

## การตัดแปรรูปสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยเอนไซม์

โดย อ.สมฤดี ไทพานิชย์<sup>1</sup>

### บทนำ

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของร่างกายมนุษย์ มนุษย์ได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนจากสัตว์ และจากพืช โดยโปรตีนจากสัตว์จัดว่าเป็นโปรตีนสมบูรณ์ มีกรดอะมิโนจำเป็น ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเองได้อย่างครบถ้วน ในขณะที่โปรตีนจากพืชมีกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิดในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตามโปรตีนจากพืชยังคงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของผู้บริโภคอาหารมังสวิรัต อาหารเจ และผู้ป่วยบางกลุ่ม ทั้งโปรตีนจากพืชยังมีราคาถูกกว่าโปรตีนจากสัตว์ จึงเป็นอาหารหลักของประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนา ในด้านอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร เนื่องด้วยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชที่ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ จึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต หรือเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น ข้อจำกัดของการใช้โปรตีนจากพืชที่ยังเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารอย่างมาก คือสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนตามธรรมชาติจากพืชที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก ยังไม่ตรงตามความต้องการต่อการนำไปใช้การตัดแปรรูปสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยเอนไซม์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำได้ โปรตีนจากพืชที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างแพร่หลาย

### โครงสร้างทางเคมีของโปรตีน [1]

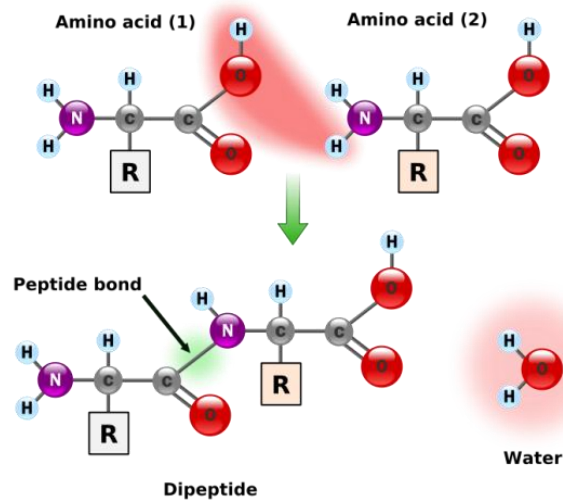
โครงสร้างทางเคมีของโปรตีนเกิดจากกรดอะมิโน (amino acid) มาเรียงต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) โดยที่หมู่อะมิโนของกรดอะมิโน ( $-NH_2$ ) ตัวที่หนึ่งเชื่อมต่อกับหมู่คาร์บอกซิล ( $-COOH$ ) ของ

กรดอะมิโนตัวถัดมา และมีน้ำหลุดออกไป 1 โมเลกุล โดยกรดอะมิโน 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ 1 พันธะ ดังแสดงโดยรูปที่ 1 และเนื่องจากโปรตีนทุกชนิดเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน การที่โปรตีนแต่ละชนิดแตกต่างกันเนื่องจากมีชนิด จำนวน และการเรียงตัวของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์แตกต่างกัน ส่งผลให้มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เนื่องจากโปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลผันแปรจากขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากซึ่งยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเพปไทด์ และพันธะชนิดอื่นๆ ทำให้โปรตีนมีโครงสร้าง 4 ระดับ ดังแสดงโดยรูปที่ 2 ที่อาจส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกันไป โปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่มีขั้วมากกว่า อาจมีสมบัติด้านการละลายน้ำที่ดีกว่า หรือโปรตีนที่มีโครงสร้างที่มีช่องว่างอยู่ภายในโครงสร้าง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ภายในโมเลกุลของโปรตีนได้ และยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และกระจายตัวได้ดีในน้ำ ในขณะที่กลุ่มของโปรตีนที่โครงสร้างของโมเลกุลเป็นสายตรงยาว และสายพอลิเพปไทด์มาเชื่อมต่อกันหรือขดเป็นเกลียวสปริง จะยึดหยุ่นได้ดี เช่น กลูเตน (gluten)

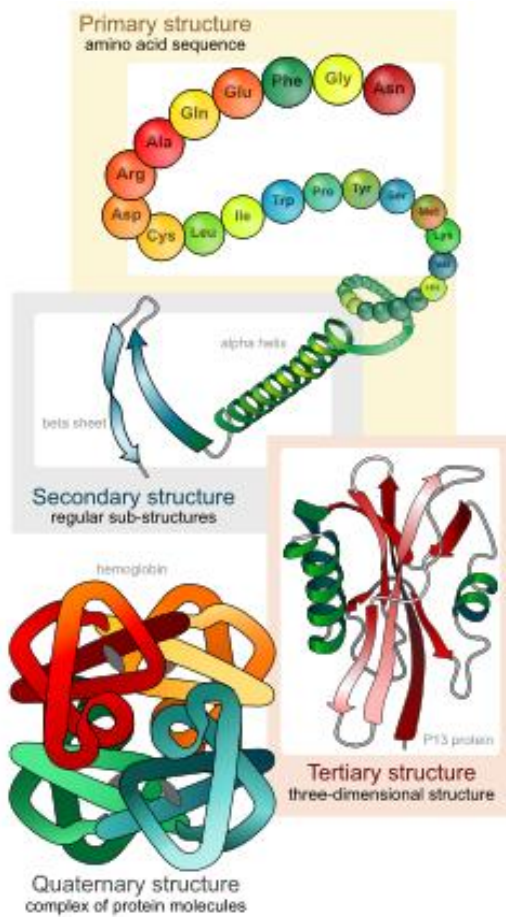
Thaiphanit@gmail.com

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

<sup>1</sup>Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University



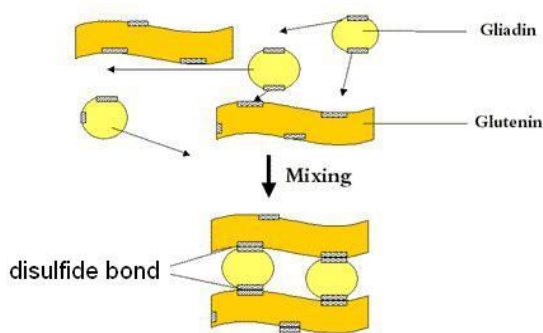
รูปที่ 1 การเกิดพันธะเพปไทด์ (ที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/File:AminoAcidball.svg>)



รูปที่ 2 ลำดับโครงสร้างของโปรตีน (ที่มา:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Main\\_protein\\_structure\\_levels\\_en.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Main_protein_structure_levels_en.svg))

กลูเตน เป็นไกลโคโปรตีน ที่พบในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของธัญพืช (cereal grain) บางชนิด เช่น ข้าวสาลี (wheat) ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพด เกิดจากการรวมตัว ของ โปรตีน กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดีน (gliadin) ในสัดส่วนเท่าๆ กัน โดยจะสร้างพันธะได

ซัลไฟด์ (disulfide bond) ทำให้กลูเตนมีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่น และไม่ละลายน้ำ ดังแสดงโดยรูปที่ 3 อย่างไรก็ตามเมื่อโครงสร้างของโปรตีน ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพธรรมชาติมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพ และการทำหน้าที่ของโปรตีนเปลี่ยนไป



รูปที่ 3 การยึดกันของโปรตีนไกลอะดีน และ กลูเตนินด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) เกิดเป็นกลูเตนที่เหนียว และยืดหยุ่น (ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/gluten>)

### โปรตีนในอาหารจากพืช และหน้าที่ของโปรตีนในอาหาร [1] [2]

พืชผักชนิดต่างๆ มีปริมาณโปรตีนต่ำ พืชผักจึงไม่ใช่แหล่งสำคัญของโปรตีนในอาหาร แต่ในส่วนของธัญพืช ถั่ว และพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฝ้าย และงา เป็นต้น มีปริมาณโปรตีนสูง กว่าพืชผักมาก ดังแสดงโดยตารางที่ 1 แต่ปริมาณโปรตีนจะแปรผันตามชนิดของพืช พันธุ์ และฤดูกาล

โดยส่วนใหญ่โปรตีนในพืชเป็นชนิดโปรตีนชนิดที่ละลายได้ดีในน้ำ หรือในสารละลายเกลือที่เจือจาง โปรตีนจากธัญพืช ถั่ว และพืชน้ำมันถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารที่สำคัญ ทั้งนี้ได้มีการสกัดแยกเอาโปรตีนออกมาจากแหล่งต่างๆ แล้วนำมาใช้เป็น

ส่วนผสมในอาหาร โดยโปรตีนจะสามารถทำหน้าที่สำคัญต่างๆ ที่มีผลต่ออาหารระหว่างการเตรียม การแปรรูป การเก็บรักษา และการบริโภค ดังแสดงโดยตารางที่ 2 และที่ผ่านมายังมีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการนำโปรตีนในอาหารจากพืชมาใช้ในอาหารทั่วไป เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (bakery) กลูเตน สามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ (yeast) หรือผงฟูเอาไว้ได้ ทำให้รักษารูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง (bread) โดนัท (doughnut) เค้ก (cake) หรือเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้กลูเตนเป็นส่วนประกอบแทนที่เนื้อสัตว์ในอาหารเจ (vegan) และอาหารมังสวิรัต หรือการนำโปรตีนจากเห็ดมาใช้ในรูปเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส และการผลิตน้ำซอสปรุงรสจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดงา เป็นต้น [3] [4]

ตารางที่ 1 ปริมาณโปรตีนในพืช ธัญพืช และถั่วและพืชน้ำมันบางชนิดในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม [5]

Thaiphanit@gmail.com

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

<sup>1</sup>Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University

ประเภท	อาหาร	ปริมาณโปรตีน (กรัม)
พืช	มันเทศ	0.6-1.2
	มันฝรั่ง	1.9-3.6
	กะหล่ำดอก	1.9-2.8
	แครอท	0.8-1.3
	กล้วย	1.0-2.2
	เห็ด	0.7-4.8
ธัญพืช	ข้าวเจ้า	6.4
	ข้าวโพด	4.4-4.9
	ข้าวสาลี	11.8
ถั่ว	ถั่วเขียว	24.4
	ถั่วเหลือง	34.1
	ถั่วลิสง	15.0
	เมล็ดทานตะวัน	16.7
	งา	17.2

ตารางที่ 2 บทบาทของโปรตีนในอาหารบางชนิด [1] [2]

หน้าที่	บทบาทของโปรตีน	ตัวอย่างอาหาร
การละลาย	Protein solvation	เครื่องดื่ม
ดูดซับน้ำ	เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้น้ำถูกจับไว้ในโมเลกุลของโปรตีน	อาหารประเภทเนื้อ ไส้กรอก ขนมปัง และเค้ก
ความหนืด	ทำให้ข้นหนืด และจับกับน้ำ	ซूप เกรวี สลัดครีม และขนมหวานบางชนิด
ทำให้เกิดเจล	ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมแบบร่างแห	อาหารประเภทเนื้อ ไส้กรอก ชีส และขนมอบ
ความยืดหยุ่น	เป็น hydrophobic bonding เช่น โปรตีนกลูเตน และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในเจล	อาหารประเภทเนื้อ และผลิตภัณฑ์ ขนมอบ
การเกิดอิมัลชัน	ทำให้อิมัลชันคงตัว โดยการเกิดฟิล์มที่ผิวรอยต่อระหว่างเฟส	ไส้กรอก ซุป และเค้ก
ตัวดูดไขมัน	ช่วยดูดจับไขมันอิสระ ด้วย hydrophobic bonding	อาหารประเภทเนื้อ ไส้กรอก และโดนัท
ตัวจับสารให้กลิ่น	ช่วยดูดซับสารให้กลิ่น ด้วย hydrophobic bonding	เนื้อเทียม และผลิตภัณฑ์ขนมอบ
ทำให้เกิดโฟม	ห่อหุ้มฟองอากาศไว้ ช่วยให้โฟมคงตัว	ไอศกรีม วิปครีม ชิฟฟอน เค้กนางฟ้า

## การดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วย เอนไซม์

ปัจจุบันมีการใช้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชมาช่วยในการปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งบางครั้งสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนตามธรรมชาติของพืชที่หาได้ง่าย และมีราคาถูกยังไม่ตรงตามความต้องการ และอาจมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ โดยเฉพาะด้านความสามารถในการละลาย และอาจเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารเป็นอย่างมาก จึงนำไปสู่การดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีทางกายภาพ ทางเคมี และทางเอนไซม์ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน การดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยวิธีการทางกายภาพ เช่น การใช้ความร้อน ให้โปรตีนในปริมาณน้อยไม่เหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ในขณะที่การใช้วิธีทางเคมี เช่น การใช้กรดเกลือ โปรตีนที่ได้มีคุณภาพไม่ดีนัก อาจมีกลิ่นแปลกปลอม หรือมีรสขม และเกิดสารพิษปนเปื้อน เช่น สาร 3-MCPD (3-monochloropropane-1, 2 diol) ที่เกิดจากการใช้กรดย่อยสลายโปรตีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง [6][7] สำหรับวิธีที่มีการศึกษาวิจัยมากในปัจจุบันคือ วิธีทางเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรง สามารถควบคุมทิศทางของปฏิกิริยา ทำให้ได้โปรตีนที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ลดการเกิดสารอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งยากต่อการกำจัด หรือเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายกว่า

การดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยเอนไซม์ส่วนใหญ่อาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง (mild treatment) และสามารถเลือกใช้เอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงเพื่อให้ได้โปรตีนที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้ แต่ในบางกรณีการดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยเอนไซม์ อาจทำให้เกิดกลิ่น หรือรสชาติ ที่ไม่พึงประสงค์ได้ จึงต้องมีการควบคุมสภาวะในการย่อยสลาย ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ ระยะเวลา และ ระดับการ

Thaiphanit@gmail.com

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

<sup>1</sup>Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University

ย่อยสลาย (Degree of Hydrolysis, DH) ให้ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้ มีความยาวของสายเพปไทด์ตรงตามที่ต้องการ [8]

ปัจจุบันได้มีการวิจัยเพื่อการดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน เมล็ดข้าวโอ๊ต เห็ด และถั่วต่างๆ ด้วยเอนไซม์อย่างกว้างขวาง โดยเอนไซม์ที่นิยมใช้เพื่อการดัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน คือ เอนไซม์ Proteases Endoproteases ในกลุ่ม Alkaline proteases ได้แก่ ทริปซิน ที่มีความจำเพาะกับพันธะเพปไทด์ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนอาร์จินีน ( Arginine) และ ไลซีน (Lysine) [9] หรือเอนไซม์ปาเปน (Papain) โบรมิเลน (Bromilain) Alcalase<sup>®</sup> Neutase<sup>®</sup> Flavourzyme<sup>®</sup> และเอนไซม์ทางการค้าอื่นๆ [2][10][11] ส่งผลให้โปรตีนจากพืชทุกชนิดที่ถูกดัดแปรมีความสามารถในการละลายดีขึ้น ในขณะที่สมบัติเชิงหน้าที่อื่นๆ อาจดีขึ้น หรือลดลงก็ได้ ขึ้นกับแหล่งที่มาของโปรตีนนั้นๆ และค่า DH เช่น โปรตีนจากรำข้าวที่ถูกดัดแปร ที่ค่า DH เพิ่มขึ้น จะมีความสามารถในการละลาย การเกิดอิมัลชัน การดูดซับน้ำ และความสามารถในการเกิดโฟมดีขึ้น ในขณะที่โปรตีนจากถั่วที่ถูกดัดแปร ที่ค่า DH ต่ำลงจะมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีขึ้น แต่ถ้าค่า DH สูงขึ้น ความสามารถในการเกิดอิมัลชันจะลดลง [8] ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ้าต้องการให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้านการดูดซับน้ำและไขมัน การเกิดอิมัลชัน และการเกิดโฟมดีขึ้น ควรควบคุมค่า DH ให้อยู่ในช่วง 1 – 10% แต่ถ้าต้องการใช้เพื่อเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์เสริมโปรตีน หรืออาหารพิเศษทางการแพทย์ ควรควบคุมค่า DH ให้มีค่ามากกว่า 10 % [12] [13] [14] [15] นอกจากค่า DH แล้ว ค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ และระยะเวลา ล้วนมีผลต่อการย่อยสลาย หรือคุณสมบัติของโปรตีนที่ได้ เช่น ทริปซิน มีค่าความเป็นกรด-เบส และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานเท่ากับ 8.0 และ 37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ Alcalase<sup>®</sup> มีค่าความเป็นกรด-เบส และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการ

ทำงานเท่ากับ 8.0-8.6 และ 50-60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [16][17][18]

### การใช้ประโยชน์โปรตีนจากพืชที่ถูกตัดแปรด้วย เอนไซม์

เนื่องด้วยโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญทั้งยังมีราคาถูกกว่าโปรตีนจากสัตว์ ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารจึงมีการนำโปรตีนจากพืชมาใช้ เพื่อลดต้นทุนการผลิต หรือเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม สำหรับโปรตีนจากพืชที่ถูกตัดแปรด้วยเอนไซม์ เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีจึงมีการนำมาใช้ หรือวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อย่างกว้างขวาง เช่น การใช้โปรตีนจากกากถั่วเขียวที่ถูกตัดแปรด้วยเอนไซม์โบรมิเลนเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสเนื้อ ซีอิ๊ว และรสอูมามิ [10] การใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองที่ถูกตัดแปรด้วยเอนไซม์กลุ่ม Alkaline proteases ทดแทนโปรตีนไข่ขาวในผลิตภัณฑ์เมอแรงส์ [19] และการใช้โปรตีนจากกากคาโนลาที่ถูกตัดแปรด้วยเอนไซม์ Proteases ทดแทนการใช้ไข่แดงในผลิตภัณฑ์มายองเนส [20]

### บทส่งท้าย

เมื่อความต้องการด้านอาหารของผู้บริโภค และผู้ประกอบการเพิ่มขึ้น ทั้งด้านธุรกิจ สังคม วัฒนธรรม และความต้องการนวัตกรรมทางอาหาร ประกอบกับความจำเป็นในการเพิ่มมูลค่า และการใช้ประโยชน์จากแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การตัดแปรสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชด้วยเอนไซม์ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการตอบสนองความต้องการข้างต้น ทั้งนี้การใช้ประโยชน์โปรตีนจากพืชที่ถูกตัดแปรด้วยเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหาร หรือทางการค่านั้นยังมีน้อย เนื่องจากการตัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ และทางเคมี มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการตัดแปรด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตามในอนาคตอันใกล้คาดว่าจะการตัดแปรด้วยเอนไซม์น่าจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภค

มีความใส่ใจต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การผสมโปรตีนจากพืชมากกว่าหนึ่งชนิดเข้าด้วยกันก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการทำให้โปรตีนจากพืชเป็นโปรตีนสมบูรณ์ ที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนได้ ด้วยกระบวนการตัดแปรภายใต้ภาวะที่เหมาะสม และปลอดภัย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] นิธิยา รัตนานพนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [2] Damodaran, S., Parkin, K., and Fennema, O. R. 2008. Fennema's Food Chemistry. 4<sup>th</sup> ed. New York: Marcel Dekker.
- [3] แพรวไพลิน ตันติบุตร, ณีฐฐา เลาทกุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และ ปณิตา บรรจงสินศิริ. 2552. คุณสมบัติของการย่อยสลายเห็ดด้วยเอนไซม์โบรมิเลนสำหรับใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่น. Agricultural Sci. J.40 (3) (Suppl.): 101-104 ว. วิทย์. กษ. 40(3)พิเศษ: 101-104.
- [4] แพรวไพลิน ตันติบุตร, ณีฐฐา เลาทกุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และ ปณิตา บรรจงสินศิริ. 2552. คุณสมบัติของโปรตีนไฮโดรไลเซทเห็ดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำร้อนสำหรับใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส. Agricultural Sci. J.40 (3) (Suppl.): 233-236. ว. วิทย์. กษ. 40(3)พิเศษ: 233-236.
- [5] กรมอนามัย, กองโภชนาการ. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย.
- [6] Mannheim, A., and Cheryan, M. 1992. Enzyme-modified proteins from corn gluten meal: Preparation and functional properties. Journal of the American Oil Chemist's Society, 69, 1163–1169.
- [7] อรุณี จิตชื่น. 2543. การผลิตน้ำซอสปรุงรสจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดงา. วิทยานิพนธ์

- มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีทางอาหาร). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บัณฑิตวิทยาลัย.
- [8] Yin, S., Tang, C., Cao, J., Hub, E., Wen, Q., and Yang, X. 2008. Effects of limited enzymatic hydrolysis with trypsin on the functional properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate. Food Chemistry. 106, 1004–1013.
- [9] Kishimura, H., Tokuda, Y., Yabe, M., Klomkiao, S., Benjakul, S., and Ando, S. 2007. Trypsins from the pyloric ceca of jacobever (*Sebastes schlegelii*) and elkhorn sculpin (*Alcichthys alcicornis*): Isolation and characterization. Food Chemistry. 100: 1490–1495.
- [10] Songsaeng. N., Laohakunjit. N., and Ratanakhanokchai. K. 2007. Chemical characterization of enzyme-mungbean meal protein hydrolysate hydrolysed by bromelain. Agricultural Science Journal. 38:6, 259-262.
- [11] มัลลิกา ธนสุนทร, ญัฐฐา เลหากุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และปณิตา บรรจงสินศิริ. 2552. คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ และสารหอมระเหยของไฮโดรไลเซทที่ย่อยสลายด้วยปาเปน. Agricultural Sci. J.40 (3) (Suppl.): 57-60. ว. วิทย์. กษ. 40(3)พิเศษ: 57-60.
- [12] Vioque, J., Sanchez-Vioque, R., Clemente, A., Pedroche, J., and Millán, F. 2002. Partially hydrolyzed rapessed protein isolates with improved functional properties. Journal of the American Oil Chemist's Society. 77: 1–4.
- [13] บุศราภา ลีละวัฒน์ และ ปราณี อานเป็รื่อง. 2536. การผลิตสารสกัดจากปลาอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพโปรตีเอสตรังรูป ตอนที่ 1: การศึกษาลักษณะเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพปลาและนิวเรสตรังรูปสำหรับผลิตสารสกัดจากปลาจากน้ำนิ่งปลา. อาหาร. 23, 2: 115-127.
- [14] บุศราภา ลีละวัฒน์ และ ปราณี อานเป็รื่อง. 2536. การผลิตสารสกัดจากปลาอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพโปรตีเอสตรังรูป ตอนที่ 2: สมบัติทางเคมีของสารสกัดจากปลาแบบแห้งและแบบเข้มข้นและการใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร. อาหาร. 23, 3: 177-187.
- [15] Guan, X., Yao, H. Y., Chen, Z. X., Shan, L., and Zhang, M. D. 2007. Some functional properties of oat bran protein concentrate modified by trypsin. Food Chemistry, 101, 163–170.
- [16] Surówka, K., Żmudzinski, D., Fik, M., Macura, R., and Lasocha, W. 2004. New protein preparations from soy flour obtained by limited enzymic hydrolysis of extrudates. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5: 225–234.
- [17] Martinez, K. D., Baeza, R. I., Millán, F., and Pilosof, A. M. R. 2005. Effect of limited hydrolysis of sunflower protein on the interactions with polysaccharides in foams. Food Hydrocolloids, 19, 361–369.
- [18] Barac, M. B., Jovanovic, S. T., Stanojevic, S. P., and Pesic, M. B. 2006. Effect of limited hydrolysis on traditional soy protein concentrate. Sensors. 6: 1087–1101.
- [19] ปาริฉัตร ทัพพะสุต และ ปราณี อานเป็รื่อง. 2541. สมบัติของสารให้ฟองผงจากโปรตีนถั่วเหลืองและการประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร. อาหาร. 28, 1: 42-53.

- [20] Aluko, R.E.,and McIntosh, T. 2005. Limited enzymatic proteolysis increases the level of incorporation of canola proteins into mayonnaise. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6 :195– 202.