สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหารเพื่อสุขภาพ

Bioactive Ingredients in Functional Foods

ศนิ จิระสถิตย์

Sani Jirasatid*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Food Science Department, Faculty of Science, Burapha University

Received : 27 August 2018

Accepted : 5 November 2018

Published online : 19 November 2018

บทคัดย่อ

อาหารเพื่อสุขภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน และอาจสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังได้ เช่น โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด การพัฒนาการผิดปกติ และความเสื่อมถอยของร่างกายเนื่องจากวัยชรา เป็นต้น โดยอาหารเพื่อสุขภาพประกอบด้วยสารที่ทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษดังกล่าว เรียกว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 5 กลุ่ม ได้แก่ โปรตีนและเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ใยอาหาร โพรไบโอติกและพรีไบโอติก และสารพฤกษเคมีและไฟโตเอสโตรเจน ปัจจุบันมูลค่าของอาหารเพื่อสุขภาพในตลาดโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้นักวิจัยและภาคอุตสาหกรรมได้พัฒนานวัตกรรมการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพเพื่อปรับปรุงประโยชน์ต่อสุขภาพยิ่งขึ้นหรือมีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างเฉพาะเจาะจงในการป้องกันโรค อาหารที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ถูกพัฒนาอย่างหลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ไอศกรีมโพรไบโอติก น้ำผลไม้เสริมแคลเซียม ซีเรียลรำข้าวโอ๊ต และนมหมักที่ประกอบด้วยเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีผลต่อการลดความดันโลหิต เป็นต้น ในบทความนี้จะกล่าวถึงความหมายของอาหารเพื่อสุขภาพ ประเภทของอาหารเพื่อสุขภาพ และประเภทของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดต่างๆ

คำสำคัญ : อาหารเพื่อสุขภาพ, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, สารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่, ประโยชน์ต่อสุขภาพ

*Corresponding author. E-mail : sani@buu.ac.th

Abstract

Functional foods are food products, which can promote health beyond basic nutritional function and may reduce risk of chronic disease such as cancers, hypertension, cardiovascular diseases, developmental disorders and aging, etc. The substances that contribute to these special properties in functional foods, are called bioactive ingredients. Bioactive ingredients can be classified into 5 groups including bioactive proteins and peptides, polyunsaturated fatty acids, fiber, probiotics and prebiotics, and phytochemicals and phytoestrogens. Currently, the value of functional foods in the global market increase continually. Therefore, the researchers and industries develop the innovation production of function foods in order to improve more health benefits or specific health benefits for prevention the diseases. Foods containing bioactive ingredients are developed in various products such as ice-cream with probiotic, calcium-enriched fruit juice, oat bran cereal and fermented milk containing bioactive peptides that possess blood-pressure lowering effects, etc. This article presents an overview of the definition of functional foods, type of functional foods, type of bioactive ingredients together with functional food products containing many bioactive ingredients.

Keywords : functional foods, bioactive ingredients, functional ingredients, health benefits

บทนำ

ราว 2,500 ปีที่ผ่านมา Hippocrates ชาวกรีก ผู้ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งการแพทย์ สนับสนุนความเชื่อที่ว่า “อาหารเป็นยาและยาเป็นอาหาร” (Hasler, 1998) ซึ่งความเชื่อนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทำให้บทบาทของอาหารเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยแต่ก่อนคนบริโภคอาหารเพื่อบรรเทาความหิวหรือกินอาหารเพื่อต้องการสารอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายให้ทำหน้าที่ได้อย่างปกติ ปัจจุบันคนบริโภคอาหารเพื่อให้มีสุขภาพดี โดยเฉพาะการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค และ/หรือการชะลอการเจ็บป่วย อาหารดังกล่าว หมายถึง โภชนเภสัชภัณฑ์ (nutraceuticals) และ/หรือ อาหารเพื่อสุขภาพ (functional foods) ซึ่งประกอบด้วยสารที่มีหน้าที่ทางชีวภาพที่มีผลต่อการปรับปรุงสุขภาพ เช่น ปรับปรุงภูมิคุ้มกัน ต้านทานภาวะความดันโลหิตสูง ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ต้านอนุมูลอิสระ และต้านจุลชีพ เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารกลุ่ม nutraceuticals และ/หรือ functional foods เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งทำเงินหลายพันล้านดอลลาร์ โดยในปี ค.ศ. 2017 functional foods ในตลาดโลกมีมูลค่าสูงถึง 300 พันล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งนักวิจัยได้คาดการณ์ว่า functional foods จะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึง 440 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี ค.ศ. 2022 (The Statistic Portal, n.d.) โดยมีอัตราการเจริญเติบโตต่อปี (CAGR) ในระยะเวลา 4 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 ถึง ค.ศ. 2021 ประมาณ 7.8% (Smith, 2018) กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในสหภาพยุโรป มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหาร functional foods อย่างรวดเร็วและสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศเป็นอย่างมาก (Vicentini *et al*., 2016) หลายบริษัทได้พัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่ดีต่อสุขภาพ โดยปรับปรุงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคสูงสุดและมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อให้สามารถแข่งขันในท้องตลาดได้ (Boye, 2015)

นิยามของ functional foods

"Functional foods" หรือ "อาหารเพื่อสุขภาพ" หรือ "อาหารฟังก์ชั่น" หรือเรียกอย่างเป็นทางการว่า "อาหารเชิงพันธภาพ" ปัจจุบันยังไม่มีคำนิยามที่เป็นสากล ซึ่งแต่ละประเทศจะให้คำนิยามของ functional foods แตกต่างกันออกไป (Srichamroen, 2012) ในปี ค.ศ. 1998 กระทรวงสาธารณสุขของประเทศแคนาดาให้คำนิยามของ functional foods ว่า เป็นอาหารที่มีลักษณะเหมือนอาหารรูปแบบปกติ บริโภคเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร และมีประโยชน์ต่อร่างกาย และ/หรือลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่) (Health Canada, 1998) นอกจากนี้คำนิยามของ functional foods จากหน่วยงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ functional foods โดยปี ค.ศ. 1991 กระทรวงสาธารณสุขและสวัสดิการของประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดหลักการของอาหารที่ผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการช่วยให้สุขภาพกลับคืนสู่สภาพปกติ ซึ่งเรียกว่า Foods for Specified Health Uses หรือ "FOSHU" หมายถึง อาหารที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่ (functional ingredients) ซึ่งมีผลต่อโครงสร้าง และ/หรือหน้าที่ของร่างกาย โดยสามารถรักษาหรือควบคุมสุขภาพอย่างเฉพาะเจาะจง เช่น สุขภาพของระบบทางเดินอาหาร ความดันเลือด และระดับคอเลสเตอรอล เป็นต้น (American Dietetic Association, 2009; Srichamroen, 2012) อาหารที่ต้องการระบุว่าเป็น FOSHU ต้องได้รับการรับรองจากกระทรวงสาธารณสุขและสวัสดิการของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งต้องมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ยืนยันได้ว่าอาหารนั้นมีผลต่อสุขภาพหรือลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคตามที่ระบุได้จริง (Srichamroen, 2012)

ตารางที่ 1 คำนิยามของ functional foods

หน่วยงาน	คำนิยาม
Institute of Medicine' s Food and Nutrition Board	"อาหารหรือส่วนประกอบของอาหาร ซึ่งอาจมีประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน"
Institute of Food Technologists	"อาหารที่ประกอบด้วยสารประกอบที่ให้ผลทางสรีระวิทยา (physically active food components) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐาน"
สมาคมนักกำหนดอาหารแห่งสหรัฐอเมริกา (American Dietetic Association; ADA)	"อาหารตามธรรมชาติและอาหารที่มีการเติมสารต่างๆ เพื่อให้มีผลต่อการส่งเสริมสุขภาพเมื่อบริโภคอย่างสม่ำเสมอและในปริมาณที่เพียงพอ"
International Food Information Council (IFIC)	"อาหารหรือส่วนของอาหารที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐานที่ได้จากอาหารในชีวิตประจำวัน และอาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้"
European Commission	"อาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย หรือมีหน้าที่ที่ชัดเจนในร่างกาย นอกเหนือไปจากคุณค่าทางโภชนาการ สามารถปรับปรุงสุขภาพและส่งเสริมการทำงานของร่ายกาย และ/หรือช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค เป็นอาหารที่ใช้รับประทานรูปแบบอาหารปกติ ไม่อยู่ในรูปเม็ด แคปซูล หรืออยู่ในรูปผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplement)"

ที่มา: American Dietetic Association (2009), Henry (2010), Boye (2015)

โดยสรุปแล้ว functional foods หมายถึง อาหารที่มนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วให้ประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน โดยอาหารอาจประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive ingredients) หรือสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่ ซึ่งอาจลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้ หรือกำจัดสารที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และต้องมีสภาพทางกายภาพเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแท้จริง คือ ไม่อยู่ในรูปแคปซูล เป็นผงเหมือนยา สามารถบริโภคเป็นอาหารได้ไม่มีข้อจำกัดเหมือนยา (Srichamroen, 2012; Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015)

นิยามของ nutraceuticals และ dietary supplements

"Nutraceuticals" หรือ "โภชนเภสัชภัณฑ์" เป็นคำที่มาจากคำว่า nutritional กับ pharmaceutical ปัจจุบันยังไม่มีคำนิยามที่เป็นสากล โดยในแต่ละประเทศมีนิยามที่แตกต่างกันออกไป (Siriamornpun & Chansakaow, 2008) ปี ค.ศ. 1998 กระทรวงสาธารณสุขของประเทศแคนาดาให้คำนิยามของ nutraceuticals ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่แยกหรือทำบริสุทธิ์จากอาหาร ขายในรูปของยา ไม่ใช่รูปแบบของอาหารตามปกติ ผลิตภัณฑ์ต้องประกอบไปด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ หรือสามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังได้ (Health Canada, 1998; Shahidi, 2012; Boye, 2015) นอกจากนี้ nutraceuticals ยังหมายถึงสารที่แยกได้จากอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในเชิงการแพทย์ โดยสามารถป้องกันและรักษาโรคได้ (Panesar & Marwaha, 2014) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ nutraceuticals เช่น สารสกัดไลโคปีน (lycopene) จากมะเขือเทศ สารสกัดคาเทชิน (catechin) จากชาเขียว สารสกัดกลุ่มโอลิโกเมอริกโปรแอนโทไซยานิดีน (oligomeric proanthocyanidin; OPC) จากเมล็ดองุ่น (Boye, 2015)

Dietary Supplement Health and Education Act นิยาม "dietary supplements" หรือ "ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร" ว่าเป็นอาหารกลุ่มพิเศษ ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้รับประทานเสริมนอกเหนือจากการรับประทานอาหารหลักตามปกติ ผลิตภัณฑ์อาจประกอบด้วย dietary ingredients เช่น วิตามิน แร่ธาตุ สมุนไพร หรือกรดอะมิโน จำนวน 1 ชนิดหรือมากกว่า ผลิตภัณฑ์ได้จากการสกัดหรือทำให้เข้มข้น ขายอยู่ในรูปที่เป็นเม็ด ผง น้ำ หรือแคปซูล ไม่ได้อยู่ในรูปแบบของอาหารที่รับประทานตามปกติ ทั้งนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้เรียกชื่อ dietary supplements อย่างไม่เป็นทางการว่า nutraceuticals (American Dietetic Association, 2009) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาตามคำนิยามแล้วจะเห็นได้ว่า nutraceuticals แตกต่างจาก dietary supplements คือ nutraceuticals เป็นผลิตภัณฑ์ที่แยกหรือทำบริสุทธิ์จากอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ต่อสรีรวิทยาหรือสามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังได้ ขณะที่ dietary supplements เป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร หรือสารสกัดจากอาหารหรือพืช ซึ่งเน้นประโยชน์ต่อสุขภาพ (American Dietetic Association, 2009; Boye, 2015)

ประเภทของ functional foods

สมาคมนักกำหนดอาหารอาหาร ภายใต้หน่วยงานของคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration; FDA) จำแนก functional foods ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Conventional foods (whole foods) หรือ อาหารรูปแบบปกติ หมายถึง อาหารตามธรรมชาติที่ไม่ผ่านการดัดแปลง ได้แก่ ผักและผลไม้ เช่น กระเทียม นัท เมล็ดธัญพืช น้ำมันปลา ราสเบอร์รี่ ผักเคล (คะน้าใบหยักหรือคะน้าใบหยิก) บรอคโคลี่ และมะเขือเทศ เป็นต้น ทั้งนี้ผักและผลไม้จัดเป็น functional foods เนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

เช่น ไลโคปีน กรดเอลลาจิก (ellagic acid) ลูทีน (lutein) และซัลโฟราเฟน (sulforaphane) (American Dietetic Association, 2009; Granato *et al*., 2010) นอกจากนี้ข้าวโอ๊ตต้ม (oatmeal) จัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble fiber) ซึ่งสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ (Boye, 2015)

จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นว่า conventional foods มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง ตัวอย่างเช่น ผักตระกูลกะหล่ำปลีสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิดทั้งการศึกษาในระดับการทดลองและระบาดวิทยา ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศซึ่งอุดมไปด้วยไลโคปีนสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งรังไข่ มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งตับอ่อน ผลไม้ตระกูลส้มสามารถลดความเสี่ยง ต่อการเกิดมะเร็งกระเพาะอาหาร ช็อกโกแลตดำ (dark chocolate) ช่วยปรับปรุงหน้าที่ของเนื้อเยื่อบุโพรงหลอดเลือด (endothelial) ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพของหัวใจ นัทยืนต้น (tree nut) และถั่วลิสงช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดภาวะหัวใจหยุดเต้น (sudden cardiac death) ผลิตภัณฑ์นมหมักที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกตามธรรมชาติสามารถปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ และอาจป้องกันหรือบรรเทาภาวะลำไส้แปรปรวน (irritable bowel syndrome; IBS) และน้ำผลไม้แครนเบอร์รี่ช่วยลดการติดเชื้อของระบบทางเดินปัสสาวะ (American Dietetic Association, 2009)

2. Modified foods หรือ อาหารดัดแปลง หมายถึง อาหารที่มีการดัดแปลงโดยการ enrichment (การเพิ่ม), enhancement (การเน้น) หรือ fortification (การเติม) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารพฤกษเคมี (phytochemical) หรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เพื่อปรับปรุงประโยชน์ต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น น้ำส้มเสริมแคลเซียมเพื่อสนับสนุนสุขภาพของกระดูก โยเกิร์ตที่เติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกสายพันธุ์ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อช่วยสนับสนุนสุขภาพของลำไส้ ขนมปังที่มีโฟเลตสูงเพื่อส่งเสริมการพัฒนาของทารกในครรภ์มารดาอย่างเหมาะสม และมาการีนที่ประกอบด้วยไฟโตสตานอลหรือสเตอรอลเอสเทอร์เพื่อลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ modified foods สามารถผลิตได้ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ โดยทำการดัดแปรพันธุ์กรรมพืชเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การดัดแปรพันธุกรรมถั่วเหลืองเพื่อผลิตน้ำมันที่ปราศจากไขมันทรานส์ (American Dietetic Association, 2009; Granato *et al*., 2010; Boye, 2015)

3. Medical foods คือ อาหารที่มีวัตถุประสงค์ทางการแพทย์อย่างชัดเจน หรืออาหารที่ใช้ภายใต้การควบคุมของแพทย์ เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยได้รับสารอาหารที่ถูกต้องหรือเหมาะสมต่อโรค หรือได้รับสารอาหารที่เฉพาะเจาะจงอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ตัวอย่างเช่น อาหารสำหรับผู้ป่วยเฉพาะโรค เช่น สูตรอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคฟีนิลคีโทนูเรีย (phenylketonuria) ซึ่งต้องปราศจากฟีนิลอะลานีน เนื่องจากเป็นภาวะที่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีนได้ หรือสูตรอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โรคไต และโรคตับ (American Dietetic Association, 2009; Granato *et al*., 2010; Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015)

4. Food for special dietary use เป็นอาหารที่มีวัตถุประสงค์การใช้อย่างเฉพาะเจาะจง ได้แก่ 1) อาหารที่เสริมองค์ประกอบที่เฉพาะเจาะจงด้วยเหตุผลทางกายภาพ สรีระวิทยา อายุรเวช หรือสภาวะอื่นๆ 2) อาหารเสริมวิตามิน แร่ธาตุ หรือสารอื่นๆ เพื่อเสริมการกินอาหาร โดยเพิ่มการได้รับสารอาหารมากขึ้น ตัวอย่างเช่น อาหารสำหรับเด็กทารกเพื่อให้เด็กได้รับสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย อาหารปราศจากน้ำตาลแลคโตสสำหรับผู้ที่มีภาวะไม่ทนต่อน้ำตาลแลคโตสหรือภาวะพร่องเอนไซม์แลคเทส (lactose intolerant) อาหารสำหรับบุคคลที่เป็นโรคภูมิแพ้อาหาร เช่น อาหารปราศจากกลูเตน และอาหารสำหรับบุคคลที่ต้องการลดน้ำหนักหรือเพิ่มน้ำหนัก เป็นต้น (American Dietetic Association, 2009; Granato *et al*., 2010; Boye, 2015)

นอกจากนี้ Boye (2015) จำแนก functional foods เป็น 6 ประเภท ได้แก่ basic/whole/unaltered products, processed foods, fortified products, enriched/ supplemented products, enhanced products และ altered products ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. Basic/whole/unaltered products หมายถึง อาหารตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยสารอาหารหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูง เช่น แครอทประกอบด้วยเบต้า-แคโรทีน (β-carotene) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Boye, 2015)

2. Processed foods คือ อาหารที่ผ่านการแปรรูปซึ่งประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น ซีเรียลรำข้าวโอ๊ต ซึ่งประกอบด้วยเบต้า-กลูแคน (β-glucan) ที่มีอยู่ในรำข้าวโอ๊ตตามธรรมชาติ (Boye, 2015)

3. Fortified products หมายถึง อาหารที่มีการเติมสารอาหารที่เดิมมีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารนั้นให้สูงขึ้นจากเดิม เช่น การเติมวิตามินซีในน้ำผลไม้ การเติมวิตามิน เช่น ไรโบฟลาวิน (วิตามินบี 2) ไทเอมีน (วิตามินบี 1) หรือโฟเลต (วิตามินบี 9) ในผลิตภัณฑ์จากเมล็ดธัญพืช (Spence, 2006; Boye, 2015)

4. Enriched/supplemented products หมายถึง อาหารที่เพิ่มสารอาหารใหม่หรือองค์ประกอบใหม่ซึ่งปกติไม่มีในอาหารนั้น เพื่อประโยชน์ด้านป้องกันโรคเรื้อรังหรือป้องกันการขาดสารอาหาร เช่น น้ำส้มเสริมแคลเซียม มาการีนที่ประกอบด้วยสเตอรอลเอสเทอร์เพื่อลดระดับลิพิดและคอเลสเตอรอล เครื่องดื่มผสมสมุนไพร มัฟฟินผสมเบต้า-กลูแคน ผลิตภัณฑ์อาหารที่ประกอบด้วยโพรไบโอติก และ/หรือพรีไบโอติก เช่น โยเกิร์ตที่มีจุลินทรีย์โพรไบโอติก และเครื่องดื่มโพรไบโอติก เป็นต้น (Spence, 2006; Boye, 2015)

5. Enhanced products หมายถึง อาหารที่มีการเน้นให้มีสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่ หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูง ซึ่งอาจทำโดยวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาติ การให้อาหารสัตว์ด้วยสูตรที่เฉพาะเจาะจง หรือการ ดัดแปรพันธุกรรม (Boye, 2015) เช่น การพัฒนาข้าวโพดสายพันธุ์ “quality protein maize” ด้วยวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม ข้าวโพดดังกล่าวประกอบด้วยกรดอะมิโนไลซีนและทริปโตเฟนสูงกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ดั้งเดิม การดัดแปรพันธุกรรมมะเขือเทศให้มีไลโคปีนสูง ซึ่งการบริโภคไลโคปีนสัมพันธ์ต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและการกระจายของเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (Fernandez, 2007) หรือไข่ไก่ที่มีโอเมก้า-3 สูงโดยการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น (Boye, 2015)

6. Altered products หมายถึง อาหารที่มีการกำจัด ลด หรือแทนที่สารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายด้วยสารอื่นที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์อาหารลดไขมันหรือปราศจากไขมัน เช่น นมพร่องมันเนยหรือนมขาดมันเนย หรือการใช้สารทดแทนไขมัน (fat substitute) ในอาหารที่ปกติมีไขมันสูง แต่ต้องการทำให้เป็นอาหารไขมันต่ำ ซึ่งสารทดแทนไขมันอาจเป็นใยอาหาร (fiber) ที่ไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานต่ำ เช่น การใช้ใยอาหารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อหรือไอศกรีม (Spence, 2006; Boye, 2015)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประโยชน์ต่อสุขภาพ

Functional foods เป็นอาหารที่มีสารประกอบในอาหารที่มีผลทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งสารนั้นเรียกว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือสารฟังก์ชั่น หรือสารเชิงพันธภาพ หรือสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่ ทั้งนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถจำแนกได้ 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ โปรตีนและเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive proteins and peptides), กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids; PUFAs), ใยอาหาร (fiber), โพรไบโอติกและพรีไบโอติก (probiotic and prebiotic)

และสารพฤกษเคมีและไฟโตเอสโตรเจน (phytochemicals and phytoestrogens) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพและอาจสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้หลายชนิด เช่น การอักเสบของระบบทางเดินอาหาร โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases; CVD) การพัฒนาการผิดปกติ ความบกพร่องทางสติปัญญา และความเสื่อมถอยของร่างกายเนื่องจากวัยชรา เป็นต้น อย่างไรก็ตามหลายงานวิจัยพบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิดมีความซับซ้อนและไม่ชัดเจนถึงต่อประโยชน์ของสุขภาพ หรือบางครั้งอาจมีประโยชน์ต่อสุขภาพในกลุ่มคนที่เฉพาะเจาะจง ขึ้นอยู่กับอายุ เพศ สภาวะสุขภาพ และปัจจัยเสี่ยง (Boye, 2015) นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์พบว่า ส่วนที่เป็นสารอาหาร (nutrients) และส่วนที่ไม่ใช่สารอาหาร (non-nutrients) ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารพฤกษเคมี อาจมีการทำงานร่วมกันในการป้องกันโรคเรื้อรังและยังช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Panesar & Marwaha, 2014) ทั้งนี้ประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดต่างๆ ใน functional foods สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. โปรตีนและเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ

โปรตีนในอาหารหลายชนิดเป็นสารตั้งต้นของเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive peptides) ซึ่งได้จากการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในระหว่างการย่อยในระบบทางเดินอาหาร การหมักด้วยจุลินทรีย์ หรือการแปรรูปด้วยเอนไซม์ เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งเรียกว่าพันธะเอไมด์ หรือพันธะเปปไทด์ โดยเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ หมายถึง ชิ้นส่วนโปรตีน (protein fragments) ที่มีความจำเพาะเจาะจง ซึ่งมีผลกระทบเชิงบวกต่อหน้าที่ของร่างกายหรือสภาวะ และอาจส่งกระทบต่อสุขภาพ (Sanchez & Vaquez, 2017) เปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมีหน้าที่ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างหลากหลาย เช่น ควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและลดระดับคอเลสเตอรอลโดยการจับกับกรดน้ำดี ซึ่งการลดกรดน้ำดีจะช่วยเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึมของคอเลสเตอรอลและช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ ตัวอย่างเช่น โปรตีนปลาไฮโดรไลเซตช่วยให้คอเลสเตอรอลชนิดดี (High-density lipoprotein cholesterol; HDL-C) เพิ่มขึ้น และ α' subunits ของถั่วเหลืองมีผลให้พลาสมาคอเลสเตอรอลและคอเลสเตอรอลชนิดร้าย (low-density lipoprotein cholesterol; LDL-C) ลดลง นอกจากนี้โปรตีนไฮโดรไลเซตและเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive protein hydrolysates and peptides) เช่น α_{s1}-และ β-casein, γ-zein, hordein (ในข้าวบาร์เลย์) และจมูกข้าวสาลีมีฤทธิ์เป็น angiotensin-I-converting enzyme inhibitor (ACE inhibitor) ซึ่งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACE (เปลี่ยน angiotensin I เป็น angiotensin II) ส่งผลให้ความดันโลหิตลดลงในผู้ที่มีภาวะความดันโลหิตสูง โปรตีนไฮโดรไลเซตและเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิดยังสามารถปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านอนุมูลอิสระ ระงับปวด ต้านทานการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือด (anti-thrombotic) และช่วยดูดซึมแคลเซียมจากลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด เช่น เคซีนมีผลต่อการกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของทีเซลล์ (T-lymphocyte) การหลั่งอิมมูโนโกลบูลิน และช่วยดูดซึมแคลเซียม (Boye, 2015)

โปรตีนและเปปไทด์ในน้ำนมเหลือง (colostrums) และเวย์ของน้ำนมวัวมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเวย์โปรตีน ได้แก่ lactoferrin, lactoperooxidase และ growth factors เป็นต้น ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ประสบความสำเร็จในการพัฒนา lactotripeptides ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่ ที่มีฤทธิ์ต้านความดันโลหิตสูง โดยเฉพาะการแยก isoleucine-proline-proline (IPP) จากน้ำนมวัว และใช้ใน functional foods เพื่อควบคุมความดันโลหิต นอกจากนี้เปปไทด์ที่แสดงความสามารถในการต้านความดันโลหิตสูงยังพบได้ในผลิตภัณฑ์นมหมักและโปรตีนที่ถูกไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ เช่น เคซีน เวย์โปรตีน และเนื้อปลา เนื่องจากเปปไทด์เหล่านี้มีกิจกรรมของ ACE inhibitor (Panesar & Marwaha,

2014) ตัวอย่างเช่น Tiina *et al*. (2005) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์นมหมักด้วย *Lactobacillus helveticus* เป็น functional foods ที่สามารถลดความดันโลหิตในผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย tripeptide ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ IPP และ valine-proline-proline (VPP) ในปริมาณสูง

โปรตีนจากพืชโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่เหมาะสมในการทดแทนโปรตีนจากสัตว์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า มีคุณค่าทางโภชนาการที่เพียงพอ เป็นแหล่งของใยอาหาร แคลเซียม และเหล็ก มีกรดไขมันอิ่มตัวต่ำและคอเลสเตอรอลต่ำ และที่สำคัญโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี จึงมีประโยชน์ในการป้องกันโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคไขมันในเลือดสูง โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ และโรคเบาหวาน เป็นต้น (Srichamroen, 2012; Boye, 2015) โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) เป็นโปรตีนจากพืชที่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมันได้ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองยับยั้งการแสดงออกของยีนสำหรับการสังเคราะห์ไลโปเจนิกเอนไซม์ (lipogenic enzyme) ในตับ ทำให้กรดไขมันถูกสังเคราะห์น้อยลง และลดระดับไขมันในร่างกายได้ ทั้งนี้ FDA แนะนำให้บริโภคโปรตีนถั่วเหลืองเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยควรรับประทานโปรตีนถั่วเหลืองวันละ 25 กรัม ซึ่งการบริโภคโปรตีนถั่วเหลืองที่เป็นอาหารที่มีไขมันอิ่มตัวต่ำและคอเลสเตอรอลต่ำอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ (Boye, 2015)

ปัจจุบันหลายบริษัทได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ functional foods ที่ประกอบด้วยเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพและวางขายในท้องตลาดอย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวอ้างทางสุขภาพสำหรับลดความดันโลหิต ได้แก่ Evolus เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่ประกอบด้วย β-และ κ-casein ผลิตโดยบริษัท Valio ประเทศฟินแลนด์ ผลิตภัณฑ์ peptide soup เป็นซุปที่ประกอบด้วยเปปไทด์ ผลิตโดยบริษัท Nippon ประเทศญี่ปุ่น และเครื่องดื่ม casein DP peptio drink ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย dodecapeptide ผลิตโดยบริษัท Kanebo ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่กล่าวอ้างทางสุขภาพด้านอื่นๆ เช่น BioPURE-GMP เป็นผลิตภัณฑ์เวย์โปรตีนไฮโดรไลเซต ผลิตโดยบริษัท Davisco ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้สามารถต้านทานมะเร็ง ต้านจุลชีพ และต้านทานการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดได้ ผลิตโดยบริษัท Davisco ประเทศสหรัฐอเมริกา (Boye, 2015)

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน

กรดไขมันไม่อิ่มตังเชิงซ้อน หรือ PUFAs หมายถึง กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไป มีหน้าที่พื้นฐานต่อร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน ใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม และการแสดงของยีน (Boye, 2015) PUFAs ที่เป็นลิพิดเชิงหน้า (functional lipids) สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) กรดไขมันโอเมก้า-3 เช่น α-linolenic acid (ALA, 18:3), steridonic acid (STA; 18:4), eicosapentaenoic acid (EPA; 20:5) และ docosahexaenoic acid (DHA, 22:6)

2) กรดไขมันโอเมก้า-6 เช่น conjugated linoleic acid (CLA, 18:2), gamma-linolenic acid (GLA; 18:3) และ arachidonic acid (ARA หรือ AA; 20:4) (Shetty *et al*., 2006; Boye, 2015)

PUFAs เหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกายนอกเหนือจากหน้าที่พื้นฐาน ได้แก่ ต้านทานการอักเสบ ปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน ป้องกันโรคหัวใจ และต้านทานหลอดเลือดแดงแข็ง (Boye, 2015) แหล่งและหน้าที่ทางชีวภาพของ PUFAs ที่สำคัญและการประยุกต์ใช้แสดงดังตารางที่ 2

ทั้งนี้ DHA และ EPA จัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสายยาว (long chain polyunsaturated fatty acids; LC-PUFAs) (กรดไขมันที่มีความยาวของสายคาร์บอนตั้งแต่ 20 ขึ้นไป และมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลไม่ต่ำกว่า 2 ตำแหน่ง) ที่มี

ความสำคัญต่อร่างกาย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่มีความจำเป็นของเซลล์เมมเบรนของสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง โดยเฉพาะเซลล์ประสาทของมนุษย์ (Adarme-Vega *et al*., 2014) อีกทั้ง LC-PUFAs ยังทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของ eicosanoids เช่น prostaglandins และ leukotrienes ซึ่งเป็นสารต้านทานการอักเสบและป้องกันเซลล์ประสาท (Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015) นอกจากนี้มีรายงานว่า การบริโภคโอเมก้า-3 สายยาว (long chain omega-3; LC-omega-3) โดยเฉพาะ EPA และ DHA สามารถลดความเสี่ยงต่อภาวะความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นผิดปกติ (cardiac arrhythmia) กล้ามเนื้อหัวใจตาย (myocardial infarction) และภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือด (thrombosis) ซึ่งมีผลต่อการป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โอเมก้า-3 สายยาวยังสามารถบำรุงระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยในการพัฒนาสมองของทารกในครรภ์มารดาและเด็ก ปรับปรุงหรือป้องกันหน้าที่ทางการรับรู้ในคนสูงอายุ และลดความเสี่ยงต่อภาวะเมตาบอลิกซินโดรม (metabolic syndrome) เช่น โรคอ้วน (Shahidi, 2012; Adarme-Vega *et al*., 2014; Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015)

ตารางที่ 2 แหล่งและหน้าที่ทางชีวภาพของ PUFAs ที่สำคัญ และการประยุกต์ใช้

แหล่ง	กลุ่มโอเมก้า-6		กลุ่มโอเมก้า-3	
	GLA	ARA	EPA	DHA
พืชและสัตว์	พืช: *Oenother, Borago, Ornithogalum* spp.	ปลา: *Brevoortia, Clupea, Sardina* spp. และเนื้อเยื่อสัตว์ (animal tissues)	ปลา: *Clupea, Sardina* spp., *Salmo salar*	ปลา: *Brevoortia, Engraulis, Sardina, Scomber* spp.
จุลินทรีย์	ฟังไจ: *Mucor, Mortierella* spp. สาหร่าย: *Chlorella, Spirulina* spp.	ฟังไจ: *Pythium, Mortierella* spp. สาหร่าย: *Porphyridium* spp.	ฟังไจ: *Mortierella*, *Pythium* spp. สาหร่าย: *Chlorella, Monodus, Porphyidium, Nannochloropsis* spp.	ฟังไจ: *Thraustochytrium, Entomophthora* spp. สาหร่าย: *Gonyaulax, Gyrodinium, Crytheconidium, Schyzochytrium* spp.
อาหาร	น้ำมันอีฟนิ่งพริมโรส	ตับ, lecithin ในไข่แดง	ปลาแซลมอล ทูน่า ซาดีน ปลาค็อด สัตว์น้ำมีเปลือกสาหร่าย	ปลาน้ำเย็น สัตว์น้ำมีเปลือกสาหร่าย
หน้าที่ทางชีวภาพ	เป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์กรดไขมันอื่นๆ และเป็นสารตั้งต้นของ prostaglandin PGE1	เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์เมมเบรน ฟอสโฟลิพิด และเป็นสารตั้งต้นของ prostaglandin PGE2	เป็นสารตั้งต้นของ prostaglandin PGE3, ป้องกันภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือด ยับยั้งการผลิต n-6 eicosanoids, ปรับสมดุลหน้าที่ของภูมิคุ้มกัน	ป้องกันจอตาและสมองเนื้อสีเทาของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีผลต่อการมองเห็นและการพัฒนาระบบประสาทของเด็กทารก
คุณค่าทางโภชนาการและการประยุกต์	รับประทานเสริมสำหรับโรคผิดปกติหลายชนิด เช่น โรคผิวหนังอักเสบ (eczema)	เป็นส่วนประกอบในสูตรนมผงสำหรับเด็กทารกร่วมกับ DHA	มีประโยชน์ต่อการรักษาระดับลิพิดในเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ข้ออักเสบ ความดันโลหิตสูง โรคสะเก็ดเงิน โรคผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันและมะเร็ง สามารถนำมาใช้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อเสริมในอาหาร, DHA ใช้เป็นส่วนประกอบในนมผงสำหรับเด็กทารกเพื่อพัฒนาการมองเห็นและความจำ	

ที่มา: Shetty *et al*. (2006), Handayania *et al*. (2012), Ravishankar (2016)

องค์การอนามัยโรค (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) แนะนำให้บริโภค DHA และ EPA รวมกันวันละ 400-1000 มิลลิกรัมต่อวัน (หรือกินปลาประมาณ 1-2 มื้อต่อสัปดาห์) นอกจากนี้หน่วยงาน European Food Safety Authority แนะนำให้บริโภค DHA และ EPA รวมกันปริมาณ 250 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ และ 350-450 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ที่ตั้งครรภ์และให้นมบุตร ขณะที่ European Society of Cardiology แนะนำให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดควรบริโภค DHA และ EPA รวมกันวันละ 10000 มิลลิกรัม (Boye, 2015)

ทั้งนี้ PUFAs สามารถพบได้ในอาหารตามธรรมชาติโดยเฉพาะปลาและอาหารทะเล นอกจากนี้ยังพบได้ในน้ำนมแม่ สาหร่ายทะเล พืชบางชนิด เช่น อะโวกาโด เนยถั่วลิสง นัท และเมล็ดพืช เช่น เมล็ดแฟลกซ์ (flaxseeds) วอลนัท และเมล็ด

ฟักทอง และน้ำมันจากพืช เช่น น้ำมันคาโนลา น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ น้ำมันงา น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวัน อย่างไรก็ตาม LC-PUFAs โดยเฉพาะ DHA และ EPA สามารถได้รับจากบริโภคปลาและอาหารทะเล (Gogus & Smith, 2010; Boye, 2015) แต่ไม่สามารถได้รับจากพืช เนื่องจากพืชไม่สามารถสังเคราะห์ LC-PUFAs ได้ (Adarme-Vega *et al*., 2014) ตัวอย่างอาหารที่อุดมไปด้วย DHA และ EPA ได้แก่ ปลาเฮอร์ริ่ง ปลาแซลมอล ปลาซาดีน ปลาทูน่า ปลาซาดีนบรรจุกระป๋องในซอสมะเขือเทศหรือในน้ำมัน แมกเคอเรลบรรจุกระป๋อง และแซลมอลบรรจุกระป๋อง (Boye, 2015) นอกจากนี้อาหารที่ประกอบด้วยโอเมก้า-3 หลายชนิดได้ถูกพัฒนาและวางขายในท้องตลาด เช่น Omega-3 whole milk เป็นผลิตภัณฑ์นมที่ประกอบด้วย LC-omega-3 ได้แก่ EPA และ DHA ในปริมาณสูง ผลิตโดยบริษัท Organic Valley ประเทศสหรัฐอเมริกา (Organic Valley, 2018) Tropicana Pure Premium เป็นผลิตภัณฑ์น้ำส้มที่ประกอบด้วยโอเมก้า-3 (EPA และ DHA) ผลิตโดยบริษัท Tropicana ประเทศสหรัฐอเมริกา (Tropicana, 2017) Kellogg's Raisin Bran® เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืชประกอบด้วยเมล็ดแฟลกซ์ซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า-3 และกรดแอลฟา-ลิโนเลนิก (α-linolenic acid; ALA) ผลิตโดยบริษัท Kellogg ประเทศสหรัฐอเมริกา (Kellogg, 2017) เป็นต้น

3. ใยอาหาร

ใยอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อยได้ (non-digestible carbohydrates) ในร่างกายมนุษย์ (Slavin, 2013) ได้แก่ non-digestible disaccharide (NDD), non-digestible oligosaccharide (NDO) และ non-digestible polysaccharide (NDP) ซึ่งพบในผนังเซลล์ของพืช เช่น ผัก ผลไม้ และเมล็ดธัญพืช (Panesar & Marwaha, 2014) ใยอาหารมี glycosidic bond ที่ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมได้ในทางเดินอาหารของมนุษย์อยู่ในโครงสร้าง จึงไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานต่ำ อย่างไรก็ตามใยอาหารบางชนิดสามารถถูกย่อยได้ด้วยจุลินทรีย์เจ้าถิ่นชนิดดีในลำไส้ (gut microflora เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli) จึงจัดว่าเป็นพรีไบโอติก (Ravishankar, 2016) ใยอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble fiber) เป็นใยอาหารที่แบคทีเรียชนิดดีที่อาศัยในลำไส้สามารถย่อยหรือหมักได้ จึงจัดเป็นพรีไบโอติก นอกจากนี้ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ยังมีผลกระทบต่อการดูดซึมกลูโคสและลิพิด ซึ่งช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด (Slavin, 2013; Boye, 2015) ตัวอย่างใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เบต้า-กลูแคน, อินูลิน (inulin), ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS), กาแลคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (galactooligosaccharide; GOS), กัม (gum) และไดแซ็กคาไรด์บางชนิด เช่น แลคตูโลส (lactulose) (Slavin, 2013) ซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์ที่สังเคราะห์จากฟรุกโตสและกาแลคโตส (National Center for Biotechnology Information, 2018)

3.2 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) หมายถึง ใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะพองตัวในน้ำเหมือนฟองน้ำ ทำให้เพิ่มปริมาตรอาหารในกระเพาะอาหาร จึงรู้สึกอิ่ม ช่วยเพิ่มมวลอุจจาระ และลดปัญหาท้องผูกได้ (Slavin, 2013; Boye, 2015) ใยอาหารประเภทนี้แบคทีเรียในลำไส้ส่วนใหญ่จะไม่สามารถย่อยได้ อย่างไรก็ตามพบว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดสามารถถูกหมักได้ด้วยจุลินทรีย์เจ้าถิ่นชนิดดีในลำไส้ จึงทำให้มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ตัวอย่างใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) (Slavin, 2013)

หลายการศึกษารายงานว่าใยอาหารสามารถช่วยความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังบางชนิดได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง โดยช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ เพิ่ม HDL ลดระดับคอเลสเตอรอลในบุคคลที่มีภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ช่วยลดความดันเลือด ต้านทานการอักเสบ ยับยั้งและลดการเจริญของเซลล์มะเร็งและเนื้องอก นอกจากนี้ใยอาหารยังมีบทบาทต่อการควบคุมน้ำหนักและโรคอ้วน โดยใยอาหารสามารถช่วยควบคุมความหิว ทำให้รู้สึกอิ่ม และลดการบริโภค

อาหารในปริมาณที่มากเกินไป (Slavin, 2013; Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015) Institute of Medicine แนะนำให้บริโภคใยอาหารตามอายุและเพศ โดยเพศชายที่มีอายุ 19-50 ปี ควรบริโภคใยอาหาร 38 กรัมต่อวัน เพศชายที่มีอายุมากกว่า 50 ปี ควรบริโภค 30 กรัมต่อวัน เพศหญิงที่มีอายุ 19-50 ปี ควรบริโภค 25 กรัมต่อวัน และเพศหญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปี ควรบริโภค 21 กรัมต่อวัน (Boye, 2015)

อาหารตามธรรมชาติที่เป็นแหล่งของใยอาหาร ได้แก่ เมล็ดพืช (grain) พืชตระกลูถั่ว และผัก โดยรำข้าวสาลีและเมล็ดพืชไม่ขัดสี (whole grain) เช่น ข้าวกล้อง เมล็ดธัญพืช ขนมปังโฮลวีท และเปลือกผักและผลไม้ อุดมไปด้วยใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ขณะที่ใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถพบได้ในข้าวโอ๊ต พืชตระกูลถั่ว (เช่น ถั่วลันเตา ถั่วแดงหลวง และถั่วเลนทิล) เมล็ดพันธุ์พืช (seed) บางชนิด ข้าวกล้อง ข้าวบาร์เลย์ ผลไม้ (เช่น แอปเปิ้ล และผลไม้ตระกูลส้ม) ผักสีเขียวบางชนิด (เช่น บรอกโคลี) และมันฝรั่ง (Boye, 2015)

4. โพรไบโอติกและพรีไบโอติก

องค์การ FAO/WHO ให้คำนิยาม “โพรไบโอติก” หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพเมื่อได้รับในปริมาณที่เพียงพอ ขณะที่ “พรีไบโอติก” หมายถึง ส่วนของอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพของโฮสต์ โดยกระตุ้นการเจริญหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์เจ้าถิ่นชนิดดีในลำไส้ใหญ่ และดังนั้นจึงปรับปรุงสุขภาพของโฮสต์ (Slavin, 2013; Boye, 2015; Younis *et al*., 2015) โดยสรุปแล้ว พรีไบโอติก คือ อาหารของจุลินทรีย์โพรไบโอติก ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ เช่น ใยอาหารบางชนิด ได้รับการพิจารณาว่าเป็นพรีไบโอติก และโดยส่วนใหญ่แล้วพรีไบโอติกมักเป็นน้ำตาลจำพวกโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Gibson, 2004) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาหารหรือเครื่องดื่มที่ต้องการเน้นประโยชน์ต่อสุขภาพโดยประกอบด้วยโพรไบโอติกและพรีไบโอติกเรียกว่า “synbiotic” (Nagpal *et al*., 2012)

โพรไบโอติกมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์หลายประการ ได้แก่ ปรับปรุงสุขภาพของลำไส้โดยควบคุมหรือปรับสมดุลจุลินทรีย์ ป้องกันและรักษาภาวะท้องเสีย กระตุ้นและพัฒนาระบบภูมิคุ้มกัน ป้องกันภาวะภูมิแพ้และโรคผิวหนังอักเสบ ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ลดภาวะไม่ทนต่อน้ำตาลแลคโตส และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคบางชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และโรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร (Jankovic *et al*., 2010; Nagpal *et al*., 2012; Kun, 2013; Panesar & Marwaha, 2014)

บทบาทที่สำคัญของโพรไบโอติกคือสามารถป้องกันและรักษาภาวะท้องเสียเฉียบพลันที่มีสาเหตุจากไวรัสและแบคทีเรีย โดยโพรไบโอติกสายพันธุ์ที่เฉพาะเจาะจง ได้แก่ *Lactobacillus* GG, *Lb. reuteri, Saccharomyces boulardii* และ *Bifidobacterium* spp. สามารถป้องกันและรักษาอาการท้องเสียที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยาปฏิชีวนะ (antibiotic-associated diarrhea) อาการท้องเสียในนักท่องเที่ยว (travelers’ diarrhea) และอาการท้องเสียในเด็กที่มีสาเหตุจากไวรัสโรตา (rotavirus) เป็นต้น (Parvez *et al*., 2006; Panesar & Marwaha, 2014) กลไกของโพรไบโอติกในการป้องกันหรือบรรเทาภาวะท้องเสียอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของโพรไบโอติกต่อระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งทำให้มีการเพิ่มขึ้นของอิมมิวโนโกลบูลิน เอ (Immunoglobulin A; IgA) นอกจากนี้โพรไบโอติกอาจป้องกันการติดเชื้อหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคเนื่องจากโพรไบโอติกแข่งขันกับไวรัสหรือแบคทีเรียก่อโรคในการเกาะบนเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้ (epithelial cell) รวมทั้งผลิตแบคทีริโอซิน (bacteriocin) เช่น ไนซิน (nisin) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียบางชนิด (Parvez *et al*., 2006) โดยโพรไบโอติกสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจะสามารถผลิตสารต้านจุลชีพได้แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น *Lb. acidophilus* ผลิต acidolin, acidophilin, lactocidin และ lactocin B ขณะที่ *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ผลิต bulgarican เป็นต้น นอกจากโพรไบโอติกจะผลิตสารต้านจุลชีพแล้ว

โพรไบโอติกกลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ยังผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดซิตริก และสารเมแทบอไลต์อื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านจุลชีพ สารเหล่านี้ที่โพรไบโอติกผลิตจะทำให้สภาวะแวดล้อมในลำไส้ของมนุษย์ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (Nagpal *et al*., 2012)

โพรไบโอติกเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่นิยมนำมาผลิตอาหารเพื่อสุขภาพซึ่งเรียกว่า อาหารโพรไบโอติก (probiotic foods) ทั้งนี้ FDA แนะนำให้ อาหารโพรไบโอติกต้องประกอบด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตอยู่ไม่น้อยกว่า 10^6 cfu/g ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Tripathi & Giri, 2014) โพรไบโอติกที่นิยมใช้ในอาหาร ได้แก่ จีนัส *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* เนื่องจากจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้เป็นจุลินทรีย์เจ้าถิ่นชนิดดีที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์ และได้รับการพิจารณาแล้วว่ามีความปลอดภัยต่อการบริโภค (generally recognized as safe; GRAS) นอกจากนี้จีนัสอื่น ได้แก่ *Lactococcus, Enterococcus, Propionibacterium* และยีสต์ เช่น *Saccharomyces cerevisiae*, *S. boulardii* ยังถูกนำมาใช้เป็นโพรไบโอติกในอาหาร เนื่องจากมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงสุขภาพของมนุษย์ (Nagpal *et al*., 2012; Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015)

หลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารโพรไบโอติกมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น Juan and Chou (2010) รายงานว่าถั่วเหลืองผิวดำ (black soybean) ที่หมักด้วยโพรไบโอติก *Bacillus subtilis* BCRC 14715 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชและฤทธิ์การรวมตัวกับเหล็กสูงกว่าถั่วเหลืองผิวดำที่ไม่ได้ผ่านการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) นอกจากนี้ Laino *et al.* (2013) รายงานว่า โยเกิร์ตที่หมักด้วยกล้าเชื้อโยเกิร์ต ได้แก่ *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CRL871 รวมกับ *Streptococcus thermophiles* CRL803 และ CRL415 มีปริมาณโฟเลตสูงกว่านมวัวที่ไม่ผ่านการหมักและผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้าถึง 250% และ 125% ตามลำดับ

พรีไบโอติกสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) NDD เช่น แลคตูโลส, 2) NDO เช่น FOS, GOS, กูลโคโอลิโกแซ็กคาไรด์ (glucooligosaccharide) และ ไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (xylooligosaccharide) และ 3) NDP เช่น อินูลิน และแป้งต้านทานการย่อย (resistant starch) (Panesar & Marwaha, 2014) พรีไบโอติกโดยเฉพาะกลุ่ม NDO นิยมนำมาผลิตเป็น nutraceuticals และประยุกต์ใช้ใน functional foods เนื่องจากพรีไบโอติกมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของลำไส้และโรคในระบบทางเดินอาหารโดยกระตุ้นกิจกรรมและการเจริญของจุลินทรีย์เจ้าถิ่นที่จำเพาะเจาะจงในลำไส้ และป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรค ป้องกันหรือรักษาโรคมะเร็ง ลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (Boye, 2015; Ravishankar, 2016)

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารที่ประกอบด้วยโพรไบโอติกและ/หรือพรีไบโอติกหลายชนิดได้ถูกพัฒนาและวางขายในตลาด ตัวอย่างเช่น Activia เป็นโยเกิร์ตที่ประกอบด้วยโพรไบโอติก *Bifidus ActiRegularis*® (*Bifidobaterium lactis* CNCM I-2494) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ถูกจดสิทธิบัตร ภายใต้กรรมสิทธิ์ของ Activia® ผลิตโดยบริษัท Danone ประเทศฝรั่งเศส (Danone, 2018) Proviva เป็นผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้และโยเกิร์ตกลิ่นรสต่างๆ ประกอบด้วย *Lb. plantarum* ผลิตโดยบริษัท Skane mejerier ประเทศสวีเดน Vitality เป็นโยเกิร์ตที่ประกอบด้วยพรีไบโอติก โพรไบโอติก และโอเมก้า-3 ผลิตโดยบริษัท Muller ประเทศเยอรมัน (Boye, 2015) และนมผงเด็กไฮคิว 1 พลัส ซูเปอร์โกลด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติก (*Bifidobacterium breve* M-16V) พรีไบโอติก (GOS และ FOS) โอเมก้า-3, -6 และ -9 ผลิตโดยบริษัท Dumex ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น (Dumex, 2015)

5. สารพฤกษเคมีและไฟโตเอสโตรเจน

สารพฤกษเคมี คือ สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่พบในพืช เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยสามารถยับยั้งการอักเสบ ลดระดับ LDL-C และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านทานจุลชีพของสารพฤกษเคมียังอาจสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ร่างกายที่สัมพันธ์ต่อการเกิดโรคตัวอย่างสารพฤกษเคมีที่พบในพืชและอาหาร ได้แก่ flavonoids (flavanols, flavones, flavanones, flavanonols, isoflavones และ anthocyanidins), carotenoids และสารพอลิฟีนอลอื่นๆ (Boye, 2015; Shahidi & Ambigaipalan, 2015)

Flavonoids เป็นกลุ่มของสารที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) 2 วงแหวน เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม พืชที่เป็นแหล่งของ flavonoids ได้แก่ ผลไม้ตระกูลส้ม หัวหอม แอปเปิ้ล บรอกโคลี เบอร์รี่ ทับทิม และชา โดย flavanols, flavones และ flavanones เป็น flavonoid หลักที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม นอกจากนี้ flavanols ยังพบได้สูงในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโกโก้และช็อกโกแลตดำ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการขยายตัวของหลอดเลือด ดังนั้นจึงอาจสามารถลดความดันโลหิตและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Boye, 2015) flavonoids ยังแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้มีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันมะเร็งและยับยั้งการพัฒนาของเนื้องอกในสัตว์ อีกทั้ง flavonoids แสดงความสามารถในการต้านภูมิแพ้ ต้านทานการอักเสบ ต้านไวรัส ยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์ และช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน ความเสื่อมของการมองเห็น และความเสื่อมถอยในวัยชรา (Panesar & Marwaha, 2014)

Carotenoids เป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่ถูกสังเคราะห์จากพืช สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) xanthophylls (ประกอบด้วยออกซิเจนในโมเลกุล) เช่น lutein และ zeaxanthin เป็นรงควัตถุให้สีเหลือง พบมากในไข่แดงและผักใบเขียว และ 2) carotenes (ปราศจากออกซิเจนในโมเลกุล) เช่น α-และ β-carotene และไลโคปีน เป็นสารให้สีชมพู-แดง และสีส้ม พบในผักและผลไม้ การบริโภค carotenoids จะสามารถปรับปรุงสุขภาพได้ เนื่องจาก carotenoids มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและโรคตา (Boye, 2015) จากการศึกษาทางระบาดวิทยารายงานว่า การบริโภคผักและผลไม้ในปริมาณสูงสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ นอกจากนี้การบริโภค carotenoids ในปริมาณสูงสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดเนื่องจากกิจกรรมของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Panesar & Marwaha, 2014)

ไลโคปีนเป็น carotenoid หลักที่พบในมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังพบได้ในแตงโม มะละกอ มันฝรั่ง และผลไม้อื่นๆ (Boye, 2015) หลายการศึกษารายงานว่า การบริโภคอาหารที่อุดมไปด้วยไลโคปีนอาจสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งเต้านม มะเร็งระบบทางเดินอาหาร มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งปากมดลูก มะเร็งปอด และเซลล์เยื่อบุผิวอื่นๆ นอกจากนี้ไลโคปีนยังสามารถป้องกันภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (anti-atherosclerosis) โดยป้องกันพลาสมาลิพิดจากการออกซิเดชัน (Panesar & Marwaha, 2014) และการบริโภคมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศในปริมาณสูงจะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของไลโคปีนในซีรัม ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) โดยเฉพาะโรคหลอดเลือดสมองชนิดสมองขาดเลือด (ischemic stroke) ในผู้ชาย (Karppi *et al*., 2012)

ไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogen) คือ สารฟีนอลลิกจากพืชที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สารไฟโตเอสโตรเจน ได้แก่ isoflavones, coumestans และ lignins สามารถพบได้ในถั่วเหลือง โคลเวอร์ (clover) ต้นอ่อนอัลฟัลฟ่า (alfalfa sprouts) และเมล็ดน้ำมันพืช (เช่น เมล็ดแฟลกซ์) ทั้งนี้ถั่วเหลืองประกอบไปด้วย

isoflavones ได้แก่ genistein, daidzein และมี glycitein ในปริมาณเล็กน้อย ขณะที่เมล็ดแฟลกซ์อุดมไปด้วย lignin ได้แก่ secoisolarciresinol diglucoside, matairesinol, pinoresinol และ lariciresinol และโคลเวอร์ประกอบไปด้วย daidzein, formononetin, genistein และ biochanin (Panesar & Marwaha, 2014; Boye, 2015)

ไฟโตเอสโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อโรคอ้วนและโรคเบาหวาน โดยปรับปรุงการควบคุมกลูโคสและภาวะดื้อต่ออินซูลินโดยควบคุมกลไกการหลั่งอินซูลินจากตับอ่อน (Boye, 2015) นอกจากนี้ไฟโตเอสโตรเจนโดยเฉพาะ isoflavones มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ 4 ประการ ได้แก่ 1) ป้องกันโรคหัวใจ 2) ป้องกันโรคมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งลำไส้ใหญ่ 3) เพิ่มความหนาแน่นของกระดูกซึ่งช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน และ 4) ลดอาการหลังหมดประจำเดือน การบริโภคถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เช่น เต้าหู้ สัมพันธ์ต่อการลดอุบัติการณ์การเป็นมะเร็งเต้านมในผู้หญิงของประเทศญี่ปุ่น (Panesar & Marwaha, 2014) อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าเอสโตรเจนสามารถสนับสนุนการเกิดเนื้องอกที่เต้านม โดยบางการศึกษาพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอุบัติการณ์มะเร็งเต้านมจากการได้รับเอสโตรเจนอย่างอ่อนของไฟโตเอสโตรเจน ซึ่ง isoflavones (genistein และ daidzien) สามารถจับกับตัวรับเอสโตรเจน (estrogen receptors) และพยายามทำหน้าที่คล้ายกับเอสโตรเจน โดยกระตุ้นการเจริญของเซลล์เนื้องอกที่ไวต่อเอสโตรเจน ดังนั้นในผู้หญิงที่มีความเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านมหรือครอบครัวมีประวัติเป็นมะเร็งเต้านมไม่ควรบริโภคอาหารที่มีถั่วเหลืองในปริมาณสูง (Vitale *et al*., 2013; Boye, 2015)

ทั้งนี้ FDA พิจารณาแล้วว่าอาหารที่เติม isoflavones มีความปลอดภัยต่อการบริโภค (GRAS) (Boye, 2015) อย่างไรก็ตาม isoflavones เป็นเอสโตรเจนอย่างอ่อนซึ่งนักวิทยาศาสตร์กังวลว่าอาจจะส่งผลเสียต่อสุขภาพหากบริโภคในปริมาณมากเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพจึงแนะนำให้บริโภค isoflavones ปริมาณ 35-55 มิลลิกรัมต่อวัน และไม่ควรบริโภคเกินวันละ 100 มิลลิกรัม อาหารที่ประกอบด้วย isoflavones จากถั่วเหลือง ได้แก่ ถั่วเหลืองต้ม (isoflavone 54 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม) เต้าหู้ (isoflavone 28 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม) นมถั่วเหลือง (isoflavone 10 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม) และแป้งถั่วเหลือง (isoflavone 40 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม) เป็นต้น ขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองและซอสถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจาก soy isoflavones (Brown, 2001)

นอกจากสารพฤกษเคมี เช่น รงควัตถุจากพืช จะได้รับการพิจารณาว่าเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแล้ว รงควัตถุหลายชนิดที่ผลิตจากจุลินทรีย์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่นรงควัตถุจากรา *Monascus* spp. ทั้งนี้รงควัตถุที่ผลิตจากรา *Monascus* spp. ประกอบด้วย 3 สีหลัก ได้แก่ รงควัตถุสีเหลือง (monascin และ ankaflavin) รงควัตถุสีส้ม (rubrapunctatin และ monascorubrine) และรงควัตถุสีแดง (rubropunctamine และ monascorubramine) ซึ่งรงควัตถุที่ผลิตจากรา *Monascus* spp. นั้นถือว่ามีความปลอดภัยต่อการบริโภค (GRAS) (Patcharee *et al*., 2007; Chen *et al*., 2015) หลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า รงควัตถุจากรา *Monascus* spp. มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Chen *et al*., 2015) โดยเฉพาะรงควัตถุสีเหลืองแสดงคุณสมบัติต้านทานการอักเสบ ต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ ต้านทานภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (Lee *et al*., 2006; Lee *et al*., 2010; Hsu *et al*., 2013) และต้านทานภาวะไขมันในเลือดสูง โดยสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด ไตรกลีเซอไรด์ และ LDL-C ขณะที่สามารถเพิ่มปริมาณ HDL-C ในเซรั่มของหนูแฮมเตอร์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีผลข้างเคียงต่อการเกิดภาวะกล้ามเนื้อสลายตัว (rhabdomyolysis) (Lee *et al*., 2013) นอกจากนี้ Chen *et al*. (2016) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์ ANKASCIN 568 plus (ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักข้าวด้วยรา *M. purpureus* NTU 568 ประกอบด้วย

monascin 7.50 mg และ ankaflavin 3.50 mg) สามารถลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชั่น (oxidative stress) ในสมอง และช่วยปรับปรุงความสามารถในการจำและการเรียนรู้ของหนูที่เหนี่ยวนำให้เป็นโรคอัลไซเมอร์

จากประโยชน์ของรงควัตถุจากรา *Monascus* ดังที่กล่าวมา ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยรา *Monacus* spp. เช่น ข้าวแดง (ข้าวที่หมักด้วยรา *M. purpureus*) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหารเพื่อเพิ่มประโยชน์ต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น Jirasatid and Nopharatana (2018) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหมากเสริมข้าวแดงซึ่งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเสริมข้าวแดงความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2 และ 0.3% มีผลทำให้ปริมาณรงควัตถุ (สีเหลือง สีส้ม และสีแดง) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวหมากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) นอกจากนี้ข้าวหมากที่เสริมข้าวแดงที่ 0.3% ยังมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นยกเว้นตัวอย่างควบคุม (หมากข้าวที่ปราศจากข้าวแดง) (p<0.05) ทั้งนี้แหล่งและประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหารเพื่อสุขภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แหล่งและประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหารเพื่อสุขภาพ

ประเภท	แหล่ง	ประโยชน์ต่อสุขภาพ
Soy protein*	ถั่วเหลือง และอาหารจากถั่วเหลือง	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease; CHD)
LC ω-3 FA (EPA/DHA) *	ปลาแซลมอล ปลาทูน่า ปลาทะเล และน้ำมันปลา	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิด CHD รักษาสุขภาพตาและสุขภาพจิต
Fiber		
insoluble fiber	ข้าวสาลี เปลือกผลไม้	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม และมะเร็งลำไส้ใหญ่
β-glucan*	รำข้าวโอ๊ต โจ๊กข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิด CHD ป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคมะเร็งบางชนิด ช่วยลดระดับ LDL และคอเลสเตอรอลทั้งหมด
soluble fiber*	ไซเลียม (เมล็ดของต้น *Plantago psyllium*) ถั่ว แอปเปิ้ล ผลไม้ตระกูลส้ม	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิด CHD และโรคมะเร็งบางชนิด
whole grains*	เมล็ดธัญพืช ข้าวกล้อง	อาจลดความเสี่ยงต่อการเกิด CHD และโรคมะเร็งบางชนิด และช่วยรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้อยู่ในระดับปกติ
Prebiotic		
inulin, FOS, polydextrose	เมล็ดธัญพืช หัวหอม ผลไม้บางชนิด กระเทียม กล้วย น้ำผึ้ง อาหารหรือเครื่องดื่มที่เติมพรีไบโอติก	ปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ และช่วยดูดซึมแคลเซียม
Probiotic		
yeast, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* และแบคทีเรียสปีชีส์อื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ	โยเกิร์ต ผลิตภัณฑ์นมหมัก อาหารหรือเครื่องดื่มที่เติมโพรไบโอติก	ปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ และภูมิคุ้ม และประโยชน์จากสายพันธุ์ที่เฉพาะเจาะจง
Flavonoids		
anthocyanidins	ผลไม้	ต้านอนุมูลอิสระและอาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
catechins	ชา	ต้านอนุมูลอิสระและอาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
flavonones	พืชตระกูลส้ม	ต้านอนุมูลอิสระและอาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
flavones	ผลไม้และผัก	ต้านอนุมูลอิสระและอาจลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
Carotenoids		
α-carotene/β-carotene	แครอท ผักและผลไม้	ลดสารอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บของเซลล์
lutein	ผักสีเขียว	อาจลดความเสี่ยงของจอประสาทตาเสื่อมและรักษาสุขภาพตา
lycopene	ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ	อาจลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งต่อมลูกหมาก
Isoflavones	ถั่วเหลือง และอาหารจากถั่วเหลือง	ช่วยลดอาการของวัยหมดประจำเดือน

*FDA ได้พิสูจน์ข้อกล่าวอ้างทางสุขภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแล้ว

ที่มา: International Food Information Council Foundation (2011), Panesar & Marwaha (2014), Boye (2015)

บทสรุป

จากการศึกษาทางระบาดวิทยาและคลินิกวิทยาของหลายงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ต่อสุขภาพและการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคจากการบริโภคอาหาร ซึ่งทำให้ผู้บริโภคได้ตระหนักถึงการปรับปรุงสุขภาพที่เป็นผลมาจากการบริโภค functional foods และ/หรือ nutraceuticals โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมานักวิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ functional foods ตัวอย่างเช่น การค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดใหม่ การพัฒนาการกระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษา การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ในอนาคตนวัตกรรมการผลิต functional foods ยังคงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยผลิตภัณฑ์ควรให้คำกล่าวอ้างทางสุขภาพอย่างเหมาะสมเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

Adarme-Vega, T.C., Thomas-Hall, S.R. & Schenk, P.M. (2014). Towards sustainable sources for omega-3 fatty acids production. *Current Opinion in Biotechnology*, *26*, 14–18.

American Dietetic Association. (2009). Position of the American Dietetic Association: functional foods. *Journal of American Dietetic Association*, *109*, 735-746.

Boye, J.I. (2015). *Nutraceutical and Functional Food Processing Technology*. Oxford: John Wiley and Sons.

Brown, J.L. (2001). Soy protein and soy isoflavones. *Agricultual Sciences and Cooperative Extension*, The Pennsylvania State University.

Chen, C.L., Chang, K.Y. & Pan, T.M. (2016). *Monascus purpureus* NTU 568 fermented product improves memory and learning ability in rats with aluminium-induced Alzheimer's disease. *Journal of Functional Foods, 21*, 167-177.

Chen, C.W., He, Y., Zhou, Y., Shao, Y., Feng, Y. & Chen, F. (2015). Edible filamentous fungi from the species Monascus: Early traditional fermentations, modern molecular biology, and future genomics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 14*, 555-567.

Danone. (2018). *The science behind Bifidobacteria*. Retrieved October 14, 2018, from https://www.danoneactivia.co.uk/about-us/science-behind-bifidobacteria

Dumex. (2015). *Hi-Q plus supergold synbiotic proteq*. Retrieved August 17, 2018, from https://www.hifamilyclub.com/product/1-plus-super-gold?gclid=EAIaIQobChMI2q-8qZXz3AIVkjUrCh130gGmEAAYASAAEgJnh_D_BwE&gclsrc=aw.ds&dclid=CN2j9a2V89wCFZOblgod3UIGoQ

Fernandez, M. (2007). Application of biotechnology for functional foods. *Pew Initiative on Food and Biotechnology*, University of Richmond.

Gibson, G.R. (2004). From probiotics to prebiotics and a heathy digestive system. *Journal of Food Science, 69*(5), M141-M143.

Gogus, U. & Smith, C. (2010). n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge, *International Journal of Food Science and Technology*, *45*, 417-436.

Granato, D., Branco, G.F., Cruz, A.G., Faria, J.A.F. & Shan, N.P. (2010). Probiotic dairy products as functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *9*(5), 455-470.

Handayania, N.A., Ariyantib, D. & Hadiyanto. (2012). Potential production of polyunsaturated fatty acids from microalgae. *Scienceticreports*, *1*, DOI:10.4172.

Hasler, C.M. (1998). Function food: theirs role in disease prevention and health promotion. *Food Technology*, *52*(11), 63-70.

Health Canada. (1998). *Policy paper-Nutraceuticals/functional foods and health claims on foods*. Retrieved August 1, 2018, from http://publications.gc.ca/collections/Collection/H42-2-86-1998E.pdf

Henry, C.J. (2010). Functional foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, *64*, 657-659.

Hsu, L.C., Liang, Y.H., Hsu, Y.W., Kuo, Y.H. & Pan, T.M. (2013). Anti-inflammatory properties of yellow and orange pigments from Monascus purpureus NTU 568. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61*, 2796-2802.

International Food Information Council Foundation-IFIC. (2011). *Functional foods*. Retrieved September 8, 2017, from https://www.foodinsight.org

Jankovic, I., Sybesma, W., Phothirath, P., Ananta, E. & Mercenier, A. (2010). Application of probiotics in food products-challenges and new approaches. *Current Opinion in Biotechnology*, *21*, 175-181.

Jirasatid, S. & Nopharatana, M. (2018). Product Development of sweet fermented rice (Khoa-Mak) supplemented with red yeast rice. *International Journal of Agricultural Technology, 14,* 521-534.

Juan, M.Y. & Chou, C.C. (2010). Enhancement of antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of black soybeans by solid state fermentation with *Bacillus subtilis* BCRC 14715. *Food Microbiology*, *27*, 586-591.

Karppi, J., Laukkanen, J.A., Sivenius, J., Ronkainen, K. & Kurl, S. (2012). Serum lycopene decreases the risk of storke in men. *Neurology, 79*(15), 1540-1547.

Kellogg. (2017). *Kellogg's raisin bran® omega-3 from flaxseed cereal*. Retrieved August 17, 2018, from https://www.kelloggs.com/en_US/products/kellogg-s-raisin-bran-omega-3from-flaxseed-cereal-product.html

Laino, J.E., Valle, M.J., Giori, G.S. & LeBlane, J.G.J. (2013). Development of a high folate concentration yogurt naturally bio-enriched using selected lactic acid bacteria. *LWT-Food Science and Technology*, *54*, 1-5.

Lee, C.L., Hung, Y.P., Hsu, Y.W. & Pan, T.M. (2013). Monascin and ankaflavin have more anti-atherosclerosis effect and less side effect involving increasing creatinine phosphokinase activity than monacolin K under the same dosages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61*, 143-150.

Lee, C.L., Kung, Y.H., Wu, C.L., Hsu, Y.W. & Pan, T.M. (2010). Monascin and ankaflavin act as novel hypolipidemic and high-density lipoprotein cholesterol-raising agents in red mold dioscorea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*, 9013-9019.

Lee, C.L., Wang, J.J., Kuo, S.L. & Pan, T.M. (2006). *Monascus* fermentation of dioscorea for increasing the production of cholesterol-lowering agent-monacolin K and antiinflamation agent-monascin. *Applied Microbiology and Biotechnology, 72*, 1254-1262.

Kun, L.Y. (2013). *Microbial Biotechnology* (3rd ed.). Singapore: World Scientific Publishing.

Nagpal, R., Kumar, A., Kumar, M., Behare, P.V., Jain, S. & Yadav, H. (2012). Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: a review. *FEMS Microbiology Letters*, *334*(1), 1-15.

National Center for Biotechnology Information, the United State of America (USA). (2018). *Lactolose*. Retrieved October 11, 2018, from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/lactulose#section=Top

Organic Valley. (2018). *Omega-3 milk*. Retrieved August 17, 2018, from https://www.organicvalley.coop/products/milk/omega-3-milk/omega-3-whole-milk-ultra-pasteurized-half-gallon/

Panesar, P.S. & Marwaha, S.S. (2014). *Biotechnology Agriculture and Food Processing Opportunities and Challenges*. New York: Taylor and Francis Group.

Parvez, S., Malik, K.A., Ah Kang, S. & Kim, H.Y. (2006). Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. *Journal of Applied Microbiology*, *100*(6), 1171-1185.

Patcharee, P., Pinthong, R., Phianmongkhol, A. & Leksawasdi, N. (2007). Review of angkok production (*Monascus purpureus*). *Chiang Mai Journal of Science, 34*(3), 319-328.

Ravishankar, R.V. (2016). *Advances in Food Biotechnology*. Oxford: John Wiley and Sons.

Sanchez, A. & Vaquez, A. (2017). Bioactive peptide: A review. *Food Quality and Safety, 1*, 29-46.

Shahidi, F. (2012). Nutraceuticals, functional foods and dietary supplements in health and disease. *Journal of Food and Drug Analysis*, *22*, 226-230.

Shahidi, F. & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects-a review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820-897.

Shetty, K., Paliyath, G., Pometto, A. & Levin, R.E. (2006). *Food Biotechnology*. New York: Taylor and Francis.

Siriamornpun, S. & Chansakaow, S. (2008). Functional Foods, Nutraceuticals and Dietary Supplements. In *Foods for Health*, Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health. (in Thai)

Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, *5*(4), 1417-1435.

Smith, S. (2018). *Global Functional Foods and Beverages Market 2017-2021*, *Report ID: 4594280*. Retrieved October 10, 2018, from https://www.reportbuyer.com/product/4594280/global-functional-foods-and-beverages-market-2017-2021.html

Spence, J.T. (2006). Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis, 19*, s4-s6.

Srichamroen, A. (2012). *Functional Foods: Functional Food Ingredients and Mechanism*. Bangkok: Chala Press. (in Thai)

Tiina, J., Vapaatalo, H., Poussa, T., Kyronpalo, S., Rasmussen, M. & Korpela, R. (2005). *Lactobacillus helveticus* fermented milk lowers blood pressure in hypertensive subjects in 24-h ambulatory blood pressure measurement. *American Journal of Hypertension, 18*, 1600-1605.

The Statistic Portal. (n.d.). U.S. *Functional foods market-statistics & facts*. Retrieved July 30, 2018, from https://www.statista.com/topics/1321/functional-foods-market/

Tripathi, M.K. & Giri, S.K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, *9*, 225-241.

Tropicana. (2017). *Tropicana pure premium*. Retrieved August 17, 2018, from http://www.tropicana.com/products/pure-premium/healthy-heart

Vicentini, A., Liberatore, L. & Mastrocola, D. (2016). Functional foods: trends and development of the global market. *Italian Journal of Food Science*, *28*, 338-351.

Vitale, D.C., Piazza, C., Melilli, B., Drago, F. & Salmones, S. (2013). Isoflavones: Estrogenic activity, biological effect and bioavailability, *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics, 38*(1), 15-25.

Younis, K., Ahmad, S. & Jahan, K. (2015). Heath benefits and application of prebiotics in foods. *Journal of Food processing and Technology*, *6*(4), DOI: 10.4172/2157-7110.1000433.