โปรตีนจากพืช: คุณค่าโภชนาการ โครงสร้าง คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

Plant-based Proteins: Nutrition, Structure, Functionality, and Applications in Food Industry

นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่[1]
Naksit Panyoyai[1]

บทคัดย่อ

พืชเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่สำคัญรองจากสัตว์ แม้ว่าโปรตีนจากพืชชนิดเดียวจะให้กรดแอมิโนที่มีสัดส่วนไม่ใกล้เคียงกับกรดแอมิโนในโปรตีนจากสัตว์ การผสมโปรตีนจากพืชที่หลากหลายเป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพโปรตีน โปรตีนจากพืชแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ โปรตีนจากธัญพืช ถั่ว เมล็ดพืชและนัท หญ้าที่ไม่ใช่ข้าว และพืชผัก โปรตีนเหล่านี้มีโครงสร้างในระดับโมเลกุลแตกต่างกัน คือ กรดแอมิโนที่เป็นส่วนประกอบและปริมาณซึ่งส่งผลต่อหน้าที่ของโปรตีน โดยเฉพาะการละลายที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการใช้โปรตีนพืชเป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การขึ้นฟู การเกิดอิมัลชัน และการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น การซึมผ่านของน้ำและอากาศ รวมทั้งความสามารถในการจับกับโมเลกุลขนาดเล็กในระบบอาหาร เช่น รงควัตถุ กลิ่น วิตามิน แร่ธาตุ และสารขัดขวางการดูดซึมสารอาหาร

คำสำคัญ: โปรตีนจากพืช คุณค่าโภชนาการ โครงสร้าง คุณสมบัติเชิงหน้าที่ การใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

Received: 17 March 2020; Accepted: 10 June 2020

[1] ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50330 ประเทศไทย
[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50330, Thailand
* Corresponding author: naksit@hotmail.com

Abstract

Plant protein is involved in the protein security as a secondary alternative source behind animal protein. Although plant protein is not considered as complete protein as animal one, the mixture protein from a plant variety is a solution to increase the protein quality. Plant protein could be divided into five groups, namely, cereal, legume, seed and nut, pseudo-cereal, and vegetable. These proteins are structured in different molecular levels due to the composition and amount of amino acids, which affect the protein functionality. In a particular, the solubility that determines their use as an ingredient in food products such foaming and emulsifying properties including packaging application in air and moisture barrier. In food matrix, plant proteins are applicable in small molecules binding with pigment, flavor, mineral, vitamin, and antinutrient.

Keywords: Plant-based protein, nutrition, structure, functionality, applications in food industry

1. บทนำ

โปรตีน (protein) เป็นสารอาหารหลัก (macronutrient) ชนิดหนึ่งที่ร่างกายต้องการในปริมาณที่เพียงพอต่อร่างกายเพราะจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ทั้งให้พลังงานประมาณ 4 กิโลแคลอรีต่อโปรตีน 1 กรัม การบริโภคโปรตีนของคนไทยที่มีอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป กำหนดความต้องการพลังงานทั้งหมดวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ต้องได้รับปริมาณโปรตีนวันละ 50 กรัม (กรมอนามัย, 2541) โปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการนั้นควรเป็นโปรตีนสมบูรณ์ (complete protein) ซึ่งหมายถึงโปรตีนที่มีกรดแอมิโนจำเป็น (essential amino acid) 10 ชนิด ครบถ้วน ได้แก่ อาร์จินีน (Arginine) ฮีสทิดีน (Histidine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ไลซีน (Lysine) เมทไทโอนีน (Methionine) เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine) เทรโอนีน (Threonine) ทริปโทเฟน (Tryptophan) และวาลีน (Valine) ซึ่งกรดแอมิโนที่จำเป็นเหล่านี้มักพบในสัตว์ เช่น เนื้อสัตว์ เนื้อปลาและอาหารทะเล น้ำนม ไข่ ซึ่งจัดเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี (Górska-Warsewicz et al., 2018)

อย่างไรก็ตามในปี 2018 ของ กองทุนวิจัยโรคมะเร็งโลก (World Cancer Research Fund) พบว่าโปรตีนเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับโรคมะเร็ง อาทิ การบริโภคเนื้อแดง (เนื้อโค เนื้อสุกร เนื้อแพะ เนื้อแกะ) ในปริมาณ 100 กรัมต่อวัน หรือ ผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป (การหมักเกลือ การรมควัน การหมักให้เกิดกรดแลคติก) ในปริมาณ 50 กรัมต่อวันเพิ่มความเสี่ยงกับมะเร็งลำไส้ (colorectal cancer) ดังนั้น ผู้บริโภคปัจจุบันจึงให้ความสำคัญกับแหล่งของโปรตีนทางเลือกมากขึ้น โดยเฉพาะโปรตีนจากพืช (plant protein) ที่กำลังได้รับความสนใจในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพไม่บริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ (vegan) และผู้บริโภคที่มีข้อจำกัดในการบริโภคโปรตีนจากสัตว์ตามหลักศาสนา วัฒนธรรม ความเชื่อ เช่น การรับประทานเจ (oriental vegetarian) หรือการบริโภคโปรตีนจากสัตว์และโปรตีนจากพืชในปริมาณที่สมดุลเท่ากันตามที่องค์การสหประชาชาติได้แนะนำไว้ (World Cancer Research Fund, 2018)

โปรตีนจากพืชมีกรดแอมิโนบางชนิดน้อยกว่าจากโปรตีนจากสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยปกติโปรตีนจากพืชจึงจัดเป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete amino acid) เช่น ธัญพืช ในกลุ่มข้าว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มีกรดแอมิโนไลซีนต่ำ แต่มีกรดแอมิโนเมทไทโอนีนสูง ในขณะที่เมล็ดถั่วต่างๆ เป็นแหล่งของกรดแอมิโนไลซีนที่ดี นอกจากนี้ ยังมีกรดแอมิโนทริปโทเฟน เทรโอนีนที่มีน้อยในโปรตีนจากพืช (Chardigny

and Walrand, 2016) ดังนั้น การบริโภคโปรตีนจากพืชที่หลากหลายจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและได้รับกรดแอมิโนที่ร่างกายมนุษย์ต้องการได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ โปรตีนจากพืชโดยเฉพาะถั่วยังอุดมด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวและเส้นในอาหาร ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (cholesterol) ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Richter et al. 2015) และมีสารพฤษเคมี (phytochemical) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายชนิด (Chardigny and Walrand, 2016)

2. แหล่งที่มาและคุณค่าทางโภชนาการโปรตีนจากพืช

โปรตีนจากพืชมีแหล่งที่มาหลากหลาย การจัดแหล่งที่มาของโปรตีนจากพืชยังไม่มีระบบที่ชัดเจน ในที่นี้ได้กำหนดตามหลักพฤกษศาสตร์ ออกได้เป็น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 โปรตีนจากธัญพืช (cereal) โปรตีนนี้ได้จากพืชในตระกูลหญ้าที่บริโภคได้ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เล่ย์ ปริมาณโปรตีนของอาหารไทยในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม รายงานโปรตีนในข้าวเจ้าหอมมะลิ 6.5 กรัม ข้าวเหนียว 6.3 กรัม ข้าวฟ่าง 9.8 กรัม ข้าวโพดต้ม 4.3 กรัม ข้าวบาร์เลย์ 8.3 กรัม และข้าวสาลี 12.0 กรัม

กลุ่มที่ 2 โปรตีนจากถั่ว (legume) โปรตีนจากถั่วแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ตามลักษณะ ดังนี้ กลุ่มถั่วฝักเมล็ดไม่กลม (bean) เช่น ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลายเสือ กลุ่มถั่วฝักเมล็ดกลม (pea) เช่น ถั่วลูกไก่ ถั่วพุ่ม และ กลุ่มถั่วเมล็ดแบน เช่น ถั่วเลนทิล (lentil) ถั่วทั้ง 3 กลุ่มนี้แบ่งออกได้เป็น ถั่วน้ำมัน (oilseed legume) มีโปรตีนและไขมันสูง เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และ ถั่วพัลส์ (pulse) มีโปรตีนสูงแต่ไขมันต่ำ มีคาร์โบไฮเดรต เช่น ถั่วเขียว ถั่วขาว ถั่วแดง ถั่วลูกไก่

ตารางที่ 1 การกระจายกรดแอมิโนในโปรตีนพืชเปรียบเทียบกับโปรตีนสัตว์

กรดแอมิโน	แหล่งที่มา (กรัมต่อ100 กรัมวัตถุดิบสด)						
	ข้าวสาลี[1]	ถั่วเหลือง[1]	กัญชง[1]	งา[2]	กะหล่ำดอก[3]	เนื้อสัตว์[1]	ไข่[1]
กรดแอมิโนจำเป็น							
เทรโอนีน	1.8	2.3	1.3	1.3	1.0	3.5	2.0
เมทไทโอนีน	0.7	0.3	1.0	0.3	0.3	2.1	1.4
เฟนิลอะลานีน	3.7	3.2	1.8	1.2	1.0	3.5	2.3
ฮีสทิดีน	1.4	1.5	1.1	0.6	0.8	1.9	0.9
ไลซีน	1.1	3.4	1.4	0.7	1.8	5.9	2.7
วาลีน	2.3	2.2	1.3	2.2	1.4	3.6	2.0
ไอโซลิวซีน	2.0	1.9	1.0	2.2	1.0	2.9	1.6
ลิวซีน	5.0	5.0	2.6	1.1	1.7	7.0	3.6
กรดแอมิโนไม่จำเป็น							
ซีรีน	3.5	3.4	2.3	1.1	1.2	4.0	3.3
ไกลซีน	2.4	2.7	2.1	1.3	1.2	1.5	1.4
กรดกลูตามิก	26.9	12.4	7.4	4.9	4.3	16.9	5.1
โปรลีน	8.8	3.3	1.8	0.7	1.4	7.3	1.8
ซีสเทอีน	0.7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4
อะลานีน	1.8	2.8	1.9	1.1	1.4	2.6	2.6
ไทโรซีน	2.4	2.2	1.3	0.7	1.4	3.8	1.8
อาร์จินีน	2.4	4.8	5.3	1.1	1.5	2.6	2.6

ที่มา : [1] Gorissen et al. (2018)
[2] Maneemegalai and Reena (2011)
[3] Slupski et al. (2010)

กลุ่มที่ 3 โปรตีนจากเมล็ดพืช (seed) และ นัท (nut) โปรตีนกลุ่มนี้กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนใหม่ เช่น เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฟักทอง เมล็ดงา เมล็ดลินิน เมล็ดกัญชง เมล็ดป๊อปปี้ ในประเทศไทยเมล็ดงาดำจัดเป็นพืชให้โปรตีนสูงถึง 20 กรัม ในส่วนรับประทานได้ 100 กรัมอุดมด้วยกรดแอมิโนเมทไทโอนีน ทริปโทเฟน และ ซีสเทอีน (Fasuan et al., 2018) ส่วนนัทที่ให้โปรตีน เช่น อัลมอนด์ (almond) เกาลัด (chestnut) แมคาเดเมีย (macadamia)

กลุ่มที่ 4 โปรตีนจากหญ้าที่ไม่ใช่ธัญพืช (pseudo-cereal) พบในบักวีท (buckwheat) เจีย (chia) ควินัว (quinua) อะมารัน (amaranth) ให้โปรตีนสูงเช่นกัน

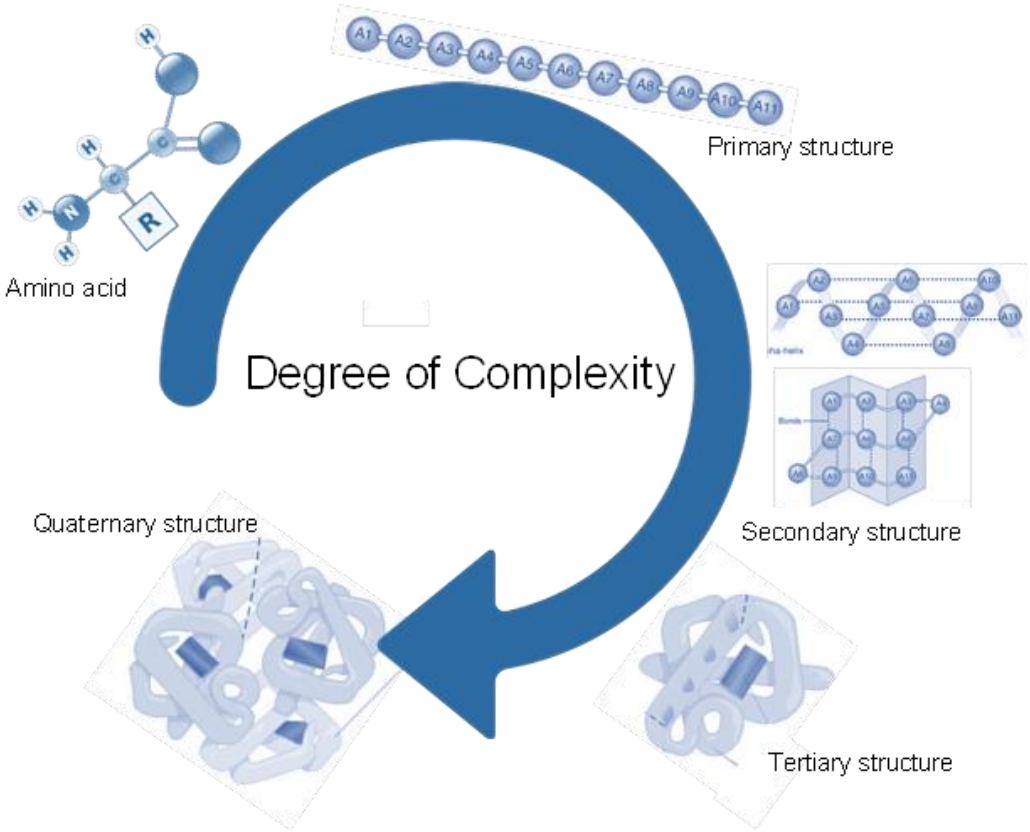
กลุ่มที่ 5 โปรตีนจากพืชผัก (vegetable protein) จัดเป็นโปรตีนสีเขียว เช่น บร็อกโคลี (broccoli) เคลป์ (kale) กะหล่ำดอก มันฝรั่ง สะตอ ผักหวาน ชะอม ยอดแค ยอดกระถิน ขี้เหล็ก ใบมะรุม (moringa) และใบชายา (chaya)

3. โครงสร้างโปรตีนจากพืช

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างโปรตีนพืชที่มีหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดคือ กรดแอมิโน ซึ่งโมเลกุลมีหมู่เคมี 2 หมู่ คือ หมู่แอมิโน ($-NH_2$) และ หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เชื่อมกันด้วยคาร์บอน และมีโซ่ข้าง (side chain) หรือหมู่ R ที่มีความเฉพาะกับกรดแอมิโนแต่ละตัว เช่น กรดแอมิโนวาลีนมีสายข้างเป็น ($-CH(CH_3)_2$) มีคุณสมบัติไม่มีขั้วทางเคมี และไม่ชอบน้ำ ส่วนกรดแอมิโนเมทไทโอนีนมีสายข้างเป็น ($-(CH_2)_2SCH_3$) มีกำมะถันในสายข้างกลับมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ปัจจุบันมีกรดแอมิโนมาตรฐาน 20 ชนิด ตามรหัสพันธุกรรม เรียกว่า โปรตีโน-เจนิก (proteinogenic amino acid) มาเรียงต่อกันและเชื่อมด้วยพันธะเคมีเป็นสายยาวจนเกิดโครงสร้างปฐมภูมิ เมื่อโครงสร้างโซ่ยาวมีการเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โครงสร้างสายโซ่เกิดลักษณะสามมิติเป็นเกลียวหรือแผ่นพับ เรียกว่าโครงสร้างทุติยภูมิ ส่วนโครงสร้างตติยภูมิมีลักษณะเป็นโปรตีนก้อนกลมเพราะมีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) หรือพันธุเคมีอื่นๆมาบังคับรูปทรงของโปรตีน และความซับซ้อนของโครงสร้างโปรตีนเพิ่มมากขึ้น เมื่อพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สายมาขดพันกันทำให้โมเลกุลโปรตีนแข็งแรงมากขึ้นไปอีก เรียกว่า โครงสร้างตติยภูมิ รายละเอียดโครงสร้างโปรตีนพืชแต่ละระดับ มีดังนี้

โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) เป็นโครงสร้างพื้นฐานของโปรตีนพืชในแต่ละกลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น โดยประกอบขึ้นมาจากการเชื่อมต่อกันของกรดแอมิโนเป็นสายยาวด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) เรียกว่า สายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ชนิดและการเรียงลำดับของกรดแอมิโนในสายพอลิเพปไทด์มีความเจาะจง ทำให้มีโปรตีนพืชชนิดต่างๆมากมาย เช่น โปรตีนกลูเตน (gluten) ในข้าวสาลี ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ ไกลอะนิน (gliadin) และ กลูเทลิน (glutenin) ซึ่งแต่ละชนิดมีกรดแอมิโนที่พบมากคือ กลูตามีน (glutamine) และ โพรลีน (proline) โครงสร้างปฐมภูมินี้มีความแข็งแรงมาก ปัจจัยกายภาพ เช่น ความร้อน ความดัน คลื่นเสียงไม่อาจทำลายพันธะเพปไทด์ได้ (Wieser, 2007)

โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) เกิดจากกรดแอมิโนในสายพอลิเพปไทด์เดียวกันมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดโครงสร้างสามมิติ 2 รูปแบบคือ แบบเกลียวแอลฟา (alpha helix) ลักษณะเป็นเกลียวขด และ แบบแผ่นพับ (beta sheets) เช่น กลูตามีน ในแป้งสาลี (มีปริมาณร้อยละ 35 ของกรดแอมิโนในกลูเต็น) สร้างพันธะไฮโดรเจนกับ กับกลูตามีนอีกโมเลกุล รวมทั้ง กรดแอมิโนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (ซีรีน และไทโรซีน) แม้ว่าพันธะไฮโดรเจนจะเป็นแรงอ่อน แต่การสร้างพันธะระหว่างกรดแอมิโนจำนวนมากทำให้โครงสร้างเกิดความแข็งแรงขึ้น โครงสร้างทุติยภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยภายนอก (อุณหภูมิสูง ความดันสูง คลื่นอัลทราซาวด์ รังสี) ในระดับที่เพียงพอ ดังรายงานการเปลี่ยนแปลงในโปรตีนพืชชนิดต่างๆสรุป ในตารางที่ 2



ภาพที่ 1 โครงสร้าง 4 ระดับของโปรตีนพืช
(Faccio, 2019)

โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เกิดจากพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไอออน ที่ยึดระหว่างสายพอลิเพปไทด์สายเดียวกันหรือระหว่างสาย ทำให้เกิดการขดตัวบิดพับเป็นโครงสร้างทรงกลมสามมิติ เช่น โปรตีนกลูเตน ส่วนที่ชื่อไกลอะนิน และ กลูเทลิน ประกอบด้วยพันธะไดซัลไฟด์ในกรดแอมิโนซิสเทอีน เชื่อมระหว่างโมเลกุลโปรตีน แม้ว่ากรดแอมิโนชนิดนี้มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 2 ของกรดแอมิโนในข้าวสาลีแต่สร้างพันธะที่แข็งแรงมาก (Wieser, 2007)

โครงสร้างจตุรภูมิ(quaternary structure) ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สายขึ้นไป โดยแต่ละสายอาจมีโครงสร้าง ปฐมภูมิ ทุติยภูมิ หรือตติยภูมิ มาจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้น เช่น โปรตีนในถั่วเหลือง คือ ไกลซีนิน (glycinin) ที่มีสายพอลิเพปไทด์ 6 สายมาขดพันกันอย่างซับซ้อน

โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการในประเด็นการย่อยในระบบร่างกายมนุษย์และการดูดซึมกรดแอมิโน เอนไซม์เพปติเดส (peptidase) เกี่ยวข้องกับการย่อยสายโซ่โปรตีนให้เป็นกรดแอมิโนต่างๆ แต่กรดแอมิโนโปรลีน (prolein) ซึ่งมีหมู่ข้างเป็นวงไซคลิกมีความแข็งแรงมากจึงต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์เพปติเดสในสายโซ่ปฐมภูมิ พบว่าการที่โครงสร้างโปรตีนถั่วมีความแข็งแรงจากพันธะไฮโดรเจนมีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติไม่ละลายน้ำทำให้การย่อยโปรตีนถั่วที่มีโครงสร้างทุติยภูมิแบบแผ่นพับถูกจำกัดการย่อยลง (Carbonaro et al., 2012) เช่นเดียวกับความสามารถในการต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์เพปติเดสของโครงสร้างทุติยภูมิแบบแผ่นพับในโปรตีนข้าวสาลี ในระหว่างการนวดแป้งข้าวสาลีทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่างสายโซ่โปรตีนและเกิดการเพิ่มจำนวนพันธะไดซัลไฟด์ในก้อนโดแป้งสาลี (dough) ให้โครงสร้างตติยภูมิและจตุรภูมิที่แข็งแรงมากขึ้น จึงส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการยืดหยุ่นและหนืด (viscoelasticity) และการกักเก็บอากาศในขณะหมักโดขนมอบต่อไป (Joye, 2019)

ตารางที่ 2 ผลของปัจจัยกายภาพที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนพืช

โปรตีน	แหล่งที่มา	ปัจจัยกายภาพ	ผลต่อโครงสร้าง	อ้างอิง
กลูเตน	ข้าวสาลี	ความร้อน	ความร้อน 95 องศาเซลเซียสทำให้เกิดสายพอลิเมอร์ (polymerization) ของไกลอะนิน และ กลูเทลิน เพิ่มความหนืดและเกิดร่างแหตาข่าย	Ortolan and Steel (2017)
ไกลซีนิน	ถั่วเหลือง	ความดัน	ความดันสูง 500 MPa นาน 10 นาทีทำให้โปรตีนเสียสภาพ การเปลี่ยนแปลงเกลียวแอลฟาและแบบแผ่นพับที่เป็นระเบียบไปเป็นโครงสร้างเกลียวที่ไม่เป็นระเบียบ	Zhang et al.(2003)
กลูเตน	ข้าวสาลี	สนามไฟฟ้าความเข้มสูง (high electric field)	สนามไฟฟ้า 3.5 kV นาน 30 นาทีทำให้โปรตีนมีโครงสร้างทุติยภูมิเป็นแบบเกลียวแอลฟาและแบบแผ่นพับ แต่เมื่อเพิ่มเวลานานขึ้นเป็น 90 นาทีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแบบเกลียวแอลฟา	Singh et al. (2016)
โปรตีนเมล็ดทานตะวันบริสุทธิ์	เมล็ดทานตะวัน	คลื่นอัลตราซาวด์ความเข้มสูง (high intensity ultrasound)	คลื่นอัลตราซาวด์ความเข้ม 20 kHz นาน 30 นาที ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว (unfolding) เพิ่มปริมาณพันธะซัลไฟต์ และลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	Malik, et al. (2017)
ซีน (zein)	ข้าวโพด	รังสีอัลทราไวโอเลต	รังสีอัลทราไวโอเลตชักนำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross linking) ของสายพอลิเพปไทด์	Rhim et al. (1999)

4. คุณสมบัติเชิงหน้าที่โปรตีนจากพืช

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยภายในเรื่องปริมาณกรดแอมิโนและลำดับกรดแอมิโน ขนาดและรูปร่างโปรตีน โครงสร้างโปรตีนในรูปแบบต่างๆ และความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic คุณสมบัติไม่ชอบน้ำ) กับ ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic คุณสมบัติชอบน้ำ) และปัจจัยภายนอก ได้แก่ กายภาพ (ความร้อน ความเย็น ความดัน สนามไฟฟ้า คลื่นอัลทราซาวด์ รังสี) และ เคมี (ความเป็นกรดหรือความเป็นด่าง ความแข็งแรงของไออนิก) ปัจจัยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. การละลาย (solubility) โปรตีนพืชจำแนกตามความสามารถในการละลายได้ 4 กลุ่ม (Osborn, 1924) ดังต่อไปนี้ (1) อัลบูมิน (albumin) โปรตีนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากโมเลกุลมีกรดแอมิโนที่มีประจุที่เพียงพอ และไม่มีพันธะไดซัลไฟต์ที่ทำให้โมเลกุลโปรตีนเกาะกัน (2) โกลบูลิน (globulin) ละลายได้ดีในสารละลายเกลือ เพราะโมเลกุลโปรตีนมีกรดแอมิโนที่มีประจุไฟฟ้ามาก (3) โปรลามิน (prolamin) ละลายในแอลกอฮอล์ (เช่น เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 60-70) ไม่ละลายในน้ำ และ (4) กลูเทลิน (glutelin) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ดีที่ความเป็นด่างมากกว่า 10 หรือความเป็นกรดต่ำกว่า 3 พืชแต่ละชนิดมีโปรตีนทั้งสี่ โดยหากมีโปรตีนชนิดใดอยู่มากก็จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติในเชิงหน้าที่ ยกตัวอย่างเช่น โปรตีนในข้าว *(Oryza sativa* L.) ส่วนใหญ่เป็นกลูเทลิน ละลายน้ำได้ต่ำที่ความเป็นกรด ความเป็นด่าง 4-5 แต่ที่สภาวะด่างแก่ และกรดสูง การละลายกลับเพิ่มขึ้น (Amagliani et al., 2017)

2. ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water adsorption capacity) เป็นสมบัติหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการซึมผ่านของโมเมกุลของน้ำ การดูดซึมน้ำที่สูงเพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโปรตีนและโมเลกุลน้ำเพื่อช่วยในการป้องกันการสูญเสียความชื้นออกไป เช่น โปรตีนสกัดจากมันฝรั่ง ทีชื่อว่า พาทาทิน (patatin) (Schäfer et al, 2018) ในทางตรงกันข้ามโปรตีนในกลุ่มโปรลามินที่พบใน

ซีน (zein) ข้าวโพด ออร์เดอิน (hordein) ในข้าวบาร์เล่ย์ รวมทั้งโปรตีนอื่นๆ ในพืชตระกูลหญ้า เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโอ๊ต ที่การดูดซึมน้ำน้อยที่ค่าวอเทอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.8 เพราะมีกรดแอมิโนโปรลีน (prolein) มีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูง

3. การเกิดโฟม (foaming properties) คือ ความสามารถของโปรตีนในการดูดซับอากาศและน้ำ ต่อด้วยการจัดเรียงโครงสร้างโปรตีนบริเวณรอยต่อของอากาศและโปรตีนให้เกิดฟิล์มบาง โดยความคงตัวของโฟมจากโปรตีนมีความเกี่ยวข้องกับการเตรียมโปรตีน เช่น การสกัดไขมันออก การเปลี่ยนโครงสร้างด้วยการเติมหมู่อะซีทิล (C_2H_3O) ในโปรตีน การเชื่อมข้ามในโปรตีนจากบาร์เลย์ พบว่า โฟมคงตัวดีในโปรตีนที่เติมหมู่อะซีทิล (C_2H_3O) (Jain et al., 2015) ส่วนการเตรียมตัวอย่างโปรตีนเกาลัด ในรูปแป้งสกัดไขมัน (flour) ร้อยละ 50 ในรูปโปรตีนเข้มข้น (concentrate) ร้อยละ 70 และ ในรูปโปรตีนบริสุทธิ์ (isolate) ร้อยละ 80 พบว่าโปรตีนเข้มข้นให้โฟมที่มีปริมาตรสูงและคงตัวนานกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่เหลือ (Mohamed et al., 2007)

4. การเกิดอิมัลชัน (emulsion properties) คือความสามารถของโปรตีนในการดูดซับหยดไขมันโดยห่อหุ้มเป็นฟิล์มบางๆ ความคงตัวของอิมัลชันพิจารณาจากการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของไขมันหลังการโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) การศึกษาของ Jain et al. (2015) พบว่า โปรตีนจากบาร์เลย์ที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกตะกอนด้วยสารละลายกรด มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้ดี และอิมัลชันมีความคงตัว มากกว่าโปรตีนจากบาร์เลย์ที่เติมหมู่อะซีทิล ส่วนโปรตีนเกาลัด ในรูปแป้งสกัดไขมัน (flour) มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำกว่าโปรตีนจากบาร์เลย์

5. การจับกับโมเลกุลขนาดเล็ก (small molecule binding) คุณสมบัตินี้กับการจับระหว่างโปรตีนจากพืชกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กๆ เช่น วิตามิน แร่ธาตุ กลิ่น สารที่ขัดขวางการดูดซึมสารอาหาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลในระดับจตุรภูมิ ตัวอย่างเช่น เบต้า คอนไกลซีนิน (beta-conglycenin) และ ไกลซีนิน จับกับวิตามินบี 12 ทำให้โครงสร้างทุติยภูมิที่เป็นแบบพับมีความเสถียรและเกิดโครงสร้างจตุรภูมิโดยในวิตามินฝังอยู่ในตาข่ายด้วยพันธะไฮโดรโฟบิก (Zhang et al., 2013) เช่นเดียวกับไกลซีนินจับสังกะสี แต่ไม่ปรากฏการจับกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ที่สภาวะบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมล่าร์ ความเป็นกรด ความเป็นด่างเท่ากับ 6.2 (Nosworthy and Caldwell, 1987)

5. การประยุกต์ใช้โปรตีนจากพืชในอุตสาหกรรมอาหาร

โปรตีนจากพืชมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นโปรตีนที่หาได้ง่าย มีราคาไม่แพง ทั้งยังมีโครงสร้าง และคุณสมบัติที่หลากหลาย โปรตีนจากพืชนี้จึงเป็นทางเลือกปัจจุบันที่มีความเป็นไปได้ นอกเหนือจากโปรตีนจากแหล่งทางเลือกอื่น เช่น แมลง สาหร่าย จุลินทรีย์กลุ่มรา ซึ่งการประยุกต์ใช้งานมีตัวอย่างดังนี้

1. การใช้โปรตีนพืชแปรรูปเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมข้าว น้ำนมถั่วลิสง น้ำงา น้ำอัลมอนด์ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีองค์ประกอบที่ส่งเสริมสุขภาพ เช่น น้ำงา มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ลดโคเลสเตอรอล ต้านไวรัส ต้านมะเร็ง ต้านเนื้องอก แต่วัตถุดิบงามีสารขัดขวางการดูดซึมสารอาหาร คือ ออกซาเลต (oxalate) ดังนั้นต้องมีการนำเปลือกออก งาให้รสขมและกลิ่นซอล์ค ดังนั้นจึงแช่ในน้ำด่างเพื่อเพิ่มการละลายของโปรตีน และนำไปคั่วก่อนนำไปแปรรูป (Sethi et al., 2016)

2. การใช้โปรตีนพืชช่วยให้ไวน์ใสแทนการใช้เจลาติน เพื่อลดความเสี่ยงในการส่งผ่านโรคสู่มนุษย์ และข้อจำกัดด้านศาสนายิว ดังนั้น การใช้กลูเตน โปตีนบริสุทธิ์จากถั่วเลนทิล ถั่วเหลือง ถั่วลันเตาช่วยลดความขุ่นของไวน์ โดยเฉพาะกลูเตนช่วยรักษากลิ่น ไวน์ใสและไม่เกิดการตกค้างในผลิตภัณฑ์จึงกล่าวอ้างได้ว่าปราศจากกลูเตน (Wadhave et al., 2014)

3. การใช้โปรตีนจากพืชในผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูปหรือเนื้อเทียม (meat analog) โดยใช้โปรตีนถั่วและพืชให้น้ำมัน โดยการนำมาใช้ต้องกำจัดสารที่ขัดขวางการดูดซึมสารอาหาร (antinutrient) เช่น ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) ในถั่วเหลืองออกไปก่อน จากนั้นนำเนื้อเทียมไปผสมกับเครื่องปรุงรสอื่นๆปรับเนื้อสัมผัส ให้มีรสชาติคล้ายเนื้อสัตว์ แต่ปราศจากคอเลสเตอรอล ไขมันต่ำ และประหยัดต้นทุน

4. การใช้โปรตีนพืชในขนมอบ เช่นโปรตีนจากควินัวและถั่ว ช่วยเพิ่มคุณค่าโภชนาการในแป้งขนมอบ รวมทั้งลดดัชนีน้ำตาล (glycemic index) แต่การทดแทนแป้งสาลีด้วยโปรตีนถั่วส่งผลต่อการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์เนื่องจากโปรตีนพืชส่วนใหญ่ไม่มีความสามารถในการเก็บกักอากาศและยืดหยุ่นเหมือนกับกลูเตน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับโครงสร้างด้วยการใช้เอนไซม์ทรานกลูตามิเนส (transglutaminase) ประสานให้เกิดโครงสร้างของ

โปรตีน (protein networking) เพิ่มความเหนียวของเส้นบะหมี่และพาสต้าได้

5. การใช้โปรตีนพืชในการทำฟิล์มและการเคลือบบนบรรจุภัณฑ์ เช่น ซีน กลูเตน โปรตีนถั่ว มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำ รวมทั้งมีคุณสมบัติทางกล (การดึงขาด ความแข็ง) การผสมพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เช่น สารสกัดต้านการเจริญจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จึงเป็นทางเลือกในการใช้บรรจุภัณฑ์แบบฉลาดที่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม เพิ่มความปลอดภัยและเกิดความยั่งยืนต่อระบบนิเวศ (Chen et al., 2019)

6. บทสรุป

โปรตีนพืชกำลังได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นโปรตีนทางเลือกที่เหมาะสมกับผู้ที่หลีกเลี่ยงโปรตีนจากเนื้อสัตว์ การใช้เป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบในการผลิตอาหารได้หลากหลายชนิด และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามการใช้โปรตีนพืชในอุตสาหกรรมอาหารต้องพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ที่ดังนั้นการเข้าใจถึงโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ในเรื่องการละลาย การซึมผ่านไอน้ำ การเกิดโฟม การเกิดอิมัลชัน และการจับกับโมเลกุลขนาดเล็กที่เป็นองค์ประกอบในระบบอาหารจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. 2541. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 181) เรื่อง ฉลากโภชนาการ. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 115 ตอนที่ 47ง วันที่ 11 มิถุนายน 2541. ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2563, http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2541/D/047/23.PDF

Amagliani, L., J. O'Regan, A.L. Kelly, and J.A. O'Mahony. 2017. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. Trends in Food Science & Technology. 64, 1–12.

Carbonaro, M., P. Maselli, and A. Nucara. 2012. Relationship between digestibility and secondary structure of raw and thermally treated legume proteins: a Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic study. Amino acids. 43(2), 911–921.

Chardigny, J.-M., and S. Walrand. 2016. Plant protein for food: opportunities and bottlenecks. Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 23(4), D404.

Chen, H., J. Wang, Y. Cheng, C. Wang, H. Liu, H. Bian, Y. Pan, J. Sun, and W. Han. 2019. Application of protein-based films and coatings for food packaging: A Review. Polymers. 11(12), 2039.

Faccio, G. 2019. Proteins as nanosized components of biosensors *In:* Zenkina, O.V. (Ed.). *Nanomaterials* Design for Sensing Applications. Amsterdam, Netherland: Elsevier.

Fasuan, T.O., S.O. Gbadamosi, and T.O. Omobuwajo. 2018. Characterization of protein isolate from *Sesamum indicum* seed: In vitro protein digestibility, amino acid profile, and some functional properties. Food science & nutrition. 6(6), 1715–1723.

Gorissen, S.H., J.J. Crombag, J.M. Senden, W.H. Waterval, J. Bierau, L.B. Verdijk, and L.J. van Loon. 2018. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. Amino acids. 50(12), 1685–1695.

Górska-Warsewicz, H., W. Laskowski, O. Kulykovets, A. Kudlińska-Chylak, M. Czeczotko, and K. Rejman. 2018. Food products as sources of protein and amino acids—The case of Poland. Nutrients. 10(12), 1977.

Jain, A., M. Prakash, and C. Radha. 2015. Extraction and evaluation of functional properties of groundnut protein concentrate. Journal of food science and technology. 52(10), 6655–6662.

Joye, I. 2019. Protein digestibility of cereal products. Foods. 8(6), 199.

Malik, M.A., H.K. Sharma, and C.S. Saini. 2017. High intensity ultrasound treatment of protein isolate extracted from dephenolized sunflower meal: Effect on physicochemical and functional properties. Ultrasonics Sonochemistry. 39, 511–519.

Maneemegalai, S., and P. Reena. 2011. Evaluation of amino acid composition and protein solubility profile of commercially available sesame and groundnut seed meal. Asian Journal of Food and Agro-Industry. 4(3), 161–166.

Mohamed, A., M.P. Hojilla-Evangelista, S.C. Peterson, and G. Biresaw. 2007. Barley protein isolate: thermal, functional, rheological, and surface properties. Journal of the American Oil Chemists' Society. 84(3), 281–288.

Nosworthy, N., and R.A. Caldwell. 1987. The zinc (II) binding sites of soya bean glycinin. Journal of the Science of Food and Agriculture. 41(1), 55–63.

Ortolan, F., and C.J. Steel. 2017. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 16(3), 369–381.

Osborne, T. B. 1924. The vegetable proteins. London, UK: Longmans, Green and Company.