บทความรับเชิญ

เซอริซิน: วัสดุเหลือทิ้งมูลค่าสูงจากรังไหม

อมรรัตน์ พรหมบุญ

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึง รังไหม โครงสร้างของไฟโบรอินและเซอริซิน คุณสมบัติของเซอริซิน การประยุกต์ เซอริซิน และงานวิจัยเกี่ยวกับการลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์ กล่าวคือ รังไหมประกอบด้วยเส้นใยไฟโบรอินและกาวเซอริซิน เมื่อนำรังไหมไปสาวไหมและทอเป็นผ้าไหมจำเป็นต้องลอกกาวไหมออกก่อน ในปัจจุบันการลอกกาวไหมใช้สารเคมีและอุณหภูมิสูงซึ่งส่งผลต่อสภาวะแวดล้อม แต่การใช้เอนไซม์ลอกกาวไหมสามารถนำน้ำกาวไหมมาใช้ประโยชน์ ช่วยลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีส่วนช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: รังไหม เซอริซิน การลอกกาวไหม เอนไซม์ การประยุกต์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านไหม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: fsciarp@ku.ac.th

Sericin: Valuable Waste Material from Silk Cocoon

Amornrat Promboon

ABSTRACT

This paper is concerned with silk cocoons, the structures of fibroin and sericin, the properties of sericin and its applications, as well as my recent research work on enzymatic silk degumming. A silk cocoon is composed of fibroin fibers and sericin gum. Sericin has to be completely removed from the silk cocoon before filaments can be reeled and woven into fabric. At present, silk degumming is performed by subjecting cocoons to chemicals and high temperatures, which produces harmful effects to the environment. Enzymatic silk degumming and recycling the degumming wastewater will reduce waste and the ensuing environmental effects while increasing the income of the sericulturists.

Keywords: silk cocoon, sericin, silk degumming, enzyme, application

Assistant Professor, Department of Biochemistry, Faculty of Science, Kasetsart University
Center for Excellence in Silk, Kasetsart University
Corresponding author, e-mail: fsciarp@ku.ac.th

บทนำ

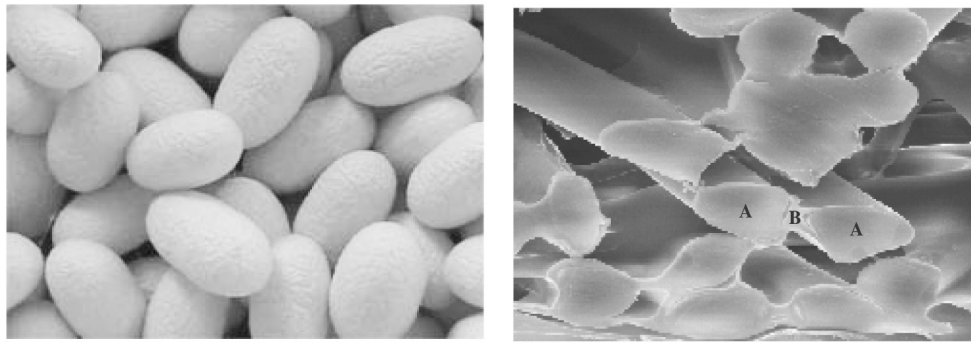
ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้รับฉายา “ราชินีแห่งเส้นใย” เนื่องจากความเงางาม ความแข็งแรง ความยืดหยุ่นสูง มีการคืนตัว นำไปถักทอเป็นผืนผ้าได้อย่างงดงาม เก็บความร้อนและระบายความชื้นได้ดี จึงสวมใส่สบาย ไม่ระคายผิว อาชีพปลูกหม่อน เลี้ยงไหม ทอผ้าไหมเป็นวิถีชีวิตที่สำคัญของบรรพบุรุษเกษตรกรไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งยังคงสืบทอดต่อมาถึงปัจจุบัน ผ้าไหมไทยมีชื่อเสียงโดดเด่นในด้านลวดลายที่สวยงาม บ่งบอกเอกลักษณ์ของความเป็นไทยซึ่งควรอนุรักษ์และส่งเสริมให้สืบทอดถึงอนุชนคนรุ่นหลัง เป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่ล้ำค่ายิ่ง

ไหมที่เลี้ยงในประเทศไทยมีเพียง 2 ประเภท ได้แก่ ไหมบ้าน (domestic silkworm, the silkworm, *Bombyx mori*) ซึ่งเป็นไหมที่กินใบหม่อน (mulberry, *Morus* spp.) เป็นอาหารเท่านั้น และไหมอีรี่ (eri silkworm, *Samia cynthia ricinci*) ซึ่งเป็นไหมป่า (wild silkworm) ไหมอีรี่ไม่สามารถกินใบหม่อนได้ แต่กินใบพืชที่หลากหลาย เช่น ใบมันสำปะหลัง ใบละหุ่ง เป็นต้น อาชีพปลูกหม่อน เลี้ยงไหมบ้านทำกันอย่างกว้างขวางในหลายจังหวัดของประเทศไทยโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากใช้เวลาในการเลี้ยงสั้นเพียง 45 วันต่อรุ่น ได้ผลตอบแทนสูง อีกทั้งหม่อนเป็นพืชที่ทนทาน ทุกขั้นตอนของการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมสามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี โดยใช้สารชีวภาพแทน จึงผลิตเป็น “ไหมอินทรีย์” ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เป็นที่นิยมของตลาดในปัจจุบัน สอดคล้องกับนโยบายพัฒนาประเทศตามทฤษฎี “เศรษฐกิจพอเพียง”

รังไหม (silk cocoon) ประกอบด้วยโปรตีนไฟโบรอิน (fibroin protein) และโปรตีนเซอริซิน (sericin protein) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมไฟโบรอินให้ติดกันเพื่อสร้างรังไหม เมื่อนำรังไหมไปสาวไหมและทอเป็นผ้าไหมจึงจำเป็นต้องทำการลอกกาวไหมออกก่อน ในปัจจุบัน การลอกกาวไหมใช้สารเคมีและอุณหภูมิสูง ส่งผลต่อสภาวะแวดล้อม หากสามารถใช้เอนไซม์ลอกกาวไหมที่ผลิตได้ในประเทศ นำน้ำกาวไหมมาใช้ประโยชน์ได้จะช่วยลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการลอกกาวไหม ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

รังไหม

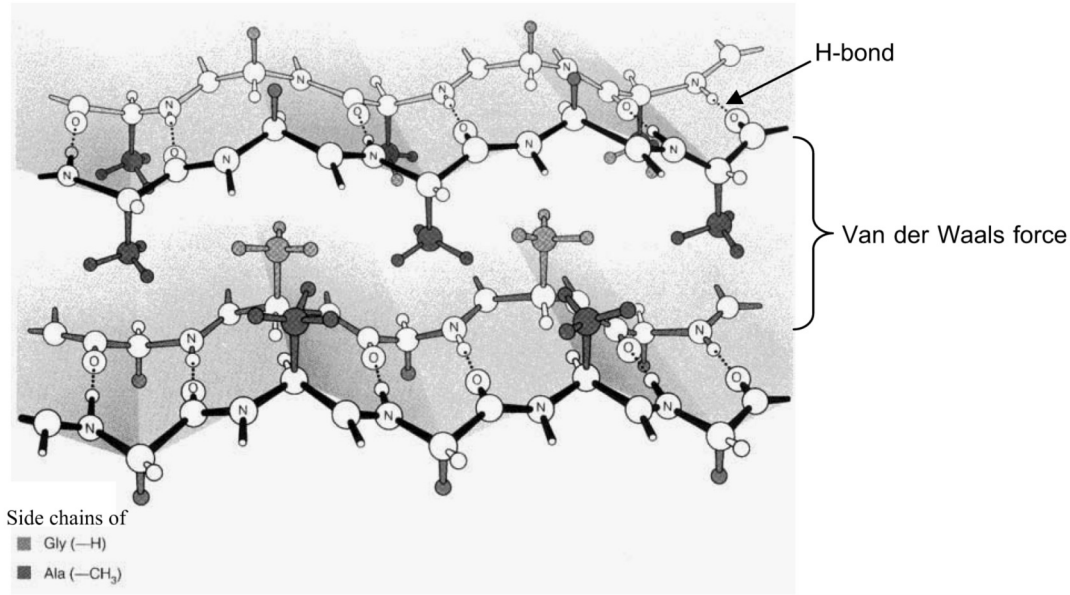
รังไหมบ้านประกอบด้วยไฟโบรอินร้อยละ 70-75 เซอริซินร้อยละ 25-30 สารอื่นๆ อีกร้อยละ 1-2 ได้แก่ ไข ลิพิด สารสี และอื่นๆ [1] ในรังไหมมีเซอริซินซึ่งเป็นโปรตีนก้อนกลม (globular protein) ทำหน้าที่เสมือนกาวเชื่อมเส้นใยไฟโบรอิน 2 เส้นให้ติดกันก่อให้เกิดรังไหม (รูปที่ 1)

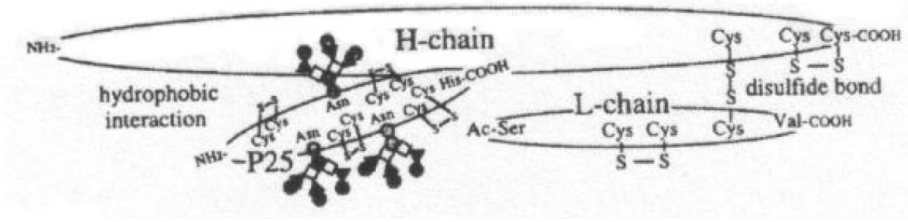


รูปที่ 1 รังไหมบ้านพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ต่างประเทศและพันธุ์ไทยพื้นบ้าน (รูปซ้ายมือ) และภาพตัดขวางรังไหมภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปขวามือ) แสดงลักษณะของเซอริซิน (B) เคลือบอยู่บนเส้นใยไฟโบรอิน (A)

โครงสร้างทางเคมีของโปรตีนในรังไหม

โครงสร้างของเส้นใยไฟโบรอินของไหมบ้านประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดนอนโพลาร์ร้อยละ 76 ได้แก่ ไกลซีน และอะลานีน มีกรดอะมิโนชนิดโพลาร์ร้อยละ 21 ในขณะที่โปรตีนเซอริซินประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดโพลาร์ร้อยละ 75 (ตารางที่ 1) จึงทำให้โปรตีนในรังไหมทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ไฟโบรอินเป็นโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ไฟโบรอินของไหมบ้านมีขนาดประมาณ 0.5-2 ไมครอน โครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ของโปรตีนเกิดจากการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่ซ้ำๆ กัน คือ $(Gly\text{-}Ala)_2$-Gly-Ser-Gly-$(Ala)_2$-Gly-$[Ser\text{-}Gly\text{-}(Ala\text{-}Gly)_n]_8$-Tyr (n = 2) [2] โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) ของไฟโบรอินสายหนัก (heavy chain, H-chain) เป็นแบบแผ่นพลีทบีตาชนิดสวนทางกัน (anti-parrarel-β-pleated sheet) แผ่นพลีทบีตานี้เชื่อมต่อกันระหว่างสายไฟโบรอินด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) โดยแผ่นพลีทบีตาไฟโบรอินหลายๆ แผ่นซ้อนทับและเชื่อมกันด้วยแรงดึงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดชนิดอ่อนมาก จึงทำให้เส้นไหมมีความนุ่ม แต่ในขณะเดียวกันเส้นไหมไม่สามารถนำมายืดออกตามแนวยาว เนื่องจากมีพันธะเพปไทด์ยึดไว้ นอกจากนี้ ไฟโบรอินยังมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากแขนงข้างของกรดอะมิโนชนิดไม่ชอบน้ำยื่นออกมาทางด้านนอกของแผ่นพลีทบีตา จึงทำให้โครงสร้างของเส้นใยไฟโบรอินมีความแข็งแรงทนทาน และไฟโบรอินมีกรดอะมิโนหลักที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้ไหมเงางามมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยประเภทอื่นๆ เส้นใยไหมจึงเหมาะสำหรับนุ่งห่ม ไฟโบรอินมีน้ำหนักโมเลกุล 391 กิโลดาลตัน [3] ประกอบด้วย 3 หน่วยย่อย คือ โพลิเพปไทด์สายหนักซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 350 กิโลดาลตัน โพลิเพปไทด์สายเบา (light chain, L-chain, 25 กิโลดาลตัน) และ P25 ไกลโคโปรตีน (P25 glycoprotein, 30 กิโลดาลตัน) โดยสาย L จะเชื่อมกับสาย H เป็น H-L complex ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ส่วน P25 จะเชื่อมกับ H-L complex ด้วยปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) มีอัตราส่วนระหว่าง H-L:P25 = 6:6:1 [4] (รูปที่ 2)





รูปที่ 2 โครงสร้างทุติยภูมิของไฟโบรอินเป็นแบบแผ่นพลีทบีต้าชนิดสวนทางกัน (รูปบน) และโครงสร้างตติยภูมิของไฟโบรอิน (รูปล่าง)

ที่มา: Tanaka *et al.* 1999 [4]

โปรตีนเซอริซินเป็นโปรตีนก้อนกลม ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดโพลาร์ร้อยละ 75 ได้แก่ เซอรีน ทรีโอนีน กรดแอสพาติก และกรดกลูตามิก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดอะมิโนประเภทออกซี กรดอะมิโนจึงทำให้เซอริซินมีคุณสมบัติเป็นโปรตีนกาว เชื่อมเส้นใยไฟโบรอินให้ติดกันเกิดเป็นรังไหม อาจเรียกเซอริซินว่า “โปรตีนกาว” หรือ “glue protein” เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายกาว เช่นเดียวกับโปรตีนกาวชนิดอื่นๆ เช่น เคซีน อัลบูมิน เจลาติน คอลลาเจน เคอราติน เป็นต้น เซอริซินประกอบด้วยกรดอะมิโนรวม 18 ชนิด [5] (ตารางที่ 1) เมื่อเซอริซินเคลือบเส้นใยไฟโบรอินจะทำให้เส้นใยไหมแข็งและทนทาน หากถูกลอกออกไปจะทำให้เส้นไหมอ่อนนุ่มและเป็นเงางาม

ตารางที่ 1 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไฟโบรอินและเซอริซินของรังไหมบ้าน

ประเภทกรดอะมิโน	กรดอะมิโน	ไฟโบรอิน	เซอริซิน
		กรัม/100 กรัม	
กรดอะมิโนชนิดนอนโพลาร์	ไกลซีน	41.25	8.66
	อะลานีน	28.87	3.51
	วาลีน	2.63	3.41
	ลิวซีน	0.32	1.02
	ไอโซลิวซีน	0.44	0.77
	โพรลีน	-	0.66
	ฟีนิลอะลานีน	0.58	0.50
	ทริปโตเฟน	-	0.20
กรดอะมิโนที่เป็นกรด	กรดกลูตามิก	0.69	7.46
	กรดแอสพาติก	0.76	17.03
กรดอะมิโนที่เป็นเบส	อาร์จีนิน	0.86	6.07
	ฮีสทิดีน	-	1.88
	ไลซีน	0.17	4.95
ออกซีกรดอะมิโน	เซอรีน	13.22	27.32
	ทรีโอนีน	0.81	7.48
	ไทโรซีน	10.96	4.43
กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ	เมทไทโอนีน	0.63	0.76
	ซีสเตอีน	-	0.20
รวมทั้งสิ้น		**102.19**	**96.31**

ที่มา: โมโตอิ มินะกาวะ และคณะ, 2530 [5]

โดยทั่วไป สามารถแบ่งไฟโบรอินและเซอริซินตามชั้นของรังไหมได้ 5 ชั้นโดยนับจากด้านนอกสุดของรังจนถึงข้างในสุด พบว่าในแต่ละชั้นของรังไหมประกอบด้วยไฟโบรอินและเซอริซินในปริมาณที่แตกต่างกัน [6] (ตารางที่ 2) เซอริซินมีโครงสร้างหลักแบบการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random coil) สามารถละลายในน้ำร้อนได้ดี และหากเป็นโครงสร้างที่มีระเบียบแบบแผ่นพลีทบีต้าจะละลายในน้ำร้อนได้ไม่ดี

ตารางที่ 2 ปริมาณไฟโบรอินและเซอริซินในชั้นของรังไหม

ชั้น	ไฟโบรอิน (%)	เซอริซิน (%)
1	64.94	32.41
2	74.92	23.15
3	78.34	19.79
4	79.69	17.86
5	79.09	17.78

ที่มา: Robson, 1985 [6]

การลอกกาวไหม

กระบวนการทอผ้าไหมประกอบด้วยหลายขั้นตอนคือ การสาวไหม (silk cooking) การลอกกาวไหม (silk degumming) การฟอกขาวไหม (silk bleaching เมื่อย้อมไหมสีเข้ม) การย้อมสีไหม (silk dyeing) และการทอผ้าไหม (silk weaving)

การลอกกาวไหม หมายถึง กระบวนการที่นำเส้นไหม หรือไหมดิบมาลอกกาวเซอริซินที่เคลือบผิวของเส้นใยไฟโบรอินออก และยังสามารถกำจัดส่วนประกอบอื่นในรังไหมเช่น ไข คาร์โบไฮเดรต สี สารอินทรีย์ สิ่งสกปรกออกด้วย การลอกกาวไหมเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการทอผ้าไหม นอกจากจะกำจัดกาวไหม ช่วยให้การฟอกขาวและย้อมสีไหมได้ดีขึ้นแล้ว ยังทำให้เส้นไหมเงางามเป็นพิเศษ ในการลอกกาวจากรังไหมสดประมาณ 1,000,000 ตัน หรือเท่ากับ 400,000 ตันของน้ำหนักแห้ง จะทิ้งน้ำลอกกาวไหมซึ่งประกอบด้วยเซอริซินสูงถึง 50,000 ตัน [7] ในประเทศไทยมีการใช้เส้นไหมปีละประมาณ 1,000 ตัน ดังนั้นจะมีเซอริซินประมาณปีละ 125-150 ตันต่อปี หากสามารถทำน้ำกาวให้เข้มข้น และนำเซอริซินกลับมาใช้ได้ จะช่วยให้เกษตรกรทอผ้าไหมลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการลอกกาวไหม ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำกาวไหมเป็นวัสดุที่มีราคาแพงสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้จึงช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น หรืออาจสร้างผู้ประกอบการใหม่สำหรับธุรกิจการลอกกาวไหม

วิธีลอกกาวไหมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1. การลอกกาวไหมด้วยด่าง ในการลอกกาวไหมด้วยวิธีนี้ควรคำนึงถึง pH และอุณหภูมิที่ใช้ การลอกกาวไหมด้วยสารละลายด่างที่ pH > 9 สามารถลอกกาวไหมได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์เมื่อลอกกาวที่อุณหภูมิ < 90°C นาน 30 นาที เกษตรกรนิยมใช้ด่างแก่ในการลอกกาวไหม ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูก หากใช้การลอกกาวด้วยด่างแก่นี้ควรคำนึงถึงการทำลายเส้นใยไฟโบรอินด้วย ดังนั้น ในการลอกกาวไหมควรเลือกใช้ด่างอ่อน ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต นอกจากสามารถลอกกาวได้เป็นอย่างดีแล้วยังไม่ทำลายเส้นใยไฟโบรอินอีกด้วย [5]

2. การลอกกาวไหมด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง วิธีนี้เป็นการลอกกาวไหมด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 120°C นาน 2 ชั่วโมง ทำซ้ำ 3-4 ครั้ง การลอกกาวที่ความดันสูงจะมีผลต่อการทำลายเส้นใยไฟโบรอินน้อยลง [5]

3. การลอกกาวไหมด้วยกรด วิธีนี้ใช้สารละลายกรดที่ pH < 2.5 (pH 1.5-2) กาวไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้กรดแก่ เช่น กรดกำมะถัน และกรดเกลือ หรือการใช้กรดอ่อน เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดซักซินิก กรดแก่มีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมมากกว่ากรดอ่อน และ pH ของการลอกกาวด้วยกรดนี้ก็มีผลต่อการทำลายเส้นใยไฟโบรอินเช่นเดียวกับด่าง [5]

4. การลอกกาวไหมด้วยสบู่ ทำได้โดยต้มสารละลายสบู่และควบคุม pH ให้เป็นด่างเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 90-95°C นาน 1.5-2 ชั่วโมง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำอ่อนหรือมีการเติมสาร sequestering เพื่อลดความกระด้างของน้ำ เพื่อไม่ให้สบู่ตกค้างและปนเปื้อนอยู่ในเส้นไหม [5]

5. การลอกกาวไหมด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์ มีการพัฒนาสารซักฟอกสังเคราะห์เพื่อใช้ลอกกาวไหมแทนการใช้สบู่ เนื่องจากสบู่ มีราคาแพง ใช้ปริมาณสูง และเวลาในการลอกกาวนาน 1-2 ชั่วโมง การลอกกาวด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์นี้ จะลดการขึ้นขนของไหม ในการลอกกาวในอุตสาหกรรมจะใช้การลอกกาวด้วยด่างร่วมกับสบู่หรือสารซักฟอกสังเคราะห์ [5]

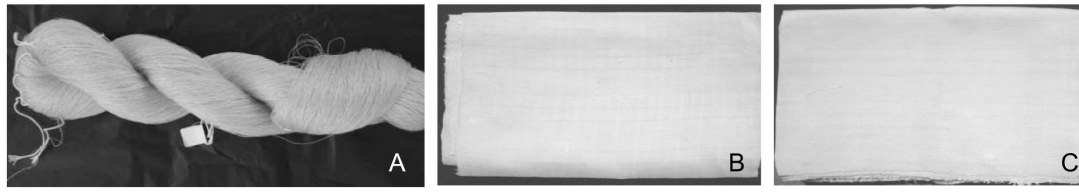
6. การลอกกาวโดยการทำให้เกิดฟอง การลอกกาวไหมด้วยเทคนิคทำให้เกิดฟองเป็นการนำเข็ดไหมหรือไจไหมแขวนอยู่บนราวไม้ในอ่างที่มีสารละลายสบู่เข้มข้นร้อยละ 40 ที่ต้มให้เดือดจนมีฟอง ทำการหมุนเข็ดไหมเป็นครั้งคราว ฟองสบู่ที่เกิดขึ้นจะละลาย และกำจัดกาวไหมออกไป [5]

7. การลอกกาวด้วยเอนไซม์ วิธีนี้สามารถลอกกาวไหมได้อย่างสม่ำเสมอ ใช้อุณหภูมิในการลอกกาวต่ำ (50-60°C) ไม่มีผลต่อการทำลายเส้นใยไฟโบรอิน จึงเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีข้อเสียคือราคาแพง มีรายงานการใช้เอนไซม์โปรตีเอสเพื่อลอกกาวไหม คือ เซอรีนโปรตีเอส (serine protease) ซิงค์โปรตีเอส (zinc protease) และไทออลโปรตีเอส (thiol protease) ประสิทธิภาพของการลอกกาวไหมขึ้นอยู่กับกิจกรรมของเอนไซม์และ pH ในการลอกกาว [8-9]

เอนไซม์โปรตีเอสที่ใช้ในการลอกกาวไหมสามารถแบ่งตามแหล่งของเอนไซม์ได้ 3 แหล่ง ดังนี้

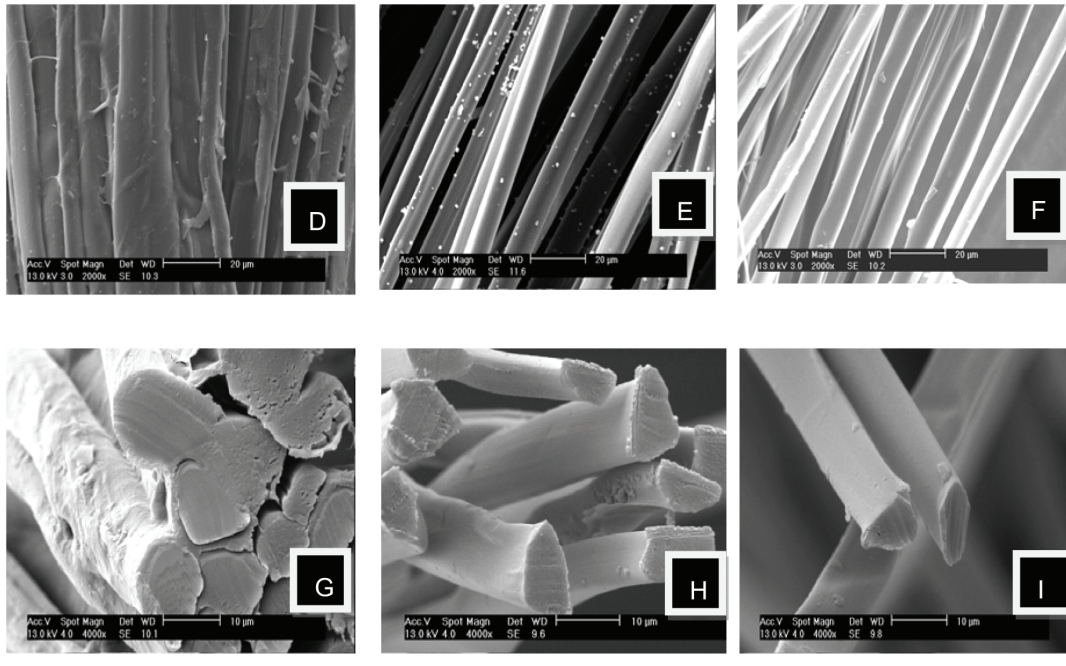
7.1 เอนไซม์โปรตีเอสจากเชื้อจุลินทรีย์ Freddi *et al.* [10] ประสบความสำเร็จในการใช้เอนไซม์ อัลคาไลน์โปรตีเอส และนิวทรัลโปรตีเอสจากจุลินทรีย์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุกรรมในการลอกกาวผ้าไหมเครป พบว่าสามารถลอกกาวได้เป็นอย่างดี และยังสามารถย่อยสลายให้เซอริซินมีขนาด 5-20 กิโลดาลตัน ในขณะที่ Arami *et al.* [11] ใช้เอนไซม์ทางการค้า เช่น อัลคาเลส ซาวิเนส และเอนไซม์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ สามารถลอกกาวไหมได้ดีเช่นกัน Johnny and Chinnammal [12] ได้ใช้เอนไซม์โปรตีเอสจาก *Bacillus* sp. ในการลอกกาวไหม ในขณะนี้มีการพัฒนาเอนไซม์โปรตีเอสทางการค้าผสมต่างๆ มากมาย เอกสิทธิ์ ฟูเฟื่องสมบัติ [13] มีการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ ของประเทศไทย ซึ่งพบว่าเอนไซม์อัลคาไลด์โปรตีเอสจากจุลินทรีย์ (*Bacillus subtilis* C4) ที่คัดเลือกได้จากน้ำทิ้งของการลอกกาวไหมจากโรงงานทอผ้าไหมในจังหวัดนครราชสีมา สามารถลอกกาวเส้นไหมไทย ได้เป็นอย่างดี ลอกได้ใกล้เคียงกับด่าง และไม่มีผลต่อเส้นใยไฟโบรอิน ต่อมา Romsomsa *el al.* [14] ได้ทำการผลิตเอนไซม์โปรตีเอสนี้ในถังหมักขนาด 2 ลิตร พบว่าได้กิจกรรมของเอนไซม์สูงขึ้น ในขณะนี้ผู้เขียนและคณะอยู่ในระหว่างการหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์นี้ในถังหมักขนาด 5-20 ลิตร และ 200 ลิตร ต่อไป โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะผลิตเอนไซม์โปรตีเอสที่มีราคาถูกและสามารถลอกกาวเส้นไหมไทยได้ดี ทำน้ำลอกกาวไหมให้เข้มข้นด้วยเมมเบรน [15] เพื่อรองรับอุตสาหกรรมการผลิตเส้นไหมอินทรีย์ในอนาคต

7.2 เอนไซม์โปรตีเอสจากพืช มีรายงานการใช้เอนไซม์พาเพนจากยางมะละกอสามารถลอกกาวไหมได้ดี [16] ผู้เขียนและคณะได้ทำการลอกกาวเส้นไหมไทย ในระดับอุตสาหกรรมด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่ผลิตได้ในประเทศ พบว่าสามารถลอกกาวไหมได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับด่าง และไม่มีผลต่อเส้นใยไฟโบรอินเช่นเดียวกับเอนไซม์โปรตีเอสจากจุลินทรีย์ (รูปที่ 3) เมื่อนำเส้นไหมไปฟอกขาวและทอผ้าไหม (รูปที่ 4) และตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของผ้าไหมด้วย Kawabata Evaluation System for Fabric พบว่าผ้าไหมที่ลอกกาวด้วยเอนไซม์มีค่า crease recovery property, tensile strength, bending deformation ดีกว่าลอกด้วยด่าง [17]



รูปที่ 3 เส้นไหมดิบ (A) ผ้าไหมหลังจากการลอกกาวด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (5 g/L, 50°C นาน 1 ชั่วโมง) (B) และผ้าไหมหลังจากการลอกกาวด้วย 0.1% Na_2CO_3, 98°C นาน 1 ชั่วโมง (C)

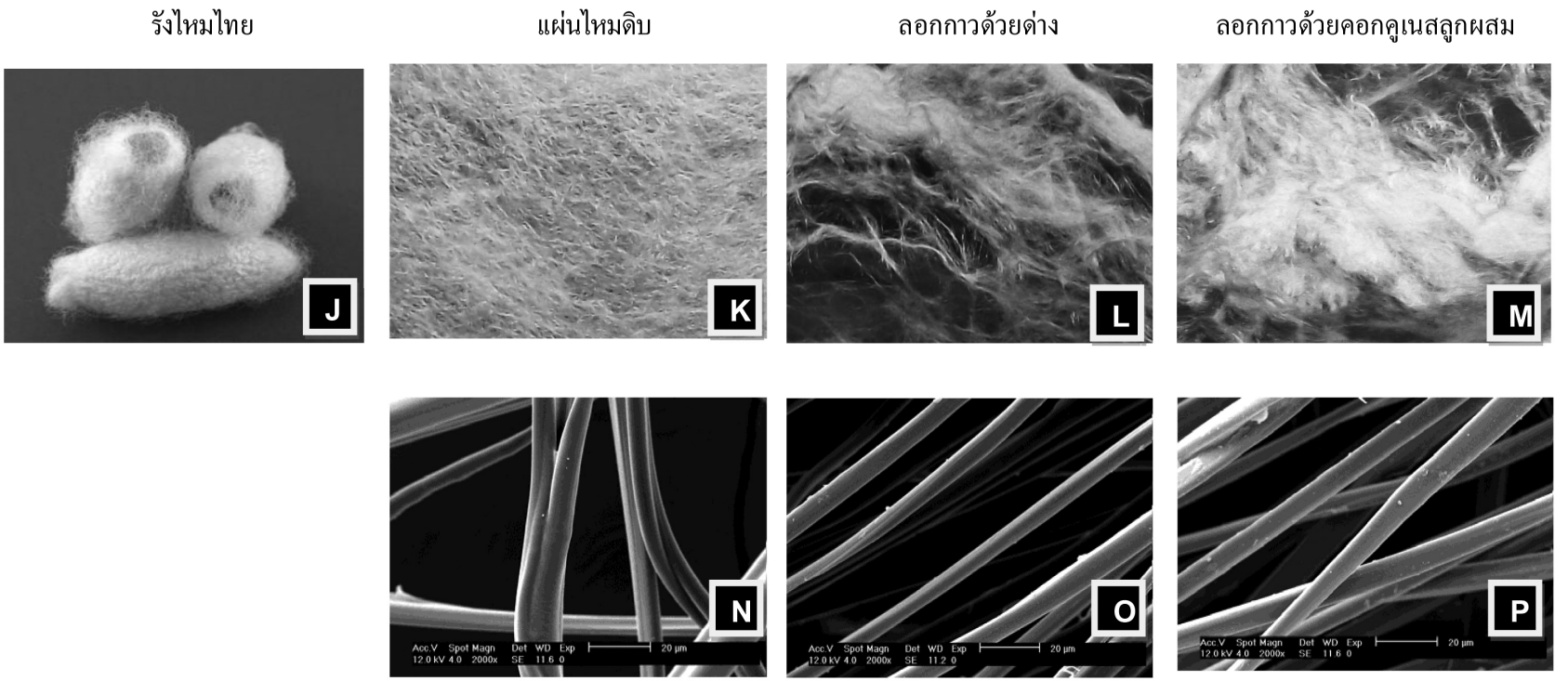
ที่มา: Ninpetch *et al.* 2015 [17]



เส้นไหมดิบ ลอกกาวด้วยด่าง ลอกกาวด้วยโบรมิเลน

รูปที่ 4 ภาพเส้นไหมภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อการลอกกาวจากเส้นไหมไทยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนเปรียบเทียบกับด่าง เมื่อแถวบน (D-F) เป็นภาพผิวของเส้นไหม แถวล่าง (G-I) เป็นภาพตัดขวางของเส้นไหม

ที่มา: Ninpetch *et al.* 2015 [17]



รูปที่ 5 ภาพรังไหมหลังจากผีเสื้อไหมใช้เอนไซม์คอกคูเนสย่อยสลายรัง (J) และภาพแผ่นไหมหลังการลอกกาวด้วยเอนไซม์คอกคูเนสลูกผสมที่ pH 8, 40°C นาน 1 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับด่างแถวบน (K-M) เป็นภาพของแผ่นไหมหลังลอกกาว และแถวล่าง (N-P) เป็นภาพผิวของแผ่นไหมหลังลอกกาวภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ที่มา: Unajak *et al.* 2015 [22]

7.3 เอนไซม์โปรตีเอสจากผีเสื้อไหม เมื่อดักแด้กลายเป็นผีเสื้อภายในรังไหม ผีเสื้อก็จะผลิตเอนไซม์คอกคูเนส (cocoonase) ออกมา ผีเสื้อไหมจะใช้เอนไซม์คอกคูเนสนี้ย่อยสลายเซอริซินในรังไหมและใช้ส่วนหัวดันเอาตัวออกมาข้างนอกรังเพื่อผสมพันธุ์ เอนไซม์คอกคูเนสจัดเป็นเซอรีนโปรตีเอส [18] แต่เนื่องจากการสกัดคอกคูเนสจากผีเสื้อไหมมีขั้นตอนยุ่งยาก และได้เอนไซม์ในปริมาณน้อยมาก จึงมีการโคลนและแสดงออกเอนไซม์คอกคูเนสในเซลล์เจ้าบ้านต่างๆ ได้แก่ในเซลล์แบคทีเรีย [19] ในเซลล์แมลง [20] และในเซลล์ยีสต์ [21] แต่อย่างไรก็ดี ไม่พบรายงานการใช้คอกคูเนสในการลอกกาวไหม ผู้เขียนและคณะได้ทำการโคลนยีนคอกคูเนสจากดักแด้ไหมไทย และทำการแสดงในเซลล์ยีสต์ *Pichia patoris* พบว่าเอนไซม์คอกคูเนสลูกผสมนี้มี 3 กิจกรรม กล่าวคือ มีความสามารถในการลอกกาวแผ่นไหมได้ดีใกล้เคียงกับด่าง สามารถย่อยเซอริซินมีขนาดโมเลกุล 30-70 กิโลดาลตัน และสามารถลอกสีเหลืองจากแผ่นไหมได้ดีกว่าด่าง แต่ไม่มีผลต่อเส้นใยไฟโบรอินเช่นเดียวกับโปรตีเอสจากจุลินทรีย์ และเอนไซม์โบรมิเลนจากการค้า [22] (รูปที่ 5) การฟอกสีของเอนไซม์คอกคูเนสลูกผสมนี้เหมือนกับเอนไซม์คอกคูเนสจากหนอนไหมปกติ แต่มีการฟอกสีแผ่นไหมได้ดีกว่าเอนไซม์โบรมิเลนจากการค้า ในขณะนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนาผลิตเอนไซม์ในถังหมักเช่นเดียวกับโปรตีเอสจากจุลินทรีย์

คุณสมบัติของเซอริซิน

1. เซอริซินมีขนาดโมเลกุลความหลากหลายขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดเซอริซิน กล่าวคือ เมื่อทำการสกัดเซอริซินด้วยน้ำร้อนจะได้ขนาด 24,000 ดาลตัน ถ้าใช้ 1% โซเดียมดีออกซีโคเลท จะได้ขนาด 17,100-18,460 ดาลตัน ถ้าใช้ยูเรียได้ขนาด 50,000 ดาลตัน ถ้าใช้เอนไซม์ได้ขนาด 3,000-10,000 ดาลตัน

2. เซอริซินมีค่า pI = 4.0

3. เซอริซินมีคุณสมบัติที่สามารถดูดน้ำ เนื่องจากเซอริซินประกอบด้วยเซอรีนและกรดแอสพาติกในปริมาณที่สูงมากถึงร้อยละ 70 จึงทำให้เซอริซินมีคุณสมบัติที่สามารถดูดน้ำและพองตัว ยึดติดกับผิวหนังได้ดี สามารถซึมเข้าไปในผิวหนัง รักษาความชุ่มชื้นได้เป็นเวลานานกว่าโปรตีนก้อนกลมชนิดอื่นๆ

4. เซอริซินสามารถละลายในน้ำร้อน การละลายขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซอริซิน หากเป็นแบบการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจะละลายน้ำร้อนได้ดีกว่าแบบแผ่นพลีทบีต้า

5. เซอริซินทำให้เกิดเจลซึ่งโครงสร้างแบบการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบละลายในน้ำร้อน เมื่ออุณหภูมิลดลงโครงสร้างแบบการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบนี้จะเปลี่ยนเป็นแบบแผ่นพลีทบีต้า ซึ่งทำให้เกิดเจล (gelation)

6. เซอริซินมีคุณสมบัติทางชีวภาพต่างๆ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส หรือ การต้านเชื้อจุลินทรีย์ [23-24]

การประยุกต์เซอริซิน

การประยุกต์เซอริซินขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลเป็นหลัก เซอริซินที่มีมวลโมเลกุล < 20 กิโลดาลตัน ใช้ผสมในเครื่องสำอาง เซอริซินที่มีมวลโมเลกุลสูงใช้ทางการแพทย์ ตัวอย่างการประยุกต์เซอริซินมีดังนี้

1. เครื่องสำอาง ในปัจจุบันใช้เซอริซินเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางนานาชนิด ผลิตภัณฑ์ดูแลผิวและผม ยารักษาโรค รวมถึงผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม เช่น ส่วนผสมของครีม แชมพู หรือสารให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว สารลดรอยเหี่ยวย่น หรือสารชะลอความแก่ ประกอบกับมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส จึงลดรอยด่างดำที่เกิดจากการสร้างเม็ดสีเมลานิน

2. ด้านการแพทย์ ในปัจจุบันใช้เซอริซินทำคอนแท็กเลนส์ ทำเนื้อเยื่อเทียม เนื่องจากสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อมนุษย์ ใช้เป็นยาในการรักษาโรคมะเร็งลำไส้

3. การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยผ้า ปรับปรุงให้ผ้าที่เคลือบเซอริซินด้วยมีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีขึ้น

4. ด้านสิ่งแวดล้อม เซอริซินสามารถดูดซับสี สารพิษ โลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ดี [23-24]

สรุปและแนวทางในอนาคต

ผ้าไหมไทยเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่ล้ำค่ายิ่ง ดังนั้น การผลิตผ้าไหมไทยในอนาคตควรคำนึงถึงการผลิตผ้าไหมด้วยกระบวนการที่ลดการใช้พลังงาน การใช้สารชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เอนไซม์ในกระบวนการทอผ้าไหม ได้แก่ การสาวไหม การลอกกาวไหม การฟอกขาวไหม และการย้อมสีไหม ควรมีการพัฒนาเอนไซม์ที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก เพื่อส่งเสริมให้อาชีพการปลูกหม่อน เลี้ยงไหม ทอผ้าไหมไทยมีประสิทธิภาพดีขึ้น ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย

เอกสารอ้างอิง

1. Tazima, Y. 1978. The Silkworm: An Important Laboratory Tool. Kodansha Ltd., Tokyo. Japan.
2. Tokiwa, Y., P., Calabia, B.P., Ugwu, C.U., and Aiba, S. 2009. Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Science.* 9: 3722-3742.
3. Zhou, C., Confalonieri, F., Medina, N., Zivanovic, Y., Esnault, C., Yang, T., Jacquet, M., Janin, J., Duguet, M., Perasso, R., and Li, Z. 2000. Fine organization of *Bombyx mori* fibroin heavy chain gene. *Nucleic Acids Research.* 28: 2413-2419.
4. Tanaka, K., Inoue, S., and Mizuno, S. 1999. Hydrophobic interaction of P25, containing Asn-linked oligosaccharide chains, with the H-L complex of silk fibroin produced by *Bombyx mori. Insect Biochemistry and Molecular Biology.* 29(3): 269-276.
5. โมโตอิ มินะกาวะ, เออีอีชิ คาวาอิ และ เข็มชัย เหมะจันทร. 2530. วิทยาการไหมเล่ม 1 คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

6. Robson, R.M. 1985. Hand Book of Fibre. Science and Technology, New York.
7. Gulrajani, M.L. 1988. Degumming of silk; Silk dyeing printing and finishing. Department of Textile Technology Indian Institute of Technology, New Delhi.
8. Shin, B.S., Jeon, J.Y., and Kim, J.H. 2012. Cocoon characteristics of *Antheraea pernyi* silkworm reared in Korean oak field. *International Journal of Industrial Entomology.* 2: 205-208.
9. Gulrajani, M.L. 1992. Degumming of silk. *Coloration Technology.* 22(1): 79-89.
10. Freddi, G., Mossotti, R., and Innocenti, R. 2003. Degumming of silk fabric with several proteases. *Biotechnology Journal.* 106: 101-112.
11. Arami, M., Rahimi, S., Mivehie, L., Mazaheri, F., and Mahmoodi, N.M. 2007. Degumming of Persian silk with mixed proteolytic enzymes. *Journal of Applied Polymer Science.*106: 267-275.
12. Johnny, R.V.A., and Chinnammal, S.K. 2012. Degumming of silk using protease enzyme from Bacillus species. *International Journal of Science and Nature.* 3(1), 51-59.
13. เอกสิทธิ์ ฟูเฟื่องสมบัติ. 2553. การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์โปรตีเอสเพื่อลอกกาวไหม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
14. Romsomsa, N., Chim-anage, P., and Jangchud, A. 2010. Optimization of silk degumming protease production from *Bacillus subtilis* C4 using Plackett-Burman design and response surface methodology. *Science Asia.* 36: 118-124.
15. Sonjui, T., Noomhorm, C., and Promboon, A. 2009. Sericin recovery from silk cocoon degumming wastewater by a membrane process. Kasetsart *Journal Natural Science.* 43: 538-549.
16. Nakpathom, M., Somboon, B., and Narumol, N. 2009. Papain enzymatic degumming of Thai Bombyx mori silk fibers. *Journal of Microbiology Society Thailand.* 23: 142-146.
17. Ninpecth, U., Tsukada, M. and Promboon, A. 2015. Mechanical properties of silk fabric degummed with bromelain. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* 10(3): 1-10.
18. Kafatos, F.C., Tartakoff, A.M., and Law, J.H. 1967. Cocoonase. I. Preliminary characterization of a proteolytic enzyme from silkmoths. *Journal of Biological Chemistry.* 242: 1477-1487.
19. Wu, Y.D., Wang, W.B., Wang, B.L.D., and Shen, W.D. 2008. Cloning and expression of the cocoonase gene from *Bombyx mori. Scientia Agricultura Sinica.* 41: 3277-3285.
20. Yang, J., Wang, W., Li, B., Wu, Y., Wu, H., and Shen, W. 2009. Expression of cocoonase in silkworm *(Bombyx mori)* cells by using a recombinant baculovirus and its bioactivity assay. *International Journal of Biology.* 1: 107-112.

21. Rodbumrer, P., Arthan, D., Uyen, U., Yuvaniyama, J., Svasti, J., and Wongsaengchantra, P.Y. 2012. Functional expression of a *Bombyx mori* cocoonase: potential application for silk degumming, *Acta Biochimica et Biophysica Sinica.* 44: 974-983.
22. Unajak, S., Aroonluke, S. and Promboon, A. 2015. An active recombinant cocoonase from the silkworm *Bombyx mori:* bleaching, degumming and sericin degrading activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 95: 1179-1189.
23. Padamwar, M.N., and Pawar, A.P. 2004. Silk sericin and its applications: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research.* 63: 323-329.
24. Rajput, S.K., and Singh, M.K. 2015. Sericin-A unique biomaterial. IOSR *Journal of Polymer and Textile Engineering.* 2(3): 29-35.