

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ เพื่อผลิตโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ การเลือกใช้เมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเมล็ดฝ้ายดังกล่าวยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย โดยเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเป็นพันธุ์ที่มีสารพิษ กอสลีปอลอิสระต่ำ สามารถนำบริโภคได้เลย อีกทั้งเมล็ดฝ้ายเหล่านี้ยังเป็นของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดโปรตีน แต่เนื่องจากโปรตีนเมล็ดฝ้ายมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นไม่สมบูรณ์ กล่าวคือจะมีปริมาณเมทไอโอนีนและไลซีนอยู่ในปริมาณต่ำกว่าโปรตีนมาตรฐาน ซึ่ง FAO/WHO (1973) กำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการสกัดโปรตีนจากเมล็ดงาและเมล็ดถั่วเหลืองควบคู่ไปด้วย เพื่อจะนำโปรตีนที่สกัดได้มาผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษต่อไป

ขั้นแรกจะเตรียมกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงาและกากถั่วเหลือง โดยสกัดน้ำมันออกด้วยสารทำละลายเฮกเซนก่อน เพื่อให้ปริมาณโปรตีนในกากมีสูงขึ้น ช่วยลดปริมาณสารละลายต่างที่ใช้ในการสกัดโปรตีนออกจากวัตถุดิบ อีกทั้งน้ำมันจะมีผลต่อการสกัดโปรตีน โดยไขมันจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนระหว่างสายอะลิฟาติกที่ไม่มีขั้วของไขมัน (apolar aliphatic chain of the lipid) กับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่รอบนอกโมเลกุลของโปรตีน ทำให้การเกิดพันธะของโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำลดลง โปรตีนจึงมีความสามารถในการละลายลดลง (Vojdani, 1996)

ในงานวิจัยที่ไม่ใช้กากเมล็ดพืชน้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมัน เนื่องจากกากเมล็ดพืชน้ำมันจากโรงงานในประเทศไทยจะมีโลหะหนักปนเปื้อน ซึ่งอาจปนเปื้อนมาจากอุปกรณ์ในการสกัดน้ำมัน หรือมาจากสารทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน โดยเมื่อพิจารณาจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันพืชสำหรับบริโภคต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดงา น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันปาล์ม พบว่ามีกำหนดปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ เช่น เหล็ก ทองแดง ตะกั่ว เป็นต้น (มอก. 176-2519, มอก. 177-2519, มอก. 288-2535, มอก. 743-2530 และ มอก. 912-2532.) แต่ในขณะที่ต่างประเทศไม่มีรายงานถึงสารปนเปื้อนหรือโลหะหนักในกากเมล็ดพืชน้ำมัน อีกทั้งในการผลิตโปรตีนสกัดในทางการค้าของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตกากเมล็ดพืชน้ำมันจากเฮกเซน (Meyer, 1970) เช่นเดียวกับในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชในประเทศไทย แต่ก็ไม่มีรายงานของโลหะหนัก ดังนั้นจึงอาจกล่าว

ได้ว่าโลหะหนักจากกากเมล็ดพืชน้ำมันปนเปื้อนมาจากอุปกรณ์ในการผลิตน้ำมันพืช จากการปนเปื้อนโลหะหนักของกากเมล็ดพืชน้ำมันจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบทำอาหารให้กับมนุษย์ ดังนั้นในงานวิจัยจึงสกัดน้ำมันออกจากวัตถุดิบเอง เมื่อได้กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงาและกากเมล็ดถั่วเหลืองจะนำมาศึกษาอัตราส่วนของน้ำและกากเมล็ดพืชที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนด้วยน้ำที่ pH 8 เป็นเวลา 30 นาที ที่ pH 8 เป็น pH ที่โปรตีนในกากเมล็ดพืชมีความสามารถในการละลายสูง (Johnson และคณะ, 1979) ในงานวิจัยนี้จึงนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบว่าการสกัดด้วยน้ำที่ pH 8 หรือการใช้สารละลายต่าง ๆ ภาวะใดที่สามารถสกัดโปรตีนออกจากกากเมล็ดพืชได้มากที่สุด โดยสารละลายต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาคือสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เวลาต่างกัน Taha, Elnockrashy, Mohamed และ Wagdy (1987) กล่าวว่า การใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองจะให้ผลใกล้เคียงกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อมาศึกษา pH ที่เหมาะสมที่ทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน แต่เนื่องจากโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองได้มีผู้ศึกษา pH ที่ใช้ในการตกตะกอนมามากแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาเฉพาะ pH ที่ใช้ตกตะกอนโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเท่านั้น

เมื่อได้โปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ แล้วจะศึกษาสมบัติการใช้งาน เพื่อให้ทราบว่าโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษนี้เหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทใด ส่วนในโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองไม่ศึกษาสมบัติการใช้งาน เนื่องจากมีผู้ศึกษามากแล้ว

ต่อมาได้ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ โปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง เพื่อให้ทราบว่าโปรตีนนั้น ๆ มีกรดอะมิโนจำเป็นอะไรอยู่บ้าง หลังจากนั้นจึงผสมโปรตีนทั้ง 3 ชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะขออภิปรายผลการวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 การเตรียมกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดเมื่อสกัดน้ำมันออกแล้ว จะมีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เกิดจากเมื่อสกัดน้ำมันออกไปทำให้ปริมาณสารอื่น ๆ เข้มข้นขึ้นเมื่อเทียบจากน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากัน โดย

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ มีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 33.13% เป็น 52.01% (จากตาราง 4.1) และเมื่อพิจารณาปริมาณสารพิษ คือสารกอสลิปอลอิสระ พบว่าในเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีสารกอสลิปอลอิสระ 0.04% ซึ่งอยู่ในปริมาณที่สามารถบริโภคได้ตามที่ US.FDA. ได้กำหนดว่าอาหารจากเมล็ดฝ้ายต้องมีปริมาณกอสลิปอลอิสระไม่เกิน 0.04% นอกจากนี้ยังพบว่า

ในกากเมล็ดฝ้ายจะมีปริมาณกอสลิปอลสูงขึ้นไปเป็น 0.08% ย่อมแสดงว่าสารกอสลิปอลอิสระไม่สามารถละลายในเฮกเซนได้ เนื่องจากเฮกเซนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ในขณะที่สารกอสลิปอลจะละลายได้ดีในสารทำละลายที่มีขั้วเช่น ไตออกเซน เมธิลอัลกอฮอล์ เอธิลอัลกอฮอล์ และอะซิโตน เป็นต้น (Dechary et.al, 1952) ดังนั้นสารกอสลิปอลจึงไม่ละลายออกจากเนื้อเมล็ดฝ้ายในกระบวนการสกัดน้ำมัน จึงทำให้ปริมาณกอสลิปอลในกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีปริมาณเพิ่มขึ้น

- กากเมล็ดงา มีโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นจาก 20.23% เป็น 61.98% (จากตาราง 4.10) และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดออกซาลิก ซึ่งเป็นสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ โดยกรดออกซาลิกสามารถรวมตัวกับแร่ธาตุบางชนิดเช่น แคลเซียม ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำแร่ธาตุไปใช้ได้ นอกจากนี้หากมีสารประกอบของกรดออกซาลิกและแคลเซียมมากอาจก่อให้เกิดนิ่วในร่างกายได้อีกด้วย กรดออกซาลิกจะพบมากในส่วนของเปลือกงา หากกำจัดเปลือกเมล็ดงาออกจะส่งผลให้ปริมาณกรดออกซาลิกลดลง (Johnson และคณะ, 1979; Lyon, 1972; Weiss, 1971) จากงานวิจัยพบว่าการนำกากเมล็ดงาที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช สามารถลดกรดออกซาลิกจาก 1.50% ให้เหลือเพียง 0.29% (ตาราง 4.9) เพราะจะกำจัดส่วนของเปลือกงาออกจากเนื้องา และเปลือกงามีความเหนียวเมื่อบดเปลือกจะมีชิ้นใหญ่จึงไม่สามารถผ่านตะแกรงออกมาได้ อีกทั้งการร่อนกากเมล็ดงายังส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในกากเมล็ดงาสูงกว่าในกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดถั่วเหลือง เพราะการร่อนจะช่วยกำจัดส่วนของเส้นใยอาหารออกไปเมื่อเทียบที่น้ำหนักเริ่มต้นเท่ากันปริมาณโปรตีนจึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยที่ใช้เมล็ดงาขาวเป็นวัตถุดิบในการสกัดโปรตีน เนื่องจากในเมล็ดงาขาวจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเมล็ดงาดำ แต่มีปริมาณกรดออกซาลิกต่ำกว่า (Johnson และคณะ, 1979)

- กากเมล็ดถั่วเหลือง มีโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นจาก 32.52% เป็น 51.3% (จากตาราง 4.19) และพบว่ากากเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันน้อย เมื่อเทียบกับกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดงา

5.2 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

เป็นการศึกษาหาภาวะที่ทำให้โปรตีนถูกสกัดออกจากวัตถุดิบให้ได้ปริมาณมากที่สุด ซึ่งจะอภิปรายผลการวิจัยดังนี้

5.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

เป็นการศึกษาหาอัตราส่วนของกากเมล็ดพืชต่อน้ำที่ pH 8 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่สกัดโปรตีนได้มากที่สุด เพื่อนำไปวิจัยในขั้นต่อไป ซึ่งเลือกใช้ pH 8 ในการสกัดโปรตีน เนื่องจากโปรตีนในกากเมล็ดพืชเป็นโปรตีนกลอบูลิน ซึ่งมีความสามารถในการละลายสูงที่ pH 8 เป็นต้นไป (Meyer, 1970) ซึ่งได้ผลการวิจัยดังนี้

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ พบว่าอัตราส่วนของกากเมล็ดฝ้ายต่อน้ำที่ 1:40 สามารถสกัดโปรตีนได้ 33.78% (จากตาราง 4.2) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายที่อัตราส่วน 1:60 และ 1:80 ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 32.94% และ 33.07% ตามลำดับ แต่จะต่างจากการสกัดที่อัตราส่วนกากเมล็ดฝ้ายต่อน้ำที่ 1:20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายที่อัตราส่วนกากต่อน้ำ 1:20 โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายออกจากกากเมล็ดฝ้ายได้น้อย แต่เมื่อมีการเพิ่มสารทำละลาย(น้ำ)มากขึ้นที่อัตราส่วน 1:40 จะพบว่าโปรตีนจะถูกสกัดออกมาจากกากเมล็ดฝ้ายได้มากขึ้น แต่หากเพิ่มน้ำเป็นอัตราส่วน 1:60 และ 1:80 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดโปรตีนที่อัตราส่วน 1:40 แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการสกัด หากเพิ่มปริมาณของสารทำละลายมากขึ้น ความสามารถในการสกัดก็จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณสารถูกละลาย (โปรตีน) คงที่ ถึงแม้จะเพิ่มสารทำละลายความสามารถในการสกัดก็จะไม่เพิ่มขึ้นด้วย

- กากเมล็ดงา พบว่าการใช้อัตราส่วนของกากเมล็ดงาต่อน้ำที่ 1:60 จะสามารถสกัดโปรตีนได้ 20.03% (จากตาราง 4.11) ซึ่งไม่แตกต่างกับการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดงาที่อัตราส่วน 1:80 ซึ่งได้ปริมาณโปรตีน 21.51% แต่จะต่างจากการใช้อัตราส่วนกากเมล็ดงาต่อน้ำที่ 1:20 และ 1:40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้าย นอกจากนี้พบว่าการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดงาจะต้องใช้สารทำละลาย(น้ำ)ในปริมาณสูงกว่าการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายและกากถั่วเหลือง เนื่องจากในกากเมล็ดงาจะมีปริมาณโปรตีนเริ่มต้นสูงกว่า (ตาราง 4.10) จึงต้องใช้สารทำละลายปริมาณสูงกว่าเพื่อละลายโปรตีนออกจากกากเมล็ดงาให้ได้มากขึ้น

- กากเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าการใช้อัตราส่วนของกากเมล็ดถั่วเหลืองต่อน้ำที่ 1:40 สามารถสกัดโปรตีนได้ 61.88% (จากตาราง 4.20) ซึ่งไม่แตกต่างกับการสกัดโปรตีนจาก

กากเมล็ดถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 1:60 และ 1:80 ซึ่งได้ปริมาณโปรตีน 61.08% และ 60.92% ตามลำดับ แต่จะต่างจากการใช้อัตราส่วนกากเมล็ดถั่วเหลืองต่อน้ำที่ 1:20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% และยิ่งพบว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากกากเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณสูงกว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดงา ทั้งนี้อาจเกิดจากที่ pH 8 โปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าโปรตีนเมล็ดฝ้ายและโปรตีนงา โดย de Rham และ Jost (1979) พบว่าโปรตีนในกากเมล็ดถั่วเหลืองมีความสามารถในการละลายที่ pH 8 สูงถึง 70% ในขณะที่โปรตีนในกากเมล็ดฝ้ายมีความสามารถในการละลายเพียง 41% (Lawhon และ Cater, 1971) และโปรตีนในกากเมล็ดงาจะละลายเพียง 22% (Rivas, Dench และ Caygill, 1981) ซึ่งสอดคล้องกับผลในงานวิจัย ดังนั้นโปรตีนในกากเมล็ดถั่วเหลืองจึงมีความสามารถในการละลายที่ pH 8 สูงกว่าโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดงา

จะเห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง คือ

- อัตราส่วนของกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษต่อสารละลายที่ 1:40
- อัตราส่วนของกากเมล็ดงาต่อสารละลายที่ 1:60
- อัตราส่วนของกากเมล็ดถั่วเหลืองต่อสารละลายที่ 1:40

5.2.2 ศึกษาชนิดของสารละลายต่าง และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

เป็นการศึกษาการใช้สารละลายต่างในการตกตะกอนแทนการปรับ pH เพื่อสะดวกต่อการสกัดโปรตีนในปริมาณมาก ๆ โดยสารละลายต่างที่ศึกษามี 2 ชนิดคือ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะอภิปรายผลการวิจัยดังต่อไปนี้

5.2.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นต่างอ่อน ในการแตกตัวจะต้องให้พลังงานเพื่อสลายพันธะหรือใช้เวลาในการแตกตัวนานกว่าต่างแก่ การแตกตัวของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะส่งผลให้สารละลายมีความเป็นด่างมากขึ้น จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น Magnino, Jr. และ Frederiksen (1972) ได้กล่าวว่าการสกัดโปรตีนจากเมล็ดถั่วเหลืองด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะได้โปรตีนสกัดที่มีสีขาว

กว่าการใช้สารละลายไฮดรอกไซด์ และให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ เมล็ดงาและเมล็ดถั่วเหลือง

การสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำโดยผสมกากเมล็ดพืชต่อสารละลายที่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.2.1 โดยความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ศึกษาได้มาจากการทดลองเบื้องต้น โดยเลือกความเข้มข้นที่ให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ที่เริ่มคงที่และความเข้มข้นที่ต่ำกว่าและสูงกว่า ซึ่งขออภิปรายผลของการศึกษาสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดดังนี้

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.15 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที มีความสามารถในการสกัดโปรตีนได้ 55.18% (จากตาราง 4.3) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเข้มข้น 95% กับการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.15 โมลาร์เป็นเวลา 45 นาที และที่ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที และเมื่อพิจารณาที่เวลาเท่ากัน แต่ต่างความเข้มข้น จะพบว่าที่เวลา 15 นาที สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ จะสกัดโปรตีนออกจากกากเมล็ดฝ้ายได้ต่ำที่สุด ในขณะที่สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.20 โมลาร์ จะสกัดโปรตีนได้สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ มีเนื้อสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่า เพราะที่ภาวะเดียวกัน ภายในเวลาเท่ากันความสามารถในการแตกตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ย่อมเท่ากัน ยิ่งความเข้มข้นมากเนื้อสารก็จะมากจึงมีปริมาณสารที่แตกตัวมากกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ และจะส่งผลให้สารละลายมี pH ที่สูงขึ้น โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาที่เวลา 30 และ 45 นาที พบว่าที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จะสกัดโปรตีนได้ต่ำที่สุด แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการสกัดโปรตีนที่เวลา 15 นาที ทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้น ความสามารถในการแตกตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก็จะมีมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สารละลายมีความเป็นด่างมากขึ้น โปรตีนจึงมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ และ 0.20 โมลาร์ จะให้ผลแตกต่างจากเมื่อใช้ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ โดยพบว่าที่เวลา 45 นาทีความสามารถในการสกัดโปรตีนจะเริ่มลดลง เมื่อเทียบกับที่เวลา 30 นาที ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะแตกตัวมากขึ้น ส่งผลให้สารละลายมีความเป็นด่างมากขึ้น และเมื่อโปรตีนสัมผัสกับสารละลายต่างนานเกินไป จะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denature) เนื่องจากในขณะที่โปรตีนละลาย โมเลกุลของโปรตีนจะคลายตัว ทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ออกมาอยู่ด้านนอกของโมเลกุล ยิ่งสัมผัสกับโปรตีนเป็นเวลานานมากขึ้น หมู่ไม่ชอบน้ำก็จะหันอยู่ภายนอกโมเลกุลมากขึ้น โปรตีนจะสูญเสียแรง Electrostatic

ทำให้โปรตีนเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอนลงมาได้ (Vojdani, 1996) ทำให้เมื่อวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีนในสารละลาย ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จึงลดลง

- กากเมล็ดงา พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการสกัดโปรตีนต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จาก กากเมล็ดงา (ตาราง 4.14) โดยการสกัดโปรตีนที่ใช้ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ สามารถสกัด โปรตีนได้สูงที่สุด เนื่องจากในเมล็ดงามีกรดไฟติกอยู่สูงถึง 5% (de Rham และ Jost, 1979) โดยในสารละลายต่างกรดไฟติกจะให้ประจุรวมเป็นลบ เพราะปล่อยโปรตอนออกจากโมเลกุล เช่นเดียวกับโปรตีน และเมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์แตกตัวจะให้แคลเซียมไอออน ส่งผลให้ โปรตีนและกรดไฟติกจับตัวกันโดยมีแคลเซียมไอออนทำหน้าที่เป็น calcium salt bridge ดังนั้นโปรตีนจึงเกิดการรวมตัวเป็น Protein-phytate complex ทำให้โปรตีนสูญเสียความ สามารถในการละลายเกิดการตกตะกอน (Damodaran, 1996; O'Dell และ de Boland, 1976; Graf, 1983 a,b; Grynspan และ Cheryan, 1983) และจากการวิจัยเบื้องต้นที่ความเข้มข้นของ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่า 0.20 โมลาร์ จะให้ความสามารถในการสกัดไม่ต่าง จากที่ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ เนื่องจากการยิ่งเพิ่มเวลามากขึ้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก็จะ สามารถแตกตัวได้มากขึ้นโปรตีน ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกับกรดไฟติกมากยิ่งขึ้น และเช่นเดียว กันหากเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นความสามารถในการ สกัดโปรตีนก็จะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก เพราะเมื่อสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากก็จะมี แคลเซียมไอออนเพิ่มมากขึ้น ย่อมทำให้เกิดสารประกอบ Protein-phytate complex เพิ่มขึ้น ด้วย อีกทั้งการใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์สูงๆ จะเป็นการเพิ่มต้นทุน ในการผลิตโปรตีนสกัด เพราะเมื่อเทียบกับการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดงาด้วยน้ำที่ pH 8 จะ พบว่าความสามารถในการสกัดโปรตีนไม่ได้เพิ่มมากขึ้นเท่าไรนัก จึงไม่ศึกษาความเข้มข้นของ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่า 0.20 โมลาร์

- กากเมล็ดถั่วเหลือง จากผลการวิจัย (จากตาราง 4.21) พบว่าการสกัด โปรตีนที่ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที จะได้โปรตีน 76.56% ซึ่งไม่แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเข้มข้น 95% กับการสกัดโดยใช้ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์เป็น เวลา 45 นาที และความเข้มข้น 0.25 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที โดยเมื่อพิจารณาที่เวลา 15 นาทีพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะส่งผลให้โปรตีนถูก สกัดออกมาได้มากขึ้น และที่เวลา 30 นาทีและ 45 นาที ก็จะส่งผลในการสกัดโปรตีนเช่นเดียวกับ การสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

การสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดถั่วเหลืองจะใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างจากการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดงา เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองในช่วง pH 9.3-9.6 จะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (de Rham และ Jost, 1979) ส่วนโปรตีนเมล็ดฝ้ายและโปรตีนเมล็ดงาที่ pH ในช่วงเดียวกันจะมีการเพิ่มขึ้นของการละลายที่น้อยกว่า (Lawhon และ Cater, 1971) ดังนั้นในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดถั่วเหลืองจึงต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่าการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายและกากเมล็ดงา

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ จะใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.15 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที
- กากเมล็ดงา จะใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.20 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที
- กากเมล็ดถั่วเหลือง จะใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.20 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที

5.2.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายที่นิยมใช้ในการสกัดโปรตีน เนื่องจากเป็นต่างแก่สามารถแตกตัวได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย

การสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำโดยผสมกากเมล็ดพืชต่อสารละลายในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.1 โดยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ศึกษาได้มาจากการทดลองเบื้องต้น โดยเลือกความเข้มข้นที่ให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ที่เริ่มคงที่และความเข้มข้นที่ต่ำกว่าและสูงกว่า ซึ่งจะขออภิปรายผลของการศึกษาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดดังนี้

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาทีมีความสามารถในการสกัดโปรตีนได้ 77.29% (จากตาราง 4.4) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดที่ความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้เวลา 15 นาที หากมีการเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น

ความสามารถในการสกัดก็จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เวลา 30 นาทีพบว่าการใช้ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์และ 0.08 โมลาร์ จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดโปรตีนที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ และที่เวลา 45 นาที พบว่า การใช้ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ และ 0.08 โมลาร์ จะทำให้ปริมาณโปรตีนเริ่มลดลงจากเมื่อใช้เวลา 30 นาที ทั้งนี้มีเหตุผลเช่นเดียวกับการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กล่าวคือเมื่อโปรตีนอยู่ในสารละลายต่างเป็นเวลานานๆ โปรตีนจะเสียสภาพ โดยจะคลายตัวทำให้หมูไม่ชอบน้ำ หันออกมาออกโมเลกุล และเกิดการรวมตัวกันทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนลงมาได้ จึงทำให้ค่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ลดลงเล็กน้อย

- กากเมล็ดงา พบว่า การใช้ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที จะสกัดโปรตีนได้ 94.87% (จากตาราง 4.15) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ 45 นาที และ 0.08 โมลาร์ เป็นเวลา 30 และ 45 นาที เมื่อพิจารณาที่เวลา 15 นาทีพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นจะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อใช้เวลา 30 นาทีการเพิ่มความเข้มข้นจาก 0.005 โมลาร์เป็น 0.02 โมลาร์ จะทำให้สกัดโปรตีนได้มากขึ้น โดยไม่แตกต่างกับการสกัดเมื่อใช้ความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ และเมื่อใช้เวลา 45 นาที พบว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดโดยใช้เวลา 30 นาที เหตุผลที่ใช้อธิบายเช่นเดียวกับการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ

- กากเมล็ดถั่วเหลือง พบว่า การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที จะสกัดโปรตีนได้ 81.55% (จากตาราง 4.22) ซึ่งไม่แตกต่างกับการสกัดโปรตีนด้วยความเข้มข้น 0.02 โมลาร์เป็นเวลา 45 นาที และ 0.08 โมลาร์เป็นเวลา 30 นาที โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษและการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดงาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ

- กากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที
- กากเมล็ดงา จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที
- กากเมล็ดถั่วเหลือง จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที

5.2.3 การเปรียบเทียบวิธีการสกัดโปรตีนทั้ง 3 วิธีจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

หลังจากที่ได้ภาวะในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 วิธีคือ การสกัดด้วยน้ำที่ pH 8 เป็นเวลา 30 นาที การสกัดโปรตีนด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในงานวิจัยต้องการหาวิธีในการสกัดโปรตีนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด จึงทำวิจัยโดยนำภาวะที่เหมาะสมจากทั้ง 3 วิธี มาสกัดโปรตีนอีกครั้ง แล้วเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ว่าวิธีใดให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้สูงสุด

ซึ่งจะขออภิปรายผลของการเปรียบเทียบวิธีการสกัดโปรตีนทั้ง 3 วิธีที่มีต่อการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดดังนี้

จากวิธีในการสกัดโปรตีนทั้ง 3 วิธี พบว่าทั้งในกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา กากเมล็ดถั่วเหลือง วิธีที่สามารถสกัดโปรตีนได้สูงที่สุดคือการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (จากตาราง 4.5 4.16 และ 4.23 ตามลำดับ) เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต่างแ่ก่มีความสามารถในการแตกตัวได้ดีกว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นต่างอ่อนมีการแตกตัว 2 ครั้ง จึงให้ประจุลบกับสารละลายช้ากว่าที่ระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อโปรตีนอยู่ในสารละลายต่าง (pH สูง) โปรตอนจะถูกดึงออกไปจากกลุ่มอะมิโนและกลุ่มคาร์บอกซิลทำให้โปรตีนจะมีประจุรวมเป็นลบ ออกซิเจนที่อยู่ในหมู่คาร์บอนิล ($-CO$) หรืออยู่ที่หมู่คาร์บอกซิล ($-COO^-$) จะมีประจุลบค่อนข้างสูง จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์แตกตัวให้ประจุลบช้าจึงทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีประจุรวมเป็นลบน้อยจึงเกิดพันธะกับน้ำน้อย ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงต่ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) และในวิธีการสกัดโปรตีนด้วยน้ำที่ pH 8 จะมีค่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ต่ำที่สุด เนื่องจากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อแตกตัวจะให้ค่าเป็นกรดต่างประมาณ 9-9.5 และ 10-10.5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วง pH ที่โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้สูงกว่าที่ pH 8

ดังนั้นการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้โปรตีนสูงที่สุด

5.3 ศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ที่ทำให้โปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีความสามารถในการละลายต่ำสุดเพื่อใช้ในการตกตะกอนโปรตีน

เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษแล้ว ต่อมาจึงศึกษา pH ที่เหมาะสมที่ทำให้โปรตีนเมล็ดฝ้ายตกตะกอน เพื่อใช้ในการผลิตโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ พบว่าโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีความสามารถในการละลายต่ำในช่วง pH 3-4 (จากรูป 4.1) เนื่องจาก pH ดังกล่าวเป็นช่วง Isoelectric pH (IEpH) โดยที่ IEpH โมเลกุลของโปรตีนจะมีประจุรวมเป็นศูนย์ กล่าวคือโปรตีนจะเกิด Protein-protein interaction เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก แรง Electrostatic ในโมเลกุลจะลดลง ทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและน้ำน้อยลง เป็นผลให้โปรตีนเกิดการจับตัวและตกตะกอนลงมา ทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการละลาย (Damodaran,1996) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะตกตะกอนโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่ pH 3.5 เพราะให้ค่าความสามารถในการละลายต่ำที่สุด

แต่ในงานวิจัยไม่ศึกษา pH ที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง เนื่องจากมีผู้ที่ศึกษามากแล้ว มีรายงานว่าโปรตีนเมล็ดงามี IEpH ที่ 4.8 (Taha และคณะ, 1987b) และโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองมี IEpH ที่ 4.5 (Kinsella, 1979) แต่เนื่องจากในเมล็ดงาและเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณของกรดไฟติกสูง ซึ่งกรดไฟติกเป็นสารต้านคุณค่าทางโภชนาการชนิดหนึ่งจึงจำเป็นต้องกำจัดกรดไฟติกออกไปจากโปรตีนสกัด โดยกรดไฟติกจะมีความสามารถในการละลายสูงในช่วง pH 5.4-5.5 (Taha และคณะ, 1987b; de Rham และ Jost, 1979; Honig และ Wolf,1987) ในงานวิจัยจึงใช้ pH 5.4 และ pH 5.5 ในการตกตะกอนโปรตีนจากกากเมล็ดงา และโปรตีนจากกากเมล็ดถั่วเหลืองตามลำดับ ซึ่งทำให้สามารถแยกไฟเตตออกจากโปรตีนได้ ถึงแม้ว่าจะสูญเสียโปรตีนบางส่วนออกไปบ้างก็ตาม

5.4 การผลิตโปรตีนสกัดจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ กากเมล็ดงา และกากเมล็ดถั่วเหลือง

ในงานวิจัยได้ผลิตโปรตีนสกัดจากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดตามวิธีของ Taha และคณะ (1987) พบว่าโปรตีนสกัดที่ได้จากกากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 90% ซึ่งไม่สูงพอที่จะจัดเป็นโปรตีนไอโซเลต (Protein isolate) ดังนั้นโปรตีนสกัดนี้จัดเป็นเพียงโปรตีนเข้มข้น (Protein concentrate) เท่านั้น โดยพบว่า

- โปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ จะมีปริมาณโปรตีน 73.76% (จากตาราง 4.6) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากไม่ได้มีการแยกสตาโรซออกจากรากเมล็ดฝ้ายก่อนนำมาสกัดโปรตีนจึงพบว่า

โปรตีนสกัดจะมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 24.62% นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนในโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจะมีปริมาณต่ำสุดเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนในโปรตีนสกัดจากเมล็ดงาและโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลือง เนื่องจากในการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษด้วยภาวะที่ได้จากข้อ 3.2.2.3 ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายต่ำกว่าโปรตีนที่สกัดจากกากเมล็ดงาและกากเมล็ดถั่วเหลือง ดังตาราง 4.5 4.16 และ 4.23 ตามลำดับ จึงทำให้โปรตีนเมล็ดฝ้ายมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาสารกอสติปอลอิสระซึ่งเป็นสารพิษ พบว่าในโปรตีนเมล็ดฝ้ายมีสารพิษเพียง 0.0014% ซึ่งจะปลอดภัยต่อการบริโภค เพราะมีปริมาณสารกอสติปอลต่ำกว่าที่ US.FDA. กำหนดไว้ ($\leq 0.04\%$) ทั้งนี้เนื่องจากสารกอสติปอลมีความสามารถในการละลายต่ำในช่วง pH เป็นต่าง และมีความสามารถในการละลายสูงในช่วง IEPH ของโปรตีน (El Tiney, Chadrsekhar และ Ramanatham, 1980; Rao, Chadrsekhar และ Ramanatham, 1987; Lawhon และ Cater, 1971.) ทำให้สารพิษเหล่านี้ถูกกำจัดออกไประหว่างการสกัดโปรตีน โปรตีนที่สกัดได้จึงมีปริมาณกอสติปอลลดต่ำลง และจากตาราง 4.6 จะพบว่าปริมาณเกลือในโปรตีนเมล็ดฝ้าย 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์นี้เกิดจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายและตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดเกลือ และปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (%Yield) ของโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย (จากตาราง 4.8) จะมีค่า 22.28%

- โปรตีนเมล็ดงา จะมีปริมาณโปรตีน 83.24% (จากตาราง 4.17) และจัดเป็นเพียงโปรตีนเข้มข้นเช่นเดียวกันกับโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ มีปริมาณเกลือในโปรตีนสกัดจากเมล็ดงา 0.82% และเมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (%Yield) (จากตาราง 4.17) พบว่าโปรตีนสกัดจากเมล็ดงาจะมีปริมาณโปรตีนที่สกัดได้สูงถึง 48.24% ซึ่งมีค่าสูงกว่าในโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายและโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลือง เนื่องจากในกากเมล็ดงาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดโปรตีนมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด

- โปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง จะมีปริมาณโปรตีน 88.16% (จากตาราง 4.24) ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนในโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษและโปรตีนสกัดจากเมล็ดงา พบว่าปริมาณโปรตีนในโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าในโปรตีนสกัดจากพืชอีก 2 ชนิด เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารที่ไม่ใช่โปรตีนน้อยกว่า และมีปริมาณเกลือเกิดขึ้นในโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง 0.94% เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (%Yield) (จากตาราง 4.24) พบว่าโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองจะมีค่า 29.39%

5.5 ศึกษาสมบัติการใช้งานของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ

การศึกษาถึงสมบัติการใช้งานของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษในด้านต่างๆ เพื่อให้ทราบว่าโปรตีนเมล็ดฝ้ายสามารถนำไปใช้ทำอาหารอะไรได้ หรือมีสมบัติอะไรที่เด่นเพื่อนำไปใช้ต่อไป

5.5.1 ความสามารถในการละลายของโปรตีน

เป็นการศึกษาเพื่อให้ทราบว่าโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายที่ได้มีความสามารถในการละลายได้ดีที่ pH ไค ซึ่งทำให้ทราบว่าโปรตีนสกัดที่ได้สามารถนำไปใช้ในอาหารประเภทไค มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีหรือไม่ เป็นต้น

จากรูป 4.2 พบว่าโปรตีนมีความสามารถละลายต่ำในช่วง pH 4-6 เพราะในการเตรียมโปรตีนสกัดได้ตกตะกอนโปรตีนที่ IepH ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่มีประจุ หรือมีความเป็นประจุต่ำ ดังนั้นโปรตีนจึงมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ แต่เมื่อลด pH หรือเพิ่ม pH ไปจากช่วง pH นี้ โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นช่วง pH ที่เหมาะสมที่ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายสูง เพราะโปรตีนจะมีความเป็นประจุเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ความสามารถในการละลายจึงเพิ่มขึ้น (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ซึ่งผลการทดลองได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lawhon และ Cater (1971) ซึ่งพบว่าโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่ตกตะกอนในช่วง pH 3-4 มีความสามารถในการละลายของโปรตีนต่ำในช่วง pH 4-5 และการที่ IepH ของโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษกับ IepH ของโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากโปรตีนในโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เพราะการสกัดโปรตีนเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนออกไป ทำให้ของสารประกอบอื่นๆ ลดน้อยลงจึงไม่มีอิทธิพลต่อการละลายของโปรตีน ดังนั้นค่า IepH ของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจึงสูงกว่า IepH ของโปรตีนจากกากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเล็กน้อย

5.5.2 ค่าความหนาแน่นของโปรตีนสกัด

จากตาราง 4.7 พบว่าโปรตีนมีความหนาแน่น 0.42 กรัมต่อมิลลิลิตร ในปี ค.ศ. 1981 Dench และคณะ พบว่าความหนาแน่นของโปรตีนสกัดจากเมล็ดงามีค่า 0.32 กรัมต่อมิลลิลิตร และความหนาแน่นของโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 0.30-0.39 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่หา

ได้จากงานวิจัยนี้ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความหนาแน่นของโปรตีนสกัดยังไม่สามารถอธิบาย แต่คาดว่าอาจเกิดจากวิธีการสกัดโปรตีน โดย Dench และคณะ (1981) พบว่าการสกัดโปรตีนด้วยเกลือและโปรตีนงาด้วยเกลือจะให้ค่าความหนาแน่นต่ำกว่าการสกัดด้วยสารละลายต่าง ในขณะที่ Wang และ Kinsella (1976) พบว่าการสกัดโปรตีนจากไบอัลฟาฟาด้วยเกลือแกงและบัฟเฟอร์ pH 10 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าการสกัดโปรตีนด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังกล่าวไว้ว่าความเข้มข้นของตัวอย่างก่อนทำแห้งด้วยวิธี Freeze dried มีผลต่อค่าความหนาแน่นอีกด้วย

5.5.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมัน

ความสามารถในการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมัน มีผลต่อการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหาร เนื่องจากการดูดซับน้ำจะแสดงถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ ส่วนการดูดซับน้ำมันจะมีผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมันหาได้จากการวัดปริมาณน้ำและหรือน้ำมันที่เหลือจากการเติมลงไปโปรตีนสกัด เพื่อวัดปริมาณน้ำและหรือน้ำมันที่โปรตีนสกัดสามารถดูดซับไว้ได้

จากผลการวิจัยพบว่าโปรตีนสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ 2.27 มิลลิลิตรของน้ำต่อโปรตีนสกัด 1 กรัม การที่โปรตีนมีความสามารถในการจับตัวกับน้ำได้ เนื่องจากโปรตีนเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เนื่องจากโปรตีนที่ได้มีความเป็นประจุต่ำ เพราะตกตะกอนโปรตีนในช่วง IEPH แต่โมเลกุลของโปรตีนยังมีความสามารถในการเกิดพันธะกับน้ำ จึงเกิดการดูดซับน้ำเอาไว้ได้บ้าง ส่วนสมบัติการดูดซับน้ำมัน พบว่าโปรตีนมีค่าการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 3.09 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อโปรตีนสกัด 1 กรัม ทั้งนี้เมื่อโมเลกุลโปรตีนมีความเป็นประจุต่ำ ย่อมสามารถจับตัวกับน้ำมันได้ดี จึงส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าการดูดซับน้ำ ในงานวิจัยของ Wang และ Kinsella (1976) ได้ศึกษาสมบัติการใช้งานของโปรตีนจากไบอัลฟาฟาเทียบกับการใช้โปรตีนในทางการค้า พบว่าโปรตีนในทางการค้าหลังตกตะกอนโปรตีนที่ IEPH แล้วจะนำตะกอนโปรตีนมาละลายอีกครั้ง โดยปรับ pH เป็นต่าง เพื่อให้โปรตีนที่ได้มีความสามารถในการละลายและการดูดซับน้ำได้ดี (6.36 มิลลิลิตรของน้ำต่อกรัมโปรตีน) แต่จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ต่ำ (1.70 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อกรัมโปรตีน) เพราะโมเลกุลของโปรตีนมีความเป็นประจุน้อยสามารถเกิดพันธะกับน้ำได้ดีแต่เกิดพันธะกับน้ำมันได้ต่ำ ในขณะที่โปรตีนจากไบอัลฟาฟาที่ทำการทดลองของ Wang และ Kinsella มีค่าการดูดซับน้ำ 1.85-3.90 มิลลิลิตรของน้ำต่อกรัมโปรตีนและมีค่าการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 2.37-4.30 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อกรัมโปรตีน

5.5.4 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน

ในการผลิตโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ โดยตกตะกอนโปรตีนที่ IEPH ซึ่งโมเลกุลรอบนอกของโปรตีนจะไม่มีประจุ การเกิดอิมัลชันของโปรตีนเมล็ดฝ้ายจึงเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนไม่มีขั้วบนผิวของโมเลกุลโปรตีนในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ การเกิดอิมัลชันเป็นผลมาจากการดูดซับโมเลกุลโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วจะทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยกรดอะมิโนชนิดนี้จะแทรกตัวเข้าไปอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมัน และหันส่วนที่มีขั้วออกสัมผัสกับน้ำ ฉะนั้นโปรตีนที่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีขั้วสูงจะทำให้เม็ดน้ำมันดูดซับได้มากอิมัลชันจึงเกิดได้ดี อย่างไรก็ตามโปรตีนที่จะทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีจะต้องละลายน้ำได้ดีด้วย (Pomeranz, 1991)

ในงานวิจัยได้ศึกษาสมบัติในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ ซึ่งได้ผลดังตาราง 4.7 พบว่ามีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้ 61.05% และมีเสถียรของการเกิดอิมัลชัน 53.03% ซึ่งเมื่อเทียบกับการเกิดอิมัลชันของโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองจากการวิจัยของ Volkert และ Klein (1979) พบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้ 100% และมีเสถียรภาพของอิมัลชันที่ 86-88% เนื่องจากโปรตีนที่ใช้ในการศึกษาเป็นโปรตีนทางการค้าที่มีการละลายโปรตีนที่ตกตะกอนอีกครั้ง ทำให้โปรตีนมีส่วนที่มีประจุมากกว่าโปรตีนที่ตกตะกอนที่ IEPH ซึ่งการที่โมเลกุลของโปรตีนมีประจุเพิ่มมากขึ้น ทำให้โปรตีนเกิดการล้อมรอบเม็ดน้ำ (ในกรณีเป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน) หรือเม็ดน้ำมัน (ในกรณีเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ) ได้ดีมีความแข็งแรงของฟิล์มโปรตีน ในขณะที่โปรตีนที่ตกตะกอนที่ IEPH โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ฟิล์มโปรตีนที่ได้จะบางมาก และเมื่อให้ความร้อนในการศึกษาหาเสถียรภาพของอิมัลชัน จะทำให้ฟิล์มโปรตีนแตกง่าย ดังนั้นเสถียรภาพของอิมัลชันของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษในงานวิจัยจึงต่ำกว่าโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง

5.5.5 สมบัติในการเกิดโฟม

จากการศึกษาสมบัติในการเกิดฟองของโปรตีนเมล็ดฝ้ายในตาราง 4.7 พบว่าโปรตีนทำให้เกิดปริมาตรของฟองได้ 110% หมายความว่าจากสารละลายโปรตีน 100 มิลลิลิตร สามารถทำให้เกิดฟองจนปริมาตรรวมของสารละลายและฟองเป็น 210 มิลลิลิตร ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการเกิดฟองนั้นคล้ายกับการเกิดอิมัลชัน โดยโปรตีนจะหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาอากาศ และโปรตีนจะทำหน้าที่หุ้มฟองอากาศไว้และเกิดเป็นเยื่อบางที่มีความเหนียวมากพอที่จะไม่ทำให้ฟองอากาศแตกและรวมตัวกัน เสถียรภาพของการเกิดฟองโปรตีนเมล็ด

ฝ้ายไร้ต่อมพิษที่ผลิตได้มีค่าต่ำ โดยพบว่าเมื่อตั้งไว้เพียง 5 นาที ปริมาตรของฟองลดลงเหลือเพียง 12.07% เท่านั้น ในปีค.ศ. 1979 Volkert และ Klein ได้ศึกษาสมบัติในการเกิดโฟมของโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองสามารถตีให้ฟองได้ 112% และมีเสถียรภาพสูงถึง 106.2% เมื่อตั้งฟองทิ้งไว้ 30 นาที ซึ่งความสามารถในการเกิดฟองของโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่ได้จากงานวิจัย เนื่องจากการผลิตโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจะมีการให้ความร้อนเพื่อทำลายสารต้านคุณค่าทางโภชนาการที่ 100°C เป็นเวลา 30 นาที การให้ความร้อนนี้จะมีผลต่อการเกิดฟองเพราะทำให้โปรตีนเสียสภาพ (Denature) เมื่อเกิดฟอง ผิวของฟองจะเกิดการเปราะและแตกง่าย เสถียรภาพของฟองจึงต่ำ แต่โปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ Volkert และ Klein ใช้ศึกษาไม่มีการให้ความร้อนในระหว่างการผลิตโปรตีนสกัด ดังนั้นความสามารถในการเกิดโฟมและเสถียรภาพจึงดีกว่า

จากการศึกษาสมบัติการใช้งานของโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษที่แยกได้พบว่าโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษมีสมบัติการละลายได้ดีในช่วงของค่า pH 4-6 นอกจากนี้ยังมีสมบัติการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าสมบัติการดูดซับน้ำ และมีสมบัติการเกิดอิมัลชันได้ดี รวมถึงสมบัติในการเกิดฟองได้ แต่จะมีเสถียรภาพของฟองต่ำ ดังนั้นโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ของแห้งที่ต้องการให้เกิดอิมัลชัน เช่น ไล้กรอก ลูกชิ้น เป็นต้น

5.6 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ โปรตีนเมล็ดงา และโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองโดยวิธีทางเคมี

ศึกษาปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีนสกัดจากเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของโปรตีน โดยพบว่า

- โปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ มีเมทไอโอนีนและไลซีนต่ำ (จากตาราง 4.8) เมื่อเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO (1973) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Block (1945) กล่าวว่าโปรตีนจากเมล็ดฝ้าย(มีต่อมพิษ)จะขาดเมทไอโอนีนและไลซีน

- โปรตีนเมล็ดงา จะมีเมทไอโอนีนสูง (จากตาราง 4.18) เมื่อเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO (1973) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Taha และคณะ (1987) Lyon (1972) และ Johnson และคณะ (1979) ซึ่งได้กล่าวว่าโปรตีนเมล็ดงาจะมีปริมาณเมทไอโอนีนอยู่สูง

- โปรตีนเมลิคั่วเหลือง จะมีไลซีนสูง (ตาราง 4.25) เมื่อเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO (1973) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ de Rham และ Jost (1979) ได้กล่าวไว้ว่าโปรตีนเมลิคั่วเหลืองจะมีปริมาณไลซีนอยู่สูง

แต่จากการวัด pH ของการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าประมาณ 10.5 ซึ่งมีความเป็นด่างสูง การที่โปรตีนสัมผัสกับสารละลายด่างที่ pH สูงๆ หมู่อะมิโนของ Lysyl residue จากไลซีน กับ Dehydroalanyl residue จากซีลีน ซิสทีน และซิสเทอีน ซึ่งจะเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบไลซีนอะลานีน (Lysinoalanine) สารประกอบดังกล่าวจะส่งผลให้คุณภาพของโปรตีนลดลง เนื่องจากสูญเสียไลซีน โดยเมื่อนำปริมาณไลซีนในโปรตีนสกัดเมลิคั่วเหลือง โปรตีนสกัดเมลิคั่วเหลือง และโปรตีนสกัดเมลิคั่ว เปรียบเทียบกับปริมาณไลซีนในเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษ (สมชาย ประภาวัต, 2537) เมลิคั่วเหลือง และเมลิคั่ว (สมชาย ประภาวัต, 2521) พบว่า ในเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษจะมีไลซีน 40.00 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ในขณะที่โปรตีนสกัดเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษมีไลซีน 35.02 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน (ตาราง 4.8) เมลิคั่วมีไลซีน 31.63 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน โปรตีนสกัดเมลิคั่วมี 22.72 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน (ตาราง 4.18) และเมลิคั่วเหลืองมีไลซีน 73.25 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ส่วนโปรตีนเมลิคั่วเหลืองมีไลซีน 55.74 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน (ตาราง 4.25) จากค่าดังกล่าวจะพบว่าปริมาณไลซีนในโปรตีนสกัดจากเมลิคั่วฝ้ายน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไลซีนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบไลซีนอะลานีน จึงทำให้ปริมาณไลซีนลดลง

5.7 ปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนสกัดจากเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษโดยการผสมโปรตีนสกัดจากเมลิคั่วและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและประเมินปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นโดยเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO(1973)

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในโปรตีนสกัดทั้ง 3 ชนิด พบว่าในโปรตีนเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษจะมีเมทไอโอนีนและไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำกัด ในขณะที่โปรตีนเมลิคั่วจะมีปริมาณของเมทไอโอนีนสูง และโปรตีนถั่วเหลืองจะมีปริมาณของไลซีนสูง ดังนั้นการผสมโปรตีนเมลิคั่วและโปรตีนถั่วเหลืองลงในโปรตีนเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษ น่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าของโปรตีนเมลิคั่วฝ้ายไร้ต่อมพิษให้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนอีกด้วย (Bressani, 1974; Phillips และ Eitenmiller, 1991; Woodham, 1978; Sarwar, Sosulski และ Bell, 1978)

จากการวิจัยได้ผสมโปรตีนทั้ง 3 ชนิดโดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ได้สูตรโปรตีนผสม 4 สูตร เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่าปริมาณโปรตีนจะมีค่าใกล้เคียง

กัน (ตาราง 4.26) และเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ (ตาราง 4.8) กับปริมาณโปรตีนในโปรตีนผสมทั้ง 4 สูตรจะพบว่าปริมาณโปรตีนโปรตีนในโปรตีนผสมทั้ง 4 สูตรจะสูงกว่าปริมาณโปรตีนในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ เนื่องจากในโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ เมื่อผสมโปรตีนทั้ง 3 ชนิดเข้าด้วยกันย่อมส่งผลให้ปริมาณโปรตีนสูงขึ้นกว่าในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษเพียงอย่างเดียว

เมื่อศึกษาชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีนผสมทั้ง 4 สูตร จากตาราง 4.27-4.30 พบว่าปริมาณไลซีนและเมทไอโอนีนในโปรตีนผสมทั้ง 4 สูตรจะเพิ่มขึ้นกว่าในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองลงในโปรตีนเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนเมล็ดฝ้ายให้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนเมล็ดฝ้ายขาดไลซีนและเมทไอโอนีน ในขณะที่โปรตีนเมล็ดงาจะมีเมทไอโอนีนสูง ส่วนโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองจะมีกรด อะมิโนไลซีนสูง ซึ่งเมื่อผสมโปรตีนทั้ง 3 ชนิดด้วยกันแล้ว จะช่วยเสริมกรดอะมิโนที่โปรตีนเมล็ดฝ้ายขาดไปจากโปรตีนเมล็ดงาและโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง นอกจากนี้พบว่าโปรตีนผสมในสูตรที่ 3 (โปรตีนเมล็ดฝ้าย โปรตีนเมล็ดงา และโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:1:2) และสูตรที่ 4 (โปรตีนเมล็ดฝ้าย โปรตีนเมล็ดงา และโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:1.5:1.5) จะมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นใกล้เคียงกับโปรตีนมาตรฐานที่ FAO/WHO กำหนด (1973) ทั้งนี้เนื่องจากในโปรตีนเมล็ดงามีเมทไอโอนีนในปริมาณสูงมาก ในขณะที่โปรตีนเมล็ดฝ้ายและโปรตีนถั่วเหลืองมีเมทไอโอนีนอยู่ต่ำ เมื่อผสมโปรตีนเมล็ดงาในอัตราส่วนสูงจึงทำให้โปรตีนผสมมีปริมาณเมทไอโอนีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่โปรตีนผสมสูตรที่ 2 (โปรตีนเมล็ดฝ้าย โปรตีนเมล็ดงา และโปรตีนเมล็ดถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:2:1) จะมีปริมาณของไลซีนต่ำกว่าสูตรอื่นๆ อาจเนื่องจากในเมล็ดงามีปริมาณไลซีนอยู่ต่ำ และโปรตีนถั่วเหลืองก็ไม่ได้มีปริมาณไลซีนสูงเท่าไรนัก แม้ผสมโปรตีนเมล็ดงาในอัตราส่วนที่สูง แต่จะได้ปริมาณไลซีนในโปรตีนผสมต่ำกว่าสูตรอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย