส่วนผสมจนกลายเป็นของเหลวและเกลือละลายหมด ปล่อยทิ้งไว้ 2 - 3 ชั่วโมง กรองตะกอนที่ได้แล้วนำไปเติมน้ำ 1 : 5 น้ำหนักต่อปริมาตร ผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกเอาตะกอนออก ของเหลวที่ได้นำไปลดอุณหภูมิให้เท่ากับ 15 องศาเซลเซียส เติมแอลกอฮอล์ 4 เท่าของปริมาณ สารละลายตะกอนจะตกออกมาแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยง ก่อนนำไปทำให้แห้งในตู้อบแบบสุญญากาศ วิธีนี้จะได้ปาเปนบริสุทธิ์ร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของปาเปนเริ่มต้น แต่ถ้าใช้น้ำยางแห้งจากผลมะละกอจะได้ปาเปนบริสุทธิ์ร้อยละ 60

3. นำน้ำยางสดจากผลมะละกอดิบ 2.5 ส่วนมาเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 1 ส่วน กวนส่วนผสมจนเป็นของเหลว ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน กรองแยกตะกอนมาทำให้แห้งหมาดๆ นำตะกอนนี้ละลายในน้ำประมาณ 1 : 10 น้ำหนักต่อปริมาตร และใช้เครื่องเหวี่ยงแยกเอาของเหลวเก็บไว้แล้วมาปรับให้ได้ pH 9 จะมีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อย กรองแยกตะกอนทิ้งไว้ ของเหลวที่ได้นำมาเติม

แอมโมเนียมซัลเฟต 3 : 5 น้ำหนักต่อปริมาตรของเหลว จะได้ตะกอนตกออกมา แยกตะกอนมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้ปาเปนบริสุทธิ์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของปาเปนที่ไม่บริสุทธิ์ แต่ถ้าใช้น้ำยางมะละกอแห้งจะได้ปาเปนที่บริสุทธิ์เพียงร้อยละ 70

2.5.3 กลไกการทำงานของปาเปน

กลไกในการทำงานของปาเปน เรียกว่า "Thiol - imidazole system" โดยจะเป็นการทำงานร่วมกันของกรดอะมิโนซิสเตอีนที่ตำแหน่งที่ 25 (Cys-25) กับกรดอะมิโนฮิสติดีนที่ตำแหน่งที่ 159 (His-159) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างหมู่ซัลไฟดริลของ Cys-25 กับหมู่อิมิดาโซลของ His-159 เท่ากับ 4.5 อังสตอม



ภาพที่ 2.8 กลไกการทำงานของเอนไซม์ปาเปน

จากภาพที่ 2.8 สามารถอธิบายกลไกการทำงานของเอนไซม์ปาเปนได้ คือ ปาเปนจะมีหมู่ซัลไฟดริล (-SH) และหมู่อิมิดาโซลในบริเวณเร่ง โดยให้ B: เป็นหมู่อิมิดาโซลซึ่งจะทำหน้าที่เป็น General base หมู่อิมิดาโซล (B:) จะดึงไฮโดรเจนอิออน (H^+) ของหมู่ซัลไฟดริลมีผลทำให้ S ในหมู่ซัลไฟดริลเข้าจับกับหมู่คาร์บอนิลของสับสเตรตได้ง่ายและรวดเร็ว เกิดเป็น Enzyme-substrate complex (ES complex) จากนั้นจะเกิดการหลุดของอนุมูล R (R-OH) ออกมา และจะเหลืออีกส่วนเป็น Acyl-enzyme ในรูปของ Thiol ester ($E\text{-}S\text{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}R$) ขั้นตอนนี้เรียกว่า "Acylation" ต่อมา Thiol ester จะเข้าสู่การ Deacylation โดยหมู่อิมิดาโซล (B:) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบสจะแยกไฮโดรเจนอิออน (H^+) จากโมเลกุลของน้ำทำให้ไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ของน้ำจะเข้าจับกับหมู่คาร์บอนิล ใน Acyl-enzyme ทำให้เกิดการหลุดของหมู่ Acyl คือ R-COOH ส่วนเอนไซม์ (E-SH) จะกลับคืนสู่สภาพปกติ

2.5.4 สมบัติของเอนไซม์ปาเปน

1. ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา จะมีค่าระหว่าง 6 - 7.5

2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาประมาณ 60 - 80 องศาเซลเซียส

3. ความจำเพาะต่อวัตถุดิบ ปาเปนจะไฮโดรไลต์วัตถุดิบที่มี L-arginine, L- lysine, L-citrulline และ Glycine ด้วยประสิทธิภาพเท่ากัน แต่ประจุบวกใน Arginyl และ Lysyl residue ไม่จำเป็นต้องเชื่อม Active site ของเอนไซม์ เพราะวัตถุดิบที่มี Glycyl และ L-citrullyl residues สามารถเชื่อม Active site ได้อย่างแน่นและพอดีอยู่แล้ว

4. Sulfhydryl group มีบทบาทสำคัญต่อ Active site ด้วยเหตุผลดังนี้

- สูญเสีย Activity เมื่อหมู่ซัลไฟดริลเปลี่ยนแปลง

- Acyl - enzyme intermediate เป็น Thio ester ตรวจสอบได้โดย Spectrophotometry เนื่องจากเอนไซม์มี SH

2.5.4 ประโยชน์ของปาเปน

1. อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง โรงงานอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องนิยมใช้ ปาเปนเป็นส่วนผสมในอาหารพวกเนื้อเพื่อให้เนื้อนุ่ม เนื่องจากปาเปนไม่เป็นพิษต่อร่างกายเหมือนสารเคมีอื่นๆ แต่ต้องใช้ในสัดส่วนพอเหมาะถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เนื้อยุ่ยเป็นชิ้นเล็กๆ

2. ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เบียร์ ไวน์ และเครื่องดื่มอื่นๆ โดยปาเปนจะทำหน้าที่ละลายโปรตีนในผลิตภัณฑ์ และให้สารละลายใสไม่ขุ่นเมื่อเก็บไว้นานหรือที่อุณหภูมิต่ำ

3. อุตสาหกรรมเครื่องหนัง โดยผสมปาเปนในน้ำยาแช่หนังจะทำให้หนังเรียบ และนุ่ม

4. อุตสาหกรรมทำยาสีฟัน

5. อุตสาหกรรมขนมปัง นม เนย หมากฝรั่ง

6. อุตสาหกรรมยาและใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ โดยใช้เป็นองค์ประกอบของยาช่วยย่อยอาหาร นอกจากนี้ ยังช่วยรักษาพวกแผลติดเชื้อ เนื่องจากปาเปนมีสมบัติให้เลือดแข็งตัว และสามารถใช้ฆ่าพยาธิในลำไส้

7. อุตสาหกรรมทำเครื่องสำอาง ผสมปาเปนในเครื่องสำอางช่วยลบรอยฝ้า จุดด่างดำบนใบหน้า

8. อุตสาหกรรมเครื่องซักฟอก

9. อุตสาหกรรมกระดาษ

2.6 การลอกกาวไหม

จุดประสงค์ของการลอกกาวไหมเพื่อทำให้ไหมมีสมบัติดีขึ้น เหมาะแก่การทอ การย้อม และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทอการย้อมให้ดีขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าธรรมชาติของเส้นใยไหมเป็นพวกสารประกอบโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยเซริซินและไฟโบรอินในอัตราส่วนประมาณ 30 : 70 ในการสาวเส้นใยไหมออกจากรังไหมปริมาณของเซริซินจะถูกกำจัดออกไปบ้างโดยน้ำร้อน และการตกแต่งด้วยสารเคมีที่ช่วยกำจัดเซริซินออกจากเส้นไหมอีก กระบวนการนี้จะต้องถูกกระทำเพื่อให้ไหมมีสมบัติดีขึ้นและเหมาะที่จะนำไปทอและย้อมต่อไป กระบวนการกำจัดเซริซินนี้เรียกว่า *Degumming Process* ซึ่งการใช้สารเคมีพวกกรดและด่างจะให้ผลในการกำจัดแตกต่างกัน

ในปัจจุบันการลอกกาวมีการลอกกาวไหมแบบใช้สบู่ แบบใช้เกลือด่าง และแบบผสมใช้สบู่และเกลือด่าง สารที่ใช้ในการลอกกาว เช่น โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โซเดียมซิลิเกต โซเดียมฟอสเฟต โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการละลายระหว่างเซริซินและไฟโบรอิน

2.6.1 การลอกกาวด้วยสบู่

จุ่มเส้นไหมดิบลงในน้ำอุ่น 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เซริซินจะอ่อนตัว แล้วเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายสบู่ 15 - 20 %owf (30 - 50 เท่าของน้ำหนักไหมดิบ) เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง ก็จะลอกเซริซินออกเกือบหมด และนำมาตกแต่งการลอกกาวอีก โดยใช้สบู่ใหม่ 10 - 15 %owf อุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากแยกสารละลายออกแล้วนำมาล้าง 2 - 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส ด้วย 0.1 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายโซดาซักผ้าและล้างน้ำอีกหลายครั้ง การควบคุมอุณหภูมิน้ำเป็นเรื่องสำคัญ เพราะว่าถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส คุณภาพการล้างจะลดลง การลอกกาวซึ่งใช้สบู่มีคุณภาพดีจะให้เส้นไหมที่เงางามและเรียบสวย แต่การลอกกาวด้วยสบู่ทำให้เกิดการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอง่ายและเกิดการหมองคล้ำ อันเกิดจากไคลสบู่ที่เกิดจากแคตไอออน (Cation) ในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก แล้วทำให้เกิดการย้อมสีด่างได้ง่าย การขจัดสบู่ด้วยการล้างทำได้ยาก จึงทำให้เกิดสีเหลือง และมีปัญหามลภาวะน้ำเสีย

2.6.2 การลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนต

นำเส้นไหมมาต้มแยกกาวด้วยสารละลายของผลึกโซเดียมคาร์บอเนต 10 - 12 %owf หรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 12 - 15 %owf ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง และล้างออกด้วยน้ำอุ่น 40 - 50 องศาเซลเซียส และน้ำธรรมดาหลายครั้ง มีวิธีการลอกกาว

2 ครั้งโดยแบ่งครึ่งสารละลายกาวเพื่อป้องกันการลอกกาวไม่สม่ำเสมอ วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดไคลสบู่และเวลาในการลอกกาวก็สั้น ค่าใช้จ่ายก็ต่ำกว่า แต่ด่างมีความรุนแรงมาก จึงทำให้การลอกกาวไหมมากเกินไป จนทำให้เกิดความเสียหายกับเส้นใย และบางครั้งจะสูญเสียความโค้งงอ ความพองตัว และคุณภาพไหม

2.6.3 การลอกกาวด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

นำเส้นไหมมาต้มแยกกาวด้วยสารละลายสบู่ 8 - 15%owf และโซเดียมคาร์บอเนต 5 - 8 %owf ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง หลังจากแยกเอาสารละลายออก นำมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่ 40 - 50 องศาเซลเซียส และน้ำธรรมดาหลายๆ ครั้ง โซเดียมคาร์บอเนตช่วยสบู่ในการลอกกาว วิธีนี้ช่วยลอกกาวในเส้นไหมได้อย่างเพียงพอ และให้ความขาวดีกว่าวิธีลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนต

2.6.4 การลอกกาวด้วยโปรติเอส (Protease Degumming)

วิธีการลอกกาววิธีนี้ ได้มีการนำมาใช้โดยอาศัยพวกเอนไซม์ธรรมชาติจากสัตว์และพืช เช่น ทริพซิน (Trypsin) และชิโมทริพซิน (Chymotrypsin) ซึ่งได้จากตับอ่อนของหมูและวัว แต่ในปัจจุบันวิธีการลอกกาววิธีนี้ใช้เอนไซม์จากจุลชีพ เช่น Bacillus และ Actinomyces fungus ซึ่งเป็นเชื้อราที่ผลิตขึ้นมาได้ โดยเฉพาะการลอกกาวของผ้าที่มีไหมผสมกับขนแกะและเรยอน ซึ่งไม่ทนต่อด่าง เมื่อใช้เอนไซม์จะลอกกาวได้ผลดี

โปรตีเอสมีผลต่อโปรตีนและเปปไทด์ และเร่งให้เกิดการแยกตัวของพันธะเปปไทด์ แต่โปรตีเอสไม่มีผลกับใยโปรตีนที่มีความเป็นระเบียบของโมเลกุลสูงในเส้นไหมและขนแกะ ในทางกลับกันโปรตีเอสมีผลต่อโปรตีนที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลของเซริซินที่หุ้มเส้นใยไหมอยู่ โดยทำให้โมเลกุลเล็กลงและยังช่วยเพิ่มการละลายของน้ำ และช่วยเพิ่มผลการลอกกาวของสบู่และเกลือด่าง

2.6.4.1 วิธีการลอกกาวไหมบ้านด้วยเอนไซม์โปรตีเอส

นำเส้นไหมมาแยกกาวในสารละลายเอนไซม์โปรตีเอสชนิดด่าง 0.1 - 0.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 9.0 - 10.5 (การกระตุ้นของโปรตีเอส 30,000 หน่วย Folin ต่อกรัม) (ประมาณ 30 - 50 เท่าของน้ำหนักเส้นใยไหม) ที่อุณหภูมิ 40 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง เซริซินจะละลายออกมา แล้วล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส (ถ้าใส่โซเดียมคาร์บอเนต เล็กน้อยจะช่วยให้ล้างดีขึ้น) และน้ำธรรมดาหลายๆ ครั้ง วิธีนี้สามารถแยกเซริซินได้อย่างสม่ำเสมอ

2.6.4.2 วิธีการลอกกาวไหมป่าด้วยเอนไซม์โปรตีเอส

ปริมาณเซริซินของไหมป่ามีน้อยกว่าไหมบ้าน แต่มีสารอย่างอื่นผสมอยู่มากกว่า โดยมีสิ่งสกปรก เช่น ไลม์ (Lime) แทนนิน (Tannin) และเรซิน (Resin) อยู่ในส่วนของเซริซินจึงทำให้ละลายเซริซินในสารละลายด่างได้ยาก ในปัจจุบันใช้แยกกาวออกโดยการต้มนานๆ หรือโดยการต้มแยกกาวซ้ำใช้ด่างแก่และสารลอกกาวมาก ดังนั้นจึงต้องระวังการสูญเสียความเงาเฉพาะของไหมป่าและการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอ

ก่อนทำการลอกกาวไหมจะต้องแช่เส้นไหมก่อนด้วยกรดเกลือเจือจางเป็นเวลา 1 คืนจึงจะเพียงพอ ในไหมทัซซาห์ทั่วไปและไหมทัซซาห์ของจีนมีแทนนินมาก จึงมีวิธีการใช้แทนเนส (Tannase) มาช่วยละลายแทนนิน แทนเนสอยู่ในน้ำเพาะเชื้อราและยีสต์ชนิดเขียว นำเส้นไหมมาแช่ในโปรตีเอสชนิดด่าง 0.1 - 0.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 9.0 - 10.5 ที่อุณหภูมิ 40 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 3 ชั่วโมง และแยกเซริซินออก ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 - 0.2 เปอร์เซ็นต์ และสบู่ที่อุณหภูมิ 50 - 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส และน้ำธรรมดาหลายๆ ครั้ง การลอกกาวด้วยวิธีนี้ไม่ทำให้ความเงามันของไหมป่าสูญเสียไป และสามารถป้องกันการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอ

2.7 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed Literature)

1890 - 1930 Emil Fisher เสนอทฤษฎี "lock and key" ซึ่งมีพื้นฐานจากการเกิด "stereospecific enzyme-substrate complex" โดยโครงสร้างของเอนไซม์เปรียบได้กับแม่กุญแจ (Lock) และสับสเตรตเปรียบได้กับลูกกุญแจ (Key) ซึ่งจะสวมกันได้อย่างเหมาะสมพอดี (Complementary) ในขณะที่เกิด ES-complex ส่วนของสับสเตรตที่ทำหน้าที่จับกับเอนไซม์ (binging group, BG) จะจับกับ binding site (BS) ของเอนไซม์ทำให้ Reactive group (RG) ของสับสเตรตที่จะเข้าทำปฏิกิริยาอยู่ตรงบริเวณเร่ง (Catalytic site, CS) ของเอนไซม์พอดี โดยที่โครงสร้างและโครงแบบ (conformation) ทั้งหมดของเอนไซม์และสับสเตรตไม่เปลี่ยนแปลง

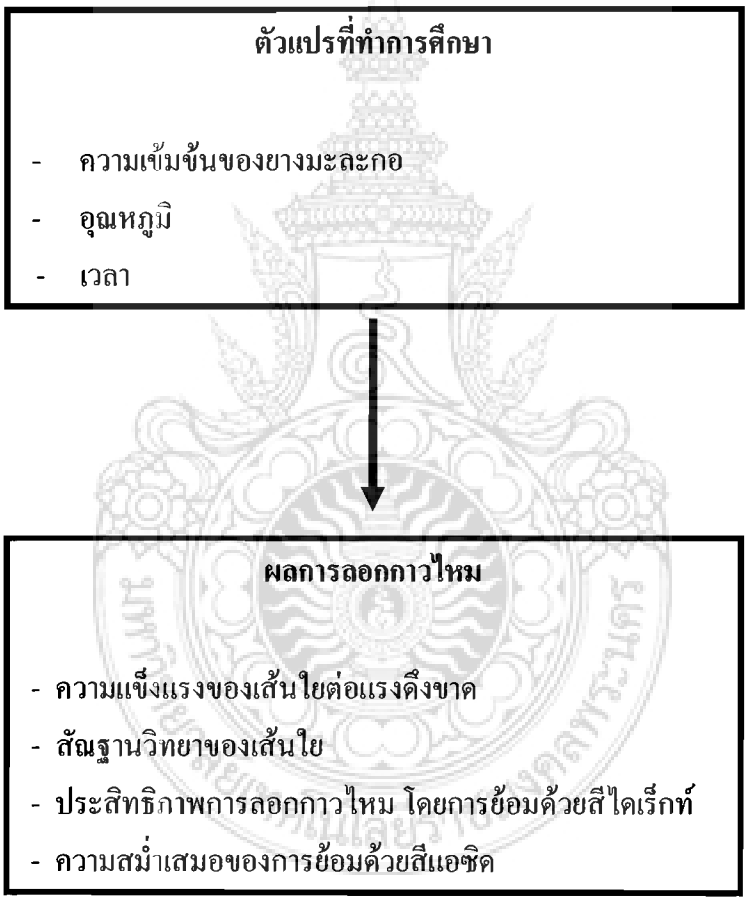
1958 Koshland เสนอสมมติฐาน Koshland "Induced fit" เขาเสนอว่าสับสเตรตเมื่อจับกับเอนไซม์จะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงแบบ (Conformation) หรือโครงสร้างของเอนไซม์ได้ จึงเปรียบสับสเตรตเหมือนมือและเอนไซม์เหมือนถุงมือ ซึ่งเมื่อสวมถุงมือจะเปลี่ยนรูปร่างไปให้เหมาะสมกับมือได้ ตัวยับยั้ง (Inhibitor) หมายถึง สารประกอบเมื่อเติมลงไปในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งแล้วทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาช้าลง สารหลายตัวมีสมบัติการทำงานของเอนไซม์ที่ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ตัวยับยั้งอาจทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ที่บริเวณจับ

(Binding site) หรือบริเวณเร่ง (Catalytic site) แล้วทำให้สับสเตรตไม่สามารถจับกับเอนไซม์ได้ตามเดิม หรือหากจับได้ปฏิกิริยาก็ไม่สามารถดำเนินได้ตามปกติ

จันทิมา เกยานนท์ และ เปรมวดี วงษ์แสงจันทร์ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลอกกาวไหมไทยโดยใช้เอนไซม์โปรตีเอสจากเชื้อแบคทีเรีย ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LC_1_1 และ LC_1_6 ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนกาวไหม (Sericin) ได้ดีกว่าโปรตีนเส้นใยไหม (Fibroin) และโปรตีนจากนม โดยวิเคราะห์จาก Zymographic pattern ที่ได้จากการแยกเอนไซม์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี Electrophoresis แล้วนำไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมาทดสอบความสามารถในการย่อยสับสเตรตต่างๆ ของเอนไซม์ด้วยการย้อมเส้นใยด้วยสีไดเร็กท์และตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเส้นใยด้วยกล้องอิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าเอนไซม์จากเชื้อ LC_1_6 มีประสิทธิภาพที่ดีในการลอกกาวไหม นอกจากจะทำให้เส้นไหมนุ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ขาวกว่าการลอกกาวไหมด้วยสารซักล้างทางการค้า เช่น Alcalase® Silkoblanc และ โซเดียมคาร์บอเนต

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

จากการศึกษาเพื่อประเมินผลหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอแห้งทำโดยการดูภาพตามยาวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ การทดสอบความแข็งแรงของเส้นใย และการทดสอบการติดสี (K/S) กระบวนการทดลองแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. Hirus Supra Red 3BL 140%, Phisit Intergroup
2. Na_2CO_3 (Sodium carbonate) Commercial grade, บริษัท A.N.Y Product จำกัด
3. Na_2SO_4 (Sodium Sulphate) ,Commercial grade, บริษัท A.N.Y Product จำกัด
4. CH_3COOH (Acetic acid),Commercial grade, บริษัท A.N.Y Product จำกัด
5. ECE Phosphate Reference Detergent FBA free, Union TSL Co., Ltd.
6. เส้นไหมดิบ
7. Soft Incubator Eyela SLT-600ND
8. Ahiba Nuance Machine TS Serial NO. 99250, Data Color International.
9. Tensile Strength Teater,Model Lloyd Instrument , Intro Enterprise Co., Ltd.
10. Spectrophotometer, Model Color Quest XE, Hunter Lab Co., Ltd.
11. กล้องจุลทรรศน์ , Meiji Techno CO.,LTD.Japan
12. G208H VIDEO MICROSCORE HARDWARE, SDL International LTD.
13. Analytical Balance: Superba-series, Precisa 205 A

3.2 วิธีทดลอง

3.2.1 การเตรียมยางมะละกอที่ใช้ในการทดลอง

1. กรีดยางมะละกอจากส่วนผล โดยเลือกกรีดผลมะละกอที่มีอายุประมาณ 2 - 3 เดือน ใช้มีดสแตนเลสกรีดจากส่วนขั้วที่ติดอยู่กับก้านผลลงมาตามยาวจนถึงส่วนปลายผล กรีดให้ลึกประมาณ 1/8 นิ้ว แล้วใช้ภาชนะรองรับยางมะละกอจากรอยกรีดจนกระทั่งไหลหมดจากแผลกรีด

2. นำยางมะละกอที่ได้มาตากแดดไว้จนกระทั่งน้ำระเหยออกไปหมด แล้วจึงนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ยางมะละกอที่แห้งสนิท มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว

3. นำยางมะละกอแห้งมาบดให้ละเอียด ก่อนบรรจุในภาชนะบรรจุผนึกแน่น เก็บในที่เย็นและแห้ง

3.2.2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอแห้ง

ทำการลอกกาวไหม โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ

- ปริมาณสารละลายของยางมะละกอแห้ง ตั้งแต่ 0 1 2 3 และ 4 %owf โดยอัตราส่วนปริมาณน้ำ : น้ำหนักไหม เท่ากับ 25 : 1
- อุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาว ตั้งแต่ 55 65 75 และ 85 องศาเซลเซียส

- เวลาที่ใช้ในการลอกกาว 10 20 30 และ 40 นาที

เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมาล้างด้วยน้ำเย็นให้สะอาด แล้วนำไปล้างในน้ำอุ่น และน้ำเย็นอีกครั้ง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.2.3 การลอกกาวไหมด้วยน้ำสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอกับวิธีการลอกกาวแบบดั้งเดิม ทำการลอกกาวด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- ชุดที่ 1 ทำการลอกกาวโดยใช้น้ำสบู่ที่ความเข้มข้น 12 %owf และโซเดียม-คาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 6 %owf ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
- ชุดที่ 2 ทำการลอกกาวโดยใช้น้ำสบู่ที่ความเข้มข้น 12 %owf และโซเดียม-คาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 6 %owf ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
- ชุดที่ 3 ทำการลอกกาวโดยใช้น้ำสบู่ที่ความเข้มข้น 12 %owf และโซเดียม-คาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 6 %owf ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

นำไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมาล้างด้วยน้ำเย็นให้สะอาดแล้วนำไปล้างในน้ำอุ่นและน้ำเย็นอีกครั้ง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.3 การทดสอบสมบัติของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว

3.3.1 ความคงทนของเส้นใยต่อแรงดึงขาด

ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 121) เล่มที่ 8-2518 เรื่องการทดสอบแรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้เส้นด้ายขาด โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างมีความยาว 20 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นตัวอย่างเก็บไว้ในห้องควบคุมสภาวะ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความคงทนต่อแรงดึง

3.3.2 ประสิทธิภาพในการลอกกาว

นำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวมาย้อมด้วยสีไดเร็กท์ (C.I. Direct Red 80) โดยเตรียมสารละลายสีไดเร็กท์ที่มีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตรและใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำ : น้ำหนักวัสดุเท่ากับ 200 : 1 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำให้สะอาดและผึ่งไว้ให้แห้ง แล้วจึงสังเกตลักษณะการติดสีด้วยสายตาและวัดค่าการติดสีของเส้นใยไหม (K/S) ตาม Kubelka-Munk Equation ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Color Quest XE สีไดเร็กท์จะสามารถย้อมติดได้เฉพาะในส่วนที่เป็นเซริซินเท่านั้น ในกรณีที่มีเซริซินอยู่บนเส้นไหมมากก็จะทำให้การติดสีเข้มขึ้น

3.3.3 สัณฐานวิทยาของเส้นไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

เตรียมชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลออกาวไหม ในภาวะต่างๆ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แบบส่องกวาด (Scanning electron microscope) เพื่อดูลักษณะความแตกต่างของเส้นใยที่ได้การศึกษาในแต่ละภาวะ

3.4.4 ค่าการติดสีของเส้นใยไหม (K/S)

นำเส้นไหมมาย้อมด้วยสีแอซิด (Nylosan Red F-GS) 2 % owf โซเดียมซัลเฟต 20 กรัมต่อลิตร และ กรดอะซิติก 2 % owf ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำเส้นใยที่ได้ไปทำการวัดค่าการติดสี ตามสมการ Kubelka-Munk (3.1) เครื่อง Spectrophotometer Color Quest XE

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \text{ ---------(3.1)}$$

K : สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

S : สัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง

R : เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

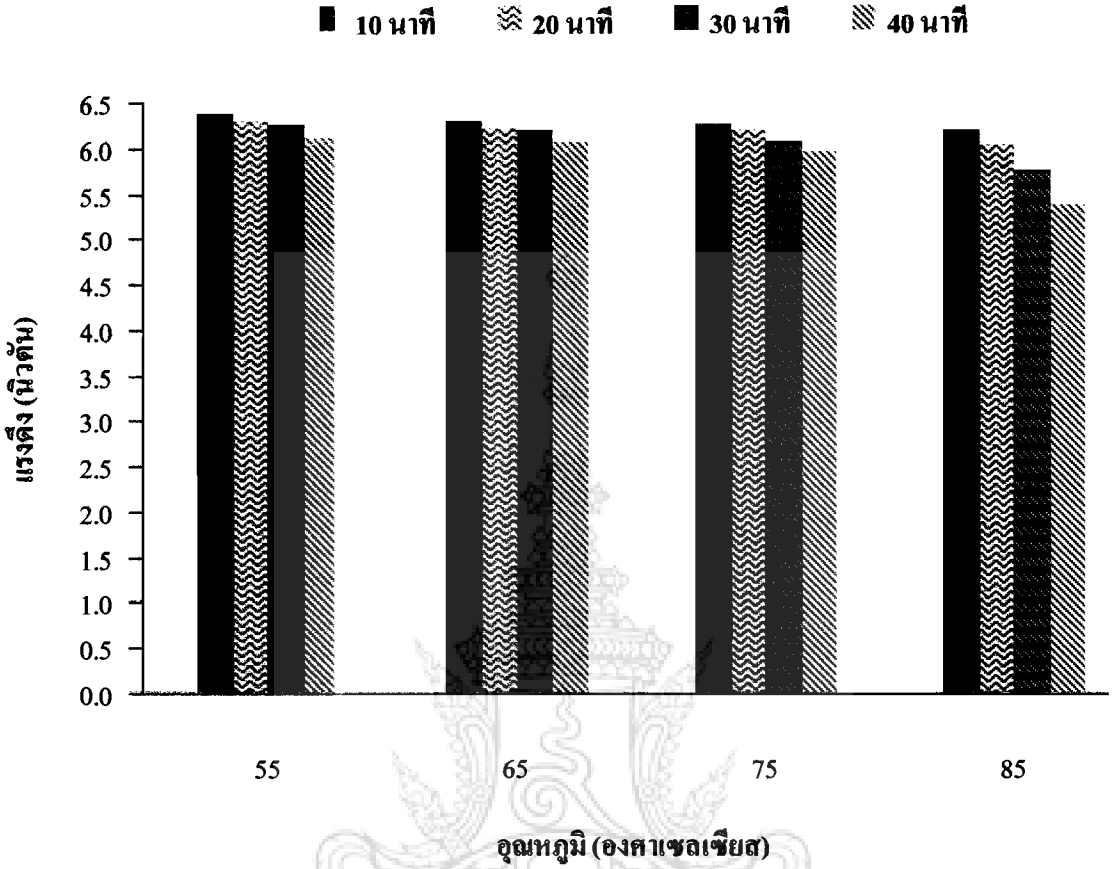
จากการศึกษาทดลองการลอกกาวไหมโดยใช้ยางมะละกอแห้งที่ภาวะต่างๆ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอกกาว โดยประเมินจากความคงทนต่อแรงดึงขาด สัณฐานวิทยา และค่าติดสีของเส้นใยไหม ผลการศึกษาแสดงได้ดังนี้

4.1 ความคงทนต่อแรงดึงขาด

นำเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวที่ภาวะต่างๆ มาทดสอบความคงทนต่อแรงดึงขาด

ตารางที่ 4.1 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 0 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	6.24
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	4.36
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	3.89
55	10	6.28
	20	6.21
	30	6.18
	40	6.05
65	10	6.25
	20	6.18
	30	6.05
	40	5.95
75	10	6.18
	20	6.02
	30	5.75
	40	5.36
85	10	6.28
	20	6.21
	30	6.18
	40	6.05

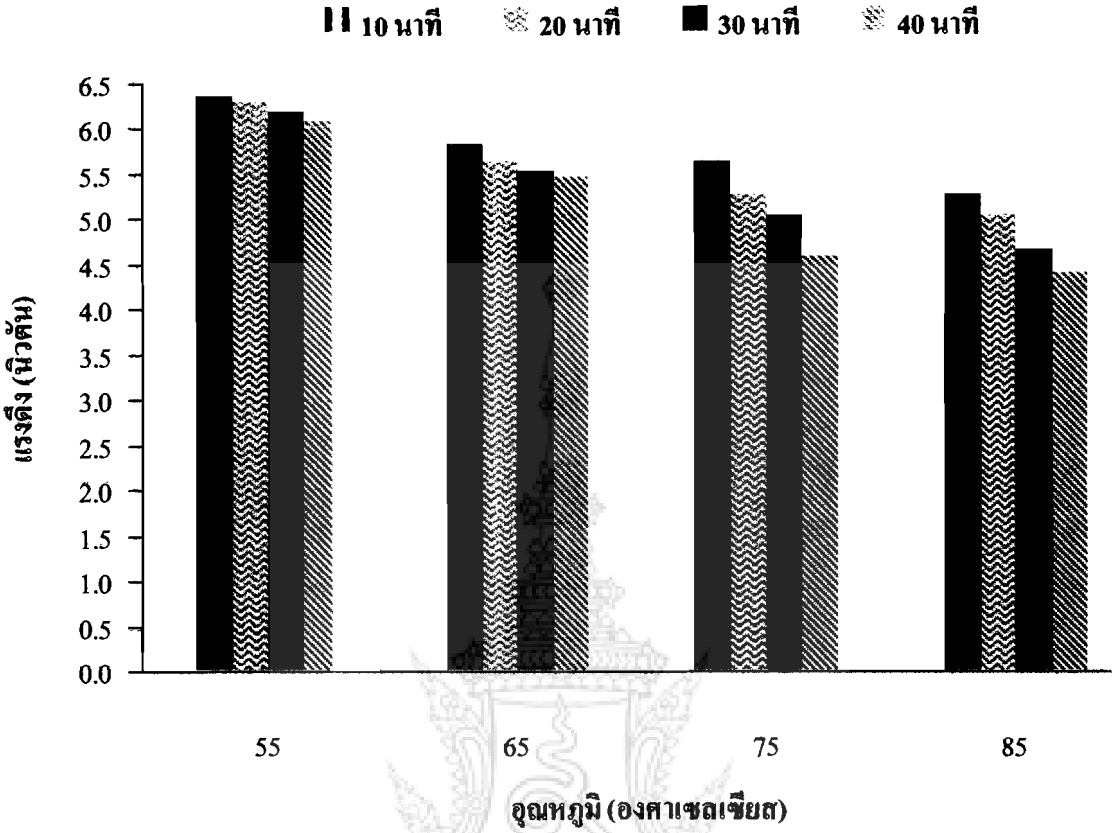


ภาพที่ 4.1 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 0 %owf

จากผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหม พบว่าที่ ความเข้มข้นยางมะละกอเป็น 0% owf อุณหภูมิและเวลามีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยน้อยมาก โดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 55 65 และ 75 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 20 30 และ 40 นาทีตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงในความแข็งแรงของเส้นใยไหมได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการทดลองจาก 10 นาทีเป็น 40 นาที เนื่องจากเซริซินเริ่มมีการพองตัวและสามารถละลายได้เล็กน้อยที่ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 1 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	6.24
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	4.36
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	3.89
55	10	6.35
	20	6.28
	30	6.19
	40	6.08
65	10	5.81
	20	5.62
	30	5.52
	40	5.46
75	10	5.63
	20	5.26
	30	5.02
	40	4.58
85	10	5.27
	20	5.04
	30	4.64
	40	4.40

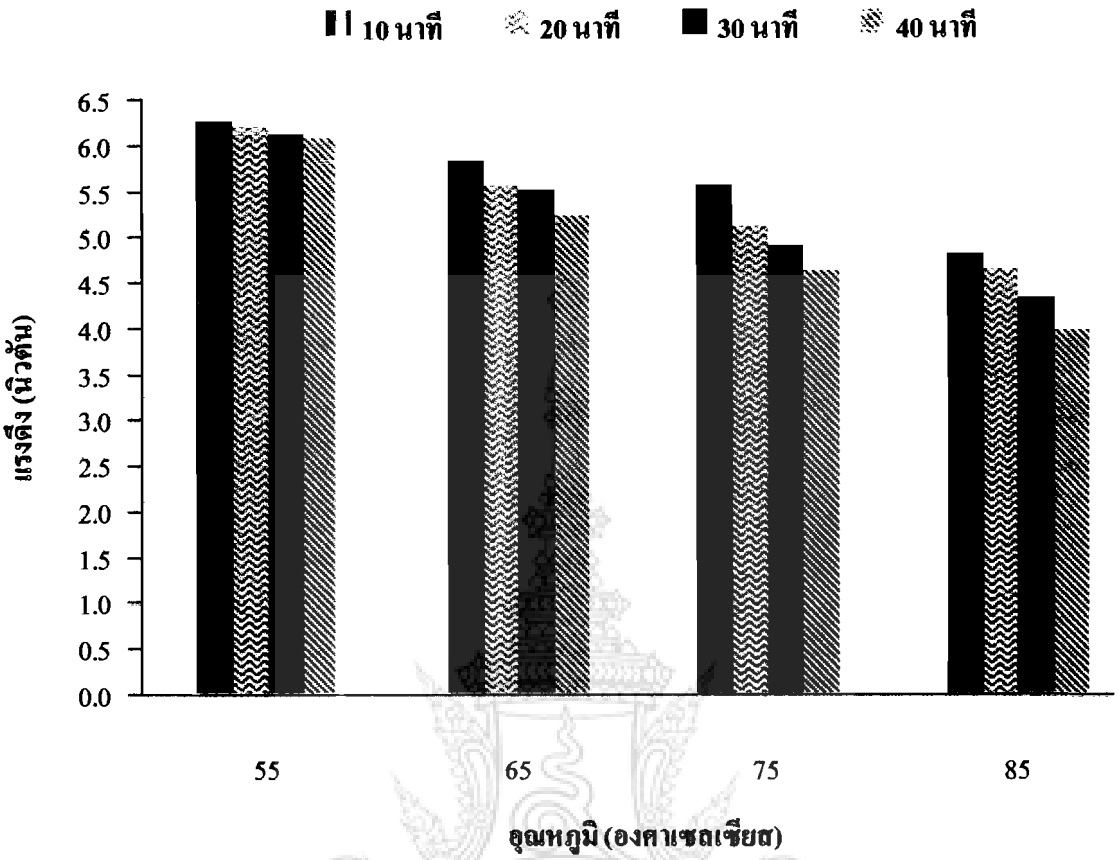


ภาพที่ 4.2 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 1 %owf

จากภาพที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวโดยใช้ยางมะละกอแห้งที่ความเข้มข้น 1%owf พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการลอกกาวไหมเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของเส้นใยจะลดลง โดยที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลาของการทดลองได้ค่าความแข็งแรงของเส้นใยใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดลองเป็น 75 และ 85 องศาเซลเซียส ผลของความแข็งแรงของเส้นใยไหมมีแนวโน้มลดลงจนสังเกตได้ โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มเวลาในการลอกกาวในช่วงแต่ละอุณหภูมิ เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนในยางมะละกอสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถลอกกาวบางส่วนบนเส้นใยไหมได้ ส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.3 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 2 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	6.24
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	4.36
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	3.89
55	10	6.25
	20	6.18
	30	6.11
	40	6.06
65	10	5.80
	20	5.54
	30	5.48
	40	5.22
75	10	5.54
	20	5.09
	30	4.87
	40	4.60
85	10	4.80
	20	4.62
	30	4.32
	40	3.95

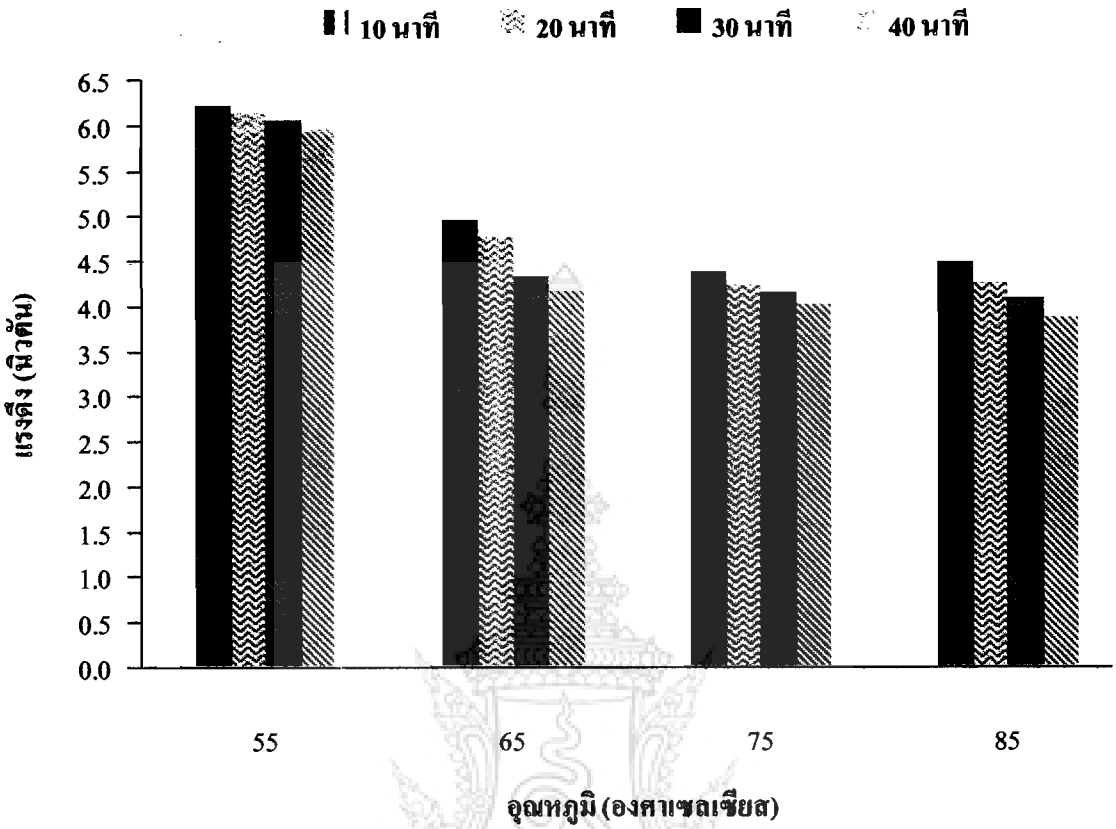


ภาพที่ 4.3 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 2 %owf

จากค่าความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวโดยใช้ยางมะละกอแห้งที่ความเข้มข้น 2%owf พบว่าความแข็งแรงของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทดลอง ที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนมากนัก แต่ความความแข็งแรงของเส้นใยไหมจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 75 และ 85 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้ยางมะละกอความเข้มข้น 1 %owf แต่ทางด้านความแข็งแรงลดน้อยลงมากกว่า เนื่องจากในอุณหภูมิดังกล่าวความร้อนจะส่งผลให้เซเรซินที่เคลือบบนเส้นใยไหม เกิดการละลายและเอนไซม์ในยางมะละกอสามารถทำงานได้มากขึ้นเพราะความเข้มข้นของเอนไซม์มีมากขึ้น

ตารางที่ 4.4 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 3 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	6.24
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	4.36
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	3.89
55	10	6.20
	20	6.13
	30	6.04
	40	5.95
65	10	4.95
	20	4.76
	30	4.32
	40	4.14
75	10	4.36
	20	4.21
	30	4.13
	40	4.00
85	10	4.45
	20	4.23
	30	4.06
	40	3.85

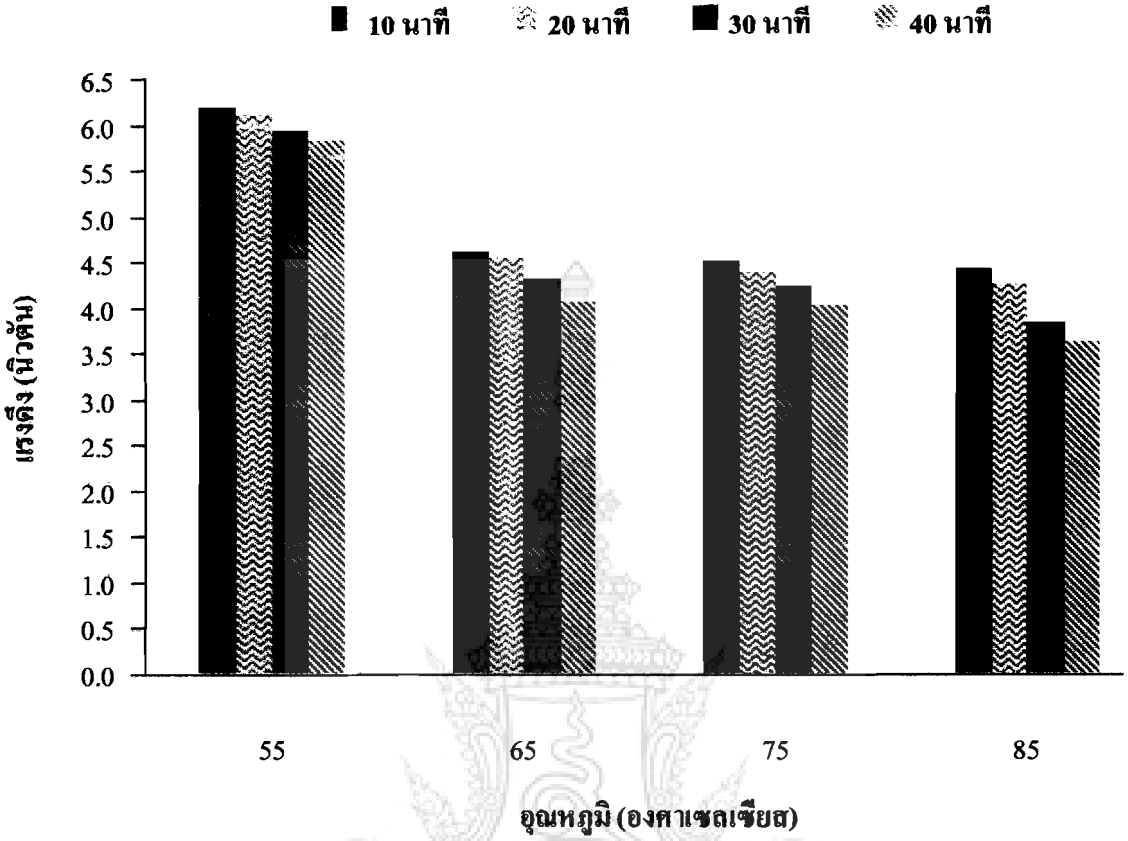


ภาพที่ 4.4 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 3 %owf

จากค่าความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอแห้ง ความเข้มข้น 3 %owf พบว่าความเข้มข้นของยางมะละกอมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 65 องศาเซลเซียส ไปเป็น 75 และ 85 องศาเซลเซียส เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนสามารถทำงานได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นช่วงอุณหภูมิที่เซริซินมีการพองตัวและละลายน้ำได้ และที่ความเข้มข้น 3 %owf มีความเข้มข้นมากพอในการย่อยโปรตีนไหมบนผิวเส้นใย นอกจากนี้เวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ก็ส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนมากขึ้น อันเป็นผลมาจากเวลาในการสัมผัสของเอนไซม์ต่อเส้นใยมีมากขึ้น ประสิทธิภาพในการลอกโปรตีน (กาวไหม) จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ความคงทนต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	6.24
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	4.36
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	3.89
55	10	6.18
	20	6.09
	30	5.92
	40	5.81
65	10	4.62
	20	4.55
	30	4.32
	40	4.06
75	10	4.50
	20	4.38
	30	4.22
	40	4.02
85	10	4.41
	20	4.25
	30	3.82
	40	3.62



ภาพที่ 4.5 ความคงทนต่อแรงดึงขาดของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอ ความเข้มข้น 4 %owf

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ลอกกาว โดยใช้ยางมะละกอแห้งที่ความเข้มข้น 4 %owf พบว่าความเข้มข้นของยางมะละกอมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยเช่นเดียวกันกับการลอกกาวที่ความเข้มข้น 3 %owf แต่ความแข็งแรงของเส้นใยที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 20 30 และ 40 นาทีตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกัน ลักษณะเช่นนี้สามารถกล่าวได้ว่าที่ยางมะละกอที่ความเข้มข้น 4 %owf มีปริมาณเอนไซน์มากเกินพอ (excess) แต่การเปลี่ยนแปลงของเวลาในแต่ละช่วงความเข้มข้น มีผลต่อการลอกกาวไหมน้อยมาก จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ได้ มีความแตกต่างกันไม่มากนัก

จากการศึกษาผลของการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอต่อความแข็งแรงของเส้นใยไหม โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของยางมะละกอ อุณหภูมิ และเวลาสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

- ความเข้มข้นของยางมะละกอส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลอกกาวไหม (เซริซิน) บนผิวเส้นใยไหม เนื่องจากในน้ำยางมะละกอประกอบไปด้วยเอนไซม์ปาเปน ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนได้ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางมะละกอ ส่งผลให้ความเข้มข้นของเอนไซม์ปาเปนสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนจึงมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์ แต่จากการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายโปรตีนบนเส้นใยไหมเริ่มมีค่าคงที่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของมะละกอเป็น 4% owf แสดงว่าความเข้มข้นนี้มีค่าเหมาะสมสำหรับการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอ

- อุณหภูมิที่ทำการศึกษาในกระบวนการ คือ 55 65 75 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถนำมาเป็นตัวแทนในการศึกษาผลของเอนไซม์ปาเปนได้ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์จะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (60 - 80 องศาเซลเซียส) เพื่อให้เกิดการทำงานได้อย่างประสิทธิภาพ นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพองตัวและการละลายของกาวไหม เนื่องจากเซริซินซึ่งเป็นกาวบนเส้นใยไหมสามารถเกิดการพองตัวและสามารถละลายออกมาได้บางส่วนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาดูผลทางด้านความแข็งแรงจึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยไหมนี้มีค่าที่ลดลงได้

- เวลาที่ใช้ในกระบวนการลอกกาวไหมมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 10 20 30 และ 40 นาที ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเวลาที่เปลี่ยนไปในช่วงอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นยางมะละกอเป็น 0 1 และ 2 % owf ผลการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเส้นใยไหมไม่เด่นชัด และเริ่มเห็นความแข็งแรงของเส้นใยลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65 75 และ 85 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ กัน เนื่องจากเวลาในการสัมผัสระหว่างสารเคมีและมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น

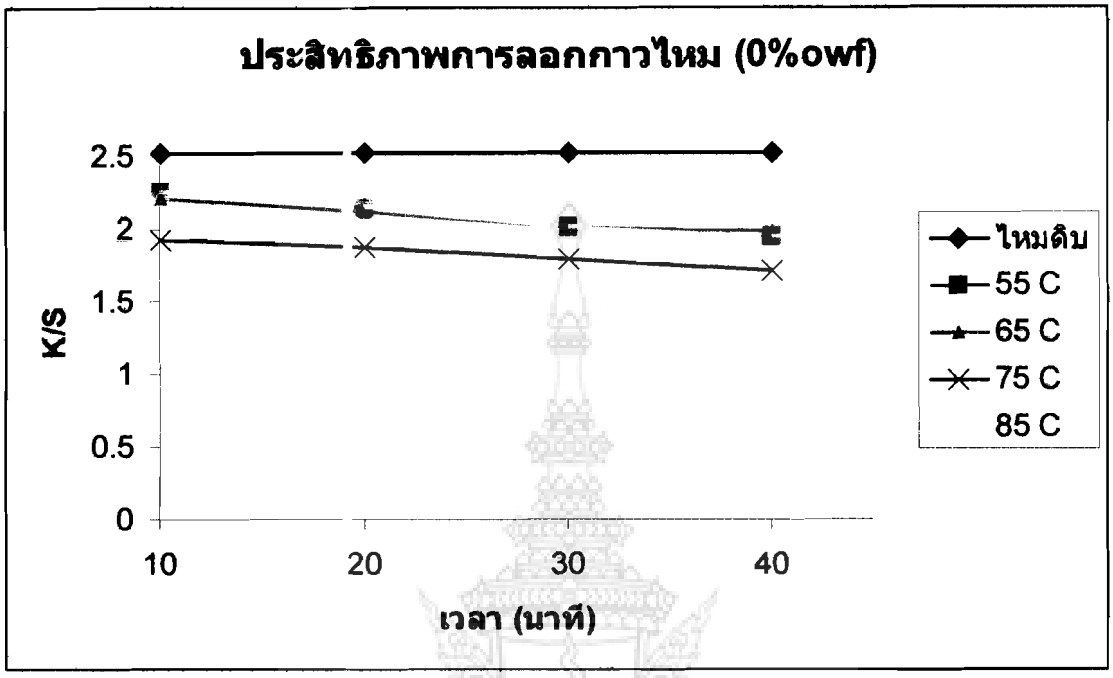
จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของยางมะละกอที่เหมาะสมต่อการลอกกาวไหมเป็น 4%owf โดยดูจากผลของความแข็งแรงของเส้นใยที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วยเวลาและอุณหภูมิในกระบวนการยังไม่สามารถระบุได้แน่นอน จึงต้องทำการศึกษาผลในกระบวนการต่อไป

4.2 ประสิทธิภาพในการลอกกาว

นำเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวที่ภาวะต่างๆ มาย้อมด้วย Hirus Supra Red 3BL 140% (C.I. Direct Red 80) เพื่อดูประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมด้วยยางมะละกอที่ความเข้มข้นยางมะละกอ ตั้งแต่ 0 ถึง 4 %owf ในภาวะต่างๆ ประสิทธิภาพการลอกกาวไหมที่ดีจะมีค่าการติดสี (K/S) ที่ต่ำ เนื่องจากโดยปกติแล้วสีได้เร็กท์จะเกาะติดได้ดีบนกาวไหม แต่ไม่เกาะติดบนเส้นใยไหม กล่าวได้ว่าค่าประสิทธิภาพการลอกกาวไหมจะแปรผกผันกับค่าการติดสีที่ย้อมด้วยสีไดเร็กท์

ตารางที่ 4.6 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 0 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	2.516
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.232
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.163
55	10	2.245
	20	2.137
	30	2.001
	40	1.941
65	10	2.208
	20	2.107
	30	1.998
	40	1.981
75	10	1.92
	20	1.87
	30	1.791
	40	1.701
85	10	2.245
	20	2.137
	30	2.001
	40	1.941

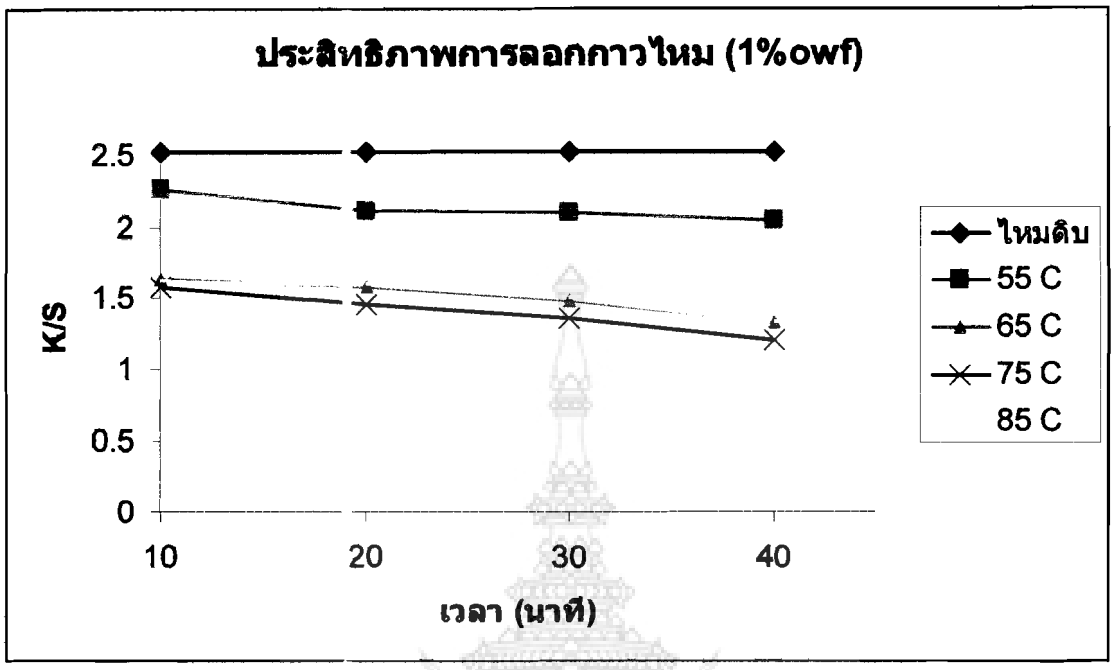


ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม
(ความเข้มข้นยางมะละกอ 0%owf)

กราฟแสดงผลการทดลองข้างต้นเป็นการแสดงผลในตัวแปรของเวลาและอุณหภูมิในการลอกกาวไหมเท่านั้นเนื่องจากยังไม่มีการใช้เอนไซม์จากยางมะละกอในการลอกกาวไหม จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลอง แต่ค่าความแตกต่างที่ได้ยังไม่เห็นเด่นชัดมากนัก เป็นที่น่าสังเกตว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากที่อุณหภูมินี้กาวไหมมีการพองตัว แต่ไม่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในน้ำ จึงทำให้เกิดการย้อนกลับมาบนเส้นใยอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 1 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	2.516
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.232
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.163
55	10	2.254
	20	2.105
	30	2.090
	40	2.034
65	10	1.623
	20	1.575
	30	1.467
	40	1.315
75	10	1.571
	20	1.447
	30	1.342
	40	1.202
85	10	1.614
	20	1.584
	30	1.485
	40	1.315

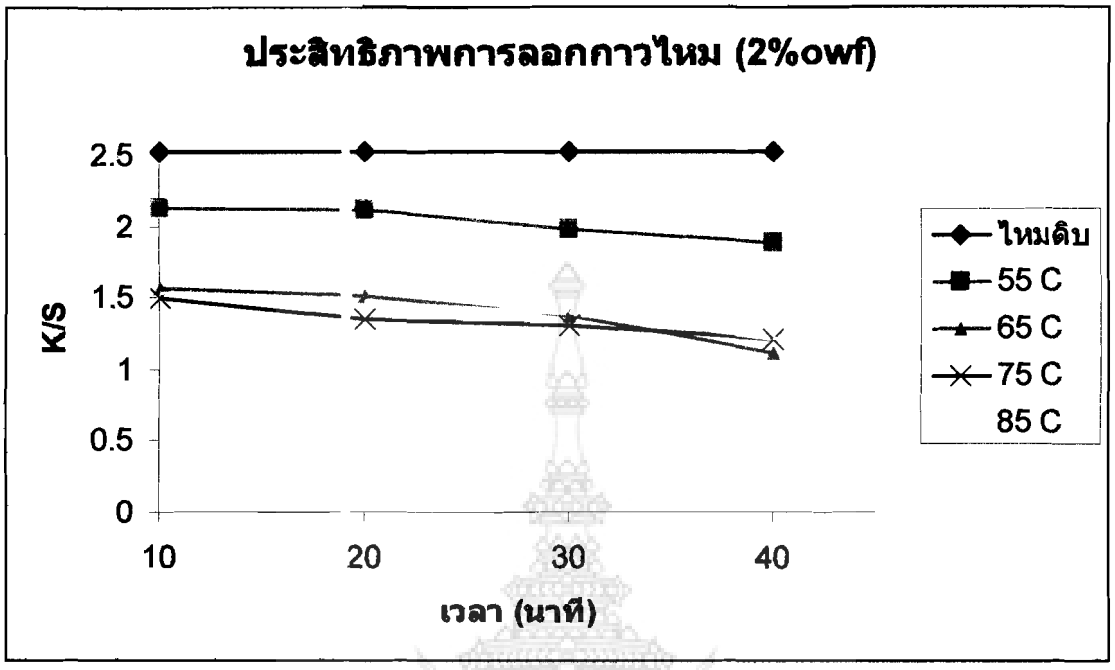


ภาพที่4.7 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม
(ความเข้มข้นยางมะละกอ 1%owf)

ที่ความเข้มข้นยางมะละกอเป็น 1%owf จะเห็นผลการลอกกาวไหมได้เล็กน้อย แนวโน้มผลการลอกกาวไหมจะเป็นในทำนองเดียวกันคือมีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการลอกกาวไหม แต่ค่าความแตกต่างของแต่ละช่วงอุณหภูมิเห็นผลไม่ชัดเจนมากนัก เนื่องมาจากความเข้มข้นของยางมะละกอน้อย ที่อุณหภูมิ 65 -75 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการลอกกาวไหมดีกว่าในช่วงอุณหภูมิอื่นเนื่องจากเป็นช่วงที่เอนไซม์ปาเปนที่อยู่ในยางมะละกอสามารถทำงานได้ดี

ตารางที่ 4.8 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 2 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	2.516
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.232
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.163
55	10	2.124
	20	2.105
	30	1.974
	40	1.875
65	10	1.564
	20	1.505
	30	1.367
	40	1.115
75	10	1.487
	20	1.347
	30	1.304
	40	1.202
85	10	1.514
	20	1.470
	30	1.385
	40	1.201

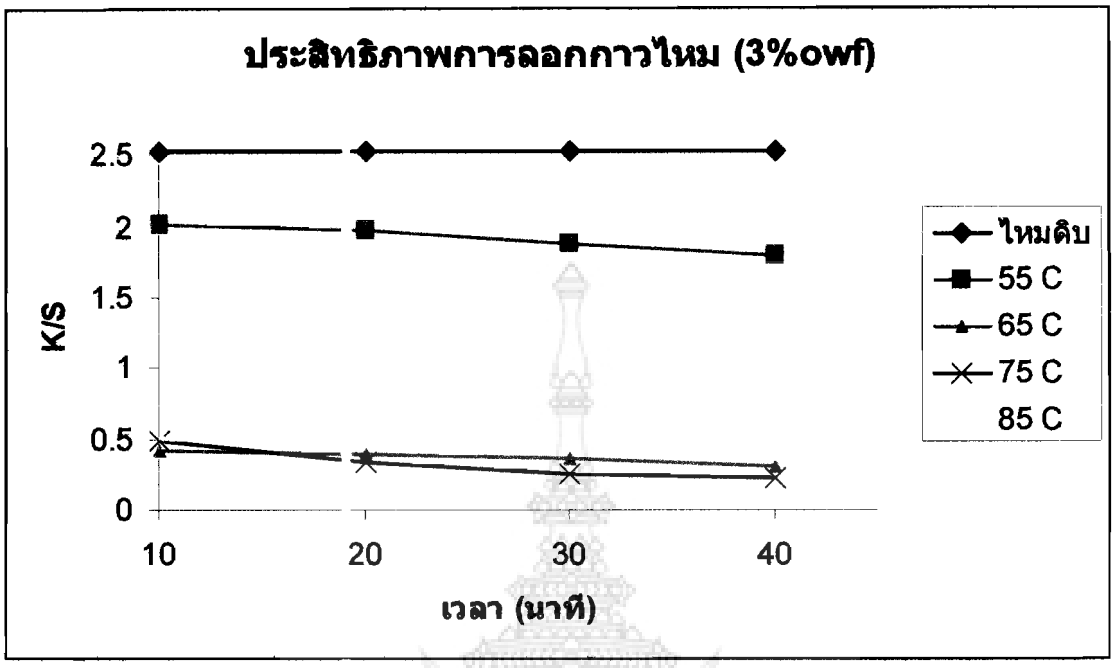


ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม
(ความเข้มข้นยางมะละกอ 2%owf)

ความเข้มข้นยางมะละกอที่ 2%owf จะสังเกตเห็นประสิทธิภาพการลอกกาวไหมได้ชัดเจนกว่าที่ 1 % owf เนื่องมาจากผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มผลการลอกกาวไหมเป็นทำนองเดียวกันคือมีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการลอกกาวไหมนานขึ้น เอนไซม์ปาเปนในยางมะละกอมีช่วงการทำงานที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วง 55 องศาเซลเซียสประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมจึงมีค่าน้อยมาก เนื่องจากช่วงดังกล่าวไม่ใช่ช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ปาเปนในยางมะละกอ แต่ที่อุณหภูมิ 65 –75 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมสามารถสามารถสังเกตได้ชัดเจนขึ้น และที่อุณหภูมิ85 องศาเซลเซียสประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมไม่ได้ขึ้นกับตัวเอนไซม์แต่จะขึ้นกับความร้อนช่วงดังกล่าวเป็นตัวที่ทำให้กาวไหมบนเส้นใยเกิดการพองตัวและหลุดลอกออก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในช่วงนี้มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.9 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 3 %owf

ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	2.516
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.232
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.163
55	10	2.014
	20	1.974
	30	1.875
	40	1.784
65	10	0.407
	20	0.387
	30	0.354
	40	0.301
75	10	0.479
	20	0.329
	30	0.243
	40	0.215
85	10	0.491
	20	0.448
	30	0.44
	40	0.343

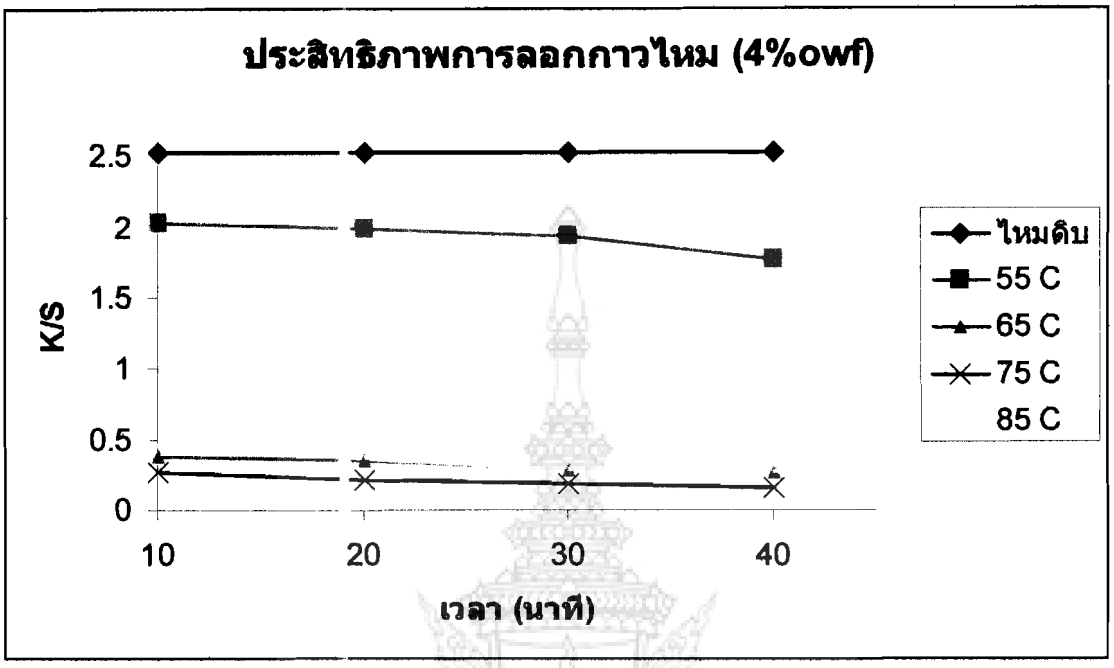


ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม
(ความเข้มข้นยางมะละกอ 3%owf)

ความเข้มข้นยางมะละกอที่ 3%owf สังเกตุเห็นผลการลอกกาวไหมได้ค่อนข้างชัดเจนเมื่อเทียบกับความเข้มข้นข้างต้น โดยสังเกตผลจากประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมค่อนข้างสูงสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน ประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมในแต่ละช่วงอุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน เป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับความเข้มข้นยางมะละกอที่ 1 และ 2%owf กล่าวคือมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการศึกษา และช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการลอกกาวไหมเป็น 75 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการลอกกาวไหมเห็นผลชัดเจนในการศึกษา

ตารางที่ 4.10 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf

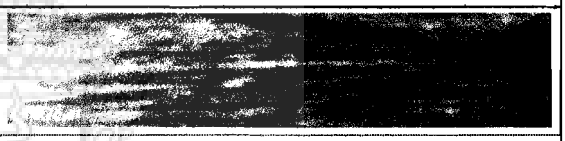
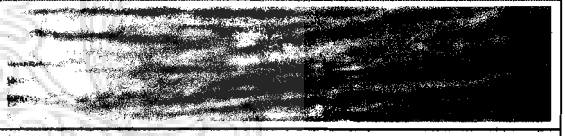
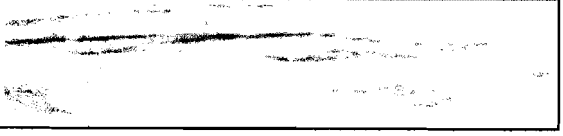
ภาวะการลอกกาวไหม		ค่าการติดสี (K/S)
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	2.516
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.232
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	0.163
55	10	2.023
	20	1.987
	30	1.921
	40	1.754
65	10	0.371
	20	0.339
	30	0.279
	40	0.268
75	10	0.266
	20	0.213
	30	0.181
	40	0.156
85	10	0.451
	20	0.359
	30	0.279
	40	0.268



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการลอกกาวไหม
(ความเข้มข้นยางมะละกอ 4%owf)

ความเข้มข้นยางมะละกอที่ 4%owf เป็นช่วงความเข้มข้นที่มากพอที่จะทำการลอกกาวไหม โดยสังเกตจากประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมค่อนข้างสูงประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมจึงมีค่ามากกว่าในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า แต่แนวโน้มในเรื่องของเวลายังสอดคล้องกับทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา และช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการลอกกาวไหมจากการศึกษาเป็น 75 องศาเซลเซียสให้ผลการลอกกาวไหมที่ชัดเจนมาก โดยเฉพาะในช่วง 20 – 30 นาที ความชันของกราฟจะมีค่าความชันที่สูงกว่าในช่วงอื่นๆ แสดงว่าประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมช่วงนี้เป็นช่วงที่ดีที่สุดในการศึกษา แต่ที่ช่วงเวลา 30 – 40 นาที ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก

ตารางที่ 4.11 ลักษณะสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสีไดเร็กท์ Hirus Supra Red 3BL 140%

ภาวะการฉอกกาวไหม		ลักษณะของเส้นใยที่ผ่านการย้อมสี
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	
55	30	
	40	
65	30	
	40	
75	30	
	40	
85	30	
	40	

หมายเหตุ : ยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลอกกาวด้วยยางมะละกอ โดยการนำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวมาย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 80 พบว่าสีไดเร็กท์จะสามารถย้อมติดเส้นใยไหมได้ดีได้เฉพาะในส่วนที่เป็นเซริซินเท่านั้น และในกรณีที่มีเซริซินอยู่บนเส้นไหมมาก จะทำให้การติดสีเข้มขึ้นและจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- เส้นใยไหมดิบสามารถย้อมติดสีไดเร็กท์ได้ดี เนื่องจากมีเซริซินเคลือบอยู่บนผิวเส้นใยจำนวนมาก

- เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยน้ำสบู่ + ด่าง ที่ ที่อุณหภูมิ 85 และ 100 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมค่อนข้างดีเมื่อดูผลการติดสี เนื่องจากเส้นใยที่ได้มีการติดสีไดเร็กท์ต่ำ แต่เส้นใยจะมีลักษณะพองฟู และพันกัน ใช้เวลาในกระบวนการค่อนข้างสูงคือ 60 นาที

- ตัวแปรที่นำมาใช้ในการประเมินผลของประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมประกอบไปด้วยความเข้มข้นของยางมะละกอ อุณหภูมิ และเวลาในการลอกกาวไหม พบว่า อุณหภูมิในการศึกษามีความสำคัญที่สุดเนื่องจากเอนไซม์ที่อยู่ในยางมะละกอมีช่วงอุณหภูมิในการทำงานอยู่ในช่วง 60 -80 องศาเซลเซียส จึงสังเกตเห็นได้ว่าที่นอกช่วงของการทำงานของเอนไซมื ผลการศึกษาที่ได้จะมีค่าประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมที่ต่ำ และช่วงอุณหภูมิอีกจุดหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือช่วงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสที่ทำให้เกิดการพองตัวของกาวไหม จะสังเกตได้ว่าทำให้ประสิทธิภาพของการลอกกาวดีมากกว่าช่วงอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แต่ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมจะต่ำเนื่องจากช่วงดังกล่าวเอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ กาวไหมที่พองตัวออกมาไม่สามารถถูกไฮโดรไลส์เป็นอนุภาคที่ละลายน้ำได้ จึงเกิดการกลับมาเกาะติดบนเส้นใยอีกครั้งหนึ่ง

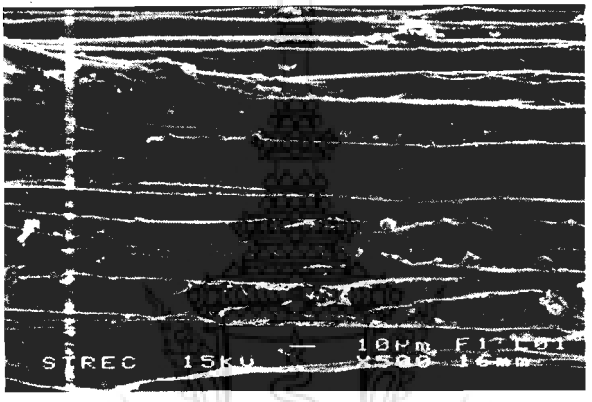
- ความเข้มข้นของยางมะละกอเป็นอีกตัวแปรที่มีไม่น้อยกว่าอุณหภูมิในการทำงานของเอนไซม์โดยดูจากค่าประสิทธิภาพที่ทำการศึกษา พบว่าที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1 และ 2 %owf ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมยังไม่ชัดเจนมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของยางมะละกอมากขึ้นเป็น 3 และ 4 %owf ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลอกกาวไหมเห็นชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากปริมาณเอนไซม์มากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น

- ตัวแปรสุดท้ายที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมคือเวลา จากผลการศึกษาพบว่าที่เวลาในการสัมผัสระหว่างเอนไซม์และเส้นไหมที่มากกว่าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมมากขึ้น

- จากตัวแปรที่ศึกษาได้กล่าวได้ว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นยางมะละกอ 4% owf และเวลา 30 นาทีเป็นภาวะที่เหมาะสมในการลอกกาวไหม โดยมีค่าความแข็งแรงของเส้นใยที่ยอมรับได้ และมีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมที่ดี

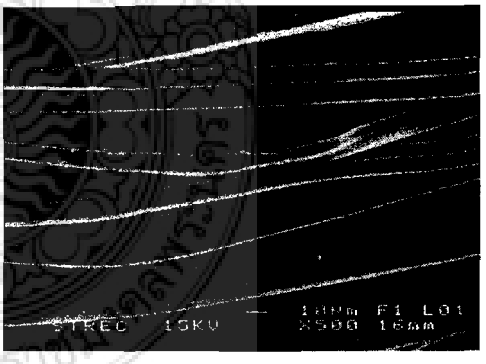
4.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม

การวิเคราะห์ลักษณะภาคตัดขยายของเส้นใยไหมในภาวะต่างๆ ทั้งเส้นใยไหมดิบ และไหมดิบที่ผ่านการลอกกาวในภาวะต่างๆ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แบบส่องกวาด (Scanning electron microscope) เพื่อดูลักษณะผิวของเส้นใย และการทำลายโครงสร้างของเส้นใยเมื่อทำการศึกษาในภาวะต่างๆ



1. เส้นใยไหมดิบ

2. เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยน้ำสบู่และNa_2Co_3 อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 60 นาที



3. เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยน้ำสบู่และNa_2Co_3 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 60 นาที

ภาพที่ 4.11 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยไหม

ภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นลักษณะของเส้นใยไหมดิบก่อนผ่านการลอกกาว จะมีกาวไหมเคลือบอยู่บนเส้นใย เส้นใยที่ได้มีการรวมตัวกันเป็นกระจุก ไม่สามารถแยกออกเป็นเส้นใยเดี่ยวได้ แต่เมื่อนำมาผ่านการลอกกาวไหมด้วยน้ำสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ85 องศาเซลเซียส และ100 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นใยจะเกิดการแยกตัวออกเป็นเส้นเดี่ยว กาวไหมที่เกาะอยู่ระหว่าง

เส้นใยแต่ละเส้นจะหายไป โดยการลอกกาวไหมด้วยน้ำสบู่กับโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที สามารถลอกกาวไหมได้ดี แต่ยังคงมีเซริซินบางส่วนเหลืออยู่บนเส้นใย เนื่องเซริซินนั้นสามารถละลายได้ดีในภาวะที่เป็นด่าง และจะเริ่มมีการละลายที่อุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส การลอกกาวไหมด้วยน้ำสบู่กับโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที สามารถลอกกาวไหมได้ดี แต่ผิวของเส้นใยส่วนใหญ่ถูกทำลาย เนื่องจากมีการไฟโบรอินและเซริซินนั้นสามารถละลายได้ดีในสารละลายด่างที่อุณหภูมิสูง

1. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 55 °C 30 นาที 2. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 65 °C 30 นาที

3. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 55 °C 30 นาที 4. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 65 °C 30 นาที

ภาพที่ 4.12 เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมในภาวะต่างๆ

ภาพที่ 4.12 แสดงลักษณะเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวไหมในภาวะต่างๆ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในการลอกกาวไหมเมื่อความเข้มข้นของยางมะละกอ 4% owf พบว่าอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่ใช่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของปาเปน จึงทำให้ทำให้การลอกกาวไหมเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการลอกกาวไหมจึงยังคงเหลือกาวไหมค้างอยู่บนเส้นไหม และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เซริซินจะเกิดการพองตัวได้แต่เอนไซมีไม่สามารถทำงานในช่วงนี้ได้ดีจึง

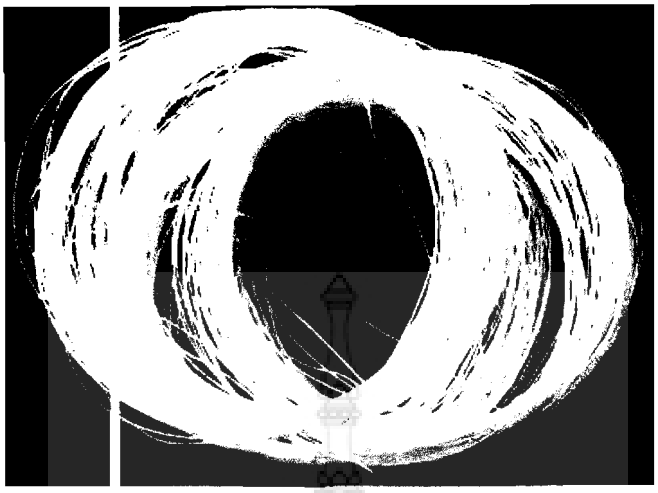
พบว่าในช่วงดังกล่าวมีกาวไหมหลงเหลืออยู่บนเส้นใยเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณกาวไหมบนเส้นใยมีปริมาณที่น้อยกว่าเนื่องจากกาวไหมบางส่วนเกิดการพองตัวและตกลงไปในอ่างย้อมเมื่อทำการทดลองได้

ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส สามารถลอกกาวไหมได้บางส่วนทำให้เส้นใยไหมมีลักษณะแยกกออกจากกัน และเมื่อดูจากลักษณะผิวของเส้นใยแต่ละเส้นพบว่ายังคงมีเซริซินเหลืออยู่บนผิวของเส้นใย และที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าสามารถลอกกาวไหมได้ดี เส้นใยไหมมีลักษณะแยกกออกจากกัน ผิวของเส้นใยยังคงมีเซริซินเหลืออยู่บ้าง เนื่องจากปาเปนสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส และผิวของเส้นใยไม่เกิดการถูกทำลายจากการลอกกาว ผลการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาในเรื่องความแข็งแรงของเส้นใย และประสิทธิภาพในการลอกกาวไหม

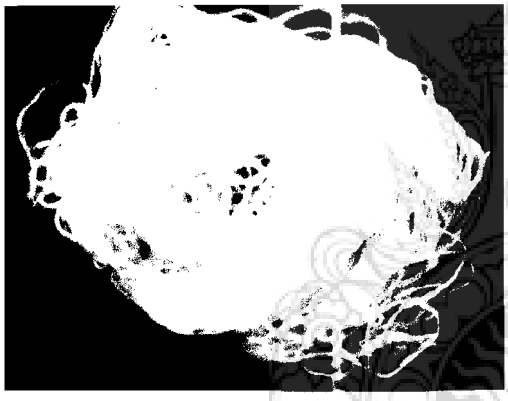
1. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 75 °C 30 นาที 2. ยางมะละกอ 4 %owf ที่ 75 °C 40 นาที

ภาพที่ 4.13 ผลของเวลาในการลอกกาวไหม

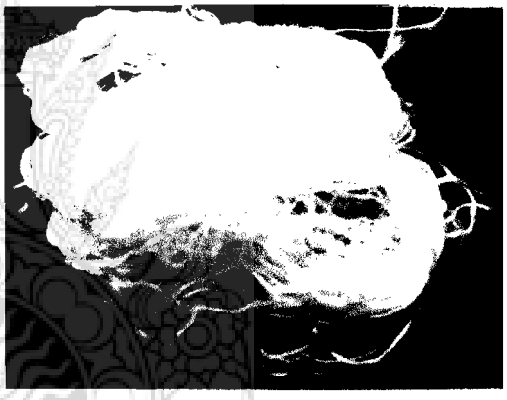
จากภาพที่ 4.13 เป็นการศึกษาผลของเวลาในการลอกกาวไหม ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 30 และ 40 นาทีตามลำดับ พบว่าให้ผลการลอกกาวไหมที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปเทียบกับผลของความแข็งแรง และค่าความเข้มสีในการย้อมสีไดเร็กท์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการลอกกาวไหม ผลการศึกษาที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าในการศึกษานี้ใช้เวลาในการลอกกาวไหมเพียง 30 นาทีก็เพียงพอแล้ว และเวลาที่ใช้นี้ยังน้อยกว่าการใช้กระบวนการลอกกาวไหมด้วยสบู่ และด่าง (Na_2CO_3)ที่ใช้เวลาในการลอกกาวไหมถึง 60 นาที



1. เส้นใยไหมก่อนลอกกาวด้วยยางมะละกอ



2. การลอกกาวด้วย Soap + Na_2CO_3, 85 x 60 min

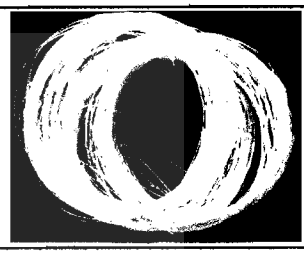
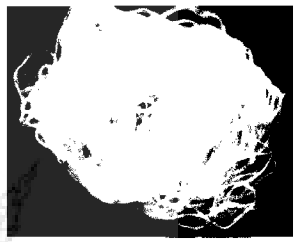
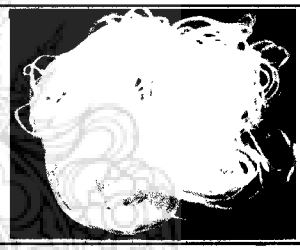
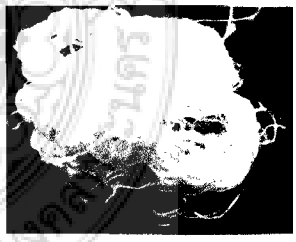
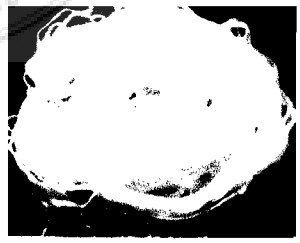


3. การลอกกาวด้วย Soap + Na_2CO_3, 100 x 60 min

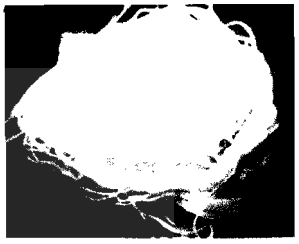
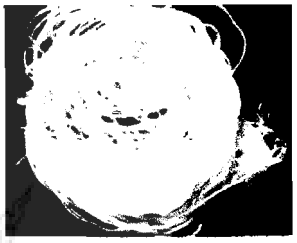
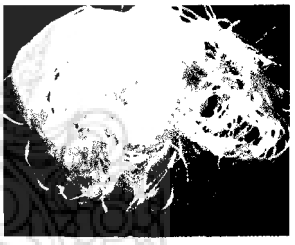
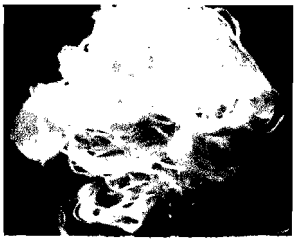
4. ยางมะละกอ 4%owf, 75oC x 30 min

ภาพที่ 4.14 เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

ตารางที่ 4.12 ลักษณะของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวในภาวะต่างๆ

ภาวะการลอกกาวไหม		ลักษณะของเส้นใยที่ผ่านการลอกกาว
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	
ไหมดิบ	-	
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	
100 (Soap + Na_2CO_3)	30	
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	
55	30	
	40	

ตารางที่ 4.12 ลักษณะของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวในภาวะต่างๆ (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ลักษณะของเส้นใยที่ผ่านการลอกกาว
65	30	
	40	
75	30	
	40	
85	30	
	40	

4.4 ค่าการติดสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิด (Nylosan Red F-GS)

นำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวที่ภาวะต่างๆ มาย้อมด้วยสี Nylosan Red F-GS เพื่อดูความสามารถในการติดสีของเส้นใย โดยประเมินผลจาก ค่าการติดสี (K/S)

ตารางที่ 4.13 ลักษณะสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสี Nylosan Red F-GS

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ลักษณะของเส้นใยที่ผ่านการย้อมสี
ไหมดิบ	-	
85 (Soap + Na_2CO_3)	60	
100 (Soap + Na_2CO_3)	60	
55	30	
	40	
65	30	
	40	
75	30	
	40	
85	30	
	40	

จากการศึกษาความสามารถในการติดสีแอซิด Nylosan Red F-GS บนเส้นใยไหม พบว่าการย้อมติดสีบนเส้นใยมีความสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์ดี แสดงว่ายางมะละกอสามารถนำมาใช้ในการลอกกาวไหมได้ประสิทธิภาพที่ดี สามารถลอกกาวไหมได้อย่างสมบูรณ์ โดยสังเกตุจากผลการติดสีบนเส้นใยไหมที่ได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองลอกกาวไหมโดยใช้ยางมะละกอแห้ง พบว่าที่ความเข้มข้น 4 %owf อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมกับการลอกกาวไหมที่สุด เนื่องจากเส้นใยที่ได้จากการลอกกาว มีค่าความคงทนต่อแรงดึงอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงไม่มากนักเมื่อผ่านการลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์ในยางมะละกอ สำหรับประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมศึกษาจากผลการติดสีไดเร็กท์ที่ผิวเส้นใย และผลการย้อมสีแอซิดบนเส้นใยไหม พบว่า ในภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพการลอกกาวไหมได้ดีเทียบเท่ากับวิธีการดังเดิมคือใช้สบู่และโซเดียมคาร์บอเนตในการทำ แต่มีข้อดีกว่าในเรื่องของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการที่ใช้ลดน้อยลง เป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการกระบวนการได้ส่วนหนึ่ง และการใช้น้ำยางจากมะละกอยังเป็นการใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้งาน ทำให้ไม่เกิดการตกค้างของสารเคมีในกระบวนการ นอกจากการใช้ยางมะละกอแห้งแล้วในการวิจัยนี้ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมส่วนของน้ำยางสดอีกด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถทำการลอกกาวไหมได้เช่นเดียวกัน แต่ไม่ได้มีการรายงานผลไว้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพที่ดีของการลอกกาวไหมสามารถสังเกตได้อีกทางหนึ่งคือผลการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีแอซิด ถ้ามีประสิทธิภาพการลอกกาวที่ดีจะต้องมีการติดสีบนเส้นใยไหมอย่างสม่ำเสมอ ในการศึกษานี้ก็ได้ผลการวิจัยในเรื่องความสม่ำเสมอของการติดสีบนเส้นใยเป็นที่น่าพอใจ

ในส่วนของลักษณะปรากฏที่เกิดขึ้นบนเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวไหม สามารถสังเกตได้ว่าเส้นใยที่ได้มีความอ่อนนุ่ม มีผิวสัมผัสที่ดี มีลักษณะฟูขาว และมีความมันเงาที่ดี ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติเฉพาะตัวของเส้นใยไหมทั้งสิ้น จึงกล่าวได้ว่าในการศึกษานี้สามารถนำวัตถุดิบธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการลอกกาว เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการศึกษา และประยุกต์การทำงานได้เป็นอย่างดี เส้นใยที่ได้มีความคงทนและคงคุณลักษณะที่ดีของเส้นใยไหมได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. ทวีเกียรติ์ ยิ้มสวัสดิ์. มะละกอ. กรุงเทพมหานคร : กรุงสยามการพิมพ์,2527.
2. บุญชัย สนธยานนท์และคณะ. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ม.ป.ท.,2543.
3. ประเทือง จุลเอียด. การผลิตปาเปนจากมะละกอพันธุ์แขกดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2533. ถ่ายเอกสาร.
4. ปราณี อ่านเปรื่อง. เอนไซม์ทางอาหารตอนที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2533.
5. โมโตอิ มินากาวะ. วิทยาการไหม เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : ม.ป.ท,ม.ป.ป.
6. ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. "ไหม-ราชินีของเส้นใยธรรมชาติ". คัลเลอร์เวย์ (Colorway) ปีที่ 2 ฉบับที่ 12 (มีนาคม – เมษายน 2540) หน้า 38-40.
7. อุตสาหกรรม, กระทรวง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์-อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ เล่ม 8 . กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2518.
8. Akahane, K., and Umeyama, H. Binding Specificity of Papain and Cathepsin B. Enzyme 36, 141, 1986.
9. กรมส่งเสริมการเกษตร. ไหม. ที่มา http://www.doae.go.th/plant/mhon.htm-12k, November 22;2004.
10. ชินวัตรไหมไทย. ไหม. ที่มา http://ns.yupparaj.ac.th, November 17;2004.
11. Drug Digest. Papain. ที่มา http://www. drugdigest.org.th. November 15;2004.
12. Infothai CM Co.,Ltd. Elegant Thai Silk. ที่มา http://www.chiangmai.com. December 8;2004.
13. V. T. D'Souza and K. Hanabusa, Papain and its Relationship to the Serine Proteases. ที่มา http://www.cgl.ucsf.edu/home/glasfeld/tutorial/Pap/Pap.html. November 5;2004.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Papain Production

Introduction

A common enzyme known as papain is obtained from the green papaya (pawpaw) fruit. Enzymes are proteins that can increase the rate of biological changes such as the ripening of fruit. At the end of an enzyme catalyzed reaction the enzyme itself is unchanged and is able to react again.

Enzymes can be generally recognized by the ending -ase. This either indicates the nature of the substance affected by the enzyme (e.g. carbohydrase acts on carbohydrate material and proteases acts on proteins) or to indicate the nature of the reaction e.g. transferases catalyze the transfer of atoms or groups of atoms within a substance.

Enzymes occur naturally in foods and many traditional food processing technologies involve the use of enzymes. Today, with more advanced knowledge of food science these enzymes can be extracted, concentrated and added to foods during processing (e.g. meat tenderizers). Table 1 describes some of the traditional technologies and the enzymes involved. It is worthwhile noting that only relatively recently has a detailed understanding of the enzyme-catalyzed reactions involved in these food processing technologies become known.

Table 1: Traditional food processing using enzymes

Traditional food processing technologies	**Enzymes used**	**To catalyze reaction**	**Reason**
Breadmaking	Amalase in flour Maltase in yeast Zymase in yeast	Starch-maltose, maltose-glucose, glucose-carbon dioxide & ethanol	Produce sugars for yeast action and CO_2 to aerate bread
Cheese production	Rennin in rennet	Coagulation of milk protein	To help form curd
Alcoholic drink	Amylases, maltases and zymase in raw materials	dioxide & ethanol	Produce sugars for yeast action and CO^2 for 'texture'
Tea and coffee	Oxidases in leaf and bean	Polymerisation of colourless phenlic compounds to brown	Give desirable colour and flavour to tea infusions

One important group of enzymes are called proteases. These are enzymes which catalyze the breakdown of proteins. Childproofing of beer, see Table 1, tenderization of meat and the production of dough for pizzas and batters for waffles and wafers are applications of proteases in the food processing industry. The most common of these proteases is papain.

A word of caution - there are a number of special difficulties in setting up small-scale papain production and very thorough research is needed before attempting to start such a programmed. Specifically these are as follows:

- Papain is potentially dangerous - prolonged contact will damage the skin of workers' hands and in some cases it may cause allergic reactions.

- The market for papain in Europe is getting smaller as alternatives are found and it may be banned from some foods (e.g. beers) in the near future.

- Low grade (sun dried) papain has a much smaller market than higher quality spray dried papain (see below). Therefore a thorough market survey should be made to ensure that the product can be sold.

- Plantations of papaya trees are needed for economical production-collection from a few trees in home gardens is not a viable activity.

Papain: source and uses

Papain is in the dried latex obtained from the papaya fruit (Carica papaya L). It is the protease which is most commonly used for the food processing applications mentioned above. However, other proteases which are important are ficin which is obtained from figs and bromelain which is obtained from pineapple.

Papain is used in the pharmaceutical industry, in medicine as well as in the food processing industry (e.g. in the preparation of vaccines and for the treatment of hard skin). It also has veterinary applications such as deworming of cattle. Papain is also used in the tanning of leather and has applications in the paper and adhesive industries as well as in sewage disposal. Medical research includes plastic surgery on cleft palates using papain.

Methods of collection and extraction

Papain is obtained by cutting the skin of the unripe but almost mature papaya and then collecting and drying the latex which flows from the cuts. Tapping of the fruit should start early in

the morning and finish by mid-late morning (ie during periods of high humidity). At low humidity the flow of latex is low.

Two or three vertical cuts (except the first cut, see below) 1 – 2 mm. deep are then made, meeting at the base of the fruit. The incisions are made using a stainless steel razor blade set into a piece of rubber attached to a long stick. The blade should not protrude more than about 2mm as cuts deeper than 2mm risk juices and starch from the fruit pulp mixing with the latex which lowers the quality.

Fruits should be tapped at intervals of about 4 - 7 days and for the first tapping it is usually sufficient to make only one cut. On subsequent tapings the two or three cuts are spaced between earlier ones (as explained above).

After about 4-6 minutes the flow of latex ceases. A dish is used to collect the latex and the latex is then scraped into a polythene lined box with a close fitting lid; such a box should be stored in the shade. The use of a close fitting lid and keeping the box in the shade are both important because they reduce the reactions which cause the loss of enzyme activity. Foreign matter such as dirt and insects in the latex should be avoided. Latex adhering to the fruit should be carefully scraped off and transferred to the collecting box. However, dried latex should not be mixed with fresh latex as this lowers the quality.

When handling fresh latex, care should be taken to ensure that it does not come into contact with skin as it will cause burning. Neither should it come into contact with heavy metals such as iron, copper or brass as this causes discoloration and loss of activity. Pots, knives and spoons should not be used unless they are made from plastic or stainless steel. Fresh latex does not keep well and should be dried to below 5% moisture (when it will have a dry and crumbly texture) as soon as possible.

After two or three months the fruits are ripe and should be removed from the tree. The ripe fruits are edible but have very little sale value because of their scarred appearance. However, the skin of the green ripe papaya does contain about 10% pectin (dry weight) and the fruits could be processed to extract this.

Drying of papaya latex

The method of drying is the main factor that determines the final quality of papain. There have been various grades used since papain became an international commodity. Up to the mid

1950s when papain from Sri Lanka dominated the market three grades were known: 1 - fine white powder, 2-white oven-dried crumb, and 3-dark sun-dried crumb.

Up to the 1970s there were two grades: 1- first or high grade oven-dried papain in powder or crumb form usually creamy white in colour, and 2-second or low grade sun dried brown papain in crumb form.

Since 1970 as a result of new processing techniques papain has been re-classified into three groups: 1-crude papain - ranging from first grade white down to second grade brown. 2-crude papain in flake or powder form - sometimes referred to as semi-refined. 3-spray dried crude papain -in powder form, referred to as refined papain.

Sun drying

Sun drying gives the lowest quality product as there is considerable loss of enzyme activity and the papain can easily turn brown. However, in many countries sun drying is still the most common processing technique for papain. The latex is simply spread on trays and left in the sun to dry.

Oven drying

Papain driers can be of simple construction. In Sri Lanka they are generally simple out-door stoves (about one meter high) made out of mud or clay bricks. Drying times vary but an approximate guide is 4-5 hours at a temperature of about 35 - 40°C. Drying is complete when the latex is crumbly and not sticky. A better quality product is obtained if the latex is sieved before drying. The dried product should be stored in air-tight and light-proof containers (e.g. sealed clay pots or metal cans) and kept in a cool place. Metal containers should be lined with polythene.

Spray drying

This is not possible at small-scale. A considerable investment in equipment (eg £10,000) is required. However, spray dried papain may be bought for the small-scale processing of foods.

Spray dried papain has a higher enzyme activity than other papains and is totally soluble in water. Extreme care must be taken when handling this form of papain because it can cause allergies and emphysema if inhaled. For this reason spray dried papain is often encapsulated in a gelatin coat.

Enzyme activity

If papain is to be exploited commercially for an export market or local food industry use, it is important to be able to determine the enzyme activity. The method is known as assaying. The assaying could be carried out by, for example, the National Standards office.

Papain is used to hydrolyse (or breakdown) proteins. Therefore assays to measure papain activity are based on measuring a product of the hydrolysis. There are two main assay methods. The first relies on the ability of papain to clot milk. It is a low cost method but is time consuming. Also the lack of a standard method to find the clotting point and variations in the milk powder used can introduce errors.

In this method a known amount of papain sample (made by dissolving a known weight of papain in a known volume of a solution of acetic acid) is added to a fixed amount of milk (made by dissolving a known weight of milk powder in a known volume of water) which has been warmed to 30 °C in a water bath.

The contents are thoroughly mixed and then observed until the first signs of clotting (formation of lumps) are detected. The time taken to reach this stage, from when the papain was added to the milk, is recorded. The experiment is then repeated using different known amounts of papain solutions. The different amounts of papain sample used should give a range of clotting times between 60 and 300 seconds for optimum results.

The activity of the papain sample is then calculated by plotting a graph, finding the time taken to clot milk at an infinite concentration of papain and then using that value in a formula to calculate the activity.

To introduce a measure of standardization the amount of milk can be fixed at a certain known concentration. This is done by reacting a known concentration of high grade papain with the milk. The concentration of milk powder solution can then be adjusted to obtain the desired clotting time under fixed reaction conditions. The 'activity of pure papain' at this known amount of milk can then be calculated. Testing the sample papain under the same reaction conditions and same (known) amount of milk will then give an activity relative to the pure papain.

The second method is based on the science of the absorption of light known as absorptiometry. This is the analytical technique for measuring the amount of radiation (or 'color' of light) absorbed by a chemical solution.

It is known that, for example, a yellow-colored solution will absorb blue light. (Blue is the 'complement color' to yellow). The greater the concentration of yellow in the solution the more the absorption of blue light. This is a useful discovery because certain products of chemical reactions are colored. The more intense the color, the greater the concentration of product. Therefore by shining the relevant complement color through the sample liquid the amount of light absorbed can be related to the concentration of product.

Not all 'colors' (or radiations of light) are visible to the human eye. The technique used when the 'colors' extend beyond the visible spectrum is known as spectrophotometry and the instrument used is called a spectrophotometer.

In the second method to determine the activity of a papain sample, a known amount of papain sample is mixed with a fixed amount of casein (the protein found in milk). The reaction is allowed to proceed for 60 minutes at 40 °C. After this time, the reaction is stopped by the addition of a strong acid.

The product of the reaction is known as tyrosine which is known to absorb ultra-violet light (invisible to the human eye). The solutions containing the tyrosine are prepared for analysis using the spectrophotometer. The amount of ultra-violet light absorbed by the solution can be related to the number of tyrosine units produced by the papain sample. Hence the greater this number, the greater the activity of the papain sample.

World trade in papain

The principal producers of crude papain are Zaire, Tanzania, Uganda and Sri Lanka. Most of the spray-dried papain comes from Zaire.

The principal importing countries are the United States, Japan, United Kingdom, Belgium and France. Almost all the best quality papain goes to the United States.

Crude papain is used, in Britain, in the brewing industry for chill-proofing beer and lager. However, the increasing trend for additive free beers initiated by other European countries is taking effect in Britain and so this market for papain is declining. Another use for papain is in the meat industry for the tenderization of meat and the production of meat tenderizing powders.

Papain

Papain is a sulfhydryl protease from *Carica* papaya latex. (A second protease, chymopapain, and a lysozyme have also been isolated from this same source.) Since native crystalline papain is quite unreactive until acted upon by mild reducing agents such as cysteine or cyanide, it may exist as a zymogen (Brocklehurst and Kierstan 1973). For a general review, see Liener (1974). Barrett and Buttle (1985), Polgár (1984) and Brocklehurst and Salih (1983) report on the classification of papaya latex proteinases. Papain has wide specificity. In her review, Arnon (1970) has indicated that it will degrade most protein substrates more extensively than the pancreatic proteases. It is also an esterase. Papain has been reviewed by Smith and Kimmel (1960). It has been reported by Sluyterman and Wijdenes (1972) that the action of papain on leucine methyl ester produces an insoluble polyleucine peptide. The finding of Thomas (1956) that papain breaks down the intercellular matrix of cartilage (see also McCluskey and Thomas 1958), led to its further study as a chondromucoproteinase (Smith *et al.* 1962).

Proteolytic enzymes are widely used in cell isolation. With some tissues papain has proved less damaging and more effective than other proteases. Lam (1972) found that of the enzymes used for dissociating turtle retina, papain produced the least trauma. Intact single photoreceptor cells have also been isolated from adult salamander retina with papain (Bader *et al.* 1978, Townes-Anderson *et al.* 1985). Huettner and Baughman (1986) descrbed a method using papain to obtain high yields of viable, morphologically intact cortical neurons from postnatal rats. Finkbeiner and Stevens (1988) applied the Huettner and Baughman method to the dissociation of postnatal rat hippocampus. Papain is used with fetal as well as postnatal brain regions to provide maximal dissociation and viability of neurons.

Characteristics of Papain from *Carica* Papaya:

Molecular weight : 23,000 (Dreuth *et al.* 1968).

Composition : Papain is a single peptide chain of 211 residues folded into two parts that form a cleft (Dreuth *et al.* 1968). A three-dimensional structure has been indicated by Wolthers *et al.* (1970). The molecule has one free SH group which is functional (Smith *et al.* 1975; Shipton *et al.* 1975). According to Alecio *et al.* (1974) there are seven subsites each capable of accommodating a single amino acid residue of a peptide substrate. See also Glick and Brubacker

(1974). Other reports on molecular information and its relation to activity are as follows: Fink and Gwyn (1974), Lewis and Shafer (1974), Akalski *et al.* (1973), Allen and Lowe (1973), Brocklehurst and Little (1973), Mole and Horton (1973), Banks and Shafer (1972), Brocklehurst *et al.* (1972), Campbell and Kaiser (1971, 1972), Sluyterman and Wijdenes (1972), Hinkle and Kirsch (1971) Jori *et al.* (1971), Lowe and Yuthavong (1971) and Steiner (1971).

Optimum pH : 6.0 - 7.0.

Extinction coefficient: 25.0 (Mitchel *et al.* 1970).

Isoelectric point : pH 9.6 (Sluyterman and DeGraff 1972).

Activators : Papain is activated by cysteine, sulfide, sulfite, etc. It is enhanced when heavy metal binding agents such as EDTA are also present. Kirschenbaum (1971) indicated that N-bromosuccinimide enhances the activity. Hall *et al.* (1972) report on the affects of acridine dyes.

Inhibitors : Substances which react with sulfhydryl groups including heavy metals, carbonyl reagents (Morihara 1967). Westerik and Wolfenden (1972) have studied aldehydes as papain inhibitors and Sluyterman and Wijdenes (1973) report on benzoylamidoacetonitrile as an inhibitor. See Shapira and Arnon (1967) on antibody inhibitors. Papain may be inactivated by H_2O_2 generated by [[gamma]]-irradiation of H_2O- the active SH group being oxidized to sulfenic acid. (Lin *et al* 1975). See also Allison and Swain (1973).

Stability : Papain as a crystalline suspension is stable at 5 °C for 6 - 12 months. Stabilizing agents are EDTA, cysteine and dimercaptopropanol. To enhance stability as well as solubility it may be advantageous to convert crystalline papain to its mercury derivative (Brubacher and Bender 1966).

Papain and its Relationship to the Serine Proteases

Goals

In Exercise Six, the goal is make a comparison between the active sites of the serine proteases, trypsin and subtilisin, and the cysteine protease, papain.

Background

One of the fundamental goals of enzymology is to identify those characteristics of enzyme structure that have led to the unusual levels of rate enhancement that characterize biological catalysts. Frequently, however, catalytic traits are catalogued without any certainty that the behavior under consideration has played an important role in promoting catalysis. It is likely that some aspects of enzyme mechanism merely reflect a historical accident in the ancestry of the enzyme and play no important role in the molecule's ability function (not unlike the vestigial hair on our forearms that offers no particular warmth). Therefore, it is frequently of interest to seek parallels from a variety of enzymes, to show trends and consistent choices that have been made in optimizing catalytic function. For example, if two enzymes perform the same type of chemistry and use the same mechanism, yet they are completely unrelated in other, structural aspects, we would feel comfortable in assuming that the shared mechanism offers some strong advantage to the enzymes.

Thus, enzymologists are excited to find examples of convergent evolution: cases where two enzymes of unrelated ancestry have converged on a common catalytic mechanism. An analogous example of convergent evolution in anatomy would be to consider similarities in the morphologies of dolphins and sardines - two unrelated animals that have independently developed similar solutions to swimming. In enzymology, the classic case of convergent evolution is that of the serine proteases. At least twice in history, protein molecules have been adapted to the task of catalyzing the hydrolysis of other proteins through the use of nucleophilic serine residue that is part of a "catalytic triad" including a neighboring histidine and aspartate (Figure 6.1).(1) The trypsin class of serine proteases is structurally distinct from the subtilisin class in every way except in the immediate vicinity of the active site, where the structural details of the catalytic residues are closely shared. The strong analogous nature of these two active site geometries has been taken as clear evidence of the inherently superior qualities of the catalytic triad in hydrolyzing the peptide bond.

Armed with such knowledge there have been a variety of attempts to reproduce the catalytic triad in small organic molecules, in hopes of reproducing nature's efficiency in protease activity.(2)

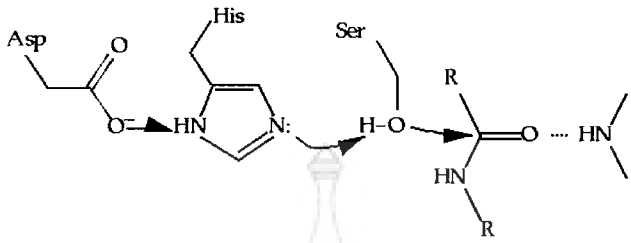


Figure 1

Figure 1 The catalytic triad of serine proteases, demonstrating the proton relay involved in increasing the negative charge on the serine oxygen. Another shared feature of the serine proteases is the "oxyanion hole," which helps stabilize the growing negative charge on the peptide oxygen through hydrogen bonding.

With all the interest in the comparisons of trypsin and subtilisin, another related class of proteases is often overlooked. The cysteine proteases are another class of proteolytic enzymes that use nucleophilic catalysis in hydrolyzing the peptide bond, with the significant difference being that they use cysteine instead of serine. Papain is a cysteine protease isolated from papaya fruit which is used as Adolph's meat tenderizer and in Tide. Cysteine 25 has previously been identified as the active site nucleophile. Its function is directly analogous to that of Ser195 in trypsin and chymotrypsin. In this exercise you will further inspect the active site of papain in order to identify other structural features in papain's active site that are analogous to those found in the serine proteases. By adding a third point of comparison, you will further define those structural features that are essential for catalysis, while also being able to distinguish those features that may be essential for enhancing the nucleophilicity of serine from those that are preferable for cysteine.

The Model

In order to investigate the binding of peptide substrates to papain, Schroeder and coworkers solved a crystal structure of papain in which the free enzyme has covalently reacted with the inhibitor leupeptin, shown in Figure 2. The coordinates for this structure may be found in the 1pop.full. This structure was refined with X-Plor, which includes a number of hydrogen atoms in the structure during refinement. While they are not observed crystallographically, they do appear in the final model. Another unusual feature of this structure is the presence of two types of solvent

molecules, HOH and MOH, representing water and methanol respectively. Their presence has no impact on this exercise.

In this structure, cysteine 25 has become covalently attached to a carbonyl carbon through the formation of a thiohemiacetal. Note that this inhibitor is not entirely equivalent to a substrate for the enzyme. The true covalent adduct formed between the substrate and the enzyme would be a thioester with the cysteine sulfur bonded directly to the carbonyl carbon (here a hemithioacetal group). Given this distinction. be careful not to interpret interactions around the carbonyl group too strictly. Differences will exist when the acyl.enzyme covalent complex forms.

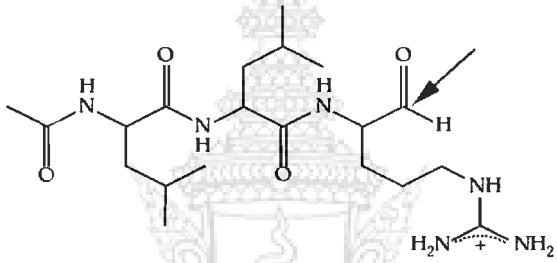


Figure 2

Figure 2 Leupeptin, an inhibitor of papain. This molecule is an example of a site-directed covalent inhibitor. The peptide portion of the inhibitor assures that the molecule will bind in the active site, placing the reactive aldehyde functionality (identified with an arrow) in close proximity to the active site nucleophile. In this way, non-selective modification of other nucleophilic residues (particularly lysine) in the protein is avoided.

Papain

Enzymes accelerate reactions within body cells. In the human body, the pancreas usually produces enzymes that break down foods into nutrients that the body can use for energy and other functions. Enzyme deficiencies are rare, but individuals who have cystic fibrosis or diseases of the pancreas may not produce enough natural enzymes to digest foods properly. Papain, an enzyme produced by the tropical fruit, papaya, is proteolytic, which means that it digests proteins. Frequently, papain is included in prescription combinations of digestive enzymes to replace what individuals with cystic fibrosis or pancreas conditions cannot produce naturally. Because it improves digestion in general, papain has also been used orally to treat less serious digestion disorders such as bloating and chronic indigestion. Since parasitic organisms are largely proteins, papain has sometimes been taken internally to eliminate intestinal worms, but this use is rare today.

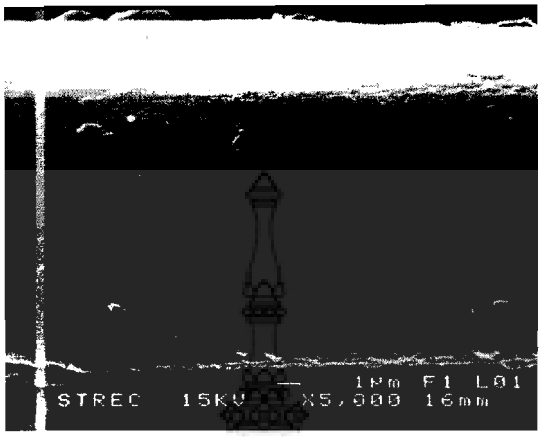
In several studies of cancer patients, oral enzyme supplements containing papain helped to relieve treatment side effects such as mouth sores and difficulty swallowing. Chemicals in papain may increase immune system function and they may also promote the release of natural chemicals that attack tumor cells. Papain may lessen inflammation, as well. All of these potential effects may make papain-containing preparations useful as an addition to cancer therapy. An oral prescription product containing papain and other enzymes has orphan drug status in the United States for the treatment of multiple myeloma, a form of bone marrow cancer. An orphan drug has received approval from the U.S. Food and Drug Administration (FDA) because it shows effectiveness for treating severe or rare diseases that usually have few other treatment options.

In other research, papain and related enzymes have been studied for oral use in several conditions. Some evidence shows that they may help to prevent complications of diabetes, possibly by lessening protein deposits in the kidneys. Proteolytic enzymes such as papain may also decrease pain and inflammation associated with rheumatoid arthritis, improve healing of injuries, and reduce swelling after surgery. In Europe, papain is available as an ingredient in several non-prescription products that are sold for relieving inflamed and swollen respiratory tract tissue. General stimulation of immune response and decreases in inflammation are thought to be responsible for some of these observed effects, but other possible causes are not clear. Results of some studies are inconclusive, and more study is needed before papain can be recommended for these conditions.

Topically, papain has been used for skin conditions such as psoriasis. Its ability to break down proteins is used to remove dead tissue from burns, to help skin injuries heal, to remove warts, and to treat ringworm. Cold sores caused by Herpes zoster virus have been treated successfully with both oral and topical papain-containing products. In one small study of individuals with Herpes zoster, an oral papain product was as effective as a prescription antiviral medication in resolving pain, but not redness. A year-long observational study of more than 400 women found that those who ate papaya at least once a week were less likely to have chronic infections with human papilloma virus (HPV), a common sexually transmitted disease. In laboratory studies, topical application of papain has also shown some antibacterial properties, which may be due to papain's interference with an enzyme that certain bacteria produce. Further study is needed to prove or disprove its possible antibacterial effects, however. An injectable form of chymopapain, an enzyme closely related to papain, has been used to treat herniated ("slipped") discs in the spine. It is used more in Europe and other countries than it is in the United States.

ภาคผนวก ข

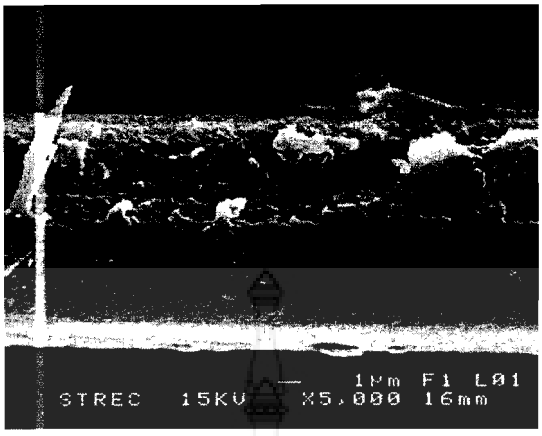
สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว



เส้นใยไหมดิบ

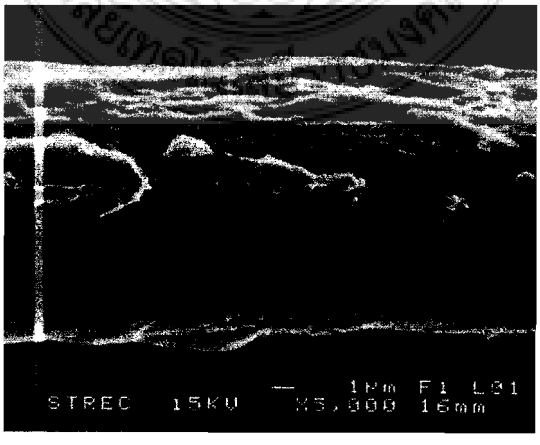
เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยน้ำสบู่ + โซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยน้ำสบู่ + โซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

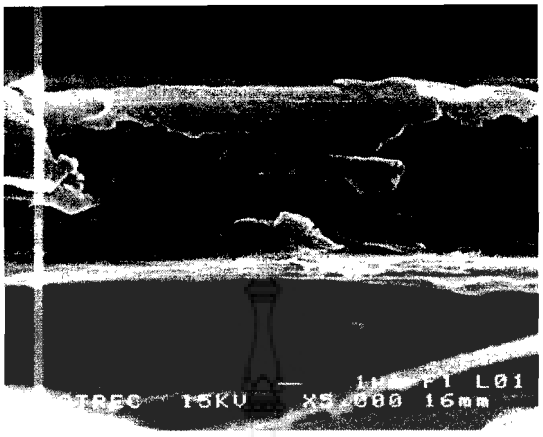


เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยน้ำสบู่ + โซเดียมคาร์บอเนต
ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf
ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

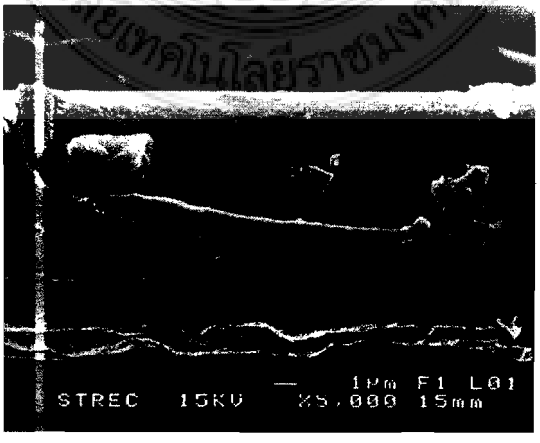


เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf
ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที



เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf
ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf
ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที



เส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยยางมะละกอความเข้มข้น 4 %owf
ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที