

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 ไหม

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ชนิดหนึ่ง คือ หนอนไหม (silkworm) โดยเป็นเส้นใยที่หนอนไหมผลิตขึ้นมาพันหุ้มตัวมันเองในระยะเวลาที่เป็นดักแด้ (pupae) เพื่อเป็นเกราะป้องกันตัวเองจากศัตรู และการเปลี่ยนแปลงของอากาศ หรือคือส่วนที่เรียกว่า "รังไหม" (cocoon) นั้นเอง [2,3] เส้นไหมมีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว แตกต่างจากเส้นใยชนิดอื่น คือ [3,4]

1. ให้ความรู้สึกสัมผัสแห้งเสมอ แม้จะดูความชื้นไว้จนเกือบอ้อมตัว
2. มีความเงามัน เป็นประกาย
3. ดูความชื้นดี สวมใส่สบาย ไม่แนบติดตัว แม้เมื่อเปียก
4. อ่อนตัวแต่คงรูป จับจีบได้ดี
5. ความทนแรงดึง (tensile strength) สูง แข็งแรง ทนทาน

2.1.1 ประวัติของไหม [5]

ประวัติการเลี้ยงไหมในโลก

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สันนิษฐานว่าเริ่มต้นในประเทศจีนเมื่อประมาณ 4,700 ปีมาแล้ว มีตำนานเล่าว่าพระนางซีลิ่งชี (Xi Ling Shi) พระมเหสีของจักรพรรดิชวนหยวน (Xaun Yaun) ได้สังเกตเห็นรังไหม จึงเก็บไปและด้วยความบังเอิญนางกำนัลได้ทำรังไหมตกลงในถ้วยน้ำร้อน เมื่อดึงขึ้นพบว่าเส้นใยยาวมาก จึงทดลองนำมาทอผ้า จากนั้นมาจึงมีการเลี้ยงและผลิตไหมเป็นต้นมา ทำให้ประเทศจีนมีการผูกขาดการผลิตและการค้าขายผ้าไหมมาเป็นเวลามากกว่า 3,000 ปี จนกระทั่งต่อมาได้แพร่หลายไปยังประเทศอื่นๆ เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น แล้วสู่ตะวันตกทางอินเดีย สเปน และอิตาลี

ประวัติการเลี้ยงไหมในประเทศไทย

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในประเทศไทยเริ่มเมื่อใดไม่สามารถยืนยันได้ แต่สันนิษฐานว่าคนไทยที่อพยพมาจากประเทศจีนนำเข้ามา จนกระทั่งในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 ได้มีการสนับสนุนการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมโดยทั่วไปโดยเฉพาะในภาคอีสานมีการบำรุงและจัดตั้งหน่วยงานเฉพาะขึ้นในปี พ.ศ.2444 การจ้างผู้เชี่ยวชาญชาวต่างชาติมาให้ความรู้และการฝึกหัดราษฎรเรื่อยมา แต่การพัฒนานี้จำเป็นต้องใช้เงินเป็นจำนวนมากทำให้ในปี พ.ศ.2455 รัฐบาลได้ยกเลิกการบำรุงงานปลูกหม่อนเลี้ยงไหม

ต่อมาในปี พ.ศ.2475 ทางราชการได้กลับมาพิจารณาเรื่องการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมกันอีกครั้งและมีการพัฒนาการผลิตไหมอย่างต่อเนื่องจนมาถึงปัจจุบัน

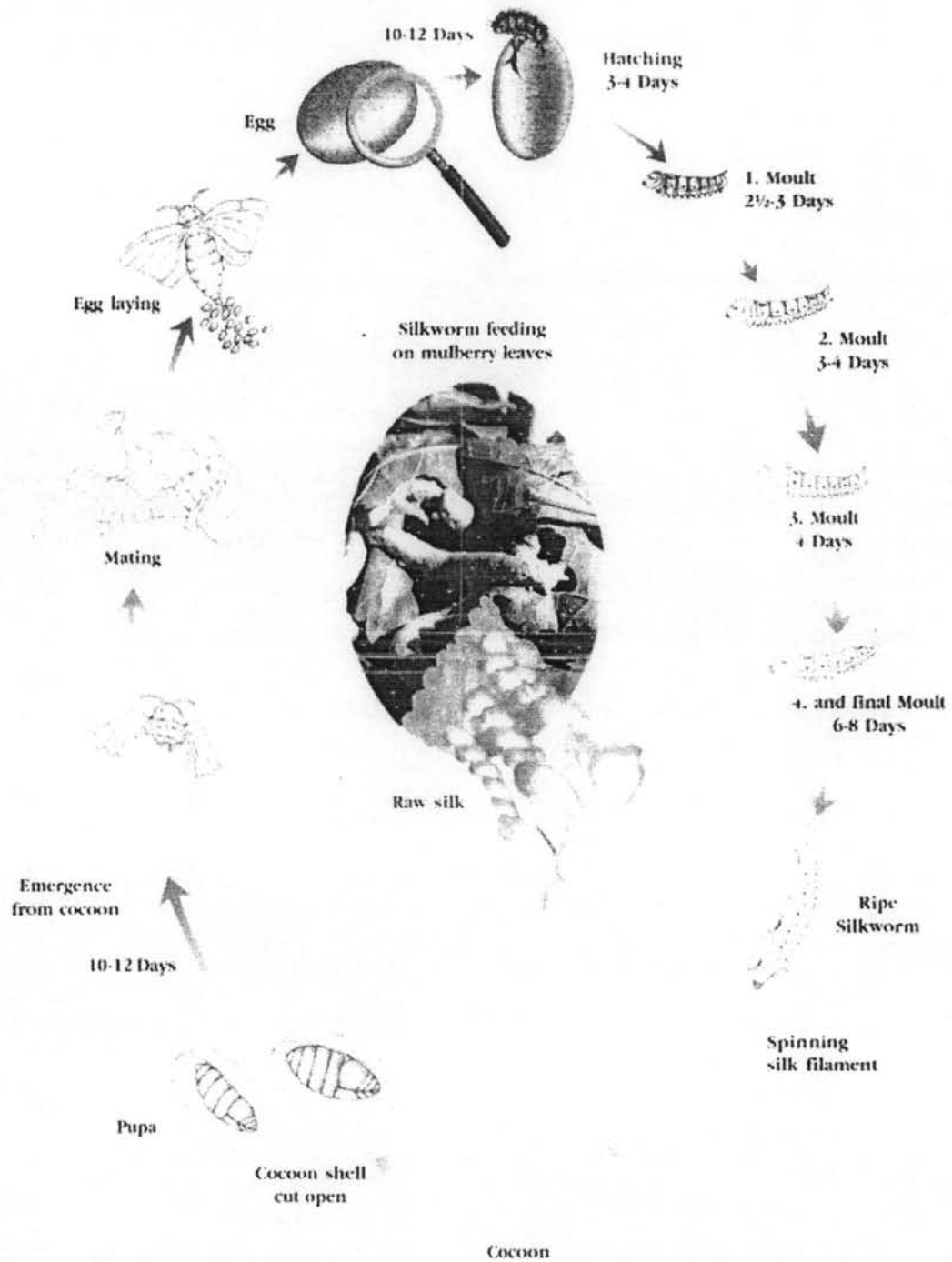
2.1.2 การผลิตเส้นใยไหม [6]

การผลิตและการเลี้ยงไหมนี้ประเทศญี่ปุ่นนับว่าเป็นประเทศที่มีพัฒนาและศึกษามาก มีการให้อาหารเทียมแทนใบหม่อนแก่หนอนไหม กระบวนการเพาะเลี้ยงไหม เรียกว่า sericulture เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาจากประเทศญี่ปุ่น โดยเริ่มตั้งแต่การพัฒนาพันธุ์ไหม และการทดลองในห้องปฏิบัติการ พันธุ์ไหมที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดคือ พันธุ์ *Bombyx mori* วงจรการเพาะเลี้ยงไหมจะเริ่มจากขั้นตอนการวางไข่ของผีเสื้อไหม หลังจากที่ไข่สุกและแตกออกตัวอ่อนของหนอนไหมจะถูกเลี้ยงด้วยใบหม่อนอ่อนโดยใช้เวลา 35 วัน หนอนไหมเจริญเติบโตได้เร็วมีน้ำหนักประมาณ 10,000 เท่าของน้ำหนักตัวเดิม หนอนไหมจะสร้างรังไหมซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เกิดจากหนอนไหมฉีดปล่อยของเหลวออกมาจากต่อม 2 ต่อมในรูเดียวกันจากส่วนหัวของตัวหนอน ดังนั้นจึงได้ออกมาเป็นเส้นใยคู่ที่เกาะติดกันด้วยกาวไหมเซริซินช่วงเวลา 2-3 วัน หนอนไหมบางสายพันธุ์สามารถปั่นเส้นใยออกมาได้ยาวถึง 1.6 กิโลเมตรล้อมรอบตัวของมันเอง เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโตต่อไปจะเปลี่ยนสภาพเป็นดักแด้แล้วเจริญเป็นผีเสื้อ จากนั้นก็ปล่อยสารที่สามารถละลายเส้นใยที่รังไหมให้ขาดออกเป็นรูเปิดออกมาสู่ภายนอกได้ ในธรรมชาติการผสมพันธุ์และวางไข่ใหม่ดังกล่าวเกิดขึ้นเพียงปีละครั้งเท่านั้นแต่ด้วยมีการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์สมัยใหม่อาจทำได้ถึงปีละ 3 ครั้ง วงจรชีวิตของไหมสามารถสรุปได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ไข่ ซึ่งต่อไปจะพัฒนาเป็นตัวหนอน
2. หนอนไหมปั่นเส้นใยออกมาเพื่อสร้างเป็นรังไหมเพื่อป้องกันตนเองและเจริญเป็นดักแด้
3. ดักแด้เปลี่ยนเป็นผีเสื้อ แล้วเจาะรังไหมออกสู่ภายนอก
4. ผีเสื้อไหมตัวเมียจะเริ่มวางไข่อันเป็นการเริ่มวงจรชีวิตใหม่ภายในระยะเวลา 3 วัน

หลังจากออกมาจากรังไหม ผีเสื้อจะเกิดการผสมพันธุ์และตัวเมียวางหนึ่งอาจให้ไข่ได้มากถึง 350-400 ใบ หลังจากนั้นก็จะตาย วงจรชีวิตของหนอนไหมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

Life cycle of silkworms (*Bombyx mori*)



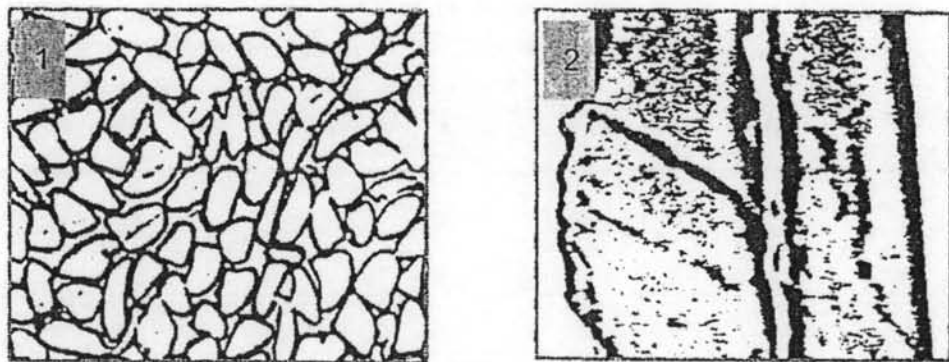
รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตของหนอนไหม [7]

เพื่อให้ได้เส้นไหมใหม่ที่ยาวต่อเนื่องจำเป็นต้องทำการฆ่าดักแด้ในรังไหมก่อนเสมอ วิธีการที่ทำกันก็คือ การนำรังไหมไปต้มซึ่งเป็นการต้มให้กาวไหมนิ่มและทำให้สามารถสาวออกเป็นเส้นได้ในขณะเดียวกันกาวไหมบางส่วนก็จะหลุดออกมาด้วย สำหรับเส้นไหมที่ขาดหรือที่เป็นส่วนด้านในของรังไหมนั้นจะมีความยาวที่ไม่มากก็จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายที่เรียกว่า ไหมปั่น (spun silk)

2.1.3 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นไหม

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น ตัวไหมจะมีต่อมซึ่งสามารถสร้างของเหลวโปรตีน 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน มีลักษณะเป็นเส้นใยคู่เนื่องจากต่อมที่รัดเส้นใยไหมของตัวหนอนไหมมีลักษณะเป็นสองรูคู่กัน ส่วนของเหลวอีกชนิด คือ เซรีซิน ซึ่งจะเคลือบเส้นใยไผโบรอินทั้งคู่ไว้ เซรีซินจะเคลือบโดยตลอดความยาว เซรีซินที่ชั้นกลางและชั้นในจะมีโครงสร้างการเคลือบที่สม่ำเสมอ

ภาพตัดขวางของเส้นไหม มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน [5] มีไผโบรอิน 2 เส้น ซึ่งถูกล้อมด้วยกาวเซรีซิน เมื่อสังเกตไผโบรอิน 1 เส้น จากกล้องจุลทรรศน์แบบออปติคัลจะพบว่ามีไฟบริล 50-150 เส้น (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-3 ไมโครเมตร) [8] แต่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะพบ ไฟบริล 900-1,400 เส้น (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-0.4 ไมโครเมตร) พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไผโบรอินนั้นไม่คงที่ตลอดเส้น โดยไผโบรอินชั้นนอกสุด ชั้นกลาง และชั้นในของรังไหม มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 80, 100 และ 60 ตารางไมโครเมตร ตามลำดับ



รูปภาพที่ 2.2 ภาพเส้นไหม 1) ภาพภาคตัดขวาง 2) ภาพตามยาวของไหม [6]

2.1.4 โครงสร้างทางเคมีของไหม

เส้นไหมดิบเป็นโปรตีน หรือพอลิเอไมด์ (polyamide) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดแอลฟาอะมิโน โดยทั่วไปแล้วเส้นไหมมีไฟโบรอินร้อยละ 70 เซรีซินร้อยละ 20-30 เส้นไหมจากรังไหมประมาณร้อยละ 97 เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ และส่วนประกอบอื่นๆ อีกเพียงเล็กน้อย เช่น ซึ่ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต วัตถุประสงค์ และสารอนินทรีย์

ส่วนประกอบของธาตุต่างๆในไฟโบรอิน อาจวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆได้ดังนี้ [6]

คาร์บอนร้อยละ	48.00 - 49.00
ไฮโดรเจนร้อยละ	6.40 - 6.51
ไนโตรเจนร้อยละ	17.35 - 18.89
ออกซิเจนร้อยละ	26.00 - 27.90

เมื่อลอกกาวเส้นไหมออกแล้ว จะมีไฟโบรอินซึ่งเป็นโปรตีนเหลืออยู่ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดแอลฟาอะมิโน จากการวิเคราะห์พบว่ามีกรดอะมิโนต่างๆ 18 ชนิด [9] ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างง่ายๆ เช่น ไกลซีน (glycine) เซรีน (serine) และอะลานีน (alanine)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซรีซินและไฟโบรอิน (กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม) [1,9]

ประเภทกรดอะมิโน	กรดอะมิโน	โครงสร้าง *	เซรีซินทั้งหมด	ไฟโบรอินทั้งหมด
Non-polar Amino acid	Glycine	H-A	8.66	41.25
	Alanine	CH ₃ -A	3.51	28.87
	Valine	(CH ₃) ₂ CH-A	3.14	2.63
	Leucine	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ -A	1.02	0.32
	Isoleucine	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)-A	0.77	0.44
	Proline	C ₅ H ₉ NHCH ₂ -A	0.66	-
	Phenylalanine	C ₆ H ₅ CH ₂ -A	0.50	0.58
Acid amino acid	Aspartic acid	HOOC(NH ₂)CHCH ₂ COOH	17.03	0.76
	Glutamic acid	HOOCCH ₂ CH ₂ CH(NH ₂)COOH	7.46	0.69
Basic amino acid	Arginine	NH ₂ C(NH)NH(CH ₂) ₃ -A	6.07	0.86
	Histidine	N(CH ₃) ₂ NHCCH ₂ -A	1.88	-
	Lysine	NH ₂ (CH ₂) ₄ -A	4.95	0.17

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซรีนและไฟโบรอิน (ต่อ)

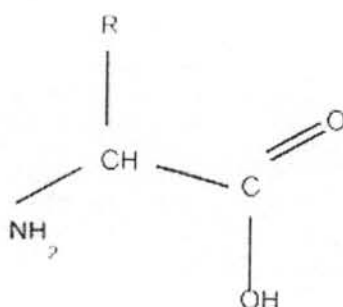
ประเภทกรดอะมิโน	กรดอะมิโน	โครงสร้าง *	เซรีนทั้งหมด	ไฟโบรอินทั้งหมด
Oxy amino acid	Serine	$\text{CH}_2\text{OH-A}$	27.32	13.22
	Threonine	$\text{CH}_3\text{CH(OH)-A}$	7.48	0.81
	Tyrosine	$\text{HOC}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{-A}$	4.43	10.96
Sulfur-complex Amino acid	Methionine	$\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{-A}$	-	-
	Cystine	$(\text{-S-CH}_2)_2\text{-A}$	0.20	-
รวม			95.08	101.56

หมายเหตุ * A คือ amino acid $-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$

กาวไหมประกอบกรดอะมิโนที่คล้ายกับไฟโบรอิน แต่สัดส่วนของกรดอะมิโนนั้นแตกต่างกัน ดังนั้นจะพบโครงสร้างโมเลกุลของทั้งสองส่วนที่ต่างกัน เนื่องจากกาวไหมไม่มีส่วนที่เป็นผลึกเลย จึงไม่สามารถหาข้อมูลจากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้

การศึกษาไฟโบรอินด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าไฟโบรอินประกอบด้วยโมเลกุลที่เรียงตัวเป็นระเบียบเป็นส่วนใหญ่และมี repeat pattern 6.95 องศาอังสตรอม ซึ่งสัมพันธ์กับกรดอะมิโน 2 ชนิด คือ ไกลซีน และอะลานีน

โครงสร้างไหมเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นแบบ $-\text{G-A-G-A}-$ ส่วนไหมป่าเป็น $-\text{A-A-A-A}-$ โดยที่ G คือ ไกลซีน และ A คือ อะลานีน [1]



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของกรดอะมิโน

2.1.5 สมบัติของไหม [6,9,10]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก	ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหม หลังการลอกกาวไหมออกแล้วจะแยกออกเป็นเส้นใยเดี่ยว เรียบ และพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน
ความยาว	ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาวโดยมีความยาวประมาณ 1,300-2,000 ฟุตต่อรัง แล้วแต่สายพันธุ์
ความแข็งแรง	ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูง มีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดขณะแห้งอยู่ที่ 3.5-5.0 กรัมต่อดีเนียร์และความแข็งแรงขณะเปียกจะลดลงประมาณร้อยละ 15-25
การยืดตัวและการหดกลับ	ยืดตัวได้สูงสุดร้อยละ 15 ถ้ายืดออกไปร้อยละ 2 จะหดตัวกลับได้ถึงร้อยละ 90
ความคงรูป	เมื่อผ่านการซัก ผ้าจะหด แต่เมื่อตั้งและรีดผ้าจะคืนกลับเข้าสู่ขนาดเดิมได้
ความมัน	ภายหลังจากที่ลอกกาวแล้วไหมมีความมันดีมาก
สี	สีขาว สีเหลืองจนถึงสีเทา
ความร้อน	สามารถทนความร้อนได้ถึง 170 องศาเซลเซียส
การดูดซึมความชื้น	ร้อยละ 11 (ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65)
ความถ่วงจำเพาะ	1.25
สมบัติทางเคมี	
กรด	ไม่ถูกทำลายด้วยกรดทั่วไป แต่ถูกทำลายได้เมื่อกรดมีความเข้มข้นสูง
ด่าง	ถูกทำลายได้ด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงพอ ด่างแก่มีผลทำให้ความมันของไหมลดลง
เกลือคลอไรด์	ถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น

สารละลายอินทรีย์	ทนต่อสารละลายอินทรีย์ทั่วไป น้ำยาซักแห้งจะไม่ละลายเส้นใย
สารซักฟอก	ภายใต้ภาวะการซักปกติจะไม่เกิดผลเสียหายต่อไหม เช่น พวกสารประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือเปอร์บอเรต แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภทสารออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์
แสง	ผ้าไหมอ่อนไหวต่อแสงแดด ถ้าถูกโดยตรงเป็นเวลานาน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงจะลดลง
การย้อมสี	ย้อมได้ด้วยสีแอซิด สีเบสิก และสีไดเรกท์

สมบัติทางชีวภาพ

ปกติไหมจะไม่มีปัญหาเรื่องราและแมลง ยกเว้นเก็บไว้ในภาวะที่ค่อนข้างเปียกชื้น หรือผลจากสารที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ

สมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน

ไหมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีจึงเกิดไฟฟ้าสถิตได้ และไม่นำความร้อน

สมบัติการติดไฟ

เมื่อติดไฟจะลุกไหม้อย่างช้าๆ เมื่อนำออกจากเปลวไฟสามารถดับเองได้ กลิ่นเหมือนเส้นผมไหม้ ชี้เท้าเป็นเม็ดสีดำ เพราะ

2.1.6 ประโยชน์และการใช้งาน

ไหมมีสมบัติที่ดีหลายประการดังที่กล่าวข้างต้น ทำให้การใช้งานของไหมเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง ทั้งผ้าทอและผ้าถัก แล้วแต่การใช้งาน เช่น ผ้าบางเหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้าเนื้อเบา เบา ผ้าพันคอ ผ้าคลุมผม ผ้าหนาเหมาะสำหรับทำเสื้อผ้า กางเกง ผ้าเนื้อหยาบเหมาะสำหรับทำผ้าปูโต๊ะ เฟอร์นิเจอร์ ผ้าคลุมเตียง

นอกจากการใช้ผ้าไหมที่เป็นไหมร้อยละ 100 แล้วยังผสมกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อใช้งาน เช่น ไหมผสมกับฝ้าย ไหมผสมขนสัตว์ ไหมผสมลินิน [9]

2.1.7 การดูแลรักษา [9]

- ไม่ควรปล่อยให้ผ้าไหมที่เปราะเปื้อนหรือเปียกแห้งไคร่ไว้นานควรรีบซักทำความสะอาด เนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อเส้นไหมได้
- สามารถซักได้ทั้งแบบซักน้ำและซักแห้ง แต่การซักแห้งจะคงลักษณะที่สวยงามได้ ดีกว่า
- ควรใช้สารซักฟอกที่เป็นกลาง
- ควรตากในร่ม
- รีดด้วยไฟปานกลาง (148-170 องศาเซลเซียส)
- ควรเก็บผ้าไหมในที่ที่ปิดมิดชิด หลีกเลี้ยงแสงฟลูออเรสเซนต์

2.2 การลอกกาวยไหม (Silk degumming) [11,12]

การลอกกาวยไหมเป็นกระบวนการแรกที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อกำจัดกาวยไหม นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่อาจมีอยู่ในเส้นไหมเช่นสารหล่อลื่น หรือสารนุ่มที่เติมลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิตเป็นเส้นด้าย การทอหรือดักผ้า หรือกำจัดฝุ่นละออง สิ่งสกปรก น้ำมันหรือสีที่อาจเปื้อนติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตได้ ทำให้ไหมเกิดความเงามัน และนุ่มนวล มีการดูดซึมน้ำที่ดีขึ้นโดยความเป็นจริงแล้วการลอกกาวยไหมหรือ silk degumming ก็คือ การกำจัดสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในเส้นใยหรือที่เรารู้จักกันว่า scouring นั่นเองแต่เรามักใช้คำว่า scouring กับเส้นใยอื่นที่ไม่ใช่ไหม

หลักการลอกกาวยไหมคือการไฮโดรไลซ์กาวยไหมหรือทำลายพันธะเพปไทด์ของกาวยไหมให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน และโพลิโกเมอร์ของกรดอะมิโน การไฮโดรไลซ์กาวยไหมทำได้หลายวิธีเช่น การใช้กรด ต่าง เอนไซม์ หรือแม้กระทั่งการใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน สบู่ก็เป็นสารที่นำมาใช้ในการลอกกาวยไหมได้

วิธีที่ใช้ลอกกาวยไหมอาจเลือกใช้ได้ทั้งวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตามเราจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เส้นไหมเกิดความเสียหาย และต้องทำให้เกิดความสม่ำเสมอเพราะหากลอกกาวยไหมไม่สม่ำเสมอแล้วจะมีผลทำให้เส้นด้านหรือผ้าที่ย้อมได้ไม่สม่ำเสมอเป็นจุดๆ การลอกกาวยไหมมีหลายวิธีดังนี้

2.2.1 การลอกกาวยไหมด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water degumming)

การลอกกาวยไหมเส้นไหมเลี้ยงพันธุ์ต่าง ๆ สามารถกระทำโดยการย้อมเส้นไหมภายใต้ความดันสูงใช้น้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำแบบเดียวกันนี้ 3-4 ครั้ง การต้มไหมในน้ำเป็นเวลานานๆ จะค่อยๆ ทำให้เส้นไหมเกิดการเสื่อมสลายและถูกไฮโดรไลซ์อย่าง

ซ้ำๆ ในกรณีนี้หากใช้อุณหภูมิความดันสูงจะทำให้เส้นไหมเสื่อมสลายหรือถูกทำลาย (degrade) น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามอาจเกิดการดัดแปรโมเลกุลของโปรตีนเกิดขึ้น

2.2.2 การลอกกาวยไหมด้วยด่าง (Alkaline degumming)

ในการลอกกาวยไหมด้วยสารละลายด่างนั้นต้องคำนึงถึงพีเอชและอุณหภูมิ โดยหากลอกกาวยไหมด้วยสารละลายด่างที่พีเอชมากกว่า 9 กาวยไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์หลังจากทำการลอกกาวยได้เพียง 30 นาทีเท่านั้น อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 90 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เส้นไหมเปื่อย และพีเอชของอ่างลอกกาวยก็มีผลต่อระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเส้นใยไฟโบรอินด้วย อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (caustic soda, NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (caustic potash, KOH) เป็นสารละลายด่างที่ใช้ในการลอกกาวยไหม เพราะจะทำลายเส้นไหมได้ต่างที่ใช้ในการลอกกาวยไหมควรเป็นโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3 หรือ soda ash) หรือด่างที่อ่อนกว่า

2.2.3 การลอกกาวยไหมด้วยกรด (Acid degumming)

ในการลอกกาวยไหมด้วยสารละลายกรดที่พีเอชน้อยกว่า 2.5 หรือระหว่าง 1.5-2 กาวยไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรดแร่ (mineral acids) ได้แก่ กรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริกจะมีประสิทธิภาพในการลอกกาวยไหมมากกว่ากรดอินทรีย์ (organic acids) พีเอชของอ่างลอกกาวยก็มีผลต่อระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเส้นใยไฟโบรอินด้วย อย่างไรก็ตาม Gulrajani M.L. และคณะ(1992) ก็ได้ทำการทดลองลอกกาวยไหมเลี้ยงพันธุ์ *Bombyx mori* ด้วยกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น tartaric acid, succinic acid เป็นต้น พบว่ากรดอินทรีย์ต่างๆ จะให้ผลใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดกาวยไหมโดยดูจากร้อยละของน้ำหนักไหมสูญหายไป แต่หากพิจารณาร้อยละของน้ำหนักไหมสูญหายไปและความเหนียวของเส้นใย (tenacity) ภายหลังจากการลอกกาวยพบว่า succinic acid จะให้ผลดีที่สุด รองลงมาได้แก่ tartaric acid จากผลการวิจัยพบว่าหากลอกกาวยไหมด้วย tartaric acid สูตรที่ได้ผลดีที่สุดคือ tartaric acid 8 กรัม/ลิตร, สารช่วยเปียกไม่มีประจุ 3 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (หากอุณหภูมิลดลง เวลาต้องเพิ่มขึ้น) พีเอช ประมาณ 2.9-3.2 สามารถกำจัดกาวยไหมได้โดยน้ำหนักไหมสูญหายไปประมาณร้อยละ 21

2.2.4 การลอกกาวยไหมด้วยสบู่ (Soap degumming)

สบู่ได้ถูกนำมาใช้ลอกกาวยไหมกว่า 200 ปีแล้ว และปัจจุบันเราก็ยังพบว่ามีหลายโรงงานหรือหลายหมู่บ้านที่ยังคงใช้สบู่สำหรับลอกกาวยไหม การลอกกาวยไหมด้วยสบู่ต้องทำด้วยความระมัดระวังโดยต้มสารละลายสบู่และควบคุมพีเอช ให้เป็นด่างอ่อนๆ เท่านั้นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เส้นไหมถูกทำลาย วิธีนี้จะต้มสารละลายสบู่ที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง น้ำที่ใช้ก็ควรเป็นน้ำอ่อนหรืออาจมีการเติมสาร sequestering เพื่อลดความกระด้างของน้ำทั้งนี้เพื่อไม่ให้สบู่ตกค้างและเปื้อนติดอยู่ในเส้นไหม

2.2.5 การลอกกาวยไหมด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์ (Synthetic detergent degumming)

สารซักฟอกสังเคราะห์ได้ถูกนำมาใช้ลอกกาวยไหมแทนการใช้สบู่มากขึ้นเนื่องจากสบู่มีข้อด้อยหลายประการเช่น มีราคาแพง ต้องใช้ปริมาณสูง และเวลาลอกกาวยไหมถึง 1-2 ชั่วโมง และอีกเหตุผลหนึ่งคือ หากลอกกาวยไหมด้วยสบู่โดยใช้เครื่องจักรแบบต่อเนื่อง (continuous machine) สบู่จะไม่สามารถขจัดเศษหรือลดความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสกาวยไหมที่สะสมอยู่ในอ่างลอกกาวยไหมได้เหมือนสารซักฟอกสังเคราะห์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดกาวยไหมไม่ดีการลอกกาวยไหมด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์แทนการใช้สบู่จะลดการขึ้นขนของไหม (silk lice, piling) ด้วย

ในตลาดปัจจุบันมีสารซักฟอกสังเคราะห์สำหรับใช้ลอกกาวยไหมมากมาย แต่การเลือกสารซักฟอกสังเคราะห์ที่เหมาะสมก็มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะถ้าเราต้องการให้ไหมที่ผ่านการลอกกาวยไหมมีสัมผัสที่นุ่มนวลเหมือนกับที่ได้จากการใช้สบู่

การใช้สารซักฟอกสังเคราะห์ที่ไม่มีประจุเช่น สารประกอบ nonyl phenol ethoxylate ลอกกาวยไหมโดยควบคุมพีเอชอยู่ในช่วง 11.2-11.5 อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลาเพียง 40 นาทีพบว่า สามารถกำจัดกาวยไหมออกได้ในขณะที่เส้นไหมก็ยังคงมีความแข็งแรง

2.2.6 การลอกกาวยไหมด้วยเอนไซม์ (Enzymatic degumming)

เทคโนโลยีชีวภาพที่ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วทำให้เราสามารถผลิตเอนไซม์หลากหลายชนิดและมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน ประกอบกับเอนไซม์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อ Substrate สูง ภาวะที่ใช้ก็ไม่รุนแรง สามารถนำมาใช้ทดแทนสารเคมี ปริมาณที่ใช้ก็ไม่มากนัก สามารถประหยัดน้ำและพลังงาน ที่สำคัญสามารถตอบสนองต่อความต้องการในปัจจุบันที่ต้องการกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เอนไซม์เป็นทางเลือกหนึ่งที่มักนำมาศึกษาหรือใช้ในกระบวนการสิ่งทอ

การลอกกาวยใหม่ก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งทางสิ่งทอเช่นกันที่มีความพยายามนำเอนไซม์มาใช้แทนสารเคมี โดยเอนไซม์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการนี้จะต้องสามารถไฮโดรไลซ์เซรีซิน ซึ่งเป็นกาวยที่มีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นโปรตีน เรียกเฉพาะว่า Proteolytic enzymes ซึ่งก็คือ เอนไซม์โปรติเอส (protease) ที่ย่อยสลายโปรตีนได้นั่นเอง เอนไซม์ประเภทนี้จะเกาะติดที่พันธะระหว่างเพปไทด์สั้นๆ และกรดอะมิโน ความสามารถในการลอกกาวยใหม่ของ proteolytic enzymes เหล่านี้ขึ้นกับพีเอชของสารละลายลอกกาวย และเอนไซม์ที่แตกต่างกันก็จะมีแอกติวิตีที่ได้ผลดีที่สุด (optimum activity) แตกต่างกันไปสำหรับพีเอชที่แตกต่างกัน

2.3 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ คือ สารกลุ่มหนึ่งที่มีสมบัติในการเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเคมี (rate of chemical reactions) หรือ คือตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ข้อแตกต่างคือ เอนไซม์เป็นสารทางชีวภาพและมีความจำเพาะต่อการเร่งปฏิกิริยา เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น กรด, ด่าง, โลหะ โดยเอนไซม์หนึ่งๆจะเร่งปฏิกิริยาของพันธะที่เจาะจง [13] เพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้น (substrates) เฉพาะอย่างเป็นผลิตภัณฑ์ (products) เฉพาะอย่างเท่านั้น

เอนไซม์ทุกชนิดเป็นโปรตีน แต่มีเอนไซม์เพียงบางชนิดเท่านั้นที่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเอง (active protein) เอนไซม์หลายชนิดจำเป็นต้องมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่สารโปรตีน (non-protein component) ที่เรียกว่า "cofactor" รวมอยู่ด้วย จึงจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ ซึ่งเอนไซม์ประเภทหลังนี้ เรียกว่า "holoenzyme" และเฉพาะส่วนที่เป็นโปรตีน (inactive protein) จะเรียกว่า "apoenzyme" โดย cofactor อาจเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ (organic molecule) ซึ่งจะเรียกว่า "coenzyme" แทน หรืออาจจะเป็นไอออนของโลหะ (metal ion) ก็ได้ [3]

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของเอนไซม์ [3]

การที่นมเกิดการบูดเสีย หรือการหมักน้ำตาลจนกลายเป็นแอลกอฮอล์ถูกคาดว่าเป็นผลจากการกระทำของสิ่งมีชีวิต จนถึงศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ. 1833 จึงสามารถแยกอะไมเลส (amylase) ออกมาได้บางส่วน ต่อมาอีกไม่นานก็ได้มีการสกัดเปปซิน (pepsin) จากน้ำย่อยได้

คำว่า "enzyme" เสนอโดย Kühne ในปี 1878 โดยมาจากภาษากรีกว่า enzimé ซึ่งแปลว่า "in yeast หรือ ในยีสต์"

2.3.2 โครงสร้างของเอนไซม์ [13]

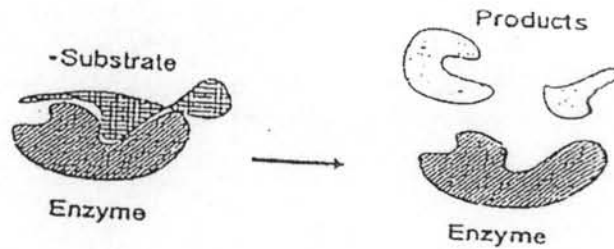
เอนไซม์เป็นสารโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งมีรูปแบบทั่วไป คือ NH₂-R-COOH (หมู่ R จะแตกต่างกันไปตามชนิดของกรดอะมิโน ทำให้กรดอะมิโนมีหลากหลายชนิด) ต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) (-COO-NH-) ซึ่งเกิดจากการควบแน่น โดยโมเลกุลของน้ำ (H₂O) หลุดออกมาเป็น by product ได้เป็นสายพอลิเปปไทด์ที่ยาวขึ้น [-NH-R-CONH-R-CO-] โดยแสดงการควบแน่นได้ดังนี้



เมื่อสายโซ่พอลิเมอร์ยาวขึ้นเรื่อยๆ พันธะไอออนิกและแรงดึงดูดอื่นๆ จะทำให้เอนไซม์กลายเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนในที่สุด

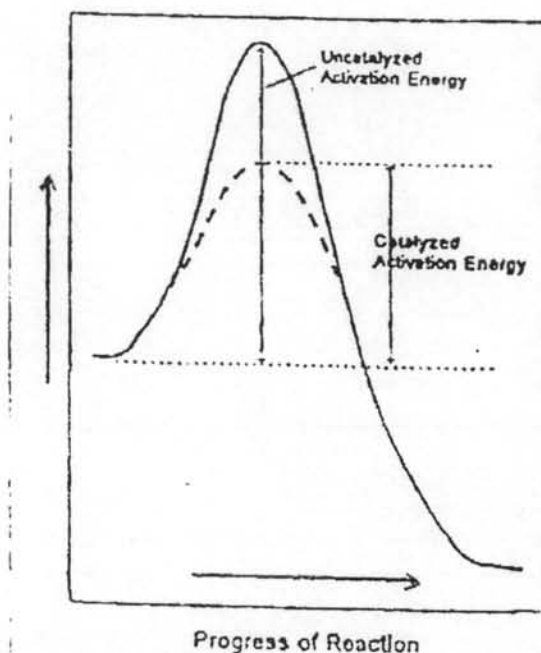
2.3.3 กลไกการทำงานของเอนไซม์ [3]

เอนไซม์มีรูปร่าง 3 มิติ ที่ค่อนข้างมีลักษณะเฉพาะ ซึ่งเมื่อรวมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ตำแหน่งของบริเวณเร่ง (active site) บนเอนไซม์ จะควบคุมความจำเพาะเจาะจงของโมเลกุล เอนไซม์จะถูกดูดซับไปบนผิวของ substrate ในลักษณะ "lock-and-key" เอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาของ substrate และสภาพแวดล้อมก่อนจะเปลี่ยนไปสู่ product



รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของเอนไซม์แบบ "lock-and-key"[3]

การเร่งปฏิกิริยาหรือการเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดจากการที่เอนไซม์จะไปลดพลังงานกระตุ้น (activation energy) ที่ต้องการสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเคมีให้ต่ำลง หรือเปลี่ยนแปลงเส้นทางของการเกิดปฏิกิริยาใหม่ให้เป็นเส้นทางที่ต้องการใช้พลังงานน้อยลง



รูปที่ 2.5 activation energy ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแบบมีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา[3]

เอนไซม์จะทำงานได้ผลที่ความดันบรรยากาศและสภาวะในเรือนกระจกของอุณหภูมิและพีเอชที่ไม่รุนแรง เอนไซม์ส่วนใหญ่ทำงานได้ผลดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส และพีเอชใกล้เคียงภาวะที่เป็นกลาง (พีเอชเท่ากับ 7) ปัจจุบันเอนไซม์ชนิดพิเศษได้ถูกพัฒนาขึ้นให้ทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นสำหรับการประยุกต์ในงานเฉพาะอย่าง กระบวนการที่ใช้เอนไซม์มีศักยภาพในด้าน การประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในเรื่องอุปกรณ์พิเศษที่ทนต่อความร้อน ความดันและการกัดกร่อน เนื่องจากความมีประสิทธิภาพ การทำงานที่เฉพาะเจาะจง สภาวะในการทำงานที่ไม่รุนแรง และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เอนไซม์จึงถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท

2.3.4 การจำแนกประเภทของเอนไซม์ (classification of enzymes) [13]

เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะในการเร่งปฏิกิริยาเคมี คือ เอนไซม์ต่างชนิดกันจะเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน จึงแบ่งเอนไซม์ออกตามประเภทของปฏิกิริยาที่ทำการเร่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ

1. Oxidoreductases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยา oxidation-reduction
2. Transferases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่ฟังก์ชัน เช่น amino, carboxyl, carbonyl, methyl, acyl, glycosyl หรือ phosphoryl
3. Hydrolases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการแตกออกของพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับอะตอมอื่น โดยน้ำ (hydrolysis reaction) ซึ่งโปรตีเอส (protease) จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มนี้
4. Lyases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการแตกของพันธะ คาร์บอน-คาร์บอน, คาร์บอน-ซัลเฟอร์, คาร์บอน-ไนโตรเจน
5. Isomerases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomer) และปฏิกิริยา oxidation-reduction ภายในโมเลกุล (intramolecular)
6. Ligases คือ กลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะระหว่างสารตั้งต้น 2 โมเลกุล

2.3.5 เอนไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) [3]

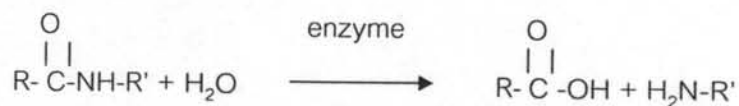
โปรตีเอส (protease) เป็นชื่อสามัญของเอนไซม์จำพวกหนึ่งในกลุ่ม proteolytic enzyme ซึ่งได้จาก พืช, สัตว์และจุลชีพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย โดย proteolytic enzyme นี้แบ่งออกเป็น 2 จำพวก คือ

1. protease (หรือ proteinase) เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสายโซ่กรดอะมิโนในโปรตีน
2. peptidase เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ของเอสเทอร์ และเอไมด์

ซึ่งการใช้งานในทางการค้า จะให้ความสนใจกับ protease มากกว่า peptidase และในงานวิจัยนี้ก็ได้นำ เอนไซม์โปรตีเอสมาใช้ในการลอกกาวยไหม

2.3.5.1 ชนิดและสมบัติของโปรตีเอส

โปรตีเอสเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนให้เป็นสายเปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโน (จัดเป็นเอนไซม์ประเภท hydrolases) โดยมีกลไกการทำงานขั้นพื้นฐาน ดังนี้



ซึ่งเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนนี้ สามารถจัดกลุ่มตามตำแหน่งพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ที่ถูกไฮโดรไลซ์ ได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ [14]

1. Exopeptidase ย่อยพันธะเปปไทด์จากด้านนอกของสายพอลิเปปไทด์เข้ามา
2. Endopeptidase ย่อยพันธะเปปไทด์ที่อยู่ภายในสายพอลิเปปไทด์ซึ่งโปรตีเอสที่จัดว่ามีความสำคัญในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มนี้ โดยแบ่งได้เป็น 4 จำพวกตามกลไกพื้นฐานของภาวะในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังนี้

- Acid Protease

- พบมากในเซลล์สัตว์ ราและยีสต์ พบบ้างในแบคทีเรียแต่น้อย
- มีกรดอะมิโน aspartate อยู่ที่ active site ของโมเลกุล
- ทำงานได้ดีในภาวะที่เป็นกรด (3-4)
- ถูกยับยั้งการทำงานโดย ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) และ Diisopropyl fluorophosphates (DFP)

เอนไซม์กลุ่มนี้ยังแบ่งได้อีกเป็น 2 พวกตามลักษณะโครงสร้าง คือ

- 1) Rennin and Rennin-like Acid Protease นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเนยแข็ง
- 2) Pepsin and Pepsin-like Acid Protease ใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก เช่น ใช้เร่งการย่อยโปรตีนของถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมทำซีอิ๊ว

- Thiol Protease

- ผลิตได้จากพืชและจุลินทรีย์บางชนิด เช่น papain จากยางมะละกอ, bromelain จากสับปะรด
- มีกรดอะมิโน cysteine อยู่ที่บริเวณ active site
- ทำงานได้ดีในภาวะที่เป็นกลาง (พีเอช 7)
- ถูกกระตุ้นการทำงานได้โดยไฮโดรเจนไซยาไนด์
- ถูกยับยั้งการทำงานโดยสารออกซิไดส์หลายชนิด

- Metallo Protease

- มีโลหะบางชนิดในสภาพไอออนช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และจะพบที่ active site ของโมเลกุล
- แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

1) Neutral Protease

- ~ มีไอออนของสังกะสี (Zn^{2+}) ที่ active site
- ~ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ช่วยเพิ่มความเสถียรของเอนไซม์
- ~ ถูกยับยั้งการทำงานโดย EDTA
- ~ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เบเกอรี่ การฟอกหนัง อาหารสัตว์ และยา

2) Alkaline – metalloprotease

- ~ มีโลหะที่ active site ของโมเลกุลและมีฤทธิ์เป็นด่าง
- ~ เรง่ปฏิกิริยาได้ดีในสภาพเป็นด่าง (พีเอช 7-9)
- ~ ถูกยับยั้งการทำงานโดย EDTA
- ~ เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมการซักล้างหรือซักฟอก เนื่องจากทนต่อสารประกอบฟอสเฟตและสารออกซิไดซ์ เช่น เปอร์บอเรตได้ดี

• Serine Protease

- ผลิตได้จากเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย โดยเฉพาะพบในแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus spp.* เป็นส่วนใหญ่
- มีกรดอะมิโน serine และ histidine ที่ active site
- เอนไซม์กลุ่มนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1) Trypsin-like Protease

- ~ พบใน actinomycetes จำพวก *Streptomyces sp.*
- ~ ไฮโดรไลซ์ได้เฉพาะพันธะเปปไทด์ระหว่าง arginine-glycine และ lysine-alanine เท่านั้น
- ~ ทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 4-11 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- ~ ถูกยับยั้งการทำงานโดย diisopropyl fluorophosphates (DFP), soybean trypsin inhibitor และ tosyl-1-lysine-chloromethyl ketone (TLCK)
- ~ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การฟอกหนังและยา

2) Alkaline Protease

- ~ ทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 7-11
- ~ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเอนไซม์
- ~ ถูกยับยั้งการทำงานโดยสาร phenyl methyl sulfonyl fluoride (PMSF) และ diisopropyl fluorophosphates (DFP)

2.3.6 การใช้ประโยชน์จากโปรตีเอส (Protease) ในเชิงอุตสาหกรรม [14]

การย่อยสลายโปรตีน (protein hydrolysis) ทำให้โปรตีนมีขนาดเล็กลง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและสะดวกขึ้น ลดระยะเวลาในการหมัก

- การทำขนมปัง ช่วยย่อยโปรตีนในแป้งที่นวดแล้วทำให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น เหนียว นุ่ม กลิ้งบิดเป็นแผ่นได้ ไม่ฉีกขาด
- อุตสาหกรรมนม ทำให้นมจับตัวเป็นก้อนในกระบวนการทำเนยแข็ง
- อุตสาหกรรมเบียร์และเครื่องดื่ม ช่วยย่อยโปรตีนทำให้เครื่องดื่มใส
- อุตสาหกรรมสารซักฟอก ช่วยย่อยสลายคราบสกปรกต่างๆ ที่เป็นสารโปรตีน
- อุตสาหกรรมฟอกหนัง ช่วยกำจัดขนออกจากหนังสัตว์และทำให้หนังสัตว์นุ่มและยืดหยุ่นดี
- ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์ ใช้ในการทำความสะอาดเยื่อหุ้มผ่านเครื่องมือต่างๆ

2.4 การดัดแปรสรีแอกทีฟโครงสร้างไตรอะซินด้วยกรดอะมิโน

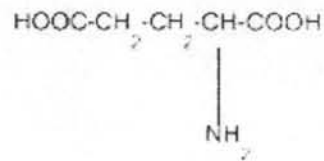
โดยทั่วไปแล้วสารละลายที่เหลือจากการลอกกาวยหมักด้วยเอนไซม์โปรตีเอสน่าจะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น) และมักไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ จึงส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียค่อนข้างสูง

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการดัดแปรสรีแอกทีฟโครงสร้างไตรอะซินด้วยสารละลายที่เหลือจากการลอกกาวยหมัก โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

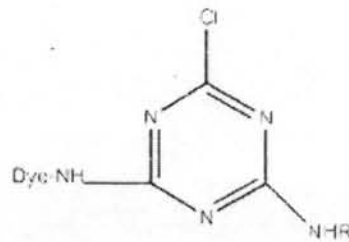
1. ศึกษาการดัดแปรสรีแอกทีฟโครงสร้างไตรอะซินด้วยกรดอะมิโนทางการค้าชนิดเดียว โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กรดกลูตามิก เนื่องจากเป็นกรดอะมิโนทางการค้าที่หาได้ง่าย
2. ศึกษาการดัดแปรสรีแอกทีฟโครงสร้างไตรอะซินด้วยสารละลายที่เหลือจากการลอกกาวยหมักด้วยเอนไซม์โปรตีเอส ซึ่งน่าจะประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด

โดยความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาเคมีของการดัดแปรสิน่าจะเป็นดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 ปฏิบัติการตัดแปรสรีรเคมีโครงสร้างไตรอะซีนด้วยกรดอะมิโน



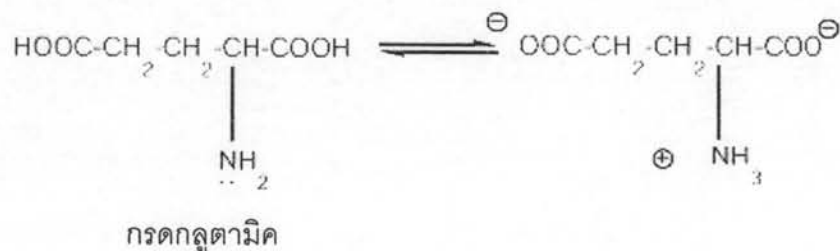
รูปที่ 2.6 โครงสร้างกรดกลูตามิก (กรดอะมิโนทางการค้า)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโครงสร้างสโมโนโคลอโรไตรอะซีนซึ่งใช้ในงานวิจัย

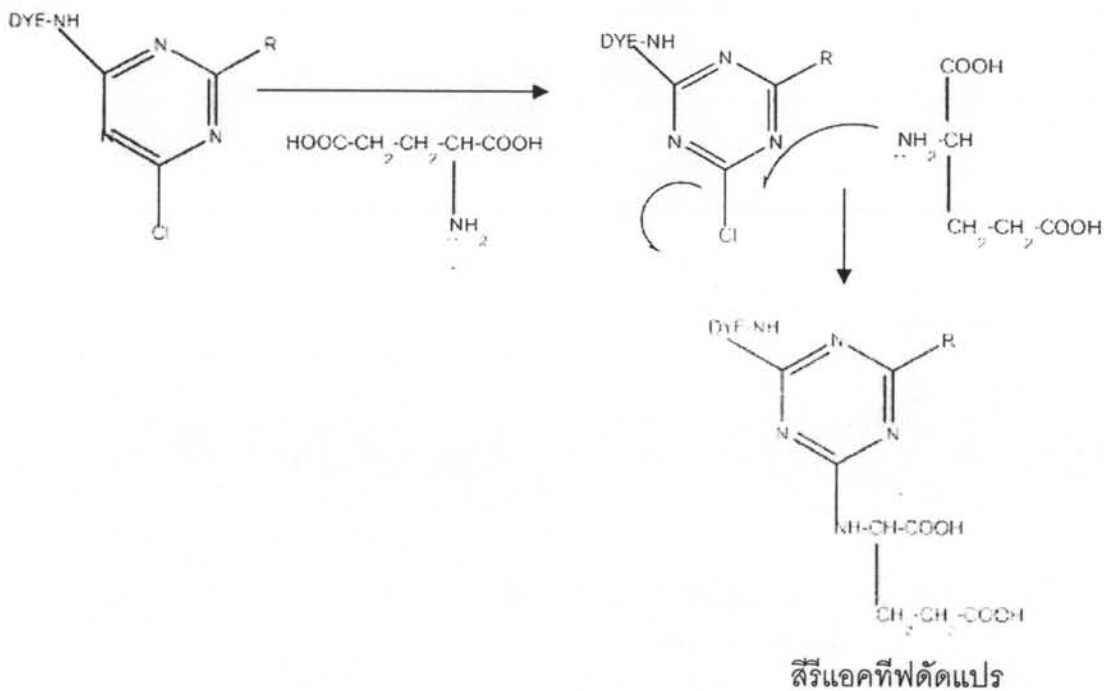
จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 แสดงโครงสร้างของกรดกลูตามิกและสีที่ใช้ในการวิจัย โดยสีจะไปทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนชนิดกรดกลูตามิกหรือกรดอะมิโนต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายที่เหลือจากการลอกกาวยไหม โดยปกติสารละลายกรดกลูตามิกเมื่ออยู่ในภาวะกลางจะแตกตัวเกิดประจุลบ เมื่อปรับภาวะของสารละลายให้เป็นด่างหมู่อะมิโนของกรดกลูตามิกก็จะสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสีได้ โดยหมู่อะมิโนจะเข้าแทนที่หมู่คลอรีนของสีจะได้สรีรเคมีที่ตัดแปร ที่มีสมบัติคล้ายสีแอลิต คือ เป็นสีที่มีประจุลบ โดยทำการนำมาย้อมผ้าไหมในภาวะที่เป็นกรด ดังปฏิกิริยา

- 1) ณ ภาวะที่สารละลายเป็นกลาง (pH7) กรดกลูตามิกจะมีประจุรวมเป็นลบ

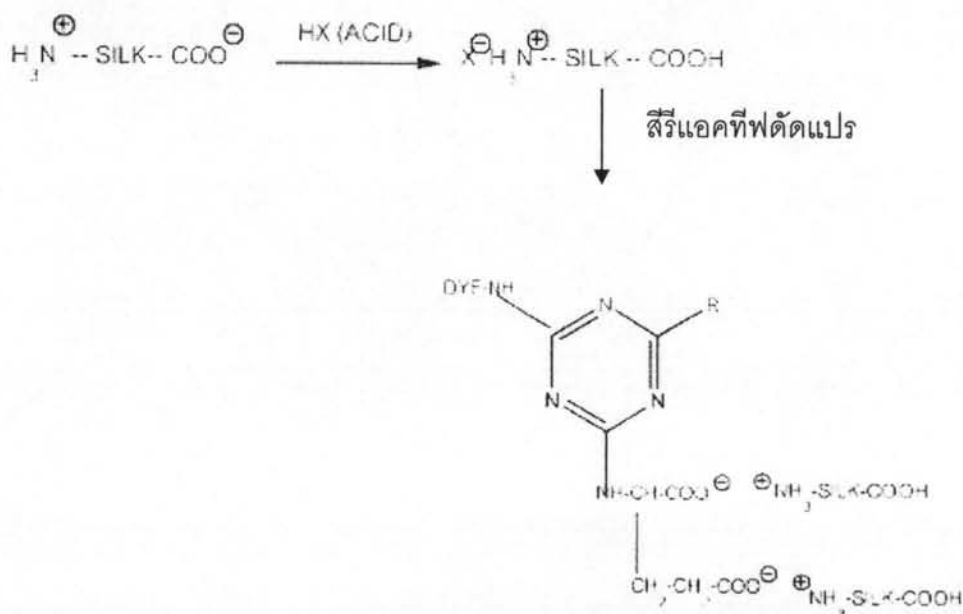


เมื่อปรับภาวะของสารละลายให้เป็นด่างที่พีเอช 9 หมู่อะมิโนของกรดกลูตามิกจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับสีได้

2) ดัดแปรสีรีแอกทีฟโครงสร้างไตรอะซีน โดยกรดกลูตามิคจะเข้าไปแทนที่หมู่คลอไรด์ (Cl) โดยหมู่คลอรินเป็น leaving group ที่สามารถหลุดออกไปได้ง่าย และหมู่ NH₂ จะเข้าไปแทนที่ เนื่องจากหมู่ NH₂ เป็น Neucleophile ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา



3) เมื่อทำการดัดแปรสีรีแอกทีฟแล้วจะนำสีที่ผ่านการดัดแปรมาย้อมผ้าไหมในภาวะกรด โดยสีที่มีประจุลบ (-) ก็จะวิ่งเข้าหาประจุบวก (+) ของผ้าไหม ทำให้สีกับเส้นใยมีความสามารถในการยึดติดซึ่งกันและกัน



2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gulrajani ML และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ cellulose enzyme และ proteolytic enzyme (Degummase 1000 L) ในการลอกกาวยไหมบนผ้าจากเส้นใยไหมปั่น พบว่าการใช้เอนไซม์ cellulase ร่วมกับ protease ไม่เพียงแต่กำจัดสิ่งสกปรกและกาวยไหมแต่ยังปรับปรุงสมบัติในการเปียกน้ำและทำให้ผ้ามีความนุ่มนวลขึ้น

Gulrajani ML และคณะ [16] ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลอกกาวยไหมของเอนไซม์โปรตีเอสทางการค้า 8 ชนิด คือ Dedummase 1000L, protocol, Trypsin, Alcalase, Protease A, Protease N, Pepsin และ Protease M โดยเปรียบเทียบจากน้ำหนักที่หายไป, ค่าความทนแรงดึง, ผิวสัมผัสและความเงาของผ้า พบว่า น้ำหนักของผ้าหายไปร้อยละ 24±3 หลังจากผ่านกระบวนการที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 15 ยกเว้นใน Degummase 1000L ที่ให้ผลน้ำหนักหายไปร้อยละ 20, Trypsin และ pepsin ให้ผลที่ต่ำมากในทุกๆด้าน, การเพิ่มเวลาของกระบวนการไม่มีผลที่เด่นชัดต่อน้ำหนักที่หายไปของผ้า, ไม่มีผลกระทบใดที่เด่นชัดในการลดความแข็งแรงของผ้าหลังลอกกาวย และให้ผลที่น่าสนใจในการปรับปรุงผิวสัมผัสและความเงาของผ้า

Gulrajani ML และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลอกกาวยไหมของไหมรังแปด (dupion silk) โดยเอนไซม์โปรตีเอสในทางการค้า 7 ชนิด โดยทำการทดสอบความทนแรงดึง, ผิวสัมผัส, ความเงาและรูปร่างเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเอนไซม์โปรตีเอสประเภท alkaline protease ให้ผลการลอกกาวยที่ดีและประสิทธิภาพในการลอกกาวยยังแปรเปลี่ยนไปตามความแตกต่างของไหมรังแปด

Gulrajani ML และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาการย้อมผ้าไหมด้วยสีรีแอคทีฟที่มีโครงสร้างไตรอะซีน (Procion H-E) ในภาวะต่าง จากผลการทดลองพบว่าการดูดซึมของสีรีแอคทีฟเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมปริมาณโซเดียมคลอไรด์มากขึ้น แต่มีผลทำให้การย้อมสีบนผ้าลดลง

C.Fabiani และคณะ [19] ได้ศึกษาการนำน้ำที่เหลือจากการลอกกาวยไหมกลับมาใช้ใหม่ โดยผู้วิจัยพบว่าสารละลายที่ได้จากการลอกกาวยไหมมีองค์ประกอบหลัก คือโปรตีน ซึ่งก็คือเซรีซิน และมีค่าซีไอดี มากกว่า 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องทำการบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษา เกี่ยวกับการนำเซรีซินกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งใช้กระบวนการ Ultrafiltration ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเซรีซินที่เหลือจากการลอกกาวยไหมได้ โดยเซรีซินนี้จะถูกนำไปใช้งานในด้านเครื่องสำอาง และยา นอกจากนี้ยังทำให้ค่าซีไอดีลดลงเหลือเพียง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

Yu-Qing Zhang และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาการนำเซรีซินจากไหมพันธุ์ Bombyx mori กลับมาใช้ใหม่ โดยพบว่าสารละลายที่ได้จากการลอกกาวยไหมจะประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มี

มวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน ซึ่งจะอยู่ในช่วง 20-60 kDa และพบกรดอะมิโนถึง 15 ชนิด ในจำพวกกรดอะมิโนที่มีขั้วของหมู่ไฮดรอกซิล, คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโน เช่น กรดแอสพาทิก, เซรีน และไลซีน มีปริมาณถึงร้อยละ 72

Pizzala, A. [21] ได้ทำการศึกษาการนำเซรีซินที่ได้จากการลอกกวาไหมกลับมาใช้งานใหม่ โดยได้เคยมีผู้นำเซรีซินมาประยุกต์ใช้งานกับพอลิเอสเทอร์แต่ผลที่ได้คือผ้าพอลิเอสเทอร์จะมีความแข็งกระด้าง และยากต่อการซักล้าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น โดยการนำเซรีซินที่ได้จากการลอกกวาไหมมาดัดแปรด้วยไดไอโซไซยาเนตก่อนที่จะนำไปใช้กับผ้าพอลิเอสเทอร์ เพื่อหวังว่าจะสามารถปรับปรุงให้ผ้าพอลิเอสเทอร์สามารถดูดซึม และซักล้างได้ดีขึ้น โดยศึกษาหาวิธีการ coating และภาวะในการดัดแปรที่เหมาะสม