2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1) ความรู้ภูมิหลังเกี่ยวกับไหมอีรี่ (*eri moth*)

ไหมอีรี่ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Samia ricini* Donovan (D.) เป็นไหมป่า (wild silkworm) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นแมลงอยู่ในอันดับ (Order) เดียวกับไหมบ้าน (*Bombyx mori*) คือ Lepidoptera แต่อยู่ต่างวงศ์ (Family) โดยไหมบ้านอยู่ในวงศ์ Bombycidae ส่วนไหมอีรี่อยู่ในวงศ์ Saturniidae อนุกรมวิธานของไหมอีรี่ตาม Genbank Database เป็นดังนี้

NCBI Taxonomy ID: 63990

Scientific name: *Samia ricini* Donovan (D.)

Synonym: *Philosamia ricini* Boisduval (Boisd.)

Genbank common name: emperor moths

Common name: giant silkworm moths

ไหมป่ามีอยู่หลายวงศ์ นอกจากจาก Saturniidae ซึ่งเป็นวงศ์ของไหมอีรี่ดังที่ได้กล่าวแล้ว ยังมีวงศ์อื่นๆ อีก เช่น Lasiocampidae Thaumetopoeidae และ Psychidae เป็นต้น การเรียกไหมป่าเพื่อแสดงว่าไหมพวกนี้มีวงจรชีวิตหรือสามารถมีวงจรชีวิตอยู่กับต้นไม้ในป่าตามธรรมชาติ ไหมป่าในระยะตัวหนอนจึงอาศัยเกาะกินใบพืชอาหารได้หลายชนิด แต่ไม่สามารถกินใบหม่อนได้ (non-mulberry silkworm) ต่างจากหนอนไหมบ้าน *B. mori* ที่ถูกปรับสายพันธุ์มานานนับร้อยนับพันปี จนไม่สามารถหากินอาหารได้เองเนื่องจากประสาทตาไม่ทำงานจึงต้องถูกเลี้ยงและกินใบหม่อนเป็นอาหาร (mulberry silkworm) เท่านั้น ไหมป่าเริ่มมีความสำคัญในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา จากความพยายามที่จะสำรวจหาแหล่งใหม่ของเส้นใยไหมที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ไหมป่าวงศ์ Saturniidae หลายสกุลถูกศึกษาจนรู้วงชีพและพืชอาหาร (food plant หรือ host plant) ซึ่งได้แก่ ไหมทาซาร์ (tasar) ไหมมูก้า (muga) และไหมอีรี่

ไหมทาซาร์ เป็นไหมป่าซึ่งสามารถเก็บมาเลี้ยงตามบ้านได้ (in-door rearing) เฉพาะบางช่วงของวงจรชีวิต แต่ช่วงที่เป็นตัวหนอนซึ่งสร้างใยไหมยังคงต้องปล่อยให้ไปดำรงชีวิตตามธรรมชาติ (outdoor rearing) ในป่าที่เป็นแหล่งของพืชอาหาร ไหมทาซาร์ชนิดพื้นเมืองอินเดียมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Antheraea mylitta* และ *A. roylei* กินพืชพื้นเมืองอินเดีย คือ *Terminalia tomentosa* (ต้นรกฟ้า) และ *T. arjuna* (ต้นสมอเทศ) ส่วนไหมทาซาร์ในประเทศเขตอบอุ่น (temperate zone) ได้แก่ ไหมทาซาร์พื้นเมืองของประเทศจีนซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ *A. pernyi* และไหมทาซาร์พื้นเมืองของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ *A. yamamai* ทั้งสองชนิดนี้กินใบของต้น *Quercus* spp. (ไม้ในวงศ์เดียวกับต้นก่อ)

ไหมมูก้า (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Antheraea assama* หรือ *Antheraea assamensis*) เป็นไหมป่าที่ยังคงต้องเลี้ยงทุกช่วงของวงจรชีวิตบนต้นพืชอาหารตามธรรมชาติในป่ามีแหล่งอาศัยในเขตตะวันออก-

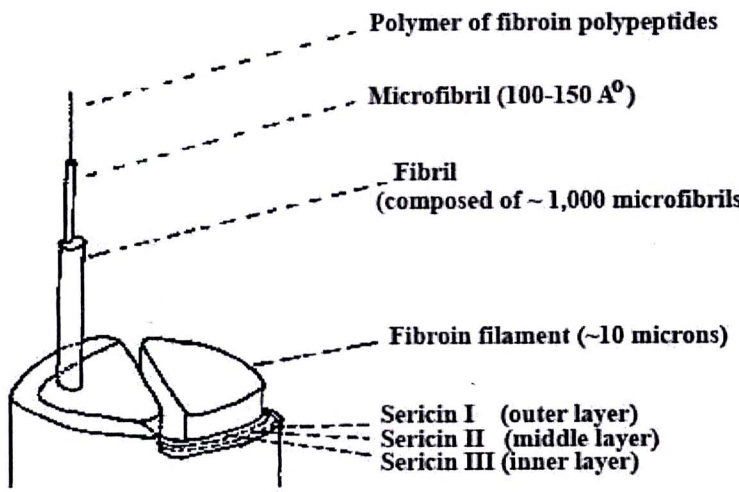
เฉียงเหนือของประเทศอินเดีย โดยพบมากบริเวณแคว้นอัสสัม (Assam) พืชอาหารที่มีในท้องถิ่น ได้แก่ *Machilus bombycina* (ภาษาพื้นเมือง คือต้น som) และ *Litsaea polyantha* (ไม้ในวงศ์เดียวกับต้นกะทัง)

ไหมอีรี่มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บริเวณลุ่มแม่น้ำพรหมบุตร (Brahmaputra valley) ในแคว้นอัสสัมและแคว้นเบงกอลตะวันตก (West Bengal) คำว่าอีรี่ "eri" มาจากรากศัพท์ภาษาท้องถิ่นว่า "eranda" ซึ่งหมายถึงต้นละหุ่ง (castor) ที่เป็นพืชอาหารหลัก (primary food plant) และชื่อวิทยาศาสตร์ของละหุ่ง คือ *Ricinus communis* ยังเป็นที่มาของชื่อวิทยาศาสตร์ของไหมอีรี่ (*Samia ricini*) ไหมอีรี่ยังมีใบพืชอาหารรอง (secondary food plant) อีกหลายชนิด ที่รายงานแล้วมีดังนี้ มันสำปะหลัง (cassava; *Manihot utilissima* และ *M. esculenta*) มะละกอ (papaya; *Carica papaya*) พลัม (plum; *Plumeria acutifolia*) รวมถึงพืชพื้นเมืองอินเดีย อาทิ *Ailenthus grandis* (barpat) *Ailenthus excelsa* (barkesseru) *Evodia flaxinifolia* (payam) และ*Heteropanax fragrans* (kesseru) (FAO Agricultural Services Bulletin No. 136, 1979; Suryanarayna et al., 2003; Sirimungkararat et al., 2005) จากการที่ไหมอีรี่กินพืชได้หลายชนิดจึงมีการนำไหมอีรี่ไปเลี้ยงนอกถิ่นกำเนิด โดยเริ่มแพร่หลายไปยังประเทศจีนและญี่ปุ่นก่อนเป็นลำดับแรก ซึ่งทั้งสองประเทศนี้มีเทคโนโลยีการเลี้ยงไหมมานานนับพันปี ต่อมาไม่นานมานี้จึงมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเลี้ยงไหมอีรี่มายังเนปาลและแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดขอนแก่น (Neupane et al., 1990; Peigler, 1993; Singh and Benchamin, 2002; Sirimungkararat et al., 2005; Wannapruek, 2008).

ทั้งไหมอีรี่ ไหมทาซาร์และไหมมูก้า ถูกเลี้ยงเชิงพาณิชย์แล้วในหลายประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น อินเดีย เนปาล และปากีสถาน แต่ยังคงเรียกว่าไหมป่าและสามารถอยู่รอดในธรรมชาติได้เอง แต่ข้อเด่นของไหมอีรี่ คือ สามารถนำมาเลี้ยงในครัวเรือนหรือโรงเลี้ยง ตั้งแต่ระยะเป็นไข่จนถึงระยะผีเสื้อ ไหมอีรี่ได้เช่นเดียวกับไหมบ้าน ไหมอีรี่จึงมีความสำคัญมากกว่าไหมป่าชนิดอื่นในการพัฒนาเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรม (Suryanarayana, 2005) ไหมอีรี่ยังมีข้อได้เปรียบทางพันธุกรรมมากกว่าไหมบ้านหลายประการ ได้แก่ ทนทานต่อโรคและแมลง จึงลดการใช้สารฟอร์มาลีนหรือฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ในการเลี้ยงหนอนไหมอีรี่ จัดว่าเป็นกระบวนการเลี้ยงปลอดสารเคมี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถชูจุดขายเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ (green product) ซึ่งตรงกับกระแสความต้องการของตลาดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในญี่ปุ่นและสหภาพยุโรป ในปีหนึ่งหนึ่ง ไหมอีรี่มีวงชีพมากกว่าหนึ่งรอบ (polyvoltine) จึงเพาะเลี้ยงได้ตลอดทั้งปีโดยหมุนเวียนเปลี่ยนชนิดพืชอาหารตามฤดูกาล ในขณะที่ไหมบ้านต้องเลี้ยงด้วยใบหม่อนซึ่งมักขาดแคลนในฤดูร้อน นอกจากนี้ไหมอีรี่ยังมีความพิเศษที่มีรังไหมแบบเปิด เลี้ยงได้จนถึงระยะเป็นผีเสื้อไหมซึ่งจะบินออกทางรูเปิด ไม่กัดทำลายรังไหมที่ห่อหุ้ม ดังนั้นการผลิตเส้นไหมไม่จำเป็นต้องฆ่าดักแด้ เป็นจุดเด่นของผ้าไหมที่ได้จากไหมอีรี่ที่ทำให้เข้าถึงกลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ปฏิเสธผลิตภัณฑ์จากไหมบ้าน เส้นใยไหมอีรี่มีเอกลักษณ์ต่างจากของไหมบ้าน เส้นใยโปร่ง เมื่อถักทอเป็นผืนผ้าจะมีความนุ่มคล้ายทำจากขนสัตว์ (wool) ดูแลรักษาง่าย

2.2) โปรตีนองค์ประกอบของเส้นไหม

เส้นใยไหมของหนอนไหมมีองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีนเส้นไหมคือไฟโบรอิน (fibroin filament) 2 เส้นยึดกันด้วยโปรตีนกาวไหม (silk glue protein) คือ เซอริซิน (sericin) ตามภาพที่ 1 เซอริซินนี้เองที่ทำให้เส้นใยไหมมีลักษณะเป็นเส้นใยขรุขระ ซึ่งเมื่อกำจัดเอาเซอริซินออกในกระบวนการที่เรียกการลอกกาวไหม (degumming) จึงจะได้เส้นใยไหมที่เป็นใยไฟโบรอินลักษณะเรียบและเป็นมันวาว โปรตีนทั้งสองชนิดสร้างขึ้นจากเซลล์ของต่อมไหม ไฟโบรอินยังมีคุณสมบัติพิเศษอีกหลายประการที่ส่งผลให้เส้นไหมเหมาะแก่การนำมาทอเป็นเครื่องนุ่งห่ม (garment or textile material)



ภาพที่ 1 โครงสร้างตัดขวางของเส้นใยไหม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscopy) แสดงส่วนของโปรตีนไฟโบรอินและโปรตีนเซอริซิน (ที่มา: FAO Agricultural Services Bulletin No. 136, 1979)

2.3) โปรตีนเซอริซิน

เซอริซินเป็นโปรตีนกลอบูลาร์ (globular protein) ซึ่งสร้างขึ้นที่เซลล์บริเวณผนังช่องส่วนกลางของต่อมไหม ทำหน้าที่เคลือบยึดเส้นใยระดับต่างๆ ของโปรตีนไฟโบรอิน ตั้งแต่ในเส้นใยไมโครไฟบริล (microfibril) ไฟบริล (fibril) ตลอดจนห่อหุ้มเส้นใยโปรตีนไฟโบรอินทั้ง 2 เส้นไว้ด้วยกัน (ภาพที่ 1) เปลือกรังไหมบ้าน (*B. mori*) มีเซอริซินประมาณ 20-30% โดยน้ำหนักขึ้นกับสายพันธุ์ของไหมบ้าน (Mondal et al., 2007) ในขณะที่เปลือกรังไหมป่ามูก้ามีเซอริซินประมาณ 25%

เปลือกรังไหมป่าทาซาร์มีเซอริซิน 16-18% ส่วนเปลือกรังไหมป่าอีรี่ที่เลี้ยงกันในประเทศอินเดียมีโปรตีน เซอริซินปริมาณต่ำเพียง 10-12 % (Sonwalkar, 2001; Suryanarayana, 2005) มีรายงานว่าโปรตีนเซอริซินของไหมบ้านและไหมอีรี่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Akai, 2005; Sarovart et al., 2003; Nuchadomrong et al., 2008) และต้านออกซิแดนท์ (anti-oxidant) (Kato et al., 1998; Sarovart et al., 2003; Nuchadomrong et al., 2008)

Mondal et al. (2007) ทบทวนเอกสารการศึกษาทางโครงสร้างของเซอริซินไหมบ้าน *B. mori* แสดงให้เห็นว่าโปรตีนเซอริซินทั้งที่สกัดมาจากต่อมไหมและสกัดจากเปลือกรังไหมนั้นมีโครงรูประดับทุติยภูมิ(secondary structure) ส่วนใหญ่เป็นโครงรูปไร้รูปร่าง (random coil) เพียง 5-10% เท่านั้นที่เป็นโครงรูปบีต้า (β-structure) และไม่มีโครงรูปเกลียวแอลฟา (α-helix) ในโครงสร้างเลย การเปลี่ยนสภาพจากโครงรูปไร้รูปร่างไปสู่โครงรูปบีต้าอาจเกิดขึ้นได้ เช่น ผลจากตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด ซึ่งจะทำให้เซอริซินละลายน้ำได้ลดลง นอกจากนี้ยังแบ่งกลุ่มเซอริซินที่หุ้มห่อเส้นใยโปรตีนไฟโบรอิน ออกเป็น 3 กลุ่มตามระดับชั้น (ภาพที่ 1) และสมบัติการละลายด้วยน้ำร้อน โปรตีน sericin I อยู่ชั้นนอกสุด (outer layer) ละลายได้ดี โครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous structure) ส่วน sericin II และ sericin III อยู่ที่ชั้นกลาง (middle layer) และชั้นในสุด (inner layer) ตามลำดับ

ขนาดของเซอริซินมีความหลากหลาย ตั้งแต่ในช่วง 60 kDa ถึงมากกว่า 400 kDa (อ้างอิงใน Kato et al., 1998) หรือในช่วง 10 kDa ถึงมากกว่า 300 kDa (อ้างอิงใน Sarovart et al., 2003) สาเหตุหนึ่ง คือ โมเลกุลเซอริซินถูกทำลายเนื่องจากถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) ในขณะต้มเส้นใยไหมเพื่อกำจัดเซอริซินทิ้งหรือสกัดเซอริซินออก ซึ่งเรียกว่ากระบวนการลอกกาวไหม (degummning) ไม่ว่าจะใช้วิธีต้มในน้ำ (อ้างโดย Takasu et al., 2002) ในสารละลายด่าง (อ้างโดย Vaithanomsat and Kitpreechavanich, 2008) หรือสารละลายกรด (Kurioka et al., 2004) Wu et al. (2007) รายงานการเตรียมผงเซอริซินจากน้ำทิ้งที่เป็นน้ำกาวไหมจากโรงงานอุตสาหกรรมไหม โดยการตกตะกอนเซอริซินด้วยเอทานอล ใช้เทคนิค SDS-PAGE วิเคราะห์ขนาดเซอริซินที่ตกตะกอนได้ พบพอลิเปปไทด์จำนวนมากขนาดแตกต่างในช่วง 14 – 97 kDa เซอริซินเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเซอรีน (Ser) ในปริมาณสูง (ตารางที่ 1) และยังมีกรดอะมิโนอื่นๆ อีก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดโซ่ข้าง (side chain) มีขั้วจากหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโน อัตราส่วนของกรดอะมิโนเหล่านี้แตกต่างกันไปตามชนิดของไหม (ไหมป่าหรือไหมบ้าน) หรือสายพันธุ์ของไหม รวมทั้งอาจเป็นผลจากกระบวนการเตรียมเซอริซินที่ทำให้เกิดการทำลายโมเลกุลไปบางส่วนและไม่สามารถกู้กลับคืนได้ด้วยวิธีตกตะกอน

ตารางที่ 1 ร้อยละโดยจำนวนโมลของกรดอะมิโนแต่ละชนิดเทียบกับกรดอะมิโนทั้งหมดของเซอริซิน ที่สกัดแยกได้จากเปลือกรังไหม (ข้อมูลที่เว้นไป เนื่องจากไม่มีค่ารายงาน)

(ที่มา: Kato et al., 1998*; Mondal et al., 2007; Wu et al., 2007#; Dash et al., 2006)

Amino acid	*Bombyx mori*	*Bombyx mori**	*Bombyx mori*#	*Antheraea mylitta*
Gly	8.8	19.1	7.91	16.11
Glu	10.1	4.4	5.29	5.7
Ala	4.04	3.8	3.17	6.01
Ser	30.1	31	20.21	19.78
Leu	0.9	0.8	1.25	1.76
Thr	8.5	8	5.57	13.22
Ile	0.6	0.4	0.94	1.56
Phe	0.6	0.2	1.17	_
Val	3.1	3.1	2.82	1.29
Tyr	4.9	3.3	3.41	2.38
Arg	4.2	3.9	3.64	3.36
Pro	0.5	0.4	0.9	1.28
His	1.4	1	1.27	10.15
Met	0.1	<0.05	0.36	_
Lys	5.5	2.7	1.54	2.95
Trp	0.5	_	0.32	_
Asp	16.8	17.8	13.93	_
Cystine	0.3	_	_	_
Cys	_	<0.05	0.24	_

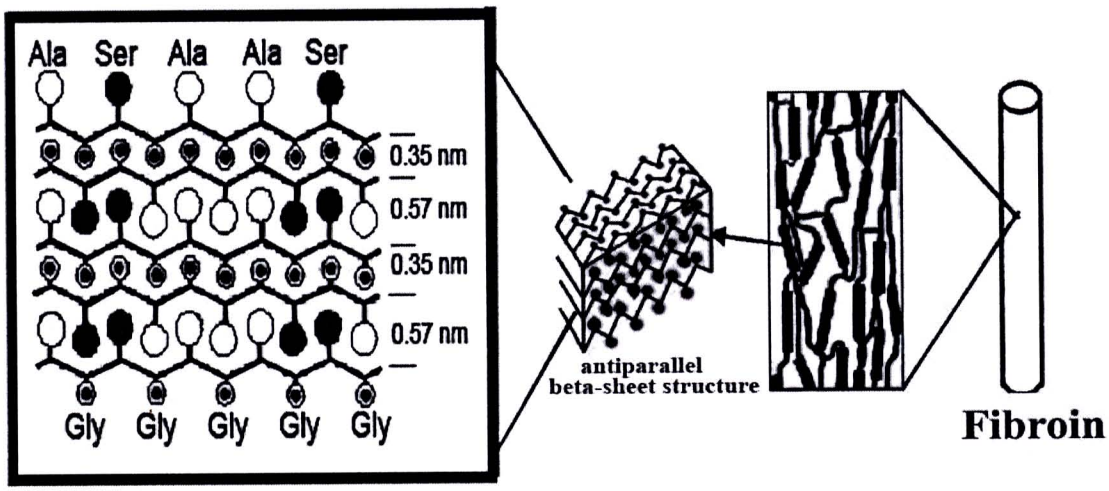
นอกจากการศึกษาทางด้านโปรตีนแล้ว ข้อมูลในระดับยีนและ mRNA ยังสนับสนุนการมีขนาดหลากหลายของเซอริซิน คือ มีรายงานยีน 3 ยีน ที่กำหนดการสังเคราะห์เซอริซิน ได้แก่ ยีน *Ser 1* และ *Ser 2* ยีน *Ser 1* สังเคราะห์ mRNA ขนาด 10.5, 9.0, 4.0 และ2.8 kb ซึ่งสอดคล้องกับการทำหน้าที่สังเคราะห์พอลิเปปไทด์ในช่วง 65-400 kDa ส่วนยีน *Ser 2* สังเคราะห์ให้ mRNA ขนาด 6.4 หรือ 5.0 และ3.1 kb ซึ่งสอดคล้องกับการทำหน้าที่สังเคราะห์พอลิเปปไทด์ในช่วง 164-227 kDa (อ้างโดย Tsujimoto et al., 2001)

2.4) โปรตีนไฟโบรอิน

ไฟโบรอินเป็นโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ไฟโบรอินแต่ละเส้นประกอบด้วยไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ (fibroin polypeptide) หน่วยย่อย ซึ่งสร้างขึ้นที่เซลล์ในส่วนท้าย (posterior division) ของต่อมไหมในสภาพเป็นเจลเหลว (liquid silk) ลำเลียงมาเก็บสะสมในช่องส่วนกลางของต่อมไหม (middle division) จนกระทั่งหนอนไหมเข้าระยะปั่นใย (spinning stage) ก่อนเปลี่ยนสรีระเป็นดักแด้

Mondal et al. (2007) ทบทวนเอกสารว่าไฟโบรอินของ *B. mori* ประกอบด้วย ไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ 3 พวก ได้แก่ พอลิเปปไทด์เส้นยาว น้ำหนักโมเลกุลมาก (350 kDa) เรียก high (H)-chain พอลิเปปไทด์เส้นสั้น น้ำหนักโมเลกุล 26 kDa เรียก low (L)-chain และพอลิเปปไทด์ที่มีสมบัติไกลโคโปรตีน (glycoprotein) น้ำหนักโมเลกุล 30 kDa เรียก P25 ไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ทั้งสามชนิดถูกสร้างขึ้นในสัดส่วนโดยโมล (mole ratio) 6:6:1 ตามลำดับ L-chain และ H-chain จับยึดกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) ระหว่าง Cys-172 ของ L-chain กับ Cys-20 ของ H-chain ส่วน P25 นั้นเข้ามาจับด้วยกลไกที่ยังไม่ทราบเกิดเป็นโมเลกุลไตรเมอร์ (trimer) แล้วจัดตัวเป็นโมเลกุลเฮกซาเมอร์ (hexamer) ซึ่งเป็นหน่วยเบื้องต้นของโครงสร้างพอลิเมอร์ (polymer) ของโปรตีนไฟโบรอิน

โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนไฟโบรอิน (ภาพที่ 2) มีบริเวณที่เป็นระเบียบซึ่งเป็นผลจากการที่เส้นไฟโบรอินพอลิเปปไทด์เข้ามาเรียงซ้อนชิดกันได้มากและเกิดแรงยึดต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียกว่าเป็นบริเวณผลึก (crystalline region) สลับกับบริเวณไม่เป็นผลึก (non-crystalline region หรือ amorphous region) ซึ่งพอลิเปปไทด์เรียงซ้อนไม่ชิดกันมาก โครงรูปบริเวณผลึกเป็นบีต้าชีทแบบขนานสวนทาง (anti-parallel β–sheet) เป็นผลจากกรดอะมิโนขนาดเล็ก ได้แก่ อะลานีน (alanine; Ala) เซอรีน (serine; Ser) และไกลซีน (glycine; Gly) ที่เรียงต่อกันด้วยลำดับแน่นอนและเป็นบริเวณซ้ำๆ (repetitive sequences) คาดว่าบริเวณผลึกนี้เกี่ยวข้องกับการมีคุณภาพดีของเส้นใยไหม



ภาพที่ 2 โมเดลแสดงโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของโปรตีนไฟโบรอิน สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าสีดำทึบแทนบริเวณผลึกที่เกิดจากโครงสร้างบีต้าชีทแบบขนานสวนทาง (antiparallel β-sheet crystalline regions) ส่วนสัญลักษณ์เส้นโค้งที่เชื่อมต่อระหว่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าสีดำทึบแทนบริเวณไม่เป็นผลึก (amorphous regions) (Gosline et al., 1986; adapted from Voet and Voet, 1995)

รายงานหลากหลายจากไหมบ้านแสดงถึงลำดับกรดอะมิโนในไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ที่ทำให้เกิดบริเวณผลึกของโปรตีนไฟโบรอิน Asakura and Yao (2002) รายงานลำดับกรดอะมิโนหน่วยซ้ำๆ ดังนี้ ลำดับ Ala-Gly-Ser-Gly-Ala-Gly (AGSGAG) ลำดับ Ala-Gly-Tyr-Gly-Ala-Gly (AGTGAG) เมื่อ Tyr แทนกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) ลำดับ Ala-Gly-Val-Gly-Tyr-Gly-Ala-Gly (AGVGTGAG) เมื่อ Val แทนกรดอะมิโนวาลีน (valine) และลำดับ GAAS บางรายงานแสดงให้เห็นว่าเป็นลำดับ Gly-X เมื่อ X เป็น Ala Ser ในสัดส่วน 2:1 (อ้างโดย Tanaka et al., 2002) ลำดับ $(GA)_2GS$ ลำดับ Gly-X เมื่อ X เป็น Ala Ser Tyr ในสัดส่วน 6.4:2.2:1 (อ้างโดย Yamada et al., 2003) ลำดับ $(GA)_2GSGAAG[SG(AG)_2]_8Y$ (อ้างโดย Jin and Kaplan, 2003) ถึงแม้ว่าข้อมูลจะแตกต่างกันบ้าง แต่ที่เหมือนกันคือในลำดับเหล่านี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนขนาดเล็ก การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนให้ผลสนับสนุนความสำคัญของ Gly Ala Ser และ Tyr ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กรดอะมิโนองค์ประกอบของโปรตีนไฟโบรอิน

(ที่มา: FAO Agricultural Services Bulletin No.136#, 1979; Tanaka et al., 2002; Ahmad et al., 2004*)

หน่วยเป็นกรัม/โปรตีนไฟโบรอิน100 กรัม (ข้อมูลที่เว้นไป เนื่องจากไม่มีค่ารายงาน)

Amino acid	*Bombyx mori*	*Bombyx mori**	*Bombyx mori#*	*Philosamia ricini**	*Antheraea pernyi*	*Antheraea yamamai*
Ala	32.4	28.8	32.4	13.6	50.5	49.5
Gly	42.8	43.7	42.8	5	23.6	22.7
Ser	14.7	11.9	14.7	18	11.3	11
Tyr	11.8	5.1	11.8	4.5	8.8	8.1
Val	3.03	2.2	3	8.1	0.95	0.94
Asp	1.73	_	1.9	_	6.58	6.86
Arg	0.9	0.46	0.9	2.5	6.06	7
His	0.32	_	0.3	_	1.41	1.51
Glu	1.74	1	1.7	24.7	1.34	1.13
Lys	0.45	0.31	0.5	10.05	0.26	0.2
Leu	0.68	0.51	0.7	4.6	0.51	0.52
Phe	1.15	0.61	1.2	6.06	0.52	0.36
Pro	0.63	0.31	0.6	5.9	0.44	0.48
Thr	1.51	_	1.2	_	0.69	0.85
Met	0.1	_	0.2	5.4	0.03	0.03
Cys	0.03	_	0.1	_	0.04	0.05
Trp	0.36	_	0.5	_	1.41	1.63

ไฟโบรอินของไหมป่าในวงศ์ Saturniidae มีเฉพาะ H-chain และ L-chain (Mondal et al., 2007) ซึ่งขนาดแตกต่างจากของ *B. mori* Mandal and Kundu (2007) สกัดแยกไฟโบรอินจากต่อมไหมของตัวหนอนไหมทาซาร์ (*A. mylitta*) วัย 5 (5^{th} instar larva) วิเคราะห์ได้ว่าประกอบด้วยพอลิเปปไทด์ขนาด 395 kDa และ 197 kDa Ahmad et al. (2004) สกัดแยกโปรตีนไฟโบรอินจากเปลือกรังไหม *A. assama* วิเคราะห์ได้ผลว่าประกอบด้วยพอลิเปปไทด์ขนาด 220 kDa และ 20 kDa รวมทั้ง

สกัดแยกโปรตีนไฟโบรอินจากเปลือกรังไหมอีรี่(*Philosamia ricini*) วิเคราะห์ได้ว่าประกอบด้วยพอลิเปปไทด์ขนาด 97 kDa และ 45 kDa โดยไม่มีลำดับซ้ำๆ ของ Gly และ Ala ซึ่งต่างจากไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ของ *B. mori* ความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างไฟโบรอินของเส้นใยไหมป่าและไหมบ้าน *B. mori* คือ สัดส่วนองค์ประกอบของ Gly และ Ala (ตารางที่ 2) นอกจากนี้รายงานวิจัยของ Sen and Babu K (2004) ยังรายงานผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างไฟโบรอินของไหมบ้านและไหมป่า 3 ชนิด (ไหมทาซาร์ ไหมมูก้า และไหมอีรี่) สนับสนุนว่า เส้นใยไฟโบรอินไหมป่ามีสมบัติดีในด้านการเก็บความชื้น (moisture regain) มีสัดส่วนองค์ประกอบที่เป็น Ala มากกว่า Gly และอัตราส่วนโดยรวมของกรดอะมิโนชนิดชอบน้ำ (hydrophilic amino acid) ซึ่งได้แก่ Ser Asp Arg His Glu Lys และ Thr สูงเป็นเกือบ 10 เท่า (9.06-9.85) เมื่อเปรียบเทียบกับกรดอะมิโนชนิดไม่ชอบน้ำ (hydrophobic amino acid) ในขณะที่ของไหมบ้านมีอัตราส่วนสูงกว่าเพียงประมาณ 5.29-6.22 เท่า

ในปัจจุบันไฟโบรอินได้ถูกนำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ เช่น ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (Hidefumi et al., 2000; Takeshita et al., 2000; Toshio et al., 2000; Kojthung et al., 2008) อุตสาหกรรมอาหาร (Seiji, 1997; Komatsu, 1999; Hirohisa et al., 2004; Keiko and Michiko, 2004; Hu et al., 2008;) วัสดุการแพทย์และผลิตภัณฑ์เภสัชกรรม (Rujiravanit et al., 2003)

2.5) ตัวอย่างการศึกษาการแยกสกัดโปรตีนไหม งานวิจัยและสิทธิบัตร

Kato et al. (1998) สกัดแยกไฟโบรอินกับเซอริซินโดยต้มเปลือกรังไหมบ้านในน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาที กรองแยกเส้นใยโปรตีนไฟโบรอินนำเอาเฉพาะเซอริซินมาศึกษาการออกฤทธิ์แอนติออกซิเดชัน โดยทดสอบด้วยปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของลิพิดโดยใช้ลิพิดของสมองหนูปั่นบด (rat homogenate) เป็นตัวเริ่มต้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์คอนจูเกตไดอีน (cojugated diene) ของลิพิดที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) ซึ่งสามารถวัดปริมาณได้ ปรากฏว่า เซอริซินสามารถลดการเกิดสาร TBARS นอกจากนี้ยังศึกษาการออกฤทธิ์ของเซอริซินในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะทำให้เกิดการสร้างรงควัตถุสีดำ (melanin) ของเซลล์เมลาโนไซต์ (melanocytes) ที่ผิวหนัง จากนั้นติดตามผลการยับยั้งเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารโดปาโครม (dopachrome) จากสารไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (dihydroxy-phenylalnine; DOPA) ผลการวิจัยพบว่า เซอริซินยับยั้งไทโรซิเนสได้จึงมีประโยชน์ทางด้านผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางปกป้องผิวจากความหมองคล้ำและอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ยังมีการนำเซอริซินมาทดสอบการป้องกันรังสียูวีบี (UVB)ในสัตว์ชนิด hairless mice พบว่าเซอริซินช่วยป้องกันผิวหนังไม่ให้บวมแดงเมื่อได้รับรังสียูวีบี (UVB) และลดการเกิดเนื้องอกที่ผิวหนังบริเวณที่ได้รับรังสียูวีบีได้ด้วย (Zhaorigetu *et al.*, 2003)

Yamada et al. (2000) จดสิทธิบัตรวิธีการเตรียมผงโปรตีนเซอริซินที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 100 kDa โดยต้มเส้นใยไหมในน้ำกลั่น ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาที นำน้ำกาวไหมมาทำเป็นผงแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (freeze-drying) ได้โปรตีนเซอริซินบริสุทธิ์ 95% และจดสิทธิบัตรวิธีการเตรียมผงโปรตีนเซอริซินที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำเฉลี่ยประมาณ 20 kDa จากเส้นใยไหม โดยต้มเส้นใยไหมใน 0.2% Na_2CO_3 (pH 11-12) ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาที นำน้ำกาวไหมมาทำเป็นผงแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ได้โปรตีนเซอริซินบริสุทธิ์ 90% ทดสอบเปรียบเทียบการออกฤทธิ์แอนติออกซิเดชันด้วยปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของลิพิดโดยใช้ลิพิดของสมองหนูปั่นบดหรือกรดไขมันอะราชิโนดิก (arachinodic acid) เป็นตัวเริ่มต้น วัดปริมาณผลิตภัณฑ์คอนจูเกตไดอีนด้วยปฏิกิริยาของกรดไทโอบาร์บิทูริค ตลอดจนเปรียบเทียบการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ถือสิทธิรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เภสัช เครื่องสำอางและอาหารที่จะใช้เซอริซินตามสิ่งประดิษฐ์เป็นส่วนผสม

Sarovart et al. (2003) แยกโปรตีนเซอริซินจากไหมบ้านที่เลี้ยงกันในประเทศไทย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นางน้อย (Nang Noi) และพันธุ์ดอกบัว (Dok Bua) เตรียมเป็นสารละลายโปรตีนในน้ำแล้วนำไปเคลือบแผ่นพอลิเมอร์ แผ่นเคลือบโปรตีนเซอริซินสามารถออกฤทธิ์แอนติออกซิแดนต์ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) ยับยั้งการเจริญของราและแบคทีเรียโดยพบว่าเซอริซินของพันธุ์นางน้อยสามารถยับยั้งการเจริญของราและแบคทีเรียได้ดีกว่าพันธุ์ดอกบัว

Tao et al. (2005) รายงานการเตรียมวัสดุรูพรุนจากโปรตีนเซอริซินของไหมบ้าน (*B. mori*) ด้วยวิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนและอุณหภูมิมีผลต่อขนาดของรูรวมทั้งจำนวนรูพรุน

Aramwit and Sangcakul (2007) รายงานการใช้โปรตีนเซอริซินของไหมบ้านเป็นส่วนผสมของการเตรียมครีมทารักษาแผลในหนูทดลอง พบว่าสามารถรักษาแผลได้ดีและไม่เกิดการอักเสบต่อต้าน

โปรตีนไฟโบรอินเป็นโมเลกุลกึ่งมีขั้วกึ่งไม่มีขั้ว (amphiphilic molecule) เนื่องจากในโครงสร้างประกอบด้วยบริเวณไม่มีขั้วกับบริเวณมีขั้วสลับกันไป การละลายไฟโบรอินใช้หลัก การ "salting in" ด้วยเกลือความเข้มข้นสูง เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) แคลเซียมไนเตรต (calcium nitrate) คอปเปอร์เอทิลีนไดอามีน (copper ethylenediamine) หรือใช้เกลือที่เป็นสาร chaotropic agent เช่น ลิเทียมคลอไรด์ (lithium chloride) ลิเทียมโบรไมด์ (lithium bromide) และลิเทียมไธโอไซยาเนต (lithium thiocyanate) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาระบบตัวทำละลายของสารละลายเกลือดังที่กล่าวร่วมกับแอลกอฮอล์บางชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล เพื่อช่วยทำลายการยึดเกาะกันของโครงสร้างบริเวณไม่มีขั้ว

Ajisawa (1998) ละลายไฟโบรอินไหมบ้านด้วยระบบตัวทำละลายที่ได้จากการละลายแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำผสมกับเอทานอลให้มีอัตราส่วนโดยโมล (molar ratio) เป็น 1 : 8 : 2 ตามลำดับ เกิดการละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่ 55 องศาเซลเซียส

Ha et al. (2003) ศึกษาการละลายของไฟโบรอินจากไหมบ้าน (*B. mori*) ในระบบตัวทำละลายแคลเซียมไนเตรต-เมทานอล พบว่าปัจจัยสำคัญ คือ อัตราส่วนโดยโมล (molar ratio)ของแคลเซียมไนเตรต น้ำและเมทานอล โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเป็น 1:4:2 ตามลำดับสาร และจากใช้เทคนิค Absorption analysis ทำให้สามารถตรวจพบอิออนของแคลเซียมจับกับโมเลกุลไฟโบรอินในสารละลาย แม้ว่าจะทำไดอะไลซิสกำจัดเป็นเวลานานก็ตาม คาดว่า อิออนแคลเซียมจับกับอะตอมออกซิเจนที่พันธะเปปไทด์ของโปรตีนด้วยแรงยึดแบบโคออร์ดิเนตโควาเลนท์ (coor-dinated covalent) นอกจากนี้ ยังเป็นไปได้ว่าน้ำเป็นสารที่ช่วยการพองตัว (swelling agent) ของเส้นใยไฟโบรอินหรืออาจล้อมรอบโมเลกุลโปรตีนไฟโบรอินสภาพละลายน้ำโดยจับยึดที่พันธะเปปไทด์ด้วยวิธีการเดียวกับอิออนแคลเซียม

Yamada et al. (2001) ละลายไฟโบรอินของไหมบ้านในสารละลายอิ่มตัวของลิเทียม-ไธโอไซยาเนต (ความเข้มข้นประมาณ 9 โมลาร์) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ละลายได้ไม่สมบูรณ์ ยังมีส่วนเส้นใยเหลืออยู่ อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการนี้ ทำให้โมเลกุลไฟโบรอินที่ละลายน้ำได้นั้นเป็นโมเลกุลใหญ่ขนาดถึงประมาณ 370 kDa

มีการใช้ไฟโบรอินเส้นไหมเป็นวัสดุเย็บปิดแผลมานานนับพันปี ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันช่วยให้เกิดการนำไฟโบรอินมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์มากขึ้น สมบัติเด่นของไฟโบรอิน คือ ถูกย่อยสลายได้ในเนื้อเยื่อคน/สัตว์ ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ โอกาสก่อภูมิแพ้ไม่สูงนัก และไม่ก่ออาการอักเสบ มีการพัฒนาโปรตีนไฟโบรอินไหมบ้านเป็นวัสดุปิดแผล รักษาแผลเรื้อรัง เพราะมีสมบัติช่วยยึดเกาะและกระตุ้นการเจริญของเซลล์ ตลอดจนพัฒนาเป็นวัสดุทดแทนคอลลาเจน(collagen) ใช้ในกระตุ้นสร้างเนื้อเยื่อ (tissue engineering)

Tsubouchi et al. (2003) ศึกษาเบื้องต้น (pre-clinic test) พบว่า ไฟโบรอินไหมบ้านขนาด 370 kDa มีผลกระตุ้นการเจริญเพิ่มจำนวนของเซลล์เพาะเลี้ยง human skin fibroblast

Igarashi et al. (2006) ศึกษาในโปรตีนไฟโบรอินไหมบ้าน โดยละลายโปรตีนพร้อมกับการไฮโดรไลซ์โปรตีนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 40% ที่ 85-88 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นไฮโดรไลซ์ต่อด้วยเอนไซม์ alcalase เพื่อเตรียมไฟโบรอินไฮโดรไลเสต (fibroin hydrolysate) แยกบริสุทธิ์เปปไทด์ขนาดต่างๆ ในไฟโบรอินไฮโดรไลเสตโดยผ่านคอลัมน์ของ Amberlite XAD-2 ได้เปปไทด์ 2 ชนิด ที่มีลำดับกรดอะมิโนเป็น GVGY (ไกลซีนต่อกับวาลีน ไกลซีน และไทโรซีน ตามลำดับ) และเปปไทด์ที่มีลำดับกรดอะมิโนเป็น GVGAGY (ไกลซีนต่อกับวาลีน ไกลซีน อะลานีน ไกลซีนและไทโรซีน ตามลำดับ) ซึ่งทั้งสองเปปไทด์นี้มีสมบัติลดความดันเลือด

Yeo et al. (2006) ศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เตรียมจากไฟโบรอินไหมบ้าน โดยย่อยไฟโบรอินด้วยเอนไซม์โปรติเอส แล้วแยกบริสุทธิ์เปปไทด์ด้วยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC) ทดสอบผลของเปปไทด์บริสุทธิ์ในการต้านการตายของ

เซลล์ประสาทเพาะเลี้ยง (cultured neural cell) จากพิษออกซิเดชันของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ไฟโบรอินเปปไทด์ขนาด 1400 ดาลตัน (Da) ออกฤทธิ์ต้านได้ดีที่สุด

Acharya and Ghosh (2008) ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มบางไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมบ้าน (*B. mori*) และไหมทาซาร์ (*A. mylitta*) สกัดเซอริซินทิ้งโดยต้มเปลือกรังไหมใน Na_2CO_3 0.2 โมลาร์ที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที ล้างซ้ำด้วยน้ำกลั่น อบแห้งเปลือกรังไหม แล้วละลายด้วยลิเทียมโบรไมด์ 9.3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เตรียมเป็นฟิล์มบางบนผิวพลาสติค พอลิสตรัยรีน (polystyrene) ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการเป็นผิวเกาะของเซลล์ L929 murine fibroblast พบ ว่า เซลล์เกาะฟิล์มที่เตรียมจากไฟโบรอินของ *A. mylitta* ได้ดีกว่าที่เตรียมจากไหมบ้าน นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่ทำให้คาดว่าน่าจะเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อมนุษย์ (biocompatibility) คือ ผลการทดลอง *in vitro* แสดงให้เห็นว่าไฟโบรอินจากไหมทั้ง 2 ชนิด ไม่กระตุ้นปฏิกิริยาของภูมิคุ้มกัน

Tsubouchi (US patent, 2002) จดสิทธิบัตรวัสดุเยื่อบาง (membrane) ที่เตรียมจากไฟโบรอิน มีสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์ชั้นใต้ผิว (epidermal cell) ของคน วัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

นอกจากการวิจัยและจดสิทธิบัตรในการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์แล้ว ยังมีงานวิจัย ด้านการนำไฟโบรอินของไหมบ้านมาเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและการผลิตเครื่องสำอาง

Seiji (1997) จดสิทธิบัตรการเตรียมสารละลายไฟโบรอินไหมบ้านให้มีสภาพเป็นครีม (cream state) ซึ่งแต่เดิมนั้นสามารถเตรียมได้เป็นเจลลี่ (jelly-like state) วิธีการเตรียมมีขั้นตอนดังนี้ ละลายเส้นใยไฟโบรอิน (เช่น ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ลิเทียมโบรไมด์ หรือแคลเซียมไนเตรต) ให้ได้สารละลายโปรตีนไฟโบรอินความเข้มข้นสูง ไดอะไลซ์ (dialyse) กำจัดเกลือที่เป็นตัวทำละลายทิ้ง แล้วอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในสารละลายโปรตีนไฟโบรอินจนกระทั่งค่าพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (carbonic acid) ให้พีเอชเป็น 3-5 ซึ่งเป็นค่าไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ของไฟโบรอินไหมบ้าน บ่มไว้ 10-14 วันหรืออาจนานขึ้นเล็กน้อย สารละลายโปรตีนจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพเป็นครีม ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ด้วยวิธีการดูดอากาศ การไล่ก๊าซออกด้วยความร้อน ก็จะได้เนื้อครีมโปรตีนไฟโบรอินที่ไม่มีสารตกค้างที่เป็นโทษเหลืออยู่เลย ครีมที่ได้นี้มีความคงทนต่อความร้อนถึงระดับที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (sterilization) ในสิทธิบัตรมีตัวอย่างการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงสมบัติของครีมไฟโบรอินไหมบ้านต่อการประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง ได้แก่ สมบัติการอุ้มความชื้น (humidity retention) ดีกว่าโปรตีนคอลลาเจน (collagen) และยังช่วยดูดซับแสงยูวี สำหรับด้านอาหารนั้น ได้ทดสอบสมบัติการช่วยลดระดับ LDL-cholesterol ในเลือดหนู (rat) พบว่า ช่วยลดได้ประมาณ 40% จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงของเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (arterial sclerosis) ช่วยลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ตับหนู ทั้งนี้หนูที่กินโปรตีนไฟโบรอินไม่เกิดความผิดปกติใดใดขึ้นกับอวัยวะในช่องท้อง คือ ตับ ไต ตับอ่อน กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก

Kazuko et al. (1999) รายงานการเตรียมผงไฟโบรอินไหมบ้าน จากไฟโบรอินในสภาพโปรตีนสภาพโปรตีนละลายน้ำ เมื่อทดสอบคุณค่าด้านโภชนาการในหนู (rat) ทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารเป็น 11-25% จากการผสมผงไฟโบรอินในอาหารที่อุดมด้วยคอเลสเตอรอล (cholesterol-enriched diet) แล้วให้หนูทดลองกิน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับแต่อาหารนั้นที่ไม่มีไฟโบรอินผสม พบว่าหนูที่ได้รับไฟโบรอินร่วมด้วยมีระดับคอเลสเตอรอลต่ำทั้งในกระแสเลือดและในตับ แต่กลับตรวจวัดปริมาณคอเลสเตอรอลมากในมูลหนู คาดคะเนว่าผลดังกล่าวเกิดจากไฟโบรอินส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะช่วยจับคอเลสเตอรอลไม่ให้ถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือด

Joo et al. (2002) จดสิทธิบัตรวิธีการเตรียมเปปไทด์จากไฟโบรอินไหมบ้าน ซึ่งเป็นเปปไทด์ที่มีสมบัติต้านการเกิดเซลล์มะเร็งเนื่องจากออกฤทธิ์ยับยั้งการเกิดการทำลายดีเอ็นเอของเซลล์คัพภะของหนูไมซ์ (mouse embryo 3T3 cell line) ที่ได้รับสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ชนิด MNNG (N-methyl-N′-nitro-N-nitrosoguanidine) และมีสมบัติกระตุ้นสร้างอนุมูลอิสระไนตริกออกไซด์ของเซลล์มาโครฟาจ (macrophage) จึงช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกาย จดสิทธิบัตรวิธีการเตรียมไฟโบรอิน-เปปไทด์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการไฮโดรไลซ์เส้นใยไฟโบรอินด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ ที่ 100 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง และวิธีการใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนไฟโบรอินในสภาพที่เป็นสารละลายแล้ว เอนไซม์ที่ใช้ได้แก่ ทริพซิน เปปซิน นิวเตรส (neutrase) หรือ อัลคาเลส (alcalase) เวลาที่ใช้ย่อย 2-4 ชั่วโมง

Hirohisa et al. (2004) ศึกษาสมบัติการย่อยได้ของไฟโบอินไหมบ้านที่เตรียมให้เป็นโปรตีนละลายน้ำเปรียบเทียบกับโปรตีนเคซีน (casein) ในน้ำนม จากการทดลองใช้เอนไซม์ผสม 3 ชนิด ได้แก่ เปปซิน (pepsin)-ทริพซิน (trypsin)-ไคโมทริพซิน (chymotrypsin) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นเอนไซม์ย่อยอาหารโปรตีนในกระเพาะอาหาร ปรากฏว่า ไฟโบรอินเกิดการย่อยได้เพียงประมาณ 58% แต่เมื่อทดลองโดยให้หนู (rat) กิน พบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้จริง (true digestibility) เป็น 65.7% ผู้วิจัยจึงสรุปว่าโปรตีนไฟโบรอิน มีคุณค่าในด้านการเป็นอาหารโปรตีนต่ำกว่าโปรตีนเคซีน

Keiko and Michiko (2004) ทดลองเตรียมสารละลายไฟโบรอินไหมบ้านให้เป็นวุ้นเจลเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบสูตรของหวานแช่เย็น (cold dessert) และสูตรอาหารสำหรับผู้สูงวัย โดยแปรความเข้มข้นของไฟโบรอินและอุณหภูมิของการเตรียมเจล เมื่อทดสอบสมบัติกายภาพของเจลไฟโบร-อินเปรียบเทียบกับวุ้นอะการ์ (agar) และวุ้นเจลาติน (gelatin gel) พบว่าวุ้นไฟโบรอินมีความหยุ่นตัว (elasticity) มากกว่าประมาณ 10 เท่า จากการใช้วุ้นไฟโบรอินเป้นวัตถุดิบเติมกลิ่นองุ่น แล้วทดสอบประเมินการรับรู้กลิ่นรส (sensory evaluation) ของผู้บริโภคกลุ่มสูงวัย ได้ผลเทียบเคียงกับการใช้วุ้นคาราจีแนน (carrageenan)

Kim and Shin (2007) วิจัยคุณค่าด้านอาหารของไฟโบรอินจากไหมทาซาร์ *A. yamamai* เตรียมไฟโบรอินไฮโดรไลเสต (hydrolysate) โดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เมื่อนำไฮโดรไล-เสตมาศึกษาการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน พบว่า ได้ผลเป็น 75% ของกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ซึ่ง

เป็นสารออกฤทธิ์มาตรฐาน และผลทดสอบการลดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด พบว่า สามารถลดได้มากกว่า 50% คือ จาก 550 มก./เดซิลิตร เหลือ 300 มก./เดซิลิตร

Hu et al. (2008) ทำการวิจัยโดยละลายไฟโบรอินไหมบ้าน แล้วทดสอบประสิทธิภาพการย่อยโดยเอนไซม์อิลาสเตส (elastase) ซึ่งสับสเตรตปกติของเอนไซม์ คือโปรตีนเส้นใยชนิดอิลาสติน (elastin) พบว่า ไฟโบรอินสามารถเกิดการย่อยได้ด้วยค่าสัมพัทธภาพต่อเอนไซม์ (K_m) 14.49 มก./มล. และด้วยอัตราเร็วเริ่มต้นสูงสุดของปฏิกิริยา (V_m) 1.96 ไมโครโมล/นาที ได้ไฟโบรอินเปปไทด์ผสมหลายขนาด ซึ่งเมื่อทดสอบผลยับยั้งของเปปไทด์ต่อเอนไซม์แอลฟากลูโคสิเดส (α-glucosidase) จากหนูไมซ์ ปรากฏว่า ไฟโบรอินเปปไทด์ดังกล่าวนั้นที่มีขนาดเล็กกว่า 6 kDa ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคสิเดสได้ 36.6-38.9% จึงทำให้คาดว่าน่าจะมีผล anti-diabetic ช่วยลดระดับน้ำตาลในผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจาก แอลฟากลูโคสิเดสทำหน้าที่ย่อยสารอาหารคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็กให้เป็นน้ำตาลดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด

กรดอะมิโนองค์ประกอบและลักษณะโครงสร้างของโปรตีนไฟโบรอินทำให้ผงไฟโบรอินมีสมบัติพิเศษ ได้แก่ ช่วยสะท้อนรังสียูวี ดูดซับพลังงานของรังสียูวี ปรับสภาพความชื้น (moisture-adjustment) ดูดซับความมัน ยับยั้งการอักเสบ (anti-inflammation) และยับยั้งแบคทีเรีย คุณสมบัติเหล่านี้เป็นสาเหตุให้มีการใช้ผงไฟโบรอินเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เช่น แป้ง ครีมรองพื้นผิวหน้า มาสคารา (mascara) แต่งขนตา ลิปสติก โลชั่นบำรุงผิว สบู่ แชมพูและโลชั่นสำหรับผม เป็นต้น ตลอดจนใช้เป็นส่วนผสมอาหารหรือเครื่องดื่ม เช่น นม ชา ไวน์ เบียร์ เป็นต้น

การเตรียมผงไฟโบรอินแบบแรก คือ ละลายเส้นใยไฟโบรอินให้อยู่ในสภาพสารละลาย แล้วเปลี่ยนสภาพให้เป็นผงโดยการตกตะกอนโปรตีน หรือด้วยวิธี spray-drying ได้ผงไฟโบรอินละลายน้ำ แต่ลักษณะเป็นผงหยาบขนาดไม่แน่นอน ควบคุมให้มีขนาดตามที่ต้องการไม่ได้ มักจะจับกันเป็นก้อนเพราะดูดความชื้นได้ดี และเกิดการสูญเสียสมบัติพิเศษต่างๆ เพราะโครงสร้างของไฟโบรอินมีการเปลี่ยนแปลงไป

การเตรียมผงไฟโบรอินอีกวิธีหนึ่ง คือ การบดเส้นใยไฟโบรอินให้เป็นผง มีงานวิจัยพัฒนาให้ได้ผงไฟโบรอินขนาดต่าง ๆ

Tsubouchi (1998) จดสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์การเตรียมผงไฟโบรอิน โดยแช่เส้นใยไหมบ้านหรือไหมป่า ในสารละลายเบสช่วงพีเอชสูงกว่า 12 เมื่อล้างเบสและผึ่งแห้งเส้นใยไหมที่อุณหภูมิห้องแล้ว จึงบดโดยควบคุมกรรมวิธีการบดเพื่อให้ได้ผงไฟโบรอินที่มีขนาดแน่นอน ได้แก่ ผงหยาบขนาด 15-30 ไมครอน และผงละเอียดขนาด 3-6 ไมครอน ผงละเอียดไฟโบรอินเป็นผงจุลผลึก (micro-crystalline) ของบริเวณผลึก (crystalline region) ในโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน ไม่ละลายน้ำ เหมาะสำหรับการการผลิตเครื่องสำอางประเภท แป้ง เป็นต้น

Takeshita et al. (2000) ทำลายสภาพเส้นใยไฟโบรอินให้กลายเป็นผงไฟโบรอิน ด้วยวิธีการฉายลำแสงอิเล็กตรอนกำลังเร่ง (accelerated electron beam) ในช่วงพลังงาน 250-1000 kGy

พบว่า การใช้พลังงานสูงจะทำให้การบดเป็นผงภายหลังจากนั้นทำได้ง่ายขึ้น และยิ่งถ้าฉายลำแสงอิเล็กตรอนในระบบที่มีออกซิเจนอยู่ด้วยจะทำให้ได้ผงละเอียดขึ้น กรรมวิธีการผลิตลดการใช้สารเคมีอย่างสิ้นเชิง และผงไฟโบรอินที่เตรียมได้นี้ละลายน้ำได้ดีซึ่งมีประโยชน์สำหรับใช้ในการทำอาหารและเครื่องสำอาง

Tsubouchi and Fujiura (2004) จดสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์วัตถุดิบเครื่องสำอาง (cosmetic material) ที่มีผงไฟโบรอินละเอียดมาก (superfine silk powder) เป็นส่วนประกอบ ผงไฟโบรอินนี้ยังคงมีสมบัติเหมือนของเส้นไหม เช่น ความมันวาว ความเนียนนุ่ม รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆ เช่น การเคลือบผิว (coating power) การแผ่กระจาย (spreadibility) การเกาะติดผิว ผงไฟโบรอินเตรียมขึ้นได้จากบริเวณผลึกในโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน ใช้วัตถุดิบที่เป็นเส้นใยไฟโบรอิน แช่ในสารละลายเบสด่าพีเอช 9-12.5 (ช่วงที่เหมาะสม คือ 10.0-12.0) ที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 1-5 ความดันบรรยากาศ เมื่อบดเป็นผงจะได้ผงที่ละเอียดมากขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน ไม่ละลายน้ำ เหมาะสำหรับเครื่องสำอาง ประเภทลิปสติก