บทความวิชาการ

สมบัติเชิงหน้าที่และการประยุกต์ใช้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต
Functional Properties and Applications of Egg White Protein Hydrolysates

ทิพย์วลี จุลมัญลิก และ ศศิธร คงเรือง*
Tipwalee Julmanlik and Sasithorn Kongruang*

Received: January 17, 2019
Revised: May 1, 2019
Accepted: May 11, 2019

บทคัดย่อ

โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนได้เปปไทด์ที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันและกรดอะมิโนอิสระ กระบวนการผลิตสามารถทำได้โดยการใช้สารเคมี กรด ด่าง หรือเอนไซม์โปรติเอส ในสภาวะเหมาะสม การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตสามารถผลิตได้จากแหล่งโปรตีนที่หลากหลาย หนึ่งในแหล่งโปรตีนไฮโดรไลเสตที่สำคัญคือ โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตซึ่งมีบทบาทสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในแง่ของคุณค่าโภชนเภสัช และยังมีสมบัติเชิงหน้าที่ในรูปของการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารที่ทำให้เกิดโฟม และสารต้านอนุมูลอิสระ เหมาะสำหรับบุคคลที่มีข้อจำกัดทางด้านอาหารหรือผู้ที่ต้องการโปรตีนในปริมาณที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์ ในบทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต ในแง่กระบวนการผลิตโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต และการประยุกต์ใช้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตทางอุตสาหกรรมอาหารและทางเภสัชศาสตร์

คำสำคัญ: โปรตีนไข่ขาว โปรตีนไฮโดรไลเสต การผลิต สมบัติเชิงหน้าที่ การออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ABSTRACT

Protein hydrolysates are products derived from the hydrolysis of protein to gain different sizes of peptide and free amino acid. The production of protein hydrolysates involves either chemical hydrolysis using acid, alkaline or enzymatic hydrolysis through protease under the specific condition. The production of protein hydrolysate can be produced from many sources of protein. One of the most important source is the egg white protein which play a vital role in the food industry and popularly used as neutraceuticals. Moreover, it also contains many functional properties as emulsifier, foam stability and antioxidant. This source of hydrolysate is suitable for people who have a food restriction, need high protein content. It also can be used as bioactive substances for human health. This review article presents research and information related to egg white protein hydrolysate, the production process of egg white protein hydrolysate and the applications of egg white protein hydrolysates in the food and pharmaceutical industry.

Keywords: egg white protein, protein hydrolysate, process, functional properties**,** bioactive

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

1. โปรตีนไฮโดรไลเสต

โปรตีนไฮโดรไลเสต (Protein hydrolysates) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ ซึ่งเป็นการย่อยสลายโปรตีนที่ได้จากแหล่งต่างๆ เช่น จาก ปลา นม ไข่ พืช เป็นต้น ที่บริเวณพันธะเปปไทด์เพื่อให้ได้เปปไทด์ที่สายสั้นและกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโปรตีน [1] โดยทำให้เปปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีขั้วเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายได้ดี การเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนเพื่อปรับปรุงสมบัติของโปรตีนโดยใช้กรดหรือด่าง เป็นวิธีที่มีราคาถูกสามารถย่อยสลายโปรตีนได้รวดเร็วและให้กลิ่นรสที่ดี นิยมนำมาใช้ในการผลิตสารเพิ่มรสชาติและเป็นส่วนผสมในอาหาร [2] แต่จะได้ผลผลิตที่มีสมบัติการทำงานต่ำกว่าการใช้เอนไซม์เนื่องจากทำให้ทริปโตเฟน (Tryptophan) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นถูกทำลายไป และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดอะมิโนจากชนิดแอล (L-form) ไปเป็นชนิดดี (D-form) ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [3] การย่อยสลายโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรตีเอสจากพืชและจุลินทรีย์สามารถตัดพันธะเปปไทด์ของโปรตีนได้อย่างจำเพาะเจาะจง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีคุณภาพตามต้องการ จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโปรตีนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมอาหาร แต่มีราคาแพงกว่าการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดหรือด่าง [4]

2. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจะช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยการดัดแปรโครงสร้างหรือกระบวนการย่อยสลายโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพโดยอาศัยการใช้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิม เป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ กำจัดความเป็นพิษ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสและรสชาติของอาหาร และยังทำให้สารก่อภูมิแพ้ลดลง [5] วิธีทางทางกลโดยไม่อาศัยการใช้ความร้อน เช่น การใช้ความดันสูง (High-pressure processing : HPP) ช่วง 100 ถึง 800 MPa [6] และคลื่น อัลตร้าซาวด์ (ultrasound) ที่ใช้คลื่นเสียงที่มีช่วงความถี่ 20–100 kHz [7] เป็นวิธีที่ส่งผลให้เกิดการทำลายพันธะภายในโมเลกุลของโปรตีน พบว่ามีประสิทธิภาพในการปรับปรุงโครงสร้างของโปรตีน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโปรตีน ลดความเป็นพิษ ลดการแพ้ รวมทั้งกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร [8] และวิธีทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่นำมาใช้มากที่สุดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การย่อยสลายโปรตีนด้วยกรด (acid hydrolysis) โดยใช้กรดอนินทรีย์ คือ กรดซัลฟิวริก หรือกรดไฮโดรคลอริก การใช้กรดซัลฟิวริกย่อยสลายโปรตีนจะทำให้โปรตีนมีกลิ่นไม่ดีและเมื่อทำให้เป็นกลางจะเกิดตะกอนของเกลือแคลเซียมซัลเฟต ทั้งนี้เพราะไอออนซัลเฟตถูกแยกออกโดยการเติมแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาให้แคลเซียมซัลเฟต ดังนั้นตะกอนจะดูดซับกรดอะมิโนหรือสารประกอบอื่นๆ ที่ได้จากการย่อยโปรตีน ส่วนการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดไฮโดรคลอริกนั้นจะ ทำให้เกิดเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ ในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริกในการย่อยสลายโปรตีน เนื่องจากเกลือที่เกิดขึ้นเป็นเกลือที่ใช้ในอาหารทั่วไปจึงส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์น้อย [9] กระบวนการนี้สามารถทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ และประหยัดเวลา แต่ข้อด้อย คือ ทำให้สูญเสียกรดอะมิโนทริปโตเฟน และอาจทำให้กรดอะมิโนซิสตีน ซีรีน และเมทไธโอนีนถูกทำลายด้วย [10] อีกวิธีหนึ่งคือการย่อยสลายโปรตีนด้วยด่าง (alkali hydrolysis) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แบเรียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 4-5 โมลาร์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4-8 ชั่วโมง พบว่าการย่อยสลายด้วยด่างทำให้กรดอะมิโนทริปโตเฟนถูกทำลายน้อยกว่าการใช้กรด แต่กรดอะมิโนบางชนิดอาจเกิดปฏิกิริยารีซีไมเซชัน (racemization) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนกรดอะมิโนชนิดแอลไปเป็นชนิดดีที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ และยังทำให้กรดอะมิโน อาร์จีนีน ทรีโอนีน และซีสตีนถูกทำลาย

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

ด้วย นอกจากนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสไม่ดี วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหาร [11] และวิธีที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นวิธีการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) เพื่อปรับปรุงสมบัติของโปรตีน ทั้งนี้กระบวนการมีความจำเพาะสูง สภาวะที่ไม่รุนแรง และสามารถควบคุมระดับการย่อยได้ วิธีนี้อัตราการย่อยสลายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้กรดและด่าง เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงในการตัดพันธะเปปไทด์สูงกว่า โดยการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน หรือการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ ควรคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดและขนาดโมเลกุลของโปรตีนที่เป็นสารตั้งต้น ชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อย ถ้าขนาดโมเลกุลของโปรตีนมีขนาดใหญ่อาจได้เปปไทด์ที่มีขนาดใหญ่ แต่จะได้กรดอะมิโนที่ต้องการปริมาณน้อย หรือใช้เอนไซม์ที่ไม่ตัดพันธะของกรดอะมิโนจะทำให้ได้ปริมาณกรดอะมิโนที่ต้องการน้อย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้น ระยะเวลา ค่า pH ของเอนไซม์ และอุณหภูมิ โดยปกติแล้วกระบวนการไฮโดรไลซิสจะทำที่ค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมของเอนไซม์ที่ใช้ การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของการย่อยให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สามารถส่งผลต่อสมบัติการทำงานของโปรตีนในด้านต่างๆ และมีความเหมาะสมในด้านการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ [12]

การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตใช้เอนไซม์โปรติเอส (protease) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากเอนไซม์จำเพาะต่อสารตั้งต้น และค่า pH จึงสามารถเลือกชนิดและสภาวะในการย่อยสลายได้ตามความเหมาะสม เอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตได้จากพืช เช่น ปาเปน โบรมิเลน ผลิตได้จากสัตว์ เช่น เปปซิน และผลิตได้จากจุลินทรีย์ แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมักนิยมใช้เอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากจุลินทรีย์ เช่น เอนไซม์แอลคาเลส (alcalase) ผลิตได้จากแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* จัดเป็นประเภทเอนโดเปปติเดส มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสมในช่วง 8-8.5 เอนไซม์นิวเทรส (neutrase) ผลิตได้จากแบคทีเรีย *Bacillus amyloliquefaciens* ที่เป็นเอนโดเปปติเดส อุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 5.5-7 และเอนไซม์ฟลาโวไซม์ (flavourzyme) ผลิตได้จากจุลินทรีย์ *Aspergillus* sp. จัดเป็นทั้งเอนโดเปปติเดสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะเปปไทด์ที่อยู่ภายในของสายโพลีเปปไทด์ และเอกโซเปปติเดสเป็นการสลายพันธะเปปไทด์จากปลายของสายโพลีเปปไทด์หรือโปรตีน โดยการย่อยด้วยเอนไซม์นี้จะทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ไม่มีรสขม มีอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50-60 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-7 [13-15] ซึ่งเอนไซม์โปรติเอสทั้ง 3 ชนิดนี้จัดเป็นเอนไซม์ในเชิงพาณิชย์ มากไปกว่านั้นยังมีเอนไซม์โปรติเอสชนิดอื่นที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น เช่น ทริปซิน (trypsin) โปรทาเมกซ์ (protamex) และโปรเนส (pronase) เป็นต้น กระบวนการของการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยเอนไซม์จะมีสภาวะที่ต่างกันเมื่อใช้เอนไซม์แต่ละชนิด โดยปรับอุณหภูมิ และ pH เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส แต่ละชนิดในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่จำเพาะเจาะจง แต่ข้อด้อยของวิธีนี้ คือ เอนไซม์บริสุทธิ์มีราคาสูง

วิธีการทั่วไปที่ใช้สำหรับผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยเอนไซม์โปรติเอสในระดับอุตสาหกรรมอาหาร มักใช้วิธีการปรับอุณหภูมิ ค่า pH และกำหนดระยะเวลาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมของเอนไซม์ แล้วจึงหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นหรือปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ (enzyme inactivation) จากนั้นนำโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ทำแห้งด้วยกระบวนการแบบพ่นฝอย (spray dry) หรือการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้งและสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน ดังแสดงใน Figure 1 และสำหรับวิธีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยใช้เอนไซม์เพื่อให้ได้เปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive peptide) ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร [16] แสดงดัง Figure 2 กระบวนการในขั้นตอนแรกเป็นการเลือกแหล่งโปรตีนและชนิดของ

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

เอนไซม์ที่เหมาะสม เนื่องจากสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเปปไทด์ขึ้นอยู่กับความจำเพาะของเอนไซม์ที่ใช้และแหล่งโปรตีน นอกจากนี้การบำบัดเบื้องต้นก่อนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีน [17] ก็เป็นสิ่งสำคัญ มีการนำเทคโนโลยีอัลตร้าซาวด์ที่ความเข้มสูง (High Intensity Ultrasound : HIU) หรือเทคโนโลยีอื่นๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากการบำบัดเบื้องต้นทำให้โครงสร้างภายในและโครงสร้างระหว่างโมเลกุลคลี่ออก ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ภายในโมเลกุลของโปรตีนและได้เปปไทด์ที่มีศักยภาพสูง นอกจากนี้ในการย่อยสลายโปรตีนควรคำนึงถึงระดับของการย่อยสลาย (degree of hydrolysis) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีสมบัติตามต้องการและมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

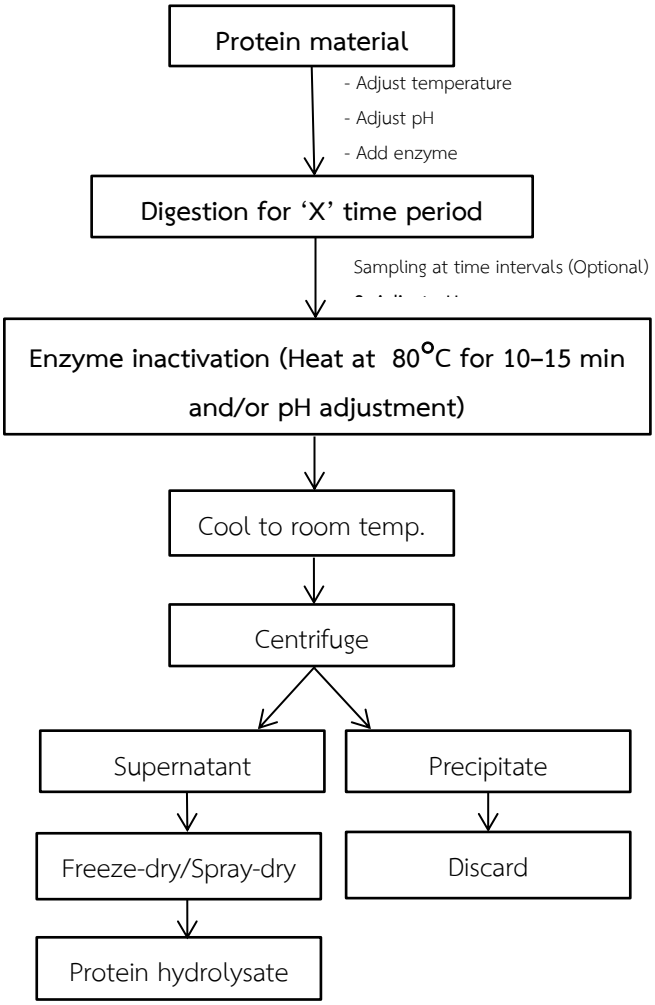

Figure 1. Typical flow chart for single enzyme digestion from Lafarga et al. (2014) [16]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

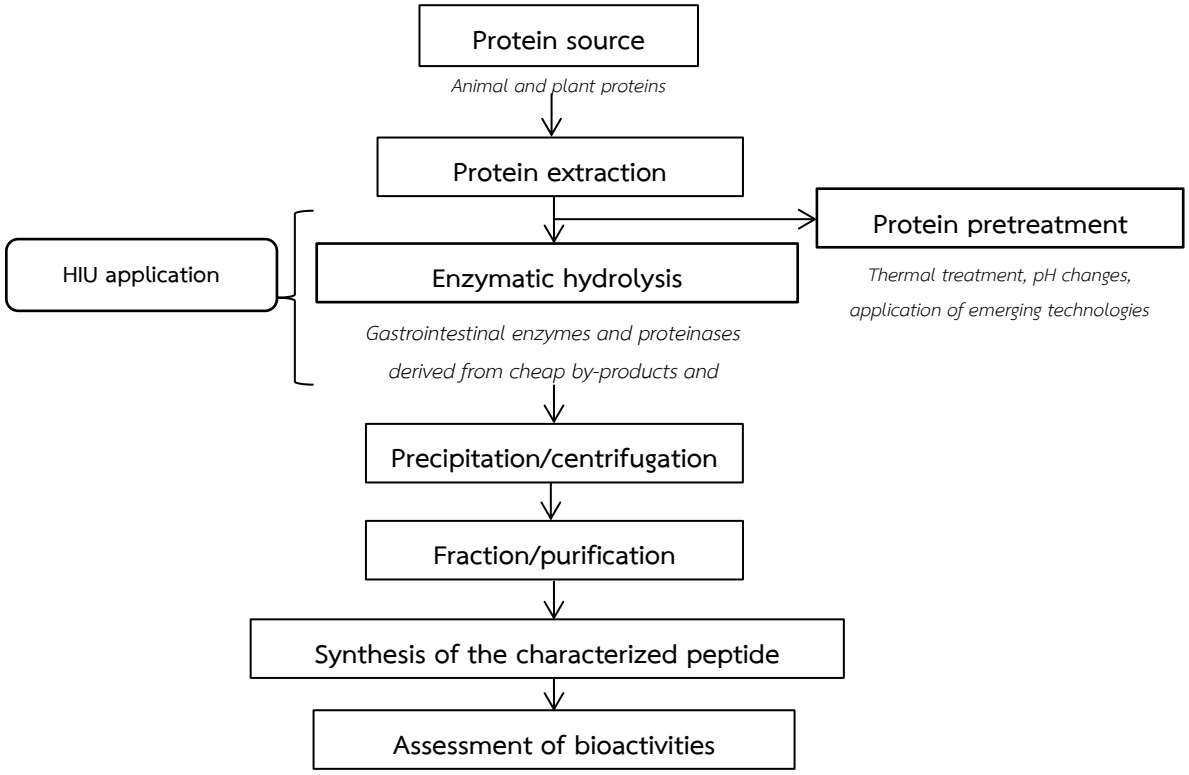

Figure 2 Diagram for the generation of bioactive peptides through the enzymatic hydrolysis from Ozuna et al. (2015) [17]

3. โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต (Egg white protein hydrolysates)

โปรตีนไข่ขาวเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและคุณภาพดีสำหรับผู้รักสุขภาพและผู้ที่กำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ แสดงใน Table 1 [18] ระดับการย่อยสลายของโปรตีนไข่ขาวสูงถึง 91% ซึ่งสูงกว่าโปรตีนชนิดอื่นๆ สามารถย่อยสลายและดูดซึมได้ง่าย ทำให้ได้พลังงานที่เหมาะสม ไข่ขาวมีส่วนประกอบของโปรตีนมากกว่า 24 ชนิด ที่มีปริมาณที่แตกต่างกันไป ได้แก่ ovalbumin ประกอบด้วย 54-66% ส่วนโปรตีนอื่นๆ ได้แก่ ovotransferrin (12-13%) ovomucoid (9.5-11%) ovomucin (3.5%) lysozyme (3.4-3.5%) ovoflavoprotein (0.8%) ovomacroglobulin (0.5%) ovoinhibitor (1.5-3.5%) avidin (0.5%) ovoglobulins G2 และ G3 (1.0-6%) riboflavin binding protein (1%) และเอนไซม์อื่น ๆ [19] อีกทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามิน (A, B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_8, B_9 และ B_{12}) และแร่ธาตุ แมกนีเซียม แคลเซียม ซีลีเนียม สังกะสี และเหล็ก เป็นต้น [20] ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ อีกทั้งมีเปปไทด์ที่ได้จากโปรตีนไข่ขาวผ่านการย่อยสลายของเอนไซม์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพพร้อมด้วยคุณประโยชน์ที่จำเป็นสำหรับมนุษย์และสัตว์ [14] ซึ่งงเปปไทด์ที่ได้ส่วนใหญ่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และส่วนหนึ่งเป็นเปปไทด์จากไลโซไซม์ที่ต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ [21] นอกจากนี้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตยังใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารยุคใหม่ที่นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่ดีและมีสมบัติอื่นอีกหลายประการ เช่น ความสามารถด้านการละลายที่เพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม การเกิดเจล และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [15]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

Table 1 Amino acid composition of egg-white (WP) and egg-yolk (YP) protein hydrolysates [18]

Amino acid	Composition (%)		
	WP hydrolysate	YP hydrolysate	Reference for human EAA[1]
Hydrophobic amino acid			
Gly	5.83	5.56	–
Ala	8.93	8.18	–
Val[2]	7.94	6.93	1.3
Leu[2]	8.65	8.61	1.9
Ile[2]	5.63	5.29	1.3
Met[2]	3.54	2.29	1.7
Pro	4.25	4.86	–
Hydrophobic, flavor amino acid			
Phe[2]	5.21	3.91	–
Tyr	2.74	3.02	–
Hydrophilic amino acid			
Arg[2]	4.13	5.36	–
His[2]	2.04	2.19	1.6
Ser	7.97	9.21	–
Lys[2]	5.79	6.86	1.6
Asx'	10.08	10.18	–
Glx'	12.51	11.63	–
Thr[2]	4.75	5.92	0.9

Asx' (Asp + Asn) , Glx' (Glu + Gln).

[1]Suggested profile of essential amino acid requirements for adult humans, FAO/WHO (1990).

[2]Essential amino acids.

การใช้อาหารเสริมโปรตีนในเชิงพาณิชย์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากในโปรตีนมีสารก่อภูมิแพ้ ไม่ทนต่อความร้อน และมีความหนืดสูง การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์จึงใช้เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มสมบัติการทำงานและคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนไข่ขาว และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์โปรตีนจากไข่ขาวในด้านโภชนาการของมนุษย์ที่มีผลดีต่อการทำงานของร่างกายในสภาวะต่างๆ ปัจจุบันได้มีรายงานการวิจัยอยู่หลายงานวิจัยที่ศึกษาการย่อยโปรตีนไข่ขาวด้วยเอนไซม์ เพื่อปรับปรุงสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

จากงานวิจัยของ Castro และคณะ (2014) [22] ศึกษาการใช้เอนไซม์โปรติเอส (protease) 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจาก *Aspergillus oryzae* และ *Bacillus licheniformis* ในกระบวนการย่อยโปรตีนไข่ขาว 3% พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอสในเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจาก *A. oryzae* 20 ยูนิตต่อมิลลิลิตร พบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอสชนิดอื่นที่ใช้ในการศึกษา แสดงให้ว่าการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อจุลินทรีย์ *A. oryzae* ช่วยเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต และกลุ่มนักวิจัยดังกล่าวยังพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ORAC สูงมีค่า เท่ากับ 1193.12 ± 84.62 และต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 19.05 ± 0.81 μmol Trolox Eq/g โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตมีระดับของการย่อยสลาย 50.0% มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ ORAC สูงสุดหลังจากการย่อยเป็นเวลา 120 นาที แต่เมื่อระดับ

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

การย่อยสลายสูงกว่า 60.0% พบว่าความสามารถในการต่อต้านสารออกซิไดซ์ด้วยวิธีการทดสอบอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH สูงสุดอยู่ในช่วง 30 นาทีแรก

Ai และคณะ (2014) [23] ใช้เอนไซม์โปรติเอสทางการค้าในการผลิตโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตด้วยเอนไซม์โปรติเอส 6 ชนิด ศึกษาผลการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นักวิจัยพบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ neutrase ได้กรดอะมิโนอิสระมากที่สุด 6.52 mg/ml แต่ประสิทธิภาพของการย่อยด้วยเอนไซม์ alcalase, flavourzyme, protamex และ ficin มีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ ในระดับใกล้เคียงกันที่ 3.19-3.62 mg/mL นอกจากนั้นผลของการใช้เอนไซม์ neutrase ยังมีค่าระดับการย่อยสลาย (DH) สูงสุดเท่ากับ 23.4% แต่ผลของ alcalase และ ficin มีระดับการย่อยสลายใกล้เคียงกัน โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอสในการศึกษานี้ยกเว้นที่ได้จากการใช้เอนไซม์ flavourzyme มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้มีประสิทธิภาพมากกว่าโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาผลของการย่อยสลายโปรตีนไข่ขาวด้วยกระบวนการทางเคมีและทางเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติการทำงานของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่ได้ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Nonthermal and chemical processing and changes on functional properties of egg white proteins [24-28]

Protein	Processing method	Effects and outcome	Reference
Avidin	High-pressure processing (500, 600, 700 MPa) with heat treatment: 80, 90, 100°C in 45 min for pure avidin while 30, 40, 50°C with 10 min for avidin in egg, compared with thermal processing (80, 90, 100°C within different time for both forms of avidin)	Complete inactivation of avidin at 100°C for 10 min or at 50°C with a high-pressure treatment at 700 MPa.	[24]
Lysozyme	Ultrasound with heat treatment at different temperatures; Ultrasound (117 μm, 20 kHz) and manothermosonication (MTS, 117 μm, 20 kHz, 200 kPa)	Ultrasound performed at room temperature with any pressure was unable to inactivate lysozyme. MTS can inactivate 10-fold the activity within 3.5 min at 70°C.	[25]
Egg white	Acetic acid treatment	Partly decreased allergenicity in egg white but little effects on ovomucoid	[26]
Albumen	Enzymatic hydrolysis (free and immobilized alcalase) conducted at 30–80°C with 10 intervals and pH 6–12 with 1 interval.	1. Optimal condition: 8.0 and 60°C for 3 h. Degree of hydrolysis of free Alcalase was 25% while 20% of immobilized alcalase. 2. Reduced IgG and IgE binding	[27]
Ovomucin	Enzymatic hydrolysis at 37°C with 24 h (Pepsin, trypsin, papain and alcalase)	1. The optimal inactivation condition was 37°C for 3 h. 2. The hydrolysates of ovomucin displayed an antioxidant activity and ACE-inhibitory activity.	[28]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

4. การประยุกต์ใช้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตในแง่ของสมบัติเชิงหน้าที่ทางอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันผู้บริโภคนิยมบริโภคอาหารที่มีสารอาหารที่จำเป็น และส่งผลดีต่อสุขภาพมากขึ้น [29] การใช้ประโยชน์จากโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตในแง่ของการใช้เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นส่วนประกอบอาหารฟังก์ชั่นสอดคล้องกับแนวคิดทางด้านอาหารเพื่อสุขภาพหรือ "Functional food" เป็นนวัตกรรมอาหารที่กำลังมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนจะได้เปปไทด์หลายชนิดที่มีสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งมีผลดีต่อสุขภาพและการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคบางชนิดได้ เช่น ความดันโลหิตสูง ภาวะเครียด เบาหวาน มะเร็ง การอักเสบ และภูมิคุ้มกันบกพร่อง เป็นต้น [30] อุตสาหกรรมอาหารจึงให้ความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี กล่าวคือสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพที่มีผลต่อการทำงานของโปรตีนและนำโปรตีนที่ผ่านการย่อยสลายหรือโปรตีนไฮโดรไลเสตมาเป็นส่วนประกอบในอาหารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลต่อคุณลักษณะของอาหาร ช่วยปรับปรุงคุณภาพ เนื้อสัมผัสของอาหาร และเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร [31]

โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด ในโมเลกุลของกรดอะมิโนประกอบด้วยหมู่ R เป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophillic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่งผลให้สมบัติของกรดอะมิโน เช่น การละลายน้ำ การหลอมเหลว ความเป็นกรดเบส ความมีขั้วและไม่มีขั้วมีความแตกต่างกัน ดังนั้นความสามารถการละลายของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตจึงขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณ และลำดับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนที่ได้หลังจากการย่อยสลายแล้ว โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่มีความสามารถในการละลายดีเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของโปรตีน และยังส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม การเกิดเจล เป็นต้น ซึ่งความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับระดับการย่อยสลายของโปรตีน เมื่อระดับการย่อยสลายสูงขึ้นจะส่งผลต่อความสามารถในการละลายที่เพิ่มขึ้น โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่มีความสามารถในการละลายสูงกว่า 80 % จัดเป็นโปรตีนที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูง สำหรับสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตจะช่วยในการกระจายตัวของไขมันกับน้ำ โดยมีการจัดเรียงส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาน้ำมัน และหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ ทำให้เกิดเป็นสภาพอิมัลชันขึ้น สมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนจะสัมพันธ์กับความสามารถในการลดแรงตึงผิวระหว่างส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำในระบบของอาหาร โปรตีนไฮโดรไลเสตจะส่งผลสมบัติของอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น มีส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และมีความสามารถละลายน้ำได้ดี ในอาหารทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในระบบอิมัลชันของอาหาร นำมาประยุกต์ใช้ได้ในระบบอาหาร ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม นมผง อาหารเสริม ขนมขบเคี้ยว ช่วยเสริมกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ และมีเนื้อสัมผัสที่ดี [32] นอกจากนั้นในด้านสมบัติในการเกิดโฟมของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสต เป็นคุณลักษณะของโปรตีนจะละลายอยู่ในของเหลวเคลื่อนที่มาบริเวณที่ผิวรอยต่อระหว่างอากาศและน้ำ โปรตีนคลายตัวเกิดเป็นฟิล์มบางและจัดเรียงตัวเป็นสายยาว โดยหันส่วนที่ไม่มีขั้วสู่อากาศ และหันส่วนที่มีขั้วเข้าสู่น้ำ ส่งผลให้โปรตีนกักเก็บฟองอากาศไว้ภายในโครงสร้างเป็นลักษณะวงกลม และฟองอากาศกระจายตัวอยู่ภายในส่วนของเหลวได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมที่ดี ได้แก่ โครงสร้างของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน ค่า pH และประจุของโปรตีน ปริมาณไขมัน เป็นต้น สมบัติการเกิด โฟมสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความคงตัวของโฟมในอาหารประเภท ไอศกรีม เค้ก เบเกอรี่ น้ำสลัด และเมอร์แรงจ์

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายที่สูง มีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของ

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

โปรตีนและปริมาณมาก โดยความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกรดอะมิโนจะมีหมู่โซ่ข้างที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซิสทีอีน และเมทไทโอนีน หรือมีหมู่โซ่ข้าง ที่มีวงแหวน (aromatic side chain) เช่น ทริปโตเฟน ฟีนิลอะลานีน และไทโรซีน ซึ่งมีไฮโดรเจนอะตอมที่สามารถถูกดึงออกได้ง่าย นอกจากนี้หมู่อิมิดาโซล (imidazole groups) ของฮีสทิดีนก็มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน เปปไทด์สายสั้นและกรดอะมิโนอิสระที่ได้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น [15, 32] สามารถประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเครื่องสำอางค์ ลดเลือนริ้วรอย และช่วยชะลอการแก่ หรืออาหารฟังก์ชันช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อให้แก่ร่างกาย ดังนั้นการนำโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตไปประยุกต์ใช้ในอาหารต่างๆ จะต้องคำนึงถึงสมบัติเชิงหน้าที่ด้วย โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสามารถทำหน้าที่สำคัญต่างๆ ได้หลายประการ อีกทั้งการปรับปรุงและพัฒนาอาหารที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ยังเป็นการผสมผสานของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเฉพาะที่มีผลทางบวกในทางสรีรวิทยา สำหรับงานวิจัยที่ได้นำโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ ทางคณะผู้เขียนได้นำมารายงานไว้ใน Table 3

Table 3 Application of functional properties of egg white hydrolysate in food industry

Products	Application	Reference
	Cream obtained by hydrolysis and centrifugation of egg white	[33]
	Ice-creams produced by freezing this product.	[33]
	Fresh cheese-like product obtained by hydrolysis and centrifugation of egg white	[33]
	(A) Junket obtained by hydrolysis of egg white (B) Freshcheese-like product obtained by hydrolysis and centrifugation of egg white (C) Custard dessert obtained by hydrolysis of whole egg (D) Custard dessert obtained by hydrolysis of egg yolk	[33]
	Foam obtained after whipping the supernatant resulting from hydrolysis and centrifugation of egg white (left), compared with the foam obtained after whipping egg white (right)	[33]
	Appearance of crumb structure of gluten-free breads depending on egg white levels and types. P15 represents using 15% of Egg white solids P110 M15 represents using 15% of Egg white solids M200	[34]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

Garcés-Rimón และคณะ (2016) [33] ทำการศึกษาการย่อยโปรตีนไข่ด้วยเอนไซม์ ซึ่งแบ่งเป็นไข่แดง ไข่ขาว และไข่ทั้งฟอง สำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารในชีวิตประจำวันเพื่อสร้างเนื้อสัมผัสใหม่ๆ และพัฒนาเป็นอาหารสุขภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสมบัติเชิงหน้าที่การเกิดเจลมีเนื้อสัมผัสหลากหลายตั้งแต่แบบผิวเรียบ แบบลักษณะเป็นครีม และแบบแข็ง อีกทั้งยังมีความสามารถในการเกิดโฟมและเสถียรสูง นำไปประยุกต์กับอาหารจำพวก ไอศกรีม เค้ก ชีส เป็นต้นได้ นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มแนวทางการสร้างสูตรอาหารใหม่ รวมไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่เหมาะสำหรับในกลุ่มผู้ที่มีข้อจำกัดในการเคี้ยวหรือมีปัญหาด้านการย่อยอาหาร ผู้ต้องการลดความอ้วน หรือผู้ที่แพ้ผลิตภัณฑ์นมได้

นอกจากนี้ Han และคณะ (2019) [34] ได้ทดสอบการนำโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตมาใช้แทนกลูเตนในการผลิตขนมปังเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ปราศจากกลูเตน โดยใช้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซีสต่างๆ เป็นส่วนผสมในปริมาณ 5 10 และ 15% ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่ปริมาณ 15% มีการเกิดโฟมสูงและมีความเสถียร ช่วยให้ขนมปังขึ้นฟูได้ดีและมีประสิทธิภาพในการใช้แทนกลูเตนได้

5. การประยุกต์ใช้โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตในแง่ของการออกฤทธิ์ทางชีวภาพทางด้านเภสัชศาสตร์

โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่มีระดับการย่อยสลายสูงถึง 70-80% เป็นส่วนสำคัญในการประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมในด้านของความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งความสำคัญของสมบัติเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของผลิตภัณฑ์ [35] ในแง่นี้การศึกษาโปรตีนนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการแล้วถือเป็นแหล่งของเปปไทด์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน [36] เนื่องจากมีเปปไทด์สายสั้นๆ และมีกรดอะมิโนอิสระสูง อาจมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่าโปรตีนที่ยังไม่ผ่านการย่อยสลายและทำให้ลดความเสี่ยงในการเป็นโรคเรื้อรังและส่งผลดีต่อสุขภาพมนุษย์อีกด้วย การศึกษาที่ผ่านมารายงานว่าโปรตีนโอลวัลบูมินจากไข่ขาวแสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทางยาได้ สามารถนำไปใช้ในการยับยั้งเนื้องอก [37] อีกทั้งไลโซไซม์ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และยังมีความสามารถในการยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ [38] Oguro และคณะ (2010) [39] ยังแสดงให้เห็นว่าเปปไทด์ที่ได้จากโอวัลมิวซินโปรตีนในไข่ขาวย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเนส มีฤทธิ์ต้านเนื้องอกและต้านไวรัสได้

Miguel และคณะ (2004) [40-41] รายงานว่ามีเปปไทด์ชนิดที่ลดความดันโลหิตสูงจำนวนมากที่ได้จากโปรตีนไข่ขาวโดยการย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน ทริปซิน และไคโมทริปซิน จากการย่อยโปรตีนของโอวัลบูมินผลิตเปปไทด์ที่มีสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์ ACE (Angiotensin-converting enzyme) (EC 3.4.15.1) การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเปปไทด์ที่มีความสามารถสูงสุด คือ FRADHPFL ที่ย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน ส่งผลช่วยลดความดันเลือดสูงอย่างมีนัยสำคัญ [42] รองลงมา คือ เปปไทด์ชนิด RADHPFL และ YAEERYPIL ที่มีความสามารถลดความดันโลหิตสูงได้เช่นกัน เปปไทด์ที่พบนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมและยับยั้งการทำงานเอนไซม์ ACE ที่ก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันภาวะหัวใจล้มเหลวได้

You และ Wu (2011) [43] พบเปปไทด์ที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ ACE คือลำดับเปปไทด์ชนิด IQW IRW และ LKP นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการย่อยโปรตีนไข่ขาวที่ผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ภายในทางเดินอาหารและระบบทางเดินอาหารปกติในร่างกาย แสดงให้เห็นว่าโปรตีนไข่ขาวที่ไม่ผ่านการย่อยไม่มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ ACE และไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่เมื่อย่อยสลายโปรตีนไข่ขาวด้วยเอนไซม์เทอร์โมซิน (Thermolysin) และเอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase) พบว่ามีเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ACE อย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับ Xu และคณะ (2017) [44] รายงานผลการศึกษากลไกของการขนส่งเปปไทด์จากโปรตีนไข่ขาว

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

2 ชนิด LKP และ IQW ที่ลดความดันโลหิตสูง โดยใช้ระบบ Coculture ของ Caco-2 และ HT29 ในเซลล์ monolayers ผลการวิจัยพบว่าเปปไทด์ชนิด LKP และ IQW ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์หลังจากการฟักตัว 2 ชั่วโมง และสามารถขนส่งในเซลล์ monolayers ได้อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Yu และคณะ (2011) [45] ศึกษาเปปไทด์จากการย่อยโปรตีนในไข่ขาวด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่มีฤทธิ์ต้านโรคเบาหวานด้วยกลไกในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดสและเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และระบุเปปไทด์ด้วยวิธี LC-MS-MS พบลำดับเปปไทด์ 8 ชนิดแล้วสังเคราะห์เปปไทด์ที่ระบุด้วย Fmoc-solidphase synthesis จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของการยับยั้งกับเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดสและเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ผลพบว่าลำดับเปปไทด์ชนิด RVPSLM มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดส ที่ระดับค่า IC_{50} เท่ากับ 23.07 μmol L^{-1} แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมหรือยาต้านโรคเบาหวานได้ งานวิจัยต่างๆ ที่มีมาอย่างต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายโปรตีนไข่ขาวด้วยเอนไซม์สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่และพบเปปไทด์ที่ได้จากโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่มีศักยภาพทางชีวภาพอื่นๆ เช่น ต้านการอักเสบ ป้องกันโรคเลือดแข็งตัว ลดความดันเลือดสูง และต้านโรคเบาหวาน เป็นต้น ได้นำมาเปรียบเทียบและอธิบายไว้ใน Table 4

Table 4 Bioactive peptides of egg white protein hydrolysate.

Peptide Sequence	Bioactivity	References
IQW	Antihypertensive (ACE-inhibitory),	[44,46]
LKP	antioxidant,	
IRW	antiinflammatory	
TNGIIR	Antihypertensive (ACE-inhibitory),	[47]
RVPSL	Antihypertensive (ACE-inhibitory),	[45]
RVPSLM	α-Glucosidase	
QIGLF	Antihypertensive (ACE-inhibitory)	[48]
FRADHPFL	Antihypertensive (ACE-inhibitory), antioxidant, antiinflammatory	[49]
RADHP	Antihypertensive (ACE-inhibitory)	
RADHPFL	Antihypertensive (ACE-inhibitory)	
YAEERYPIL	Antihypertensive (ACE-inhibitory), antioxidant, antiinflammatory	
YAEER	Antihypertensive (ACE-inhibitory)	
YPI	Antihypertensive (ACE-inhibitory), antioxidant	
DHTKE	Antioxidant	[50]
FFGFN		
MPDAHL		
VAWRNRCKGTD	Antioxidant	[51]
WRNRCKGTD		

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

แนวโน้มการตลาดอาหารเพื่อสุขภาพมีการเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา อีกทั้งแนวโน้มเดียวกับทั่วโลกกำลังก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัย (aging society) ในปัจจุบัน ดังสถิติของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และ World Population Ageing, United Nation (2017) พบว่าในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางประชากรครั้งสำคัญ โดยสัดส่วนจำนวนประชากรในวัยทำงานและวัยเด็กลดลง กลุ่มของผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชากรไทยโดยเฉลี่ยมีอายุยืนยาวขึ้น เช่นเดียวกับนานาประเทศ จึงทำให้ผู้บริโภคหันมาสนใจดูแลสุขภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความต้องการบริโภคอาหารโปรตีนที่ส่งผลให้สุขภาพดีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโปรตีนไข่ขาวเป็นที่ยอมรับว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง อุดมไปด้วยคุณค่าทางด้านโภชนาการ ดูดซึมได้ง่าย ลดความเสี่ยงในการเกิดโรค ทำให้เป็นที่ต้องการในตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ มีรายงานการศึกษาอย่างกว้างขวางว่าเป็นแหล่งของเปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่กล่าวไว้ในบทความนี้ข้างต้นบ่งชี้ให้เห็นว่าเปปไทด์ที่ได้จากโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตมีศักยภาพมากที่จะพัฒนาเป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพสำหรับมนุษย์เพิ่มขึ้นได้หลากหลายรูปแบบ เช่น อาหารเสริมโปรตีนสำหรับนักกีฬา อาหารโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับโรคโดยเฉพาะกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (non-communicable diseases; NCDs) เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจโรคไต และโรคความดันโลหิตสูง เหมาะสมกับวัย ช่วงอายุ เป็นอาหารโปรตีนสุขภาพที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล นอกเหนือจากโปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตแล้วยังมีโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น ถั่วเหลืองไฮโดรไลเสต (soybean hydrolysate) ปลาโฮโดรไลเสต (fish protein hydrolysate) และจากแหล่งโปรตีนอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงไว้ใน Table 5

Table 5 Summary of functional and bioactive properties of protein hydrolysates derived from different protein sources and commercial enzymes reported in literature-cont'd

Protein source	Enzyme	Functional properties	Bioactive properties	References
Animal protein				
Bovine Casein	Pepsin	-	ACE Inhibition, Antihypertensive Properties in rats	[52-53]
Bovine Whey	Corolase Pp, Papain, Fungal Protease, C. Cardunculus Protease	Water Absorption, Foaming, Emulsifying	Dpp-Iv Inhibition, ACE Inhibition	[52]
Egg	Trypsin, Alcalase, Pepsin, Pancreatin, Thermolysin	Solubility, Emulsifying and Foaming	Antioxidant, ACE Inhibition, α-Glucosidase, α-Amylase Inhibition	[45,54-55]
Poultry	Alcalase, Flavourzyme, Protamex, Liquipanol, Pepsin, Trypsin, Protease FP, Protease N	-	ACE Inhibition	[56]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

Table 5 Summary of functional and bioactive properties of protein hydrolysates derived from different protein sources and commercial enzymes reported in literature-cont'd

Protein source	Enzyme	Functional properties	Bioactive properties	References
Plant protein				
Rapeseed Meal	Alcalase, Proteinase K, Thermolysin,	-	Antioxidant, ACE Inhibition, Rennin Inhibition, Antihypertensive Activity in spontaneous hypertensive rates	[57-58]
Chickpea	Alcalase	Solubility, Oil adsorption, Emulsifying, Foaming	Antioxidant	[59]
Flaxseed	Papain, Trypsin, Pancreatin, Alcalase, Flavorzyme	-	Antioxidant	[60]
Hemp Seed	Pepsin, Pancreatin	-	Antioxidant, ACE Inhibition	[61-62]
Peanut	Alcalase	Solubility, Emulsifying, Foaming	Antioxidant, ACE Inhibition	[63]
Pea	Alcalase	-	ACE, Renin, Calmodulin (Cam)-Dependent Cyclic Nucleotide Phosphodiesterase (Campd) Inhibition	[64]
Quinoa	Pepsin, Pancreatin with bile extract	-	DPP-IV, α-Amylase, α-Glucosidase Inhibition	[65]
Corn	Alcalase, Papain, Microbial protease, Validase® FP concentrate, Alkaline protease, Neutral protease	-	Antioxidant	[66]
Other (alternative) protein				
Cricket (G. sigillatus)	Alcalase	Solubility, Emulsifying and Foaming	-	[67]
Algae	Pepsin, Amyloglucosidase	-	Anticancer, Antioxidant, Antiproliferate	[68]

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th
ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

6. บทสรุป

โปรตีนไข่ขาวไฮโดรไลเสตที่ย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และตามคุณสมบัติของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในลำดับเปปไทด์สายสั้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตมีความสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพในร่างกายของมนุษย์ ส่งผลให้มีสมบัติเชิงหน้าที่ในการละลายอิมัลซิไฟเออร์ สารเกิดโฟมที่ดี รวมทั้งสมบัติในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACE ที่ทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง และยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคสิเดส เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในกลุ่มผู้ที่มีความเสี่ยงเป็นโรคเบาหวานได้ สามารถขยายกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมหรืออาหารเพื่อสุขภาพตามแนวโน้มการบริโภคในปัจจุบันได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Severin, S. and Xia, W.S. (2006). Enzymatic hydrolysis of whey proteins by two different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates. Journal of Food Biochemistry 30(1):77-97.

[2] Pasupuleti, V.K. and Braun, S. (2010). State of the art manufacturing of protein hydrolysates. Protein Hydrolysates in Biotechnology. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, NY, USA. pp. 11–32.

[3] Lahl, W.J. and Windstaff, D.A. (1989). Spices and seasonings: hydrolysed proteins. In: Proceedings of the 6th SIFST Symposium on Food Ingredients-applications, Status, and Saftey. Singapore Institute of Food Science and Technology, Singapore. pp. 51–65.

[4] Haard, N.F. (2001). In: Sikorski, Z.E. (Ed.), Enzymic modification proteins in food systems. chemical and functional properties of food proteins. CRC Press, Boca Raton. pp. 155–190.

[5] Vanga, S.K. and Raghavan, V. (2017). Processing effects on tree nut allergens: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 57:3794-3806.

[6] Farkas, D.F. and Hoover, D.G. (2000). High pressure processing. Journal of Food Science. 65(s8):47–64.

[7] Wu, T.Y., Guo, N., Teh, C.Y. and Hay, J.X.W. (2012). Advances in ultrasound technology for environmental remediation. Springer Science & Business Media.

[8] Rivalain, N., Roquain, J. and Demazeau, G. (2010). Development of high hydrostatic pressure in biosciences: pressure effect on biological structures and potential applications in biotechnologies. Biotechnology Advances. 28(6):659–672.

[9] Hill, L.R., Silvestri, L.G., Ihm, P., Farchi, G. and Lanciani, P. (1965). Automatic classification of staphylococci by principal-component analysis and a gradient method. Journal of Bacteriology 89(5):1393-1401.

[10] Olcott, H. S. and H. Fraenkel-Conrat (1947). Chemical reviews. 41:151-197.

[11] Udenigwe, C.C. and Aluko, R.E. (2012). Food protein-derived bioactive peptides: Production, processing, and potential health benefits. Journal of Food Science. 77(1):11–24.

[12] Vanga, S. K., Singh, A. and Raghavan, V. (2017). Review of conventional and

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

novel food processing methods on food allergens. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 57(10):2077–2094.

[13] Singh, A. and Ramaswamy, H.S. (2014). Effect of high-pressure treatment on trypsin hydrolysis and antioxidant activity of egg white proteins. International Journal of Food Science & Technology. 49(1):269–279.

[14] Eckert, E., Zambrowicz, A., Pokora, M., Polanowski, A., Chrzanowska, J., Szoltysik, M., Dabrowska, A., Róz˙an´ski, H. and Trziska, T. (2013). Biologically active peptides derived from egg proteins. World's Poultry Science Journal. 69(2):375–386.

[15] Lin, S., Jin, Y., Liu, M., Yang, Y., Zhang, M., Guo, Y., Jones, G., Liu, J. and Yin, Y. (2013). Research on the preparation of antioxidant peptides derived from egg white with assisting of high-intensity pulsed electric field. Food Chemistry. 139:300–306.

[16] Lafarga, T. and Hayes, M. (2014). Bioactive peptides from meat muscle and by-products: generation, functionality and application as functional ingredients. Meat Science. 98(2):227–239.

[17] Ozuna, C., Martínez, I.P., Tostado, E.C., Ozimek, L., Llano, S.L.A. (2015). A review. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: production of protein hydrolysates and bioactive peptides. Food Research International. 77:685-696.

[18] Pokora, M., Eckert E., Zambrowicz, A., Bobak, Ł., Szołtysik, M., Dabrowska, A., Chrzanowska, J., Polanowski A. and Trziszka, T. (2014). Biological and functional properties of proteolytic enzyme-modified egg protein by-products. Food Science & Nutrition. 1(2):184–195.

[19] Desert, C., Guerin-Dubiard, C., Nau, F., Jan, G., Val, F. and Mallard, J. (2001). Comparison of different electrophoretic separations of hen egg white proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49(10):4553–4561.

[20] Baron, F., Nau, F., Gu erin-Dubiard, C., Bonnassie, S., Gautier, M., Simon, C. and Andrews Jan, S. (2015). Egg white versus Salmonella Enteritidis! a harsh medium meets a resilient pathogen. Food Microbiology. 53:82-93.

[21] Miguel, M., Ramos, M., Aleixandre, MA. and Lopez-Fandino, R. (2006). Effect of simulated gastrointestinal digestion on the antihypertensive properties of ACE-inhibitory peptides derived from ovalbumin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54(3):726–731.

[22] Castro, R.J.S. and Harumi Sato, H. (2014). A response surface approach on optimization of hydrolysis parameters for the production of egg white protein hydrolysates with antioxidant activities. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 4:55–62.

[23] Ai, M., Tang, T., Zhou, L., Ling, Z. and Guo, S. (2019). Effects of different proteases

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

on the emulsifying capacity, rheological and structure characteristics of preserved egg white hydrolysates. Food Hydrocolloids. 87:933–942.

[24] Singh, A. and Ramaswamy, H.S. (2014). Thermal and high-pressure inactivation kinetics of avidin. Journal of Food Processing and Preservation. 38(4):1830–1839.

[25] Manas, P., Munoz, B., Sanz, D. and Condon, S. (2006). Inactivation of lysozyme by ultrasonic waves under pressure at different temperatures. Enzyme and Microbial Technology. 39(6):1177–1182.

[26] Lee, J. O., Sung, D., Park, S. H., Lee, J., Kim, J., Shon, D. H. and Han, Y. (2017). Effect of acid treatment on allergenicity of peanut and egg. Journal of the Science of Food and Agriculture. 97(7):2116–2121.

[27] Yang, A., Long, C., Xia, J., Tong, P., Cheng, Y. and Wang, Y. (2017). Enzymatic characterisation of the immobilised Alcalase to hydrolyse egg white protein for potential allergenicity reduction. Journal of the Science of Food and Agriculture. 97(1):199–206.

[28] Abeyrathne, E., Lee, H., Jo, C., Suh, J. and Ahn, D. (2016). Enzymatic hydrolysis of ovomucin and the functional and structural characteristics of peptides in the hydrolysates. Food Chemistry. 192:107–113.

[29] Hernández-Carrión, M., Hernando, I. and Quiles, A. (2014). High hydrostatic pressure treatment as an alternative to pasteurization to maintain bioactive compound content and texture in red sweet pepper. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 26:76–85.

[30] Bigliardi, B. and Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: the case of functional foods. Trends in Food Science & Technology. 31(2):118–129.

[31] Kristinsson, H.G. and Rasco, B.A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 40: 43-81.

[32] Elias, R.J., Kellerby, S.S. and Dec, E.A. (2008). Antioxidant activity of protein and peptide. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 48(5):430-441.

[33] Garcés-Rimón, M., Sandoval, M., Molin, E., López-Fandiño, R. and Miguel, M. (2016). Egg protein hydrolysates: new culinary textures. International Journal of Gastronomy and Food Science. 3:17–22.

[34] Han, A., Romero, H.M., Nishijima, N., Ichimura, T., Handa, A., Xu, C., Zhang, Y. (2019). Effect of egg white solids on the rheological properties and bread making performance of gluten-free batter. Food Hydrocolloids. 87:287–296.

[35] Moure, A., Dominguez, H. and Parajo, J.C. (2006). Antioxidant properties of ultrafiltration recovered soy protein fractions from industrial effluents and their hydrolysates. Process Biochemistry. 41(2):447–456.

[36] Li-Chan, E.C. (2015). Bioactive peptides and protein hydrolysates: research trends and challenges for application as

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

nutraceuticals and functional food ingredients. Current Opinion in Food Science. 1:28–37.

[37] Kratz, F. (2008). Albumin as a drug carrier: design of prodrugs, drug conjugates and nanoparticles. Journal of Controlled Release. 132(2):171–183.

[38] Kovacs-Nolan, J. K. N., Phillips, M. and Mine, Y. (2005). Advances in the value of eggs and egg components for human health. Journal of Agricultural and Food Chemistry.53(22):8421–8431.

[39] Oguro, T., Watanabe, K., Tani, H., Ohishi, H. and Ebina, T. (2000). Morphological observations on antitumour activities of 7-10 kDa fragment in α-subunit from pronase treated ovomucin in a double grated tumor system. Food Science and Technology Research. 6:179–185.

[40] Miguel, M., Recio, I., Gómez-Ruiz, JA., Ramos, M. and López-Fandiño, R. (2004). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of peptides derived from egg white proteins by enzymatic hydrolysis. Journal of Food Protection. 67(9):1914-1920.

[41] Miguel, M. and Aleixandre, A. (2006). Review antihypertensive peptides derived from egg proteins. The Journal of nutrition. 136(6):1457-1460.

[42] Matoba, N., Yamada, Y., Usui, H., Nakagiri, R. and Yoshikawa, M. (2001). Designing potent derivatives of ovokinin(2-7), an anti-hypertensive peptide derived from ovalbumin. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 65(3):736-9.

[43] You, S.J. and Wu, J. (2011). Angiotensin-I converting enzyme inhibitory and antioxidant activities of egg protein hydrolysates produced with gastrointestinal and nongastrointestinal enzymes. Journal of Food Science. 76(6):C801-7.

[44] Xu, Q., Fan, H., Yu, W., Hong, H. and Wu, J. (2017). Transport study of egg derived antihypertensive peptides (LKP and IQW) using Caco-2 and HT29 co-culture monolayers. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 65(34):7406–7414.

[45] Yu Z., Yin Y., Zhao W., Yu Y., Liu B., Liu J. and Chen F. (2011) Novel peptides derived from egg white protein inhibiting alpha-glucosidase. Food Chemistry. 129:1376–1382.

[46] Bejjani, S. and Wu, J. (2013). Transport of IRW, an ovotransferrin-derived antihypertensive peptide, in human intestinal epithelial Caco-2 Cells. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61(7):1487–1492.

[47] Ding, L., Wang, L. Y., Yu, Z. P., Zhang, T. and Liu, J. B. (2016). Digestion and absorption of an egg white ACE-inhibitory peptide in human intestinal Caco-2 cell monolayers. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 67(2):111–116.

[48] Ding, L., Zhang, Y., Jiang, Y., Wang, L., Liu, B. and Liu, J. (2014). Transport of egg white ACE-inhibitory peptide, Gln-Ile-Gly-Leu-Phe, in human intestinal Caco-2 cell monolayers with cytoprotective effect.

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

Journal of Agricultural and Food Chemistry. 62:3177–3182.

[49] Miguel, M., Manso, M.A., Da´valos,A., Pen, G., Lasuncio´n, M.A. and Lo´pez-Fandin˜o, R. (2008). Transepithelial transport across Caco-2 cell monolayers of antihypertensive egg-derived peptides. PepT1-mediated flux of Tyr-Pro-Ile. Molecular Nutrition & Food Research. 52:1507–1513.

[50] Liu, J., Jin, Y., Lin, S., Jones, G. and Chen, F. (2015). Purification and identification of novel antioxidant peptides from egg white protein and their antioxidant activities. Food Chemistry. 175:258–266.

[51] Carrillo, W., Go´mez-Ruiz, J.A., Miralles, B., Ramos, M., Barrio, D. and Recio, I. (2016). Identification of antioxidant peptides of hen egg-white lysozyme and evaluation of inhibition of lipid peroxidation and cytotoxicity in the Zebrafish model. European Food Research Technology. 242:1777–1785.

[52] Sinha, R. and Radha, C. (2007). Whey Protein hydrolysate: functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. Food Chemistry. 101(4): 1484–1491.

[53] Miguel, M. and Contreras, M. (2009). ACE-inhibitory and antihypertensive properties of a bovine casein hydrolysate. Food Chemistry. 112(1):211–214.

[54] Chen, C. and Chi, Y.J. (2012) a. Purification and identification of antioxidant peptides from egg white protein hydrolysate. Amino Acids. 43(1):457–466.

[55] Chen, C. and Chi, Y.J. (2012) b. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant and ACE inhibitory activities of egg white protein hydrolysate. Food Science and Biotechnology. 21:27–34.

[56] Nchienzia, H. and Morawicki, R. (2010). Enzymatic hydrolysis of poultry meal with endo-and exopeptidases. Poultry Science. 89(10):2273–2280.

[57] He, R. and Alashi, A. (2013) a. Antihypertensive and free radical scavenging properties of enzymatic rapeseed protein hydrolysates. Food Chemistry. 141(1):153–159.

[58] He, R. and Malomo, S.A. (2013) b. Purification and hypotensive activity of rapeseed protein-derived renin and angiotensin converting enzyme inhibitory peptides. Journal of Functional Foods. 5(2):781–789.

[59] Li, Y. and Jiang, B. (2008)b. Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). Food Chemistry. 106(2):444–450.

[60] Karamac, M. and Kosi nska-Cagnazzo, A. (2016). Use of different proteases to obtain flaxseed protein hydrolysates with antioxidant activity. International Journal of Molecular Sciences. 17(7): 1027.

[61] Girgih, A.T. and Udenigwe, C.C. (2011) a. In vitro antioxidant properties of hemp seed (Cannabis sativa L.) protein hydrolysate

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

fractions. Journal of the American Oil Chemists' Society. 88(3):381–389.

[62] Girgih, A.T. and Udenigwe, C.C. (2011) b. Kinetics of enzyme inhibition and antihypertensive effects of hemp seed (Cannabis sativa L.) protein hydrolysates. Journal of the American Oil Chemists' Society. 88(11):1767–1774.

[63] Jamdar, S. and Rajalakshmi, V. (2010). Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate. Food Chemistry. 121(1):178–184.

[64] Li, H. and Aluko, R.E. (2010). Identification and inhibitory properties of multifunctional peptides from pea protein hydrolysate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58(21):11471–11476.

[65] Vilcacundo, R. and Martínez-Villaluenga, C. (2017). Release of dipeptidyl peptidase IV, a-amylase and a-glucosidase inhibitory peptides from quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) during in vitro simulated gastrointestinal digestion. Journal of Functional Foods. 35:531–539.

[66] Zhou, K., Sun, S. (2012). Production and functional characterisation of antioxidative hydrolysates from corn protein via enzymatic hydrolysis and ultrafiltration. Food Chemistry. 135 (3):1192–1197.

[67] Hall, F.G. and Jones, O.G. (2017). Functional properties of tropical banded cricket (Gryllodes sigillatus) protein hydrolysates. Food Chemistry. 224:414–422.

[68] Athukorala, Y. and Kim, K.N. (2006)b. Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, Ecklonia cava. Food and Chemical Toxicology. 44(7):1065–1074.

* Corresponding author e-mail: sasithorn.k@sci.kmutnb.ac.th

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

Bioprocess Engineering and Biotechnology Center, Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok