สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

5. อภิปรายผลการวิจัย

ตัวหนอนไหมสังเคราะห์โปรตีนไฟโบรอิน (fibroin) ขึ้นที่ต่อมไหม (silk gland) ในสภาพโมเลกุลละลายน้ำด้วยโครงรูป random coil และเกลียวแอลฟา (α-helix) แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนสภาพ (fibroin fiber) เป็นเส้นใยไฟโบรอินด้วยโครงรูปบีตาชีท (β-sheet) โดยกระบวนการทางชีวภาพของหนอนไหมกลายเป็นรังไหมหุ้มตัวหนอน มนุษย์ใช้ประโยชน์ของโปรตีนไฟโบรอินในรูปของเส้นใยไหมในด้านการเป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์ทอผ้ามานานหลายพันปีแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเส้นใยไหมของตัวอ่อนไหมบ้าน (*Bombyx mori*) ต่อมามีการนำไปประยุกต์ทางการแพทย์ คือ ใช้เป็นวัสดุเย็บแผลยึดเนื้อเยื่อ ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ขยายไปถึงการแปรรูปไฟโบรอินจากสภาพโปรตีนเส้นใยไม่ละลายน้ำไปเป็นโปรตีนคืนรูปละลายน้ำ (regenerated fibroin) เพื่อพัฒนาเป็นผงโปรตีนไฟโบรอินมูลค่าเพิ่ม สำหรับใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอางประเภทครีม/โลชั่น (Daithankar et al., 2005) เป็นส่วนผสมของอาหาร เช่น ทำเป็นวุ้น (Keiko and Michiko, 2004)

โปรตีนไฟโบรอินในสภาพเส้นใยไม่สามารถละลายน้ำได้ เพราะโมเลกุลเป็นไฮโดรโฟบิกสูง (Ashokan and Pilla, 2008) และเนื่องจากเป็นโครงสร้างบีตาชีทจึงมีความแข็งแรงของโครงสร้างจากพันธะไฮโดรเจน รวมทั้งภายในโมเลกุลยังเต็มไปด้วยบริเวณผลึก (crystallinity) ซึ่งโครงสร้างหน่วยย่อยจับยึดกันแน่น การเตรียมไฟโบรอินไหมบ้านให้เป็นโปรตีนคืนรูปละลายน้ำทำได้โดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารละลายกรดความเข้มข้นสูง เช่น กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กรดฟอร์มมิก (formic acid) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric) เป็นต้น ข้อด้อยของตัวลำละลายที่เป็นกรด คือ จะเกิดการสลายโมเลกุลไฟโบรอินอย่างแน่นอน ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ สารละลายความเข้มข้นสูง/อิ่มตัวของเกลือสมบัติเป็นกลาง (neutral salt) (Sashina et al. 2006) โดย เฉพาะอย่างยิ่ง เกลือลิเทียมโบรไมด์ซึ่งทำให้เกิดการละลายได้ดี ราคาไม่แพงมาก ไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ถ้าควบคุมให้เกิดการละลายที่อุณหภูมิห้องจะไม่เกิดการสลายของโมเลกุลไฟโบรอิน แต่การละลายจะไม่สมบูรณ์และใช้เวลานานหลายวัน (Zuo et al., 2006) ด้วยปริมาตรที่เหมาะสมและที่ 70°C ลิเทียมโบรไมด์ 9.3 โมลาร์สามารถละลายไฟโบรอินไหมบ้านหมดภายในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE แสดงให้เห็นว่าเกิดการสลายโมเลกุลของไฟโบรอินเป็นโมเลกุลขนาดเล็กกว่า 100 kDa (Sah and Pramanik, 2010)

ลิเทียมโบรไมด์ละลายไฟโบรอินไหมบ้านโดยลิเทียมไอออนเข้าไปเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ (coordinate covalent) กับกรดอะมิโนเซอรีนและไทโรซีนซึ่งมีอยู่ในปริมาณสูงตรงบริเวณผลึกของโครงสร้าง ทำลายแรงยึดบริเวณผลึกของโครงสร้าง พร้อมกันนั้นโมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในบีตาชีทของไฟโบรอิน เป็นผลให้ไฟโบรอินพอลิเปปไทด์

เปลี่ยนเป็นโครงรูปที่ละลายน้ำได้คือเป็นโครงรูป globule ของ random coil (Ayub and Arai, 1994; Sashina et al., 2006) ไฟโบรอินไหมอีรี่มีเซอรีนและไทโรซีนในโครงสร้างต่ำมาก (ตารางที่ 2, 1979; สุพร นุชดำรงค์ และคณะ, 2553) ซึ่งทำให้ละลายได้ยาก

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการละลายด้วยลิเทียมโบรไมด์ของสุพร นุชดำรงค์ และคณะ (2553) ละลายไฟโบรอินไหมอีรี่ (*Samia ricini* Donovan; synonym: *Philosamia ricini*) ให้เป็นโปรตีนไฟโบรอินคืนรูปละลายน้ำ ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า ไฟโบรอินไหมอีรี่ที่เตรียมได้นี้ (ซึ่งรายงานไว้แล้วว่าเป็นไฟโบรอินพอลิเปปไทด์ขนาด 58 และ 67 kDa) ไม่มีสมบัติกระตุ้นการเจริญเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (mouse fibroblast NIH/3T3) ดังภาพที่ 3 จากการทำการทดลองควบคู่กับไฟโบรอินไหมบ้านที่ทำให้เป็นโปรตีนคืนรูปละลายน้ำด้วยวิธีของ Ajisawa (1998) ซึ่ง Zhang et al. (2007) แสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการสลายโมเลกุลไฟโบรอิน ผลการทดสอบพบว่าไฟโบรอินไหมบ้านพันธุ์ดอกบัวที่ใช้ในงานวิจัยสามารถกระตุ้นการเจริญของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ได้ (ภาพที่ 4) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ว่าไฟโบรอินคืนรูปละลายน้ำของไหมบ้านพันธุ์ต่างประเทศช่วยกระตุ้นการยึดเกาะพื้นผิวและการเจริญของเซลล์สัตว์เพาะเลี้ยง (Momotani et al. 1998; Tsubouchi et al. 2003; Leal-Egaña and Scheibel 2010)) ทั้งนี้ต่อมา Yamada et al. (2004) พบ ว่า ช่วงลำดับกรดอะมิโนที่ทำให้เกิดสมบัติดังกล่าว คือ VITTDSDGNE และ NINDFDED ของบริเวณโครงสร้างไม่เป็นผลึกในโมเลกุลไฟโบรอินไหมบ้าน สมบัติที่แตกต่างกันเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุจากความแตกต่างของโครง สร้างการเรียงลำดับกรดอะมิโนในไฟโบรอินไหมอีรี่ซึ่งยังไม่เคยมีรายงานว่าเป็นเช่นไร นอกจากนี้ยังไม่เคยมีรายงานว่าไฟโบรอินไหมอีรี่มีสมบัติการกระตุ้นการเจริญของเซลล์ชนิดใดหรือไม่ อย่างไรก็ตาม Acharya and Ghosh (2008) สามารถเตรียมโปรตีนคืนรูปละลายน้ำของไฟโบรอินจากไหมป่าอินเดียอีกชนิดหนึ่ง คือ ไหมทาซาร์ (tasar; *Antheraea mylitta*) โดยการละลายด้วยลิเทียมโบรไมด์ แล้วแปรรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง ทดสอบพบว่า ให้สมบัติการยึดเกาะเซลล์ไฟโบรบลาสต์และกระตุ้นการเจริญของเซลล์ได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มไฟโบรอินไหมบ้าน เช่นเดียวกับไฟโบรอินจากไหมป่าชนิด *A. pernyi* ซึ่งมีองค์ประกอบกรดอะมิโนแตกต่างจากของไหมบ้าน โดยมีปริมาณ Ala Asp Arg และ His สูง แต่ปริมาณ Gly ต่ำ นอกจากนี้ยังมีลำดับเรียงตัวของ Arg-Gly-Asp ซึ่งได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นบริเวณที่ทำให้เซลล์ยึดเกาะไฟโบรอินนี้ได้ดีมากกว่าไฟโบรอินไหมบ้าน (Tao et al., 2007)

ผลการทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันในเซลล์ไฟโบรบลาสต์แสดงว่า ไฟโบรอินไหมอีรี่คืนรูปละลายน้ำที่ใช้ในงานวิจัยออกฤทธิ์ได้ดีในการป้องกันพิษออกซิเดชันจากสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ภาพที่ 6) โดยที่ไม่ใช่เป็นผลจากความสามารถในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์ดังที่อภิปรายไว้ข้างต้น ซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นที่ยังไม่มีรายงานในไฟโบรอินของไหมชนิดใดมาก่อน รวมทั้งของไหมบ้านไทยพันธุ์ดอกบัวที่ใช้ทดลอง (ภาพที่ 7) ไฟโบรอินไหมบ้านที่มีรายงานว่าออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ล้วนเป็นไฟโบรอินที่ถูกแปรสภาพเป็นไฮโดรไลเสตจากการย่อยด้วย

กรดหรือเอนไซม์อัลคาเลส (alcalase) (Park et al., 2002; Yeo et al., 2005) อย่างไรก็ตาม มีโอกาสเป็นไปได้ว่า ไฟโบรอินไหมอีรี่คืนรูปละลายน้ำที่ใช้ในงานวิจัยได้เกิดการสลายโครงสร้างบางส่วนจากการละลายด้วยลิเทียมคลอไรด์อิ่มตัว (9 M) ที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ข้อมูลที่สนับสนุนข้อสันนิษฐานในรายงานของสุพร นุชดำรงค์และคณะ (2553) คือ รูปแบบโปรตีนของไฟโบรอินไหมอีรี่คืนรูปละลายน้ำซึ่งวิเคราะห์ได้ด้วย SDS-PAGE และผลการวิเคราะห์กรดอะมิโนองค์ประกอบเปรียบเทียบระหว่างเส้นไหมอีรี่กับโปรตีนไหมอีรี่คืนรูปละลายน้ำ ทั้งนี้คาดว่าส่วนที่สลายไปเป็นบริเวณโครงสร้างส่วนไม่เป็นผลึกนั่นเอง

ไฟโบรอินไหมบ้านเป็นโปรตีนย่อยได้ยากโดยเอนไซม์หลายชนิด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเอนไซม์ย่อยโปรตีนในการย่อยไฟโบรอิน ได้แก่ (1) สถานภาพทางโครงรูปของไฟโบรอิน และ(2) การมีลำดับเปปไทด์จำเพาะสำหรับเอนไซม์แต่ละชนิด การใช้เอนไซม์ย่อยไฟโบรอินเพื่อพิสูจน์โครงสร้างของไฟโบรอินไหมบ้าน ทำให้รู้ว่าทั้งเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) และไคโมทริพซิน (chymotrypsin) ย่อยไฟโบรอินนี้ในสภาพโปรตีนคืนรูปละลายน้ำได้ไม่สมบูรณ์ จะเหลือส่วนบริเวณผลึกตกเป็นตะกอนให้เห็น (Drucker et al., 1953) Lucas et al. (1962) รายงานว่าไฟโบรอินคืนรูปละลายน้ำของไหมบ้านมีลำดับจำเพาะสำหรับเอนไซม์ไคโมทริพซินอยู่ที่กรดอะมิโนด้านคาร์บอกซิล (carboxyl end) ของบริเวณไม่เป็นผลึกที่ต่อกับบริเวณผลึก โดยวิเคราะห์พบว่ากรดอะมิโนตรงลำดับนั้นคือ Tyr ส่วนเอนไซม์คอลลาจีเนส (collagenase) ซึ่งย่อยคอลลาเจนได้เพราะทำลายพันธะระหว่าง X-Gly (เมื่อ X เป็นกรดอะมิโนชนิดใดใด) ในลำดับจำเพาะ X-Gly-Pro ของโปรตีนคอลลาเจน เอนไซม์นี้ย่อยไฟโบรอินไหมบ้านได้น้อยมาก (Arai et al., 2004) ทั้งที่มีปริมาณ Gly อยู่มากกว่า 40% (ตารางที่ 2) สาเหตุคือ Gly ซึ่งพบมากในบริเวณผลึกไม่อยู่ในลักษณะเรียงลำดับเป็นบริเวณให้คอลลาจีเนสย่อย มีลำดับดังกล่าวอยู่น้อยโดยพบอยู่ในบริเวณไม่เป็นผลึก บริเวณเป้าหมายของการย่อยไฟโบรอินที่แปรรูปจากไฟเบอร์แล้วคือบริเวณไม่เป็นผลึก (Li et al., 2003; Arai et al., 2004)

ในระบบย่อยอาหารมีเอนไซม์ 3 ชนิดทำหน้าทีย่อยโปรตีน ได้แก่ เปปซิน (pepsin) ในกระเพาะอาหารซึ่งเป็นกรดจากการที่มีกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 0.5% เอนไซม์อีก 2 ชนิด คือ และทริพซิน (trypsin) กับไคโมทริพซิน (chymotrypsin) ส่วนต้นลำไส้เล็กตรงบริเวณดูโอดินัม (duo-denum) Park et al. (2002) รายงานว่าทริพซินและเปปซินย่อยไฟโบรอินไหมบ้านคืนรูปละลายน้ำได้น้อยมาก เปปซิน 2% ต้องใช้เวลาถึง 4 ชั่วโมงจึงจะย่อยได้ 45% ทริพซินย่อยได้ดีกว่าโดยทริพซิน 0.5% ย่อยได้ 60% เมื่อใช้เวลาย่อย 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามต่อมา Hirohisa et al. (2004)ทดลองให้หนู (rat) กินไฟโบอินไหมบ้านที่เตรียมให้เป็นโปรตีนละลายน้ำ พบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้จริง (true digestibility) เป็น 65.7%

ในงานวิจัยได้ทดลองย่อยไฟโบรอินไหมอีรี่ด้วยเอนไซม์ทริพซินในเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองในตารางที่ 3 และ 4 แสดงว่า เกิดการย่อยได้น้อยกว่าเคซีน และเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน 3 วิธีต่างๆ เลียนแบบการทำอาหารไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อย อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดปริมาณการย่อยอิงตามการวัดปริมาณไทโรซีน (ดูในวิธีการทดลอง) จึงอาจเป็นไปได้เช่นกันว่า ข้อมูลอาจเบี่ยงเบนเนื่องจากการมีปริมาณไทโรซีนแตกต่างกันในเคซีนและไฟโบรอิน การศึกษาการย่อยได้/ ย่อยไม่ได้ของไฟโบรอินไหมอีรี่ทำเพื่อเชื่อมโยงกับผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าไฟโบรอินไหมอีรี่ที่เตรียมได้นี้สามารถกระตุ้นการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* TISTR 1463 (ภาพที่ 12) ถ้าไฟโบรอินดังกล่าวไม่เกิดการย่อยเลยด้วยเอนไซม์ในทางเดินอาหาร จะมีโอกาสที่จะเสริมให้เป็นอาหาร Prebiotic หรือต้องทำการทดลองเชิงลึกย่อยไฟโบรอินไหมอีรี่ด้วยเอนไซม์ผสมเลียนแบบระบบย่อยอาหารแล้วแยกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไปทดสอบผลต่อเชื้อนั้น ในขั้นเบื้องต้นนี้ไฟโบรอินไหมอีรี่ที่เตรียมได้น่าจะมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมนมเปรี้ยว ใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มประชากรเชื้อ *Lactobacillus* spp.

การแปรสภาพไฟโบรอินให้เป็นเปปไทด์ละลายน้ำได้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบมูลค่าเพิ่มสำหรับเป็นส่วนผสมอาหารและเครื่องสำอาง ในงานวิจัยได้ทดลองแปรสภาพโดยทำ acid hydrolysis ด้วยกรดซิตริก 10-30% ในสภาวะของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ 15 และ 30 นาที เพื่อให้เป็นสภาวะที่พร้อมสำหรับนำไปใช้เตรียมไฟโบรอินเปปไทด์ของไหมอีรี่ที่จะเป็นสารเติมแต่ง (food additives) ในอาหารที่มีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบ ผลการวิเคราะห์น้ำหนักเส้นใยไฟโบรอินในสารละลายกรดซิตริกก่อนและหลังให้ความร้อนดังกล่าว พบว่า การใช้กรดซิตริก 30% ทำให้ไฟโบรอินไหมอีรี่สลายได้ถึงประมาณ 15.66% โดยน้ำหนัก โดยไม่ต้องให้ความร้อน แต่ถ้าให้ความร้อนจะทำให้เกิดการสลายเพิ่มเป็นประมาณ 45.92% โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตาม ถ้าประเมินจากการเกิด acid hydrolysis เฉพาะในช่วงเวลาที่ได้รับความร้อน 30 นาที จะพบว่า กรดซิตริกความเข้มข้น 10-30% มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน กรดซิตริกสลายไฟโบรอินไหมอีรี่ได้รูปแบบโครมาโตแกรมจากการย้อมด้วย ninhydrin แตกต่างเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของไฟโบรอินไหมบ้าน (ภาพที่ 9-11) ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความแตกต่างของโครงสร้างบริเวณผลึก (crystalline region) และบริเวณไม่เป็นผลึก (non-crystalline region) ในไฟโบรอินของไหมทั้ง 2 ชนิด สภาวะที่เป็นกรดส่งผลให้เกิดการสลายพันธะเปปไทด์ในโครงสร้างของไฟโบรอิน โดยบริเวณที่จะเกิดผลก่อนเป็นลำดับต้นๆ คือ บริเวณไม่เป็นผลึก เพราะเป็นบริเวณโครงสร้างแบบหลวมๆ ซึ่งกรดแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ได้ง่ายกว่าในบริเวณผลึก ยิ่งใช้เวลานานหรือใช้กรดความเข้มข้นสูงขึ้น บริเวณที่จะถูกผลกระทบจะยิ่งมากขึ้น (Tímár-Balázsy and Eastop 2002) จึงน่าสนใจที่จะศึกษาต่อไปว่าเปปไทด์ของไฟโบรอินไหมอีรี่ที่เกิดขึ้นเมื่อทำ acid hydrolysis ด้วยกรดซิตริกต่างความเข้มข้นหรือด้วยเวลาการให้ความร้อนต่างกันจะเป็นเปปไทด์ที่มีลำดับกรดอะมิโนเป็นเช่นไรตลอดจนจะมีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างไร

เป็นที่รู้กันว่า ninhydrin เป็นรีเอเจนต์ที่ใช้ตรวจวัดกรดอะมิโน แต่ ninhydrin ยังสามารถตรวจวัดเปปไทด์ได้ด้วย โดยทำปฏิกิริยาเกิดสีม่วงแกมน้ำเงินกับ หมู่ α-amino ของกรดอะมิโนที่ปลายด้านอะมิโนของเปปไทด์ (amino-terminal group) ถ้ากรดอะมิโนที่ปลายด้านอะมิโนนั้นเป็น Pro จะเกิดปฏิกิริยาได้สีเหลืองอ่อน และเกิดปฏิกิริยาได้ช้ามากกับ α-amino อิสระของ Val/ Ile เกิดปฏิกิริยาได้ช้าเช่นกันกับ ε-NH2 ที่หมู่โซ่ข้างของ Lys ปฏิกิริยา ninhydrin มีความไวในการวิเคราะห์เปปไทด์ที่ระดับ 10-20 nmole เมื่อแยกเปปไทด์ด้วยโครมาโตกราฟีกระดาษ (Work and Burdon, 1981)

ปัญหาผิวแห้งเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียสมดุลน้ำในผิวหนังชั้น stratum corneum ส่งผลให้ผิวหนังขาดความยืดหยุ่น ตามปกติผิวหนังมีสารกลุ่มไฮโดรฟิลิกช่วยอุ้มซับน้ำไว้ (Blank, 1952) สารเหล่านั้น เช่น แลคเตต (lactate) อนุพันธุ์ของยูเรีย กลุ่มเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts) กลุ่มสารเปปไทด์ที่ระบุชนิดไม่ได้ และกลุ่มสารหลัก คือ กรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิดในสภาพโมเลกุลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Gly และ His สารพวกนี้ทำหน้าที่เป็น natural moisturizing factor (NMF) สภาพสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปและการใช้สบู่/ดีเทอร์เจนต์ เร่งให้เกิดการสูญเสียน้ำ สารพวกน้ำมันจะช่วยรักษาความชุ่มชื้นของผิวหนังได้เพียงชั่วคราวเพราะมีผลเพียงเคลือบผิวลดการสูญเสียน้ำ สารให้ความชุ่มชื้น (moisturizer) อื่นๆ ได้แก่ สารสกัดจากผลไม้หลายชนิด โปรตีน (เช่น โปรตีนน้ำนม) Ute (1998) รายงานว่าเปปไทด์ที่ได้จากการย่อยโปรตีน สามารถซึมผ่านไปยังผิวชั้น stratum corneum เข้าทำหน้าที่แทน NMF ไฟโบรอินไหมบ้านเป็นที่สนใจด้วยสาเหตุหลัก คือ เป็นโปรตีนที่มีปริมาณ Gly สูงมากกว่า 40% และ อุ้มซับน้ำได้ดีมาก Daithankar et al. (2005) ทดสอบสมบัติการเป็นสารให้ความชุ่มชื้นของไฟโบรอินไหมบ้านในครีมทาผิว เตรียมไฟโบรอินโดยวิธีละลายเส้นใยไหมด้วยลิเทียมโบรไมด์ พบว่าไฟโบรอิน 5% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในเนื้อครีม

เครื่องสำอางประเภททาผิวหนัง (cosmetic dermatology) มีส่วนผสมเป็นสารที่ออกฤทธิ์ป้องกันแสงอาทิตย์ (anti-solar) ชะลอความชราของผิว (anti-aging) ป้องกันผิวเหี่ยว (anti-wrinkle) และ/ หรือช่วยให้ผิวหนังเต่งตึง (firming product) ตามบทความของ Gorouhi and Maibach (2009) จำแนกการออกฤทธิ์ของเปปไดด์หรือโปรตีนเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

(1) signal peptides ช่วยกระตุ้นการสร้างโปรตีนยึดรอบเซลล์ (matrix proteins) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนคอลลาเจน (collagen) และอาจรวมถึงโปรตีนอิลาสติน (elastin) ไฟโบรเนคติน (fibronectin) โปรติโอไกลแคน (proteoglycan) ฯลฯ ทำให้ผิวเต่งตึงไม่เหี่ยวย่น เปปไทด์ซึ่งผลทดสอบทางห้องปฏิบัติการพบว่าช่วยกระตุ้นการเจริญของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนัง (skin fibroblast) จะออกฤทธิ์ดังกล่าวนี้

(2) เปปไทด์หรือโปรตีนที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) หรือต้านออกซิเดชันจะช่วยชะลอความชราของผิว

(3) เปปไทด์ที่ยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitor) โดยเฉพาะเอนไซม์โปรตีเอสที่ช่วยป้องกันผิวเหี่ยว และไทโรซิเนส (tyrosinase) ที่ช่วยป้องกันแสงแดดและรักษาเซลล์ผิว

อนุมูลอิสระส่งผลทำลายความยืดหยุ่นของโปรตีนคอลลาเจน (Monboisse et al., 1984) สารต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยชะลอความชราของผิวได้ ไฟโบรอินไหมอีรี่ที่เตรียมได้จึงน่าจะมีความสำคัญในการเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางประเภทครีม/โลชั่น/สบู่ ในแง่ของการเป็นสารรักษาผิว ช่วยลดความเสื่อมของผิวหนังได้ การประยุกต์ใช้ไฟโบรอินไหมบ้านร่วมกับไฟโบรอินไหมอีรี่ไม่ส่งผลเสริมกันในการลดความเสื่อมของผิวเพราะไม่ช่วยกระตุ้นการเจริญของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ได้ (ภาพที่ 8)

จากการทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่/โลชั่นกับ (ภาพที่ 13, ตารางที่ 9 และ 10) พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับคะแนนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมไฟโบรอิน ในงานวิจัยทดสอบสูตรโลชั่นเฉพาะในด้านเคมีและกายภาพ (physicochemical test) คือ ทดสอบขั้นพื้นฐานด้านปริมาณองค์ประกอบสำคัญ (active ingredients) ความคงตัวและความสม่ำเสมอของโลชั่น ทดสอบความเป็นพิษ (toxico-logical test) ต่อร่างกายที่จะเกิดขึ้นได้จากการใช้ (เช่น การแพ้อย่างรุนแรง เกิดอาการผิวพุพอง) และทดสอบความพึงพอใจในการใช้ (psychophysics test) ซึ่งเป็นผลจากความรู้สึกที่เกิดจากจิตใจ มิได้เป็นความพึงพอใจจากการเห็นผลเปลี่ยนแปลงหลังใช้ ถ้าจะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานต่อไป ยังจะต้องมีการทดสอบทางจุลชีววิทยา (microbiological test) วิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ ตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพ (efficacy test) ด้วยเครื่องมือตรวจวัด ที่แสดงให้เห็นความสามารถของผลิตภัณฑ์ว่าจะก่อให้เกิดประสิทธิผลตามคำกล่าวอ้างจริงหรือไม่

บทวิเคราะห์ส่งท้ายของงานวิจัย กลุ่มผู้วิจัยชี้ประเด็นความน่าสนใจของไหมอีรี่ว่ามีข้อเด่นหลายประการ ได้แก่ เลี้ยงง่าย มีพืชอาหารหลายชนิด (polyphagous) เลี้ยงได้หลายรอบใน 1 ปี (polyvaltine) ขนาดรังใหญ่และมีปริมาณโปรตีนเซริซินต่ำ ซึ่งเท่ากับทำให้มีผลผลิตไฟโบรอินสูง

การเตรียมสารละลายไฟโบรอินยังต้องการวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีที่มีความไวสูงเพื่อหาปริมาณตกค้างของลิเทียมไอออน เช่น เทคนิค atomic emission spectroscopy (Tsukada and Freddi 1994) เนื่องจากแม้ว่าในเนื้อเยื่อและระบบเลือดของคนจะมีลิเทียมไอออนอยู่เป็นปกติ ตลอดจนเกลือหลายชนิดของลิเทียมถูกใช้เป็นส่วนประกอบของยาจำนวนหนึ่ง แต่ถ้ามีการสะสมลิเทียมไอออนมากถึงระดับหนึ่งก็จะเกิดพิษต่อร่างกายได้ (Beyaert et al. 1989; Baldessarini and Tarazi 2007) อย่างไรก็ตาม Daithankar et al. (2005) แสดงว่าการทำไดอะไลซิส (dialysis) อย่างมากเกินพอตามวิธีที่ทำกันมานั้นสามารถลดปริมาณลิเทียมไอออนได้ถึงระดับ 0.00025 ซึ่งจัดว่าต่ำกว่าระดับปลอดภัย

ในการพัฒนาไฟโบรอินไหมอีรี่ให้เป็นส่วนประกอบของโลชั่นนั้น ยังต้องการผู้ชำนาญในสาขาวิชาที่สามารถศึกษาเชิงลึกในแง่ประสิทธิภาพของการเป็นสารให้ความชุ่มชื้น (moisturizing efficiency) ตามหลักวิชาการ เช่น การศึกษากับผิวหนังเทียม การวิเคราะห์ด้วย transepidermal water loss technique ในอาสาสมัคร การตรวจสอบการเกิดภูมิแพ้ของผิวหนัง (skin irritation test) การระคายเคืองต่อตา (eye irritation test) การวิเคราะห์สมบัติการเพิ่มความเต่งของผิวหนัง เป็นต้น (Daithankar et al. 2005)