



วารสาร

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

Journal of Food Research and Product Development

JFRPD

บทความวิชาการ

- ◆ อะครีลาไมด์ สารก่อมะเร็งใกล้ตัว
- ◆ โปรตีนแมลงกินได้: คุณสมบัติเชิงหน้าที่และการใช้ประโยชน์ในอาหาร
- ◆ สตาร์ชจากสาหร่าย: วิธีการผลิต คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร
- ◆ แมสสเปกโตรเมตรี: เทคโนโลยีหลักในการพัฒนา foodomics
- ◆ สาหร่าย: แหล่งอาหารทางเลือกเพื่อการบริโภค



JFRPD (online)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
INSTITUTE OF FOOD RESEARCH AND PRODUCT DEVELOPMENT

KASETSART UNIVERSITY



วารสาร

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

Journal of Food Research and Product Development

JFRPD

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (JFRPD) เป็นวารสารภาษาไทยที่เผยแพร่บทความทางวิชาการด้านอาหารในสาขาเทคโนโลยีการอาหาร เคมีอาหาร เทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร โภชนาการ และวิทยาศาสตร์การอาหารที่เกี่ยวข้อง

บทความที่เผยแพร่ต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ในสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้เขียนสามารถส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

สำนักงาน

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตูโป. 1043 ปทผ. เกษตรศาสตร์

เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10903

โทร. 0 2942 8629 ต่อ 1303 โทรสาร. 0 2561 1970

Aim and scope

Journal of Food Research and Product Development (JFRPD) is a Thai journal that publishes food academic articles in the field of food technology, food chemistry, food biotechnology, nutrition, and relating food sciences.

The published articles must be evaluated by peer review in relating field. The authors can submit their articles for publication free of charge.

Office

Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University. P.O. Box 1043, Kasetsart,

Chatuchak, Bangkok 10903, Thailand

Tel. 662 942 8629 ext. 1303 Fax. 662 561 1970

ที่ปรึกษา

ดร.พิศมัย ศรีชาเยช

ดร.นิพนธ์ ลิ้มสงวน

ดร.ประมวล ทรายทอง

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บรรณาธิการ

ดร.วนิดา เทวฤทธิ์ ชิตีธรรมกุล

นักวิจัย ชำนาญการพิเศษ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองบรรณาธิการ

ดร.วนิดา ปานอุทัย

ดร.อรรณณ ละอองคำ

ดร.นราพร พรหมไกรวร

นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ ล้อมทอง

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจรรย์

รองศาสตราจารย์ ดร.มาลินี ศรีอริยนันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชณี เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณธิชา เสวตบวร

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ฤทธิศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันท

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยาเขตพระราชมังคลาภิเษก

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิทยาเขตปทุมธานี

คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิทยาเขตปทุมธานี

คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิทยาเขตปทุมธานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

กองบรรณาธิการ (ต่อ)

รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยสุดา พรภักดีวัฒนา
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภมร จินตามณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏพร นกแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชนี ยะสุนิทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติยา แววนุกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหล้า

อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ชูชีพ

ดร.รุ่งดาว กลิ่นจะโป๊ะ
ดร.อติยา ตันธรรสกุล
ดร.ศันสนีย์ อุดมระติ
ดร.กานต์ธิดา วาศิรีศักดิ์
ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานุวัตร
ดร.นราพร พรหมไกรวร
ดร.ปิยาภัทร ไตรสนธิ
ดร.วรภรณ์ ประเสริฐ
ดร.ศิริพร ต้นจ่อ
นางกนกวรรณ ยอดอินทร์
ดร.นภัสสร เพ็ญสุระ
นายณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน
นายพชร ผ่องแผ้ว

นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สาขาวิชาการจัดการครัวและศิลปะการประกอบอาหาร คณะอุตสาหกรรมบริการ
วิทยาลัยดุสิตธานี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
เขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก (Peer review)

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ ล้อมทอง
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจารุ

รองศาสตราจารย์ ดร.มาลินี ศรีอริยนันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชณี เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณธิชา เสวตบวร

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ฤทธิศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันท
รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยสุดา พรภักดีวัฒนา
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภมร จินตามณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏพร นกแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชนี ยะสุนิทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติยา แววนุกุล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ
สิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปทุมธานี
คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปทุมธานี
คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปทุมธานี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก (Peer review) (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหล้า

อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ชูชีพ

ดร.รุ่งดาว กลิ่นจะโป๊ะ

ดร.อติยา ตันธรรสกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชาการจัดการครัวและศิลปะการประกอบอาหาร คณะอุตสาหกรรมบริการ
วิทยาลัยดุสิตธานี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก

คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน (Peer review)

ดร.คันสนีย์ อุดมระติ

ดร.กานต์ธิดา วาศิรีศักดิ์

ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานูวัตร

ดร.นราพร พรหมไกรวรรณ

ดร.ปิยาภัทร ไตรสนธิ

ดร.วราภรณ์ ประเสริฐ

ดร.ศิริพร ตันจ่อ

นางกนกวรรณ ยอดอินทร์

ดร.นภัสสร เพ็ญสุระ

นายณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน

นายพสธร ผ่องแผ้ว

นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้จัดการวารสาร

นางสาวมณฑาทิพย์ ธรรมนิติโชค

เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งนำเสนอบทความทางวิชาการด้านอาหารในสาขาเทคโนโลยีการอาหาร เคมีอาหาร เทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร โภชนาการ และวิทยาศาสตร์การอาหารที่เกี่ยวข้อง บทความที่เผยแพร่ต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ในสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้เขียนสามารถส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และผู้สนใจสามารถเข้าถึงบทความที่เผยแพร่ในวารสารผ่านทางเว็บไซต์: <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/JFRPD> โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเช่นกัน

วารสารฉบับนี้ เป็นปีที่ 55 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2568 ซึ่งประกอบด้วยบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับอาหารเพื่อสุขภาพ ได้แก่ เรื่อง อะคริลามิได สารก่อมะเร็งไกลด์ตัว เรื่อง โปรตีนแมลงกินได้: คุณสมบัติเชิงหน้าที่และการใช้ประโยชน์ในอาหาร และ เรื่อง สาหร่าย: แหล่งอาหารทางเลือกเพื่อการบริโภค นอกจากนี้ยังมีบทความที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอาหารอย่าง สตาร์ชหลากหลายสาย: วิธีการผลิต คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และ แมสสเปกโตรเมตรี: เทคโนโลยีหลักในการพัฒนา foodomics

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการประเมินและเสนอแนะแก้ไขจนได้บทความที่มีความสมบูรณ์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้เชิงวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์อาหารที่มีความน่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการต่อยอดพัฒนาองค์ความรู้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งงานวิจัยและการต่อยอดในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป



แบบสอบถาม

ข้อมูล วรรณกรรม และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิมโดยเฉพาะ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย



วารสาร

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

Journal of Food Research and Product Development

JFRPD

สารบัญ

บทความวิชาการ

- ◆ อะคริลาไมด์ สารก่อมะเร็งใกล้ตัว 1
Acrylamide, a carcinogen in daily life
สาวินี กฤตพล (Sawinee Krittaphol)
- ◆ โปรตีนแมลงกินได้: คุณสมบัติเชิงหน้าที่และการใช้ประโยชน์ในอาหาร 15
Edible insect proteins: functional properties and food applications
ธิดารัตน์ พันโท (Thidarat Pantoa)
- ◆ สตาร์ชฉลากสะอาด: วิธีการผลิต คุณสมบัติ และการประยุกต์ใช้ 28
ในผลิตภัณฑ์อาหาร
Clean-label starch: production, properties and applications in food products
งามจิตร์ โลวิธุร (Ngamjit Lowithun)
- ◆ แมสสเปกโตรเมตรี: เทคโนโลยีหลักในการพัฒนา foodomics 39
Mass spectrometry: A key technology in advancing foodomics
ศศิธร ลิมสุวรรณ (Sasithorn Limsuwan)
- ◆ สาหร่าย: แหล่งอาหารทางเลือกเพื่อการบริโภค 52
Edible algae: An alternative food source
ธีระ ธุระกิจ (Theera Thurakit)
- คำแนะนำสำหรับผู้เขียน 72

อะคริลาไมด์ สารก่อมะเร็งใกล้ตัว

สาวิณี กฤตผล

ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีและสารนิเทศทางอาหาร สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : sawinee.k@ku.th

รับเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2567 แก้ไขเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ 2568 ตอรับเมื่อ 10 มีนาคม 2568

จุดเด่น

- อาหารที่มักจะมีการปนเปื้อนสารอะคริลาไมด์
- ความกังวลด้านสุขภาพและความปลอดภัย
- การลดการเกิดสารอะคริลาไมด์จากกระบวนการแปรรูปอาหาร

บทคัดย่อ

อะคริลาไมด์เป็นสารพิษที่สามารถเกิดขึ้นได้เองจากกระบวนการปรุงอาหารที่มีการใช้ความร้อนสูง เช่น การทอด การปิ้ง การย่าง การอบ และการคั่ว เป็นต้น โดยมีสารตั้งต้นเป็นแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) ผ่านกลไกของปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง และผลิตภัณฑ์ขนมอบ สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International agency for research on cancer: IARC) ได้จัดให้อะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A ซึ่งหมายความว่า “มีแนวโน้มที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์” (probably carcinogenic to humans) โดยมีการศึกษาความเป็นพิษในหนูทดลองพบว่า อะคริลาไมด์มีความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxic) สารพันธุกรรม (genotoxic) และมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic properties) ดังนั้น หลายองค์กรด้านสุขภาพได้สร้างความตระหนักเกี่ยวกับอันตรายของอะคริลาไมด์ให้กับผู้ผลิตอาหาร และรณรงค์ให้ความรู้ประชาชนเกี่ยวกับวิธีการปรุงอาหาร หรือวิธีการรับประทานอาหาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสารอะคริลาไมด์ ในรูปแบบของการจัดทำคู่มือ รวมทั้งมีมาตรการในการกำหนดค่ามาตรฐานของสารอะคริลาไมด์ในอาหารหลายชนิด

คำสำคัญ : อะคริลาไมด์ สารก่อมะเร็ง อาหารปลอดภัย ปฏิกิริยาเมลลาร์ด



Acrylamide, a carcinogen in daily life

Sawinee Krittaphol

Technology and Food Information Center, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : sawinee.k@ku.th

Received 29 November 2024; **Revised** 24 February 2025; **Accepted** 10 March 2025

Highlights

- Foods are prone to acrylamide formation
- Health and safety concerns
- Reducing acrylamide formation from food processing

Abstract

Acrylamide is a toxic substance that naturally forms during high-temperature cooking processes such as frying, grilling, roasting, baking, and toasting. Its precursors are asparagine and reducing sugars through the mechanism of maillard reaction, which are naturally present in various food ingredients, particularly in potato products and baked goods. The International agency for research on cancer (IARC) has classified acrylamide as a Group 2A carcinogen, indicating it is "probably carcinogenic to humans" Toxicity studies in laboratory rats revealed that acrylamide is neurotoxic, genotoxic, and carcinogenic component. As a result, many health organizations have raised awareness about the dangers of acrylamide among food manufacturers and educated the public on cooking and dietary practices that reduce acrylamide exposure. These efforts include the developing guidelines and establishing standard limits for acrylamide levels in various foods.

Keywords : acrylamide, carcinogen, food safety, maillard reaction

บทนำ

มะเร็ง คือ โรคที่เป็นสาเหตุอันดับต้น ๆ ของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก และเป็นสาเหตุอันดับ 1 ของสาเหตุการเสียชีวิตในประเทศไทย ซึ่งโรคมะเร็งเกิดจากการมีเซลล์ผิดปกติในร่างกายและเซลล์เหล่านี้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนร่างกายไม่สามารถควบคุมเซลล์เหล่านั้นได้ จึงทำให้เซลล์มะเร็งสามารถเจริญและลุกลาม แพร่กระจายไปยังอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่งผลให้เซลล์ปกติของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่าง ๆ ล้มเหลว และเป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในที่สุด สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International agency for research on cancer: IARC) ได้เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับการสำรวจและคาดการณ์โรคมะเร็งของประชากรทั่วโลกพบว่า ในปี พ.ศ. 2565 มีผู้ป่วยมะเร็งทั่วโลก 15 ล้านราย และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2593 จะมีผู้ป่วยโรคมะเร็งมากกว่า 35 ล้านราย ซึ่งจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นนี้ องค์การวิจัยมะเร็งนานาชาติระบุว่า เป็นการสะท้อนถึงการก้าวสู่การเป็นสังคมผู้สูงวัย รวมถึงการมีปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น พฤติกรรมการบริโภคและสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยอ้างอิงข้อมูลจากรายงานของสถิติทะเบียนมะเร็งประเทศไทย โดยสถาบันมะเร็งแห่งชาติ⁽¹⁾ รายงานว่า แต่ละปีจะมีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ประมาณ 140,000 คน หรือประมาณ 400 คนต่อวัน โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2567 พบว่า มีผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มขึ้นเฉลี่ยถึงวันละ 400 คน ทั่วประเทศ โดยโรคมะเร็งที่พบมาก 5 อันดับแรกในคนไทย ได้แก่ มะเร็งตับและท่อน้ำดี มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่และ

ทวารหนัก และมะเร็งปากมดลูก นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ป่วยมะเร็งทุกชนิดมีอายุโดยเฉลี่ยลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสาเหตุการเกิดโรคมะเร็งมักเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกันระหว่างพันธุกรรม (สัดส่วนร้อยละ 5-10) และปัจจัยภายนอก (สัดส่วนร้อยละ 90-95) คือ พฤติกรรมเสี่ยงทางสุขภาพและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารก่อมะเร็ง และรวมถึงการได้รับสารก่อมะเร็งจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมดำเนินชีวิตโดยหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง อาจช่วยลดความเสี่ยงได้ถึงร้อยละ 40⁽²⁾ ดังคำกล่าวที่ว่า “You are what you eat” เรากินอะไร เราก็จะเป็นแบบนั้น เป็นคำกล่าวที่ไม่เกินจริงเมื่อพบว่า การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารก่อมะเร็ง เป็นสาเหตุที่สำคัญในการเกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร ตั้งแต่หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ทวารหนัก รวมถึงอวัยวะอื่น ๆ ในช่องท้อง ตับ ตับอ่อน และถุงน้ำดี โดยสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในทางเดินอาหารที่ปนเปื้อนมากับอาหารมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงสารพิษที่เรียกว่า “อะคริลาไมด์ (acrylamide)” ซึ่งในบทความนี้มุ่งเน้นการศึกษาถึงการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในอาหาร และแนวทางการเกิดสารดังกล่าวในกระบวนการแปรรูปอาหาร

อะคริลาไมด์คืออะไร? (What is acrylamide?)

อะคริลาไมด์ (acrylamide; $\text{CH}_2=\text{CHCO}\text{NH}_2$) หรือ 2-propenamide เป็นสารอินทรีย์ที่มีผลึกสีขาว มวลโมเลกุล 71.08 กรัม มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง อะคริลาไมด์เป็นสารที่มีขั้วสามารถละลายได้ง่ายในน้ำหรือสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทานอลหรือเอทานอล จากสมบัติในการเป็นโมเลกุลเดี่ยวของสารอะคริลาไมด์ ทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เมื่อถูกหลอมเหลวหรืออยู่ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต จึงนิยมนำสารอะคริลาไมด์มาใช้ในการสังเคราะห์พอลิอะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญ ใช้เป็นองค์ประกอบของไส้กรองในเครื่องกรองน้ำ⁽³⁾

ในด้านที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหาร อะคริลาไมด์เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในอาหารบางชนิดเมื่อถูกปรุงที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะระหว่างการทอด การย่าง หรือการอบ ได้รับการค้นพบในอาหารครั้งแรกในปี ค.ศ. 2002 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน จากสำนักงานอาหารแห่งประเทศสวีเดน (Swedish National Food Administration: NFA) ซึ่งพบว่า อะคริลาไมด์มักจะเกิดในอาหารจำพวกแป้ง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้หากอาหารเหล่านี้มีน้ำตาลมากขึ้น ก็จะมีอะคริลาไมด์ปนเปื้อนมากขึ้นเช่นกัน และตั้งแต่นั้นมาก็มีการศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในอาหารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่

อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อมโยงกับโรคมะเร็ง ซึ่งในปี ค.ศ. 1994 สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer: IARC) ได้จัดให้อะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A คือ มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably carcinogenic to humans) เนื่องจากอะคริลาไมด์เป็นสารเคมีที่มีหลักฐานจำนวนน้อยที่บ่งชี้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ก็มากเพียงพอที่จะสรุปได้ว่า สามารถทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้

อะคริลาไมด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กที่เกิดขึ้นได้เองจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนที่เรียกว่า “แอสพาราจีน (asparagine)” ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า “ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)” จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและรสชาติของอาหารร่วมด้วย นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนอีก 5 ชนิด ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) กลูตามีน (glutamine) กรดกลูตามิก (glutamic acid) วาลีน (valine) และไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีปฏิกิริยาสูงสำหรับปฏิกิริยาเมลลาร์ดอีกด้วย การเกิดอะคริลาไมด์โดยทั่วไปมี 4 ปัจจัยหลัก ประกอบด้วย ปริมาณแอสพาราจีนอิสระ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อิสระ ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และความร้อนที่มากกว่า 120 องศาเซลเซียส⁽⁴⁾ จากการทดลองของ Deary และคณะ⁽⁵⁾ มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กับกรดอะมิโน 20 ชนิด เป็นเวลา 30 นาที พบว่า กรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากที่สุดคือ เมไทโอนีนและแอสพาราจีน (3.65

และ $0.56 \mu\text{mol/mol}$ amino acid ตามลำดับ) และยังพบว่า การเพิ่มน้ำตาลฟรักโทส กาแลกโทส แล็กโทส และซูโครส จะทำให้เกิดสารอะคริลาไมด์มากขึ้น แต่การให้ความร้อนน้ำตาลเพียงอย่างเดียวไม่พบการเกิดอะคริลาไมด์ อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวเป็นการทดลองในแบบจำลอง และอาจไม่สอดคล้องกับมันฝรั่งหรือมันเทศมากนัก เนื่องจากในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งหรือมันเทศ แอสพาราจีนเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญและมีอยู่จำนวนมาก และอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระ หรือ water activity (a_w) สูงมักจะพบปริมาณอะคริลาไมด์ที่สูงขึ้นด้วย⁽⁶⁾

2. อาหารที่มีอะคริลาไมด์สูง (Foods high in acrylamide)

2.1 มันฝรั่งทอดและมันฝรั่งทอดกรอบ

มีข้อมูลจากผู้ผลิตมันฝรั่งทอดกรอบในยุโรป ที่รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002-2016 พบว่า ในปี ค.ศ. 2002 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ 42 ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 763 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในปี ค.ศ. 2009 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ $6,493$ ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 500 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และในปี ค.ศ. 2016 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ $7,264$ ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 412 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่า ระดับอะคริลาไมด์ที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งมีแนวโน้มน้อยลงเรื่อย ๆ อันเป็นผลมาจากผู้ผลิตตระหนักถึงอันตรายของอะคริลาไมด์ จนนำไปสู่

การพัฒนามาตรฐานกระบวนการผลิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น การเปลี่ยนไปใช้มันฝรั่งสายพันธุ์ที่มีน้ำตาลน้อย การเลือกระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาอย่างเหมาะสม รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น มีขั้นตอนการลวกก่อนทอด เพื่อให้น้ำตาลรีดิวส์ที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดอะคริลาไมด์ถูกชะล้างออกจากตัววัตถุดิบ หรือมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการทอด เพื่อลดปัจจัยและโอกาสที่จะก่อให้เกิดสารอะคริลาไมด์ในปริมาณที่สูงเกินไป⁽⁷⁾

ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบที่จำหน่ายในประเทศไทย ยังพบปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่หลากหลายขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต จากการสำรวจโดยสำนักงานคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในปี ค.ศ. 2011 พบว่า ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ขายในประเทศไทย จำนวน 32 ผลิตภัณฑ์ มีปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในช่วง $110-2,676$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม⁽⁸⁾ ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 ได้มีคณะวิจัยของประเทศไทยทำการสำรวจขนมขบเคี้ยวจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี โดยได้สำรวจผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบจำนวน 9 ตัวอย่าง พบว่า มีอะคริลาไมด์ปนเปื้อนจำนวน 7 ตัวอย่าง ปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในช่วง $136.3-366.1$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม⁽⁹⁾

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบและซีเรียล

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และซีเรียล เป็นอาหารหลักในหลายประเทศเนื่องจากมีสารอาหารจำเป็นหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และอาจมีส่วนประกอบของ

ไฟเบอร์และวิตามินรวมด้วย ซึ่งต้องผ่านการอบ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส จากการสำรวจของ Nematollahi และคณะ⁽¹⁰⁾ ปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมดสูงกว่า 100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ระดับอะคริลาไมด์เฉลี่ยสำหรับเวเฟอร์ ขนมปังแผ่น บิสกิต แครกเกอร์ เค้กคุกกี้ และขนมปังที่มีการใช้ยีสต์ในอุตสาหกรรม คือ 233.94, 218.26, 200.67, 190.50, 186.39, 156.10 และ 100.22 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งระดับความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ในแต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันออกไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิในการผลิต

สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบที่วางขายในประเทศไทยพบว่า ผลิตภัณฑ์ซีเรียลอาหารเช้า ขนมปังกรอบ เวเฟอร์ และคุกกี้ธัญพืชมีปริมาณสารอะคริลาไมด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 78, 149, 206 และ 265 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ⁽⁸⁾

2.3 กาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะไม่ได้มีปริมาณอะคริลาไมด์มากเท่ากับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หรือผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ แต่กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกเนื่องจากเครื่องดื่มชามีความดีในการบริโภคค่อนข้างสูง ดังนั้นการบริโภคกาแฟในปริมาณที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะได้รับอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้น ซึ่งอะคริลาไมด์ในกาแฟมักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคั่วซึ่งมีการใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยระดับของการคั่ว ไม่ว่าจะเป็นแบบอ่อน กลาง หรือเข้ม เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความเข้มข้นของอะคริลาไมด์

ในกาแฟคั่ว และส่งผลโดยตรงต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของกาแฟ เช่น สี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของอะคริลาไมด์จากกาแฟสายพันธุ์หลัก ๆ ที่นำมาผลิตเครื่องดื่มกาแฟทั่วโลก ได้แก่ สายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora*) และสายพันธุ์อาราบิก้า (*C. Arabica L.*) พบว่า นักวิจัยส่วนใหญ่มีความเห็นว่า กาแฟโรบัสต้ามีอะคริลาไมด์สูงกว่ากาแฟอาราบิก้า ซึ่งมีสาเหตุมาจากการมีความเข้มข้นของแอสพาราจีน และน้ำตาลรีดิวส์ที่มากกว่า⁽¹¹⁻¹²⁾ อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยบางท่านให้ความเห็นที่ตรงกันข้ามว่า กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าอาจมีความเข้มข้นของอะคริลาไมด์มากกว่ากาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า เนื่องจากกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวส์ที่สูงกว่า⁽¹³⁾ จึงยังต้องมีการศึกษาให้มีความชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอะคริลาไมด์จากกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ดังกล่าว เป็นการเปรียบเทียบโดยมีการควบคุมระดับการคั่ว และสถานะการเก็บรักษาเดียวกัน

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในกาแฟ แต่เกณฑ์ของสหภาพยุโรปกำหนดไว้ไม่เกิน 400 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับกาแฟคั่ว และไม่เกิน 850 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับกาแฟผงสำเร็จรูป มีรายงานการสำรวจการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในกาแฟทั้งประเภทคั่วและกาแฟสำเร็จรูป รวมการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่างที่ขายในพื้นที่กรุงเทพมหานครพบว่า ผลการทดสอบกาแฟคั่ว 12 ตัวอย่าง มีสารอะคริลาไมด์ทุก

ตัวอย่าง โดยมีปริมาณระหว่าง 135.56-372.62 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และผลทดสอบกาแฟสำเร็จรูป 15 ตัวอย่าง พบสารอะคริลาไมด์ทุกตัวอย่าง มีปริมาณระหว่าง 298.79-954.47 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมี 2 ตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของสหภาพยุโรป⁽¹⁴⁾

2.4 อาหารไทย

ในปี ค.ศ. 2008 มีทีมนักวิจัยของประเทศไทยได้สำรวจการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในอาหารประเภทแกงกะทิเมนูต่าง ๆ เนื่องจากมีข้อสังเกตว่า การปรุงแกงเหล่านี้นิยมผัดในกะทิที่ใช้ความร้อนสูง และใช้เวลาผัดค่อนข้างนาน รวมทั้งในกะทิที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลรีดิวส์และกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของอะคริลาไมด์ ทีมวิจัยได้รวบรวมตัวอย่างแกงกะทิทั้งหมด 30 ตัวอย่าง จากร้านอาหารและซูเปอร์มาเก็ต ผลการวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณอะคริลาไมด์ปนเปื้อนในน้ำแกง 60-606 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง⁽¹⁵⁾ ซึ่งแม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีกฎระเบียบใด ๆ เกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารไทย แต่ในการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) และการศึกษาการเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenicity study) ในหนูพบว่า ปริมาณอะคริลาไมด์ที่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงกับระบบประสาทคือ 2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน⁽¹⁶⁾ ดังนั้นปริมาณอะคริลาไมด์ปนเปื้อนในน้ำแกงดังกล่าวจึงถือว่าอยู่ระดับที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ต่อมากรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างอาหารที่จำหน่ายในประเทศไทยพบว่า ในอาหาร

ไทยที่ขายในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป ก็มีการปนเปื้อนอะคริลาไมด์เช่นกัน โดยตัวอย่างอาหารที่มีการสำรวจ ได้แก่ ก๋วยทอด (11 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) มันทอด (56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ผีอกทอด (142 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ปาท่องโก๋ (104 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ไช้เนกกระทา (327 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ครองแครง (300 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ขนมดอกจอก (90 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวแต่น (187 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) และพริกป่น (2,179 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)⁽⁸⁾ ซึ่งการที่พริกป่นพบปริมาณอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงเป็นสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งหรือคั่วค่อนข้างสูง รวมถึงพริกชี้หนูผลใหญ่ที่นิยมนามาผลิตเป็นพริกป่น มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง คือ 50.50 กรัมต่อ 100 กรัม⁽¹⁷⁾ นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2012 มีรายงานของนักวิจัยไทยที่ได้ไปสำรวจสารอะคริลาไมด์ในอาหารพื้นเมืองที่มีขายในตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรีพบว่า ขนมจากเป็นอาหารที่มีสารอะคริลาไมด์ในปริมาณที่สูงที่สุด คือ 332.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมทุเรียนทอดมีสารอะคริลาไมด์ 152.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวหลามมีสารอะคริลาไมด์ 91.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม⁽⁹⁾ อาหารอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมในกลุ่มคนไทย คือ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งจากการศึกษาของ Kokabthong และ Vangnai⁽¹⁸⁾ พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตในประเทศมีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 137.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 45.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Table 1 Acrylamide content of several food products in Thailand^(8-9, 14-15)

Food items	Acrylamide content (µg/kg)
Potato chips	110-2,676
Breakfast cereals	78
Crackers	149
Wafer	206
Cereal cookies	265
Roast coffee	135.56-372.62
Instant coffee	298.79-954.47
Coconut milk curry	60-606
Sweet banana crisps	11
Sweet taro crisps	56
Sweet taro crisps	142
Pa Tong Koo	104
Kanom Kai Hong	327
Kanom Kong Krang	300
Kanom Dok Jok	90
Rice cracker	187
Chili powder	2,179

3. ความกังวลด้านสุขภาพและความปลอดภัย (Health concerns and safety)

อะคริลาไมด์ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A ซึ่งหมายความว่า “มีแนวโน้มที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์” (probably carcinogenic to humans) โดยสำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (IARC) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 อ้างอิงจากการศึกษาในสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า การได้รับอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงสามารถก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ได้ แต่ผลกระทบต่อมนุษย์ยังไม่ชัดเจนเนื่องจากระดับการสัมผัสโดยทั่วไปต่ำเกินไป WHO ได้กำหนดระดับสารอะคริลาไมด์ที่เป็นพิษต่อร่างกายอยู่ที่ 0.3-0.8 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หาก

ได้รับมากกว่าที่กำหนดไว้จะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง⁽¹⁵⁾

เมื่อสารอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว แล้วขับออกทางปัสสาวะเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่เข้าสู่ร่างกาย และมีการขับถ่ายทางน้ำดีและอุจจาระเพียงเล็กน้อย⁽¹⁹⁾ มีงานวิจัยจำนวนมากพิสูจน์ว่า สารอะคริลาไมด์มีผลต่อการทำงานของร่างกาย ประกอบด้วย ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxic) ความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (genotoxic) และมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic properties) ในงานวิจัยของ Matoso และคณะ⁽²⁰⁾ ระบุว่า การรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์มาก ๆ จะส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ อาจก่อให้เกิดการ

แบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ โดยเฉพาะในช่วงวัยที่กำลังเจริญเติบโต และการศึกษาพิษวิทยายังระบุว่า อะคริลาไมด์ส่วนใหญ่มักจะสะสมอยู่ที่ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ของผู้ชาย แม้ว่าการวิจัยล่าสุดจะยังไม่พบว่า ความเป็นพิษของอะคริลาไมด์มีความเชื่อมโยงที่ชัดเจนต่อระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์ แต่การศึกษาในหนูทดลองได้รายงานว่า อะคริลาไมด์สามารถทำให้การเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณสเปิร์มสำรองลดลง⁽²¹⁾ และระดับโพรงแกลตินลดลง⁽²²⁾ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า อะคริลาไมด์สามารถเคลื่อนผ่านรก ส่งผลต่อพัฒนาการของทารกในครรภ์ รวมถึงต่อมไทมัส ม้าม และต่อมน้ำเหลืองอีกด้วย

นอกจากนี้อะคริลาไมด์ยังถือว่าเป็นพิษต่อระบบประสาททั้งต่อมนุษย์และหนูทดลอง โดยในงานวิจัยของ Chen และ Chou⁽²³⁾ พบว่า อะคริลาไมด์สามารถกระตุ้นให้เกิดความผิดปกติของไมโทคอนเดรีย กลไกอะพอพโทซิส (apoptosis) และทำลายระบบประสาท ซึ่งในกรณีของมนุษย์ความเป็นพิษต่อระบบประสาทนี้อาจก่อให้เกิดกล้ามเนื้ออ่อนแรง มีภาวะกล้ามเนื้อสั่นส่ายสูญเสียการประสานสัมพันธ์กัน (ataxia) คือ ระบบประสาทส่วนปลายและส่วนกลางเสื่อม และมีอาการบวมที่ส่วนปลาย⁽²⁴⁾ หากมีการสัมผัสสารอะคริลาไมด์เป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมและไมโครนิวเคลียส ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายของ DNA ที่เกิดขึ้นและอาจทำให้เกิดเนื้องอกในบริเวณอวัยวะต่าง ๆ ได้⁽²⁵⁾

4. การลดอะคริลาไมด์ในอาหาร (Reducing acrylamide in food)

มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการแปรรูปทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน เพื่อลดความเสี่ยงในการได้รับสารอะคริลาไมด์จากการบริโภค ซึ่งกระบวนการที่สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ประกอบด้วย 2 วิธีการหลัก ๆ คือ

4.1 การใช้สารปรุงแต่งอาหาร (food additives)

1. การเติมกรดอะมิโนบางชนิด เพื่อให้เกิดการแข่งขันกับแอสพาราจีนในการแย่งทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ทำให้ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และลดการก่อตัวของสารอะคริลาไมด์ โดยเฉพาะกรดซิสเทอีน ไกลซีน และไลซีน ซึ่งมีความสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ⁽²⁶⁾

2. การเติมสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น สารสกัดจากโรสแมรี่⁽²⁷⁾ ชาเขียว⁽²⁸⁾ สารสกัดจากเปลือกส้ม⁽²⁹⁾ เป็นต้น

3. การเติมไอออนที่มีประจุบวก เช่น โซเดียม (Na^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นต้น เนื่องจากประจุเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนแอสพาราจีน ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการก่อตัวของ Schiff's base ในปฏิกิริยาเมลลาร์ด อย่างไรก็ตามหากมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้นเนื่องจากเกลือจะทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญของยีสต์ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่⁽³⁰⁾

4. การใช้สารเคลือบจากไฮโดรคอลลอยด์ ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนทอด เช่น สาร methylcellulose (MC) สาร carboxymethylcellulose (CMC) กัมอะราบิก และเพกติน เป็นต้น

5. การใช้เอนไซม์แอสพาราจิเนส (asparaginase) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแอสพาราจินให้เป็นโมเลกุลอื่นก่อนการทำอาหาร เช่น การใช้ในผลิตภัณฑ์บิสกิต (ลดอะคริลาไมด์ได้ร้อยละ 69)⁽³¹⁾ และในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ (ลดอะคริลาไมด์ได้ร้อยละ 80)⁽³²⁾

6. การเติมกรดบางชนิด เช่น กรดซิตริกหรือกรดแล็กติก หรือการใช้แบคทีเรียกรดแล็กติกในการกระบวนการหมัก สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ โดยการหมักที่ระยะเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง มีความเหมาะสมและสามารถช่วยลดปริมาณอะคริลาไมด์ในขนมปังและมันฝรั่งทอดได้⁽³³⁾

4.2 การเปลี่ยนวิธีการปรุงอาหาร

มีงานวิจัยมากมายยืนยันว่า การปรุงอาหารด้วยอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 120 องศาเซลเซียส เช่น การทอด การอบ การย่าง มีโอกาสก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากกว่าการปรุงอาหารด้วยวิธีการต้ม หรือนึ่ง หรือการใช้ไมโครเวฟ รวมทั้งระยะเวลาในการสัมผัสกับความร้อน ยิ่งนานยิ่งก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้น ในการผลิตเฟรนฟรายในอุตสาหกรรม มักจะมีการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที ซึ่งสามารถช่วยลดอะคริลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 65-96 เมื่อเปรียบเทียบกับเฟรนฟรายที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากกรดอะมิโนแอสพาราจินและน้ำตาลรีดิวส์ได้ละลายออกไปในน้ำแล้ว จึงทำ

ให้สารตั้งต้นในการเกิดอะคริลาไมด์น้อยลง และหากมีการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (480 วัตต์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์) ร่วมด้วย จะสามารถลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 95 เนื่องจากน้ำตาลในวัตถุดิบจะถูกละลายออกไปในน้ำอย่างรวดเร็ว⁽³⁴⁾ รวมทั้งควรหลีกเลี่ยงการปรุงให้สุกเกินไป โดยดูจากการเปลี่ยนสีหรือการไหม้ของอาหาร ซึ่งมักจะก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารที่สุกในระดับสีทองอ่อน

การทอดสุญญากาศสามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ในกาแฟคั่วระดับกลางได้มากถึงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะทั่วไปหรือแบบผสมผสาน⁽³⁵⁾ และสามารถลดอะคริลาไมด์ในมันฝรั่งได้ถึงร้อยละ 72-98⁽³⁶⁾ เทคโนโลยี Pulsed Electric Field (PEF) ก็สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้เช่นกัน โดยการทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถนำแอสพาราจินและน้ำตาลรีดิวส์ไปใช้ในปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้⁽³⁷⁾ นอกจากนี้ การฉายรังสีมันฝรั่งทอดที่ความเข้ม 60 เกรย์ ก็สามารถช่วยลดอะคริลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 7-9 เช่นกัน⁽³⁸⁾ และหากใช้ร่วมกับกระบวนการลวก ก็จะสามารถลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 78⁽³⁹⁾

5. มุมมองด้านกฎระเบียบ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) และหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (EFSA) รวมถึงองค์กรด้านสุขภาพหลายหน่วยงาน ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์สูงสุดที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยในปี

ค.ศ. 2009 คณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้ร่างข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์สูงสุดที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และได้เผยแพร่แนวทางการลดปริมาณอะคริลาไมด์สำหรับอุตสาหกรรม รวมถึงคู่มือและแนวทางในการปรุงอาหารและการบริโภค

อาหารสำหรับครัวเรือน นอกจากนี้คณะกรรมการอาหารยุโรป (European Commission) และกระทรวงความปลอดภัยอาหารและยา (Ministry of Food and Drug Safety - MFDS) สาธารณรัฐเกาหลี ยังได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารอะคริลาไมด์ในอาหารหลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2

Table 2 Benchmark levels for the presence of acrylamide in different foods regulated by the European Commission and Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)^(30,41)

institution	Food items	Acrylamide content (µg/kg)
European Commission	French fries (ready-to-eat)	500
	Potato-based crisps, crackers, and other potato products	750
	Soft bread	50-100
	Breakfast cereals	150-300
	Biscuits and wafers	350
	Crackers (the exception of potato-based)	400
	Crispbread	350
	Roast coffee	400
	Instant (soluble) coffee	850
	Coffee substitutes	500-4000
	Baby foods (processed cereal-based foods)	40
	Biscuits and rusks (for infants and young children)	150
Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)	Food labeled for infants and toddlers	≤300
	Cereals	≤300
	Coffee (roasted coffee, instant coffee, prepared coffee)	≤800
	snack	≤1,000
	French fries (cooked food in food service establishments)	≤1,000
	Tea (solid tea)	≤1,000
	Cereal products and ready-to-eat foods (limited to stir-fried, baked, and fried products)	≤1,000

ซึ่งหากอุตสาหกรรมอาหารไม่สามารถลดปริมาณอะคริลาไมด์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ ก็จะถูกฟ้องร้องและดำเนินคดีตามกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่น ในกรณีของผู้ผลิตไก่ทอด KFC ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับคำเตือนจากอัยการสูงสุดในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2550 ให้ปรับปรุงกระบวนการผลิตไก่ทอดให้มีปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และยังคงสั่งให้ชดเชยค่าเสียหายให้แก่รัฐเป็นจำนวนเงิน 133,000 ดอลลาร์ เป็นต้น⁽⁴⁰⁾

บทสรุป

แม้ว่ารายงานส่วนใหญ่จะระบุว่า คนไทยมีความเสี่ยงในการได้รับอะคริลาไมด์ในปริมาณต่ำ และอาหารส่วนใหญ่มีอะคริลาไมด์อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ แต่การตระหนักถึงอันตราย

ของอะคริลาไมด์จะมีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตซึ่งในมุมมองของผู้ผลิต แม้ว่าในประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์ของปริมาณอะคริลาไมด์ที่ชัดเจน แต่การรับรู้ถึงอันตรายของอะคริลาไมด์และแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ก็จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงมาตรการกีดกันทางการค้าได้เมื่อต้องการส่งสินค้าออกไปขายในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา ส่วนในมุมมองของผู้บริโภค การหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่จะได้รับอะคริลาไมด์ที่ดีที่สุด คือ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค โดยลดการบริโภคอาหารที่ทำจากแป้งที่ผ่านการปรุงโดยใช้ความร้อนสูง หรืออาหารที่สุกจนเกินไปจนมีสีน้ำตาลเข้ม ปรับเปลี่ยนมารับประทานอาหารที่ปรุงผ่านกระบวนการต้มหรือนึ่ง แทนการอบและการทอด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์; 2022.
2. การปฏิบัติตนเพื่อป้องกันการเกิดโรคมะเร็งสำหรับประชาชน. กรุงเทพฯ: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์; [ม.ป.ป].
3. จิตติมา เจริญพานิช. สารอะคริลาไมด์ที่แฝงมากับอาหารไทย. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2012;40(4):1059-1072.
4. Rüdiger Weisshaar. Acrylamide in heated potato products - analytics and formation routes. Eur J Lipid Sci Technol. 2004;106:786-792.
5. Deary IJ, Whiteman MC, Pattie A, Starr JM, Hayward C, Wright AF, Carothers A and Whalley LJ. Acrylamide from Maillard reaction products. Nature. 2002;418:449-450.
6. Krishnakumar T and Visvanathan R. Acrylamide in food products: a review. J Food Process Technol. 2014;5(7) DOI: 10.4172/2157-7110.1000344.
7. Branco ECK. A systematic literature review of acrylamide levels, adverse health effects, and reduction of formation in fried and baked potato products. Thesis. University of Minnesota Twin Cities for the degree of Master of Science. 2023.
8. ลัดดาวัลย์ โรจนพรณทิพย์, พรณทิพย์ ตียพันธ์, มยุรี อูรารุ่งโรจน์ และพนาวลัย กลึงกลางดอน. การประเมินความเสี่ยงของสารอะคริลาไมด์ในอาหารต่อคนไทย. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2554;20(1):36-47.
9. Komthong P, Suriyaphan O and Charoenpanich J. Determination of acrylamide in Thai-conventional snacks from Nong Mon market, Chonburi using GC-MS technique. Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance. 2012;5(1):20-28.
10. Nematollahia A, Kamankesh M, Hosseini H, Ghasemi J, Hosseini-Esfahanie F, Mohammadi A. Investigation and determination of acrylamide in the main group of cereal products using advanced microextraction method coupled with gas chromatography-mass spectrometry. J Cereal Sci. 2019;87:157-164.
11. Esposito F, Fasano E, Vivo AD, Velotto S, Sarghinia F, Cirillo T. Processing effects on acrylamide content in roasted coffee production. Food Chem. 2020;319:126550.



12. Rubayiza AB and Meurens M. Chemical discrimination of arabica and robusta coffees by fourier transform raman spectroscopy. *J Agric Food Chem.* 2005;53:4654-4659.
13. Bertuzzi T, Martinelli E, Mulazzi A and Rastelli S. Acrylamide determination during an industrial roasting process of coffee and the influence of asparagine and low molecular weight sugars. *Food Chem.* 2020;303:125372.
14. นภัทร พิสิฐนา. ผลการทดสอบการปนเปื้อนของ สารอะคริลาไมด์ในกาแฟ. หน่วยงานประจำจังหวัดกรุงเทพมหานคร สภาองค์กรของผู้บริโภค. 2565.
15. Na Jom K, Jamnong P, Lertsiri S. Investigation of acrylamide in curries made from coconut milk. *Food Chem Toxicol.* 2008;46:119-124.
16. Konings EJM, Barrs AJ, Van Klaveren JD, Spanjer MC, Rensen PM, Hiemstra M, van Kooij JA, Peters PW. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risk. *Food Chem Toxicol.* 2003;41:1569-1576.
17. พนาวัลย์ กลิ่งกลางดอน และมยุรี อูรารุ่งโรจน์. ผลกระทบของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบนึ่งให้ความร้อนต่อการเกิดและความคงตัวของอะคริลาไมด์ในพริกป่น. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.* 2017;59(4):216-225.
18. Kokabthong A and Vangnai K. Dietary to acrylamide exposure from instant noodles to Thai population. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60.* 2022.
19. Erkekoğlu P and Baydar T. Toxicity of acrylamide and evaluation of its exposure in baby foods. *Nutrition Research Reviews.* 2010;23(2):323-333.
20. Matoso V, Bargi-Souza P, Ivanski F, Romano MA and Romano RM. Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of developmental Origin of health and disease (DOHaD) concept. *Food Chem.* 2019;283:422-430.
21. Exon JH. A review of the toxicology of acrylamide. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews.* 2016;9(5):397-412.
22. Nagata C, Konishi K, Tamura T, Wada K, Tsuji M, Hayashi M, Takeda N and Yasuda K. Associations of acrylamide intake with circulating levels of sex hormones and prolactin in premenopausal Japanese women. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2015;24(1):249-254.
23. Chen JH and Chou CC. Acrylamide inhibits cellular differentiation of human neuroblastoma and glioblastoma cells. *Food Chem Toxicol.* 2015;82:27-35.
24. Beland FA, Olson GR, Mendoza MCB, Marques MM and Doerge DR. Carcinogenicity of glycidamide in B6C3F1 mice and F344/N rats from a two-year drinking water exposure. *Food Chem Toxicol.* 2015;86:104-115.
25. Kopańska M, Łagowska A, Kuduk B and Banaś-Ząbczyk A. Acrylamide neurotoxicity as a possible factor responsible for Inflammation in the cholinergic nervous system. *Int J Mol Sci.* 2022;23(4):1-13.
26. Hongwei S, Xiaoyue Y and Lee H. The effects of amino acids on removal of acrylamide in a model reaction system. *Front Agric Food Tech.* 2013;6(1):59-61.
27. Miśkiewicz K, Nebesny E, Rosicka-Kaczmarek J, Żyżelewicz D and Budryn G. The effects of baking conditions on acrylamide content in shortcrust cookies with added freeze-dried aqueous rosemary extract. *J Food Sci Technol.* 2018;55(10):4184-4196.
28. Torres JD, Dueik V, Carré D and Bouchon P. Effect of the addition of soluble dietary fiber and green tea polyphenols on acrylamide formation and in vitro starch digestibility in baked starchy matrices. *Molecules.* 2019;24(20):3674.
29. Seyedi S, Javanmarddakheli M, Shekarabi A, Shavandi M and Farhadi S. Reduction of acrylamide by orange waste extract phenolic compounds in potato chips. *J Food Bioprocess Eng.* 2021;4(1):75-81.
30. Yashwanth BS, Premachandran MS, Karkera PS and Murthy PS. Acrylamide in coffee: Strategies, research and future perspectives. *Food Control.* 2024;163:110484.
31. Anese M, Quarta B and Frias J. Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits. *Food Chem.* 2011;126(2):435-440.
32. Mahajan RV, Saran S, Kameswaran K, Kumar V and Saxena RK. Efficient production of L-asparaginase from *Bacillus licheniformis* with low-glutaminase activity: Optimization, scale up and acrylamide degradation studies. *Bioresource Technology.* 2012;125:11-16.
33. Sansano M. Effect of pretreatments and air-frying, a novel technology, on acrylamide generation in fried potatoes. *J Food Sci.* 2015;80(5): 1120-1128.



34. Antunes-Rohling A, Ciudad-Hidalgo S, Mir-Bel J, Raso J, Cebrián G and Álvarez I. Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2018;49:158-169.
35. Anese M, Nicoli MC, Verardo G, Munari M, Mirolo G and Bortolomeazzi R. Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans. *Food Chem*. 2014;145:168-172.
36. Akkurt K and Mogol BAG. Mitigation of acrylamide in baked potato chips by vacuum baking and combined conventional and vacuum baking processes. *Lwt*. 2021;144:111211.
37. Genovese J, Tappi S, Luo W, Tylewicz U, Marzocchi S, Marziali S, Romani S, Ragni L and Rocculi P. Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2019;55:18-26.
38. Mulla MZ, Bharadwaj VR, Annapure US, Variyar PS, Sharma A and Singhal RS. Acrylamide content in fried chips prepared from irradiated and non-irradiated stored potatoes. *Food Chem*. 2011;127(4):1668-1672.
39. Abboudi M, Koudsi Y and Jouhara H. Combined effects of Gamma irradiation and blanching process on acrylamide content in fried potato Strips combined effects of Gamma irradiation and blanching process on acrylamide content in fried potato Strips. *Int J Food Prop*. 2016;19(7):1447-1454.
40. Will Garvin and Niraj Rath. Regulatory Update on Acrylamide—State, Federal, and International Oversight. Food and Drug Law Institute [อินเทอร์เน็ต]. ก.ย.-ต.ค 2017 [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2025]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.fdli.org/2017/10/regulatory-update-acrylamide-state-federal-international-oversight/>
41. Food Compliance International. Singapore: MFDS publishes limits for acrylamide in foods. c2025 – [cited 2025 Mar 4]. Available from: <https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/news/4987-mfds-publishes-limits-for-acrylamide-in-foods>

โปรตีนแมลงกินได้: คุณสมบัติเชิงหน้าที่และการใช้ประโยชน์ในอาหาร

ธิดารัตน์ พันโท

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrtp@ku.ac.th

รับเมื่อ 2 ธันวาคม 2567 แก้ไขเมื่อ 1 มีนาคม 2568 ตอรับเมื่อ 10 มีนาคม 2568

จุดเด่น

- กระบวนการสกัดโปรตีนจากแมลงกินได้
- คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนแมลงกินได้
- การใช้ประโยชน์แมลงกินได้และโปรตีนแมลงกินได้ในอาหาร

บทคัดย่อ

จำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความต้องการโปรตีนที่เพิ่มมากขึ้น ประกอบกับวิกฤตทางธรรมชาติที่อาจจะทำให้แหล่งโปรตีนในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อความต้องการโปรตีนในอนาคต ดังนั้นแมลงกินได้จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยตอบโจทย์ปัญหาความไม่มั่นคงทางอาหารในอนาคตได้ แต่อย่างไรก็ดีแมลงกินได้มีข้อจำกัดในเรื่องของรูปลักษณะที่ไม่น่ารับประทาน การแปรรูปแมลงกินได้ไม่ว่าจะเป็นการบดเป็นผง หรือการสกัดแยกเฉพาะโปรตีน เป็นวิธีการที่จะช่วยลดข้อจำกัดในการใช้แมลงกินได้ในอาหารลงได้ นอกจากนี้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนแมลงกินได้ยังส่งผลโดยตรงกับลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมแมลงกินได้อีกด้วย

คำสำคัญ : แมลงกินได้ โปรตีนแมลง คุณสมบัติเชิงหน้าที่



Edible insect proteins: functional properties and food applications

Thidarat Pantoa

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : ifrtp@ku.ac.th

Received 2 December 2024; **Revised** 1 March 2025; **Accepted** 10 March 2025

Highlights

- Edible insect protein extraction
- Functional properties of edible insect proteins
- Application of edible insects and edible insect proteins in food

Abstract

The increase in the world's population corresponds with rising demand for protein, compounded by natural crises that may render current protein sources insufficient to meet future needs. As such, edible insects present a viable alternative to address the challenges of future food insecurity. However, edible insects face limitations regarding their unappealing appearance. Method of food processing, such as grinding insects into powder or extracting proteins, mitigate these limitations for food application and utilization. Furthermore, the functional properties of insect protein directly influence the appearance, taste, texture, and overall acceptance of products incorporating edible insects among consumers.

Keywords : edible insects, insect proteins, functional properties

บทนำ

แมลงกินได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีน ไขมัน และไคติน เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยสารอาหารรองอย่าง ธาตุเหล็ก สังกะสี แคลเซียม วิตามิน และสารประกอบฟีนอลิก แมลงถือเป็นแหล่งของโปรตีนโดยมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 25-75 ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง⁽¹⁾ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ ช่วงชีวิต และอาหารของแมลงนั้น ๆ⁽²⁾ หนอนนก (*Tenebrio molitor*) หนอนไหม (*Bombyx mori*) และผีเสื้อกลางคืน (*Gonimbrasia belina*) มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเนื้อหมูและเนื้อไก่⁽³⁾ โปรตีนจากแมลงกินได้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนในปริมาณที่สมดุล⁽⁴⁾ เป็นไปตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยมีกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน ไทโรซีน ทรีปโตเฟน ไลซีน และทรีโอนีนปริมาณสูง⁽⁵⁾ หนอนแมลงวันลาย (*Hermetia illucens*) มีสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนทั้งหมดสูงกว่าโปรตีนไข่⁽⁶⁾ ดักแด้หมามีกรดอะมิโนจำเป็นอาร์จินีน และเมไทโอนีนในปริมาณสูงกว่าถั่วเหลือง⁽⁷⁾ ถือเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับโปรตีนจากพืชที่ขาดกรดอะมิโนบางชนิด แมลงกินได้จึงเป็นแหล่งของโปรตีนทางเลือกอีกแหล่งหนึ่งที่น่าจะช่วยตอบสนองต่อความต้องการโปรตีนในอนาคต แต่อย่างไรก็ดีข้อจำกัดในเรื่องรูปลักษณะของแมลงกินได้เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ต้องอาศัยการแปรรูปให้ไม่คงเหลือความเป็นรูปลักษณะเดิม การสกัดแยกโปรตีนเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารต่าง ๆ และรวมเข้ากับผลิตภัณฑ์อาหารที่คุ้นเคยจึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการ

เพิ่มการใช้ประโยชน์จากแมลงกินได้และเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะกล่าวถึงงานวิจัยในแง่ของกระบวนการในการสกัดแยกโปรตีนออกจากแมลงกินได้ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนแมลงกินได้ และตัวอย่างงานวิจัยที่มีการนำแมลงกินได้ในรูปแบบต่าง ๆ ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่คุ้นเคย

กระบวนการในการสกัดโปรตีนจากแมลงกินได้

กระบวนการในการสกัดโปรตีนจากแมลงอาจมีวิธีการที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแมลง แต่อย่างไรก็ตามจะประกอบไปด้วยกระบวนการที่สำคัญ 5 กระบวนการ ดังที่ Gravel และคณะ⁽⁸⁾ ได้อธิบายไว้โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการลดขนาด

แมลงจะถูกทำแห้งก่อนกระบวนการลดขนาดเพื่อให้การลดขนาดทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้ผงแมลงที่มีความละเอียดมากที่สุด กระบวนการทำแห้งสามารถใช้ได้หลายวิธีการ เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งโดยการอบ เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วแมลงจะถูกบดและร่อนเป็นผงละเอียด ซึ่งในกระบวนการนี้มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสกัดได้ของโปรตีนเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของผงแมลงทำให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปสกัดโปรตีนออกจากผงแมลงได้ดีขึ้น⁽⁹⁾

2. กระบวนการกำจัดไขมันออกจากผงแมลงกินได้

ผงแมลงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งและลดขนาดแล้วจะถูกนำมากำจัดไขมัน ซึ่งการกำจัดไขมันส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการสกัด

โปรตีนและความบริสุทธิ์ของโปรตีน เนื่องจากไขมันจะปะปนอยู่ในเนื้อของแมลงและยังคงเหลืออยู่ภายหลังกระบวนการทำแห้งและลดขนาด ไขมันมีลักษณะที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างไขมันและโปรตีนจะทำให้ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนต่ำลง นอกจากนี้กระบวนการกำจัดไขมันยังทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น Bußler และคณะ⁽⁹⁾ รายงานว่า การกำจัดไขมันด้วยเฮกเซน (hexane) ในหนอนนกและหนอนแมลงวันลาย ทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57.8 เป็นร้อยละ 64.6 และร้อยละ 34.7 เป็นร้อยละ 44.9 ตามลำดับ การสกัดไขมันด้วยเฮกเซนมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสกัดไขมันได้สูง อย่างไรก็ตามนอกจากเฮกเซนแล้วนั้นตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ มีความปลอดภัย และราคาถูกอย่างเอทานอลก็สามารถนำมาใช้สกัดไขมันทดแทนเฮกเซนได้⁽¹⁰⁾ อย่างไรก็ตามตัวทำละลายอินทรีย์ดังกล่าวอาจส่งผลให้สูญเสียโปรตีนบางส่วนเนื่องจากถูกสกัดออกไปด้วยความจำเพาะทางชีวภาพระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับตัวทำละลาย⁽¹¹⁾ นอกจากนี้วิธีการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์แล้วนั้น วิธีการสกัดไขมันอื่น ๆ ที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เพียงเล็กน้อย หรือแทบไม่ใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง วิธีการสกัดไขมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (supercritical CO₂) เป็นวิธีการที่น่าสนใจเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสกัดไขมันได้สูงถึงร้อยละ 95 ในตัวอย่างหนอนนก แต่วิธีการนี้ยังมีต้นทุนสูงในระดับอุตสาหกรรม⁽¹²⁾

3. การทำละลายและแยกโปรตีนออกจากแมลงกินได้

โปรตีนแมลงมักถูกแยกออกจากผนังแมลงที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วโดยการทำให้ละลายในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างหรือไอออนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อควบคุมความสามารถในการละลายได้ของโปรตีน การละลายโปรตีนในสารละลายที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างจะอาศัยหลักการปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายออกจากจุดไอโซอิเล็กทริก (pI) ซึ่งจะทำให้บริเวณสายของโปรตีนเกิดประจุไฟฟ้า เกิดแรงผลักระหว่างสายโปรตีนจึงส่งผลให้โปรตีนละลายได้ในสารละลาย⁽¹³⁾ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่จุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 4 ถึง 5 นอกจากนี้อีกวิธีการหนึ่งคือการปรับความเข้มข้นของไอออนให้สารละลายมีความเข้มข้นไอออนต่ำ ๆ (0.5-1 M) ไอออนของเกลือจะทำหน้าที่เป็นเกราะ (shield) อยู่บนโปรตีนที่มีประจุตรงข้าม จึงช่วยเสริมปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับน้ำทำให้โปรตีนละลายอยู่ในสารละลายได้ดีขึ้น⁽¹⁴⁾ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า เกลือพาละลาย (salting-in) เมื่อโปรตีนแมลงกินได้ละลายอยู่ในสารละลายอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น สารละลายดังกล่าวจะถูกหมุนเหวี่ยงและค่อย ๆ เทสารละลายส่วนใสออก สารละลายส่วนใสที่ได้จะประกอบไปด้วยโปรตีนและสารที่สามารถละลายในสารละลายได้ ในขณะที่ส่วนตะกอนจะประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์หรือสารอื่น ๆ ที่ไม่สามารถละลายได้ ซึ่งตะกอนส่วนนี้จะถูกทิ้งไป สารละลายโปรตีนที่ได้จะถูกนำมาแยกเฉพาะโปรตีนออกจากตัวทำละลาย วิธีการที่มีการใช้กัน

อย่างแพร่หลายมากที่สุดคือการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโปรตีนให้เข้าใกล้จุดไอโซอิเล็กทริก ซึ่งที่ค่าความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวจะทำให้ประจุสุทธิบนสายของโปรตีนเท่ากับศูนย์ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนเกิดการรวมตัวกัน (aggregation) และตกตะกอน (precipitation) โปรตีนจึงตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย⁽¹³⁾ Purschke และคณะ⁽¹²⁾ รายงานว่า โปรตีนที่สกัดได้จากตั๊กแตนโลกัสตา (*Locusta migratoria*) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณร้อยละ 51.7 และมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 82.3 กระบวนการสกัดโปรตีนดังกล่าวยังถูกนำมาใช้ในการสกัดโปรตีนจากหนอนนกซึ่งทำให้ได้โปรตีนความบริสุทธิ์ร้อยละ 75⁽¹⁰⁾ และ 83.03⁽¹⁵⁾ นอกจากวิธีการแยกโปรตีนออกจากสารละลายโดยการตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริกแล้วนั้น วิธีการเกลือพาดตกตะกอน (salting-out) สามารถนำมาใช้เพื่อแยกโปรตีนออกจากสารละลายได้เช่นกันแต่ได้รับความนิยมน้อยกว่า วิธีการนี้จะใช้หลักการในการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนในสารละลายโปรตีนจนถึงจุดที่น้ำอิสระไม่สามารถที่จะทำละลายเกลือได้จึงเป็นการกำจัดน้ำออกจากโครงสร้างโปรตีนทำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนและตกตะกอน⁽¹³⁾ นอกจากทั้ง 2 วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้นสารละลายโปรตีนสามารถนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อกำจัดน้ำออกจากโปรตีนหรือทำการแยกโปรตีนด้วยเมมเบรนแทนการตกตะกอนโปรตีน ซึ่งการแยกโปรตีนด้วยเมมเบรนนี้เป็นกระบวนการที่ไม่รุนแรง (mild process) เมื่อเทียบกับการตกตะกอนโปรตีน เนื่องจากวิธีการนี้

จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน (denature)

4. การทำบริสุทธิ์โปรตีนแมลงกินได้

โปรตีนที่ได้จากกระบวนการสกัดแยกโปรตีนสามารถนำมาทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการทำบริสุทธิ์โปรตีน วิธีการทางโครมาโทกราฟีอาศัยความสัมพันธ์ของความแตกต่างของโปรตีนกับเฟสคงที่ ซึ่งวิธีการทำบริสุทธิ์โปรตีนโดยโครมาโทกราฟียังไม่ถูกนำมาใช้ในการทำบริสุทธิ์โปรตีนแมลงสำหรับนำไปใช้ในอาหารแต่มีการนำไปใช้แยกโปรตีนแมลงไอโซเลทเพื่อใช้ในการแพทย์ ตัวอย่างเช่น Francis และคณะ⁽¹⁶⁾ ทำบริสุทธิ์อาร์จินีนไคเนส (arginine kinase) ซึ่งเป็นสารก่อภูมิแพ้ที่สำคัญจากหนอนนกโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange chromatography) และ Strobl และคณะ⁽¹⁷⁾ แยกเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) จากหนอนนก โดยใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับโครมาโทกราฟีแบบแอฟฟินิตี (affinity) และโครมาโทกราฟีที่ใช้การคัดเลือกลำดับขนาด (size exclusion chromatography)

5. การทำแห้งโปรตีนแมลงกินได้

การทำแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้ตั้งแต่ขั้นตอนแรกในการทำแห้งผงแมลงหรือขั้นตอนในการทำแห้งโปรตีนคอนเซนเทรต หรือโปรตีนไอโซเลท เทคนิคในการทำแห้งมีมากมายในอุตสาหกรรมอาหารอย่างเช่น การอบแห้งด้วยเตาอบ การอบแห้งด้วยฟลูอิดไชเบด และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันสามารถ

นำมาใช้ได้ขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง เช่น การทำแห้งโปรตีนแมลงด้วยเตาอบส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิ 40 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาดั้งแต่ 7 ถึง 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่⁽¹⁸⁾ การทำแห้งด้วยไมโครเวฟส่วนใหญ่จะใช้ที่ 0.5 ถึง 2 กิโลวัตต์ เป็นเวลาดั้งแต่ 30 วินาที ถึง 20 นาที กระบวนการทำแห้งอื่น ๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ถูกใช้ในการทำแห้งสารละลายโปรตีน โดยเทคนิคนี้ตัวอย่างสารละลายโปรตีนจะถูกพ่นผ่านหัวฉีดแรงดันสูง (atomizer) ให้กลายเป็นหยดเล็ก ๆ และถูกพ่นผ่านอากาศร้อนจึงทำให้ตัวอย่างกลายเป็นผงแห้ง⁽¹³⁾ แต่อย่างไรก็ดีกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังไม่มีนำมาใช้ในการทำแห้งโปรตีนแมลง

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนแมลงในอาหาร

1. ความสามารถในการละลายน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำเป็นหนึ่งในคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญในระบบอาหาร เช่นเดียวกับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น การเกิดโฟม การเกิดเจล และการเกิดอิมัลชัน ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนแมลงขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยภายในของโปรตีนแมลงและปัจจัยภายนอก ปัจจัยภายในของโปรตีนแมลง ได้แก่ ชนิดและโครงสร้างของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ ขนาดของโปรตีน และโครงสร้างสามมิติของโปรตีน ปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความเข้มข้นของไอออน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ⁽¹⁹⁾ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและน้ำเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของโปรตีน การมีกรดอะมิโนที่มีประจุลบและมีขั้วอยู่บนพื้นผิวของโปรตีนจะเพิ่มความสามารถ

ในการละลายได้ของโปรตีนแมลง ในขณะที่กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง⁽¹⁹⁾ โครงสร้างโปรตีนยังส่งผลต่อความสามารถในการละลายโดยโครงสร้างของโปรตีนที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยากับน้ำและทำให้เกิดการละลายได้มากที่สุด การลดขนาดโปรตีนยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายของโปรตีนได้ โดยการไฮโดรไลซิสจะเพิ่มแรงผลักระหว่างโมเลกุลของโปรตีนทำให้เกิดช่องว่างที่โมเลกุลน้ำสามารถแทรกผ่านโมเลกุลโปรตีนได้ นอกจากนี้การไฮโดรไลซิสจะทำให้เกิดการปลดปล่อยชิ้นส่วนเปปไทด์ที่มีขนาดเล็กกว่าซึ่งมีกลุ่มที่แตกตัวได้มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น⁽²⁰⁾ การไฮโดรไลซิสช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนตักแตนและจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Grylloides sigillatus*) ข้อจำกัดของการไฮโดรไลซิสอาจส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่บางอย่างของโปรตีนแมลง เช่น คุณสมบัติการเกิดเจล ความเสถียรของโฟมและอิมัลชัน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของการไฮโดรไลซิสและเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรไลซิส⁽²¹⁾ อย่างไรก็ตามปัจจัยภายนอกสามารถเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายของโปรตีนได้ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนจนถึงจุดที่โปรตีนถูกทำให้เสียสภาพ ที่อุณหภูมิดังกล่าวกรดอะมิโนไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ที่อยู่ด้านในของสายโปรตีนถูกคลายออก ทำให้โปรตีนรวมตัวกันและตกตะกอนมากขึ้นความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดลง⁽²²⁾ ปรากฏการณ์นี้เช่นเดียวกับโปรตีนในอาหารทั่วไป เช่น โปรตีนนม และโปรตีนไข่ เป็นต้น Bußler และ

คณะ⁽⁹⁾ รายงานความสามารถในการละลายของโปรตีนแมลงวัน (*Hermetia illucens*) เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายยังแตกต่างกันไปตามความเข้มข้นของไอออนในสารละลายที่โปรตีนแมลงละลายอยู่ ที่ความเข้มข้นของไอออนต่ำ ไอออนจะทำหน้าที่เป็นเกราะปกป้องโปรตีนจากแรงดึงดูดซึ่งกันและกันจึงช่วยส่งเสริมให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของไอออนสูง การแข่งขันที่รุนแรงระหว่างเกล็ดและโปรตีนเพื่อแย่งชิงโมเลกุลน้ำทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง⁽²²⁾ นอกจากนี้ความสามารถในการละลายยังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อใกล้จุดไอโซอิเล็กทริกประจุสุทธิของโปรตีนเข้าใกล้จึงส่งผลเสียต่อปฏิกิริยาระหว่างน้ำและโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนตกตะกอน ในทางกลับกันค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นต่างจะทำให้พื้นผิวโปรตีนมีประจุซึ่งผลักกันและเพิ่มความสามารถในการละลาย โปรตีนเข้มข้นหนอนนก (*Temebrio molitor*) แมลงวัน (*Hermetia illucens*) ตั๊กแตน (*Locusta migratoria*) ตั๊กแตนปาทั้งกา (*Patanga succinta*) ตั๊กแตนคอนดราคริส (*Chondracris rosea*) และตั๊กแตนทะเลทราย (*Schistocerca gregaria*) มีความสามารถในการละลายต่ำสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และความสามารถในการละลายสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นต่าง⁽⁹⁾

2. การทำให้เกิดอิมัลชัน

อิมัลชันคือส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันของของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถผสมกันได้ ไม่ว่าจะเป็นหยดน้ำมันในน้ำหรือหยดน้ำในน้ำมัน⁽²³⁾ ลักษณะแอมฟิฟิลิก (amphiphilic) ของโปรตีนที่มีทั้งส่วนที่

ชอบน้ำและส่วนที่ชอบไขมัน จึงทำให้โปรตีนสามารถทำให้อิมัลชันอาหารเสถียรขึ้นได้โดยการลดแรงตึงผิวที่บริเวณรอยต่อระหว่างน้ำมันกับน้ำ คุณสมบัติเชิงหน้าที่นี้มีประโยชน์ในหลายผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ มายองเนส น้ำสลัดอาหารแช่แข็ง และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ปัจจัยภายในและภายนอกโปรตีนมีอิทธิพลต่อความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชันขนาดของโปรตีนโดยโปรตีนขนาดเล็กจะสามารถแพร่เข้าสู่บริเวณรอยต่อของน้ำและน้ำมันได้ดีกว่าโปรตีนขนาดใหญ่จึงทำให้มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ดี แต่มีเสถียรภาพของอิมัลชันต่ำ ในขณะที่โปรตีนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีอัตราการแพร่เข้าสู่บริเวณรอยต่อของน้ำและน้ำมันได้ต่ำกว่าโปรตีนขนาดเล็ก แต่เมื่อโปรตีนขนาดใหญ่แพร่เข้าไประหว่างรอยต่อของน้ำมันกับน้ำแล้วนั้นจะส่งผลให้มีเสถียรภาพของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับความสามารถในการละลายโดยคุณสมบัติของอิมัลชันจะดีขึ้นเนื่องจากมีกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำอยู่บนพื้นผิวของโปรตีน ซึ่งจำเป็นต่อการดูดซับกับน้ำมันในอิมัลชัน ปัจจัยภายนอก เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูง ความเข้มข้นของไอออนต่ำ และการไฮโดรไลซิสบางส่วนยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดอิมัลชันของโปรตีน⁽²⁴⁾ โปรตีนหนอนนกและโปรตีนจิ้งหรีด มีสถานะค่าความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของไอออนที่เหมาะสม มีคุณสมบัติในการเกิดอิมัลชันใกล้เคียงกับพืชตระกูลถั่ว⁽²⁵⁾

3. การทำให้เกิดโฟม

โฟมในอาหารคือลักษณะที่ฟองอากาศที่ถูกกักขังอยู่ในองค์ประกอบอาหารที่เป็นของเหลวและคงตัวอยู่ได้โดยโปรตีนจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความ

เสถียรอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างอากาศและของเหลว เช่นเดียวกับคุณสมบัติเชิงหน้าที่อื่น ๆ คุณสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น โครงสร้างของโปรตีน เนื่องจากการก่อตัวของโพนหมายถึง การคลายตัวของโปรตีนและถูกดูดซับบริเวณรอยต่อระหว่างอากาศและน้ำ โปรตีนทรงกลมและหนาแน่นจึงมักมีประสิทธิภาพในการเกิดโพนน้อยกว่าโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและยืดหยุ่น ในทางกลับกันคุณสมบัติในการเกิดโพนที่ดีไม่ได้หมายความว่าความเสถียรของโพนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบอาหาร โปรตีนทรงกลมที่เชื่อมโยงกันอย่างแน่นหนามีแนวโน้มที่จะสร้างฟิล์มที่ทนทานกว่า ทำให้โพนที่ได้มีความทนทานและความเสถียรดีกว่าโปรตีนที่มีความยืดหยุ่น การที่โปรตีนมีกรดอะมิโนชนิดที่ไม่ชอบน้ำจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเกิดโพนได้ดี อย่างไรก็ตาม Zielińska และคณะ⁽²⁵⁾ รายงานว่าไขมันมีผลกระทบเชิงลบต่อการเกิดโพนของโปรตีน โดยโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการสกัดไขมันแล้วมีความสามารถในการเกิดโพนได้ดีกว่าและโพนที่ได้มีความเสถียรมากกว่าโปรตีนของแมลงดังกล่าวที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน ในทางกลับกันการไฮโดรไลซิสมีผลกระทบเชิงบวกต่อคุณสมบัติการเกิดโพน โดยการไฮโดรไลซิสทำให้โปรตีนมีขนาดเล็กลงจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับของเปปไทด์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสออกมาที่บริเวณรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศจึงทำให้ความสามารถในการเกิดโพนดีขึ้น⁽²⁶⁾ นอกจากนี้ในสภาวะค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของไอออนที่เหมาะสม โปรตีนแมลงกินได้บางชนิดจะมี

คุณสมบัติในการเกิดโพนที่ดีขึ้นและสามารถนำมาใช้ในสูตรอาหารได้

4. การทำให้เกิดเจล

การเกิดเจลของโปรตีนคือโปรตีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างซึ่งสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างร่างแห⁽²⁷⁾ เช่นเดียวกับคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในระบบอาหารอื่น ๆ ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ การเกิดเจลขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในหลายประการ เช่น ปฏิสัมพันธ์ไฟฟ้าสถิต (electrostatic interactions) และปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ความร้อนมีความสำคัญในการสร้างเจลเนื่องจากความร้อนส่งเสริมให้โปรตีนคลายตัว (unfold) และเสียสภาพ (denature) อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการจัดเรียงตัวใหม่ (rearrange) และการรวมตัว (aggregate) อย่างช้า ๆ จึงทำให้เกิดเจลตามต้องการในขั้นตอนการทำความเย็น⁽²⁸⁾ Yi และคณะ⁽²⁹⁾ ศึกษาความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนเข้มข้นของแมลงกินได้ 5 ชนิด ได้แก่ หนอนนก หนอนนกยักษ์ (*Zophobas morio*) ตัวงดำ (*Alphitobius diaperinus*) จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) และแมลงสาบดู่เบีย (*Blaptica dubia*) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 สามารถเกิดเจลได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 อุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 51.2-63.2 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการทดแทนด้วยโปรตีนแมลง

Kim และคณะ⁽³⁰⁾ ศึกษาการทดแทนเนื้อหมูไม่ติดมันด้วยหนอนนกหรือหนอนไหมในรูปของผงแมลง ผงแมลงกำจัดไขมัน และโปรตีนไฮโดรไลเสตร้อยละ 10 โดยพบว่า ไส้กรอกที่มีการทดแทนเนื้อหมูด้วยแมลงมีความแข็งมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม การเติมผงแมลงในไส้กรอกทำให้สูญเสียความชื้นในไส้กรอกอิมัลชันอย่างมากจึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป Scholliers และคณะ⁽³¹⁾ ได้ใช้ผงหนอนยักษ์ (*Zophobas morio*) ทดแทนเนื้อหมูบางส่วน (ร้อยละ 5-50) ในการผลิตไส้กรอกปรุงสุกและอธิบายว่า การใช้ผงหนอนยักษ์ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 ช่วยลดการสูญเสียในการปรุงอาหารและมีเสถียรภาพของอิมัลชันดีเทียบเท่าไส้กรอกที่ทำจากเนื้อหมูร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามการทดแทนเนื้อด้วยผงหนอนยักษ์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง ในขณะที่ Smetana และคณะ⁽³²⁾ รายงานการทดแทนโปรตีนถั่วด้วยโปรตีนด้วงดำ (*Alphitobius diaperinus*) อัตราส่วนร้อยละ 40 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมความชื้นสูงที่มีลักษณะเส้นใยแข็งแรงและมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ Kim และคณะ⁽³³⁾ ผสมโปรตีนแมลงกับโปรตีนพืชในอัตราส่วนที่ต่างกันเพื่อทำเป็นเนื้อเทียม โดยสูตรที่ประกอบด้วยโปรตีนแมลงร้อยละ 100 มีกรดอะมิโนจำเป็นสูงสุดรวมถึงมีเสถียรภาพต่อความร้อนสูงสุด โดยมีอุณหภูมิในการเปลี่ยนสภาพและเอนทัลปีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนพืชเป็นส่วนประกอบ⁽³⁴⁾ การทดแทนด้วยโปรตีนหนอนนกร้อยละ 30 มีความสามารถในการละลายและการย่อย

ของโปรตีน ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และปฏิกิริยาต่อสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนแมลงที่เพิ่มขึ้น การประเมินทางประสาทสัมผัสในแง่ของการยอมรับในรสชาติของความเป็นเนื้อ กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมโปรตีนแมลง⁽³⁵⁾ Azzollini และคณะ⁽³⁶⁾ ศึกษาการเติมผงแมลงหนอนนกในขนมขบเคี้ยวจากธัญพืชพบว่า การเติมผงแมลงช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนและเพิ่มการย่อยได้ของผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณผงแมลงร้อยละ 10 ไม่ทำให้คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแมลงแตกต่างไปจากขนมขบเคี้ยวจากธัญพืชที่ไม่มีการเติมผงแมลง ในขณะที่การเติมผงแมลงร้อยละ 20 ทำให้เนื้อสัมผัสแย่ง นอกจากนั้นการเติมผงผักแทนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลและรสชาติเฉพาะของผงผักแทนซึ่งส่งผลเชิงลบต่อการยอมรับของผู้บริโภค⁽³⁷⁾

การผสมผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) กับแป้งสาลีในการทำขนมปังทำให้ขนมปังที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีขึ้น แต่ส่งผลเสียต่อความแข็งแรงของขนมปังอีกด้วย⁽³⁸⁾ González และคณะ⁽³⁹⁾ ศึกษาเปรียบเทียบการเติมผงแมลงร้อยละ 5 ได้แก่ แมลงวันลาย (*Hermetia illucens*) จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) และหนอนนกในแป้งขนมปังโดยพบว่า จิ้งหรีดทองแดงลาย มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำขนมปัง เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และรสชาติที่เหมาะสมกับการเป็นขนมปังมากที่สุดแมลงทั้งสามชนิด ขนมปังที่เสริมด้วยผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสและสี รวมถึงปริมาณร่จำเพาะที่ใกล้เคียงกับขนมปังที่ทำด้วยแป้งสาลี นอกจากนี้ยัง

มีปริมาณโปรตีนและไฟเบอร์ที่สูงอีกด้วย⁽³⁹⁾ ในทำนองเดียวกัน การเสริมด้วยผงตักแตน (*Schistocerca gregaria*) ทำให้ขนมปังมีปริมาณโปรตีนและไฟเบอร์สูงขึ้น มีเนื้อสัมผัส สี และรสชาติที่คล้ายกับขนมปังที่ไม่มีการเติมผงแมลง แต่ส่งผลต่อคะแนนความชอบเรื่องกลิ่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีการเติมผงแมลง⁽⁴⁰⁾ Roncolini และคณะ⁽⁴¹⁾ รายงานว่า การเสริมผงหนอนนก ในขนมปังนอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณ

โปรตีนและกรดอะมิโนของขนมปังแล้ว สามารถช่วยเพิ่มปริมาณจำเพาะและความนุ่มของขนมปังเมื่อเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม อย่างไรก็ตามขนมปังสูตรควบคุมได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสมากกว่า นอกจากนี้การเสริมผงจิ้งหรีดในสูตรขนมปังที่ไม่มีกลูเตน ทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี⁽⁴²⁾ ตัวอย่างการศึกษาการทดแทนแมลงกินได้ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Physical and chemical characteristic by incorporating insect protein and their application

Insect	Food product	Outcomes	Reference
<i>Alphitobius diaperinus</i>	Meat analogs	- Protein composition similar to meat - Hardness texture	(32)
<i>Tenebrio molitor</i> L.	Bread	- Increase protein and fat content - Darker appearance	(43)
<i>Arthrospira maxima</i>	Meat sausage	- Enhance nutrition quality - Texture unchanged - Reduce color parameter	(44)
<i>Ruspolia differens</i>	Cookies	- Higher protein, fat and energy - High level of isoleucine and leucine - Contain omega-3	(45)

บทสรุป

เพื่อตอบสนองความต้องการด้านอาหารในอนาคต แมลงกินได้จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีศักยภาพสูง ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วน กระบวนการเพาะเลี้ยงที่ใช้เวลาสั้น และความ

ต้องการพื้นที่เพาะเลี้ยงน้อย อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านภาพลักษณ์อาจเป็นอุปสรรคต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น การสกัดโปรตีนจากแมลงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มโอกาสในการนำ

แมลงมาใช้เป็นแหล่งอาหารได้กว้างขวางยิ่งขึ้น โปรตีนแมลงที่สกัดได้ไม่เพียงช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ยังมีบทบาทสำคัญในด้านคุณสมบัติทางฟังก์ชันของอาหารอีกด้วย ความหลากหลายของชนิดแมลง กระบวนการสกัดโปรตีน ตลอดจนเทคโนโลยีในการปรับปรุงคุณภาพโปรตีน ล้วนมีส่วนช่วยให้โปรตีนแมลงสามารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับ

ผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท ด้วยศักยภาพดังกล่าว โปรตีนแมลงจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถต่อยอดในระดับอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามยังมีความจำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม ต้นทุนการผลิต ความยั่งยืน และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อให้สามารถนำโปรตีนแมลงมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างแพร่หลายและยั่งยืนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol Nutr Food Res. 2013;57(5):802-23.
2. Psarianos M, Aghababaei F, Schlüter OK. Bioactive compounds in edible insects: Aspects of cultivation, processing and nutrition. Food Research International. 2025;203:115802.
3. Orkusz A. Edible insects versus meat-nutritional comparison: knowledge of their composition is the key to good health. Nutrients. 2021;13(4).
4. Santiago LA, Queiroz LS, Tavares GM, Feyissa AH, Silva NFN, Casanova F. Edible insect proteins: how can they be a driver for food innovation? Curr Opin Food Sci. 2024;58:101195.
5. van Huis A. Edible insects are the future? The Proceedings of the Nutrition Society. 2016;75(3):294-305.
6. Huang W, Wang C, Chen Q, Chen F, Hu H, Li J, et al. Physicochemical, functional, and antioxidant properties of black soldier fly larvae protein. J Food Sci. 2024;89(1):259-75.
7. Tomotake H, Katagiri M, Yamato M. Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) Are New Sources of High Quality Protein and Lipid. J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo). 2010;56(6):446-8.
8. Gravel A, Doyen A. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. IFSET. 2020;59:102272.
9. Bußler S, Rumpold BA, Jander E, Rawel HM, Schlüter OK. Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Heliyon. 2016;2(12):e00218.
10. Zhao X, Vázquez-Gutiérrez JL, Johansson DP, Landberg R, Langton M. Yellow mealworm protein for food purposes - extraction and functional properties. PLOS ONE. 2016;11(2):e0147791.
11. Yang R, Zhao X, Kuang Z, Ye M, Luo G, Xiao G, et al. Optimization of antioxidant peptide production in the hydrolysis of silkworm (*Bombyx mori* L.) pupa protein using response surface methodology. J Food Agric Environ. 2013;11:952-6.
12. Purschke B, Brüggem H, Scheibelberger R, Jäger H. Effect of pre-treatment and drying method on physico-chemical properties and dry fractionation behaviour of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). Eur Food Res Technol. 2018;244(2):269-80.
13. Boye JL, Barbana C. Protein processing in food and bioproduct manufacturing and techniques for analysis. J Food Ind Bioprod Bioproc. 2012. p. 85-113.
14. Duong-Ly KC, Gabelli SB. Chapter Seven - Salting out of proteins using ammonium sulfate precipitation. In: Lorsch J, editor. Methods in Enzymology. 541: Academic Press; 2014. p. 85-94.

15. Azagoh C, Ducept F, Garcia R, Rakotozafy L, Cuvelier ME, Keller S, et al. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Res Int.* 2016;88:24-31.
16. Francis F, Doyen V, Debaugnies F, Mazzucchelli G, Caparros R, Alabi T, et al. Limited cross reactivity among arginine kinase allergens from mealworm and cricket edible insects. *Food Chem.* 2019;276:714-8.
17. Strobl S, Gomis-Rüth F-X, Maskos K, Frank G, Huber R, Glockshuber R. The α -amylase from the yellow meal worm: complete primary structure, crystallization and preliminary X-ray analysis. *FEBS Letters.* 1997;409(1):109-14.
18. Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez A-J, Salinas-Castro A. Edible insects processing: traditional and innovative technologies. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2019;18(4):1166-91.
19. Kramer Ryan M, Shende Varad R, Motl N, Pace CN, Scholtz JM. Toward a molecular understanding of protein solubility: increased negative surface charge correlates with increased solubility. *Biophys J.* 2012;102(8):1907-15.
20. Gould J, Wolf B. Interfacial and emulsifying properties of mealworm protein at the oil/water interface. *Food Hydrocoll.* 2018;77:57-65.
21. Wouters AGB, Rombouts I, Fierens E, Brijs K, Delcour JA. Relevance of the functional properties of enzymatic plant protein hydrolysates in food systems. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2016;15(4):786-800.
22. Sathe SK, Zaffran VD, Gupta S, Li T. Protein Solubilization. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* 2018;95(8):883-901.
23. Sharif HR, Williams PA, Sharif MK, Abbas S, Majeed H, Masamba KG, et al. Current progress in the utilization of native and modified legume proteins as emulsifiers and encapsulants – A review. *Food Hydrocoll.* 2018;76:2-16.
24. Lam RSH, Nickerson MT. Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure–function approach. *Food Chem.* 2013;141(2):975-84.
25. Zielińska E, Karaś M, Baraniak B. Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *LWT.* 2018;91:168-74.
26. Liceaga-Gesualdo AM, Li-Chan ECY. Functional properties of fish protein hydrolysate from herring (*Clupea harengus*). *J Food Sci.* 1999;64(6):1000-4.
27. Ziegler GR, Foegeding EA. The Gelation Of proteins paper No. 8255 in the journal series of the Pennsylvania Agricultural Experiment Station. In: Kinsella JE, editor. *Advances in Food and Nutrition Research.* 34: Academic Press; 1990. p. 203-98.
28. Totosaus A, Montejano JG, Salazar JA, Guerrero I. A review of physical and chemical protein-gel induction. *Int J Food Sci Technol.* 2002;37(6):589-601.
29. Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, van Huis A, van Boekel MAJS. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chem.* 2013;141(4):3341-8.
30. Kim H-W, Setyabrata D, Lee YJ, Jones OG, Kim YHB. Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *IFSET.* 2016;38:116-23.
31. Scholliers J, Steen L, Fraeye I. Partial replacement of meat by superworm (*Zophobas morio* larvae) in cooked sausages: Effect of heating temperature and insect:Meat ratio on structure and physical stability. *IFSET.* 2020;66:102535.
32. Smetana S, Ashtari Larki N, Pernutz C, Franke K, Bindrich U, Toepfl S, et al. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *J Food Eng.* 2018;229:83-5.
33. Kim T-K, Yong HI, Chun HH, Lee M-A, Kim Y-B, Choi Y-S. Changes of amino acid composition and protein technical functionality of edible insects by extracting steps. *J Asia-Pac Entomol.* 2020;23(2):298-305.
34. Kim T-K, Yong HI, Cha JY, Park S-Y, Jung S, Choi Y-S. Drying-induced restructured jerky analog developed using a combination of edible insect protein and textured vegetable protein. *Food Chem.* 2022;373:131519.
35. Cho SY, Ryu GH. Effects of mealworm larva composition and selected process parameters on the physicochemical properties of extruded meat analog. *J Food Sci Nutr.* 2021;9(8):4408-19.



36. Azzollini D, Derossi A, Fogliano V, Lakemond CMM, Severini C. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. IFSET. 2018;45:344-53.
37. Cuj-Laines R, Hernández-Santos B, Reyes-Jaquez D, Delgado-Licon E, Juárez-Barrientos JM, Rodríguez-Miranda J. Physicochemical properties of ready-to-eat extruded nixtamalized maize-based snacks enriched with grasshopper. Int J Food Sci Technol. 2018;53(8):1889-95.
38. Osimani A, Milanović V, Cardinali F, Roncolini A, Garofalo C, Clementi F, et al. Bread enriched with cricket powder (*Acheta domestica*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. IFSET. 2018;48:150-63.
39. González CM, Garzón R, Rosell CM. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. IFSET. 2019;51:205-10.
40. Haber M, Mishyna M, Martinez JJI, Benjamin O. The influence of grasshopper (*Schistocerca gregaria*) powder enrichment on bread nutritional and sensorial properties. LWT. 2019;115:108395.
41. Roncolini A, Milanović V, Cardinali F, Osimani A, Garofalo C, Sabbatini R, et al. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. PLOS ONE. 2019;14(2):e0211747.
42. da Rosa Machado C, Thys RCS. Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads. IFSET. 2019;56:102180.
43. Gantner M, Król K, Piotrowska A, Sionek B, Sadowska A, Kulik K, et al. Adding mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder to wheat bread: effects on physicochemical, sensory and microbiological qualities of the end-product. Molecules. 2022;27(19):6155.
44. Acateca-Hernández MI, Hernández-Cázares AS, Hidalgo-Contreras JV, Jiménez-Munguía MT, Rios-Corripio MA. Evaluation of the functional properties of a protein isolate from *Arthrospira maxima* and its application in a meat sausage. Heliyon. 2024;10(13):e33500.
45. Ochieng BO, Anyango JO, Khamis FM, Ekesi S, Egonyu JP, Subramanian S, et al. Nutritional characteristics, microbial loads and consumer acceptability of cookies enriched with insect (*Ruspolia differens*) meal. LWT. 2023;184:115012.

สตาร์ชหลากหลายสภาวะ: วิธีการผลิต คุณสมบัติ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

งามจิตร โล่วิฑูร

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrnjl@ku.ac.th

รับเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2568 แก้ไขเมื่อ 3 เมษายน 2568 ตอรับเมื่อ 17 เมษายน 2568

จุดเด่น

- แนวโน้มของตลาดสตาร์ชหลากหลายสภาวะกำลังเติบโตอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการสุขภาพดีอย่างยั่งยืน
- เทคนิคการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการผสม วิธีทางกายภาพ และเอนไซม์เพื่อนวัตกรรมผลิตภัณฑ์หลากหลายสภาวะ
- คุณสมบัติของสตาร์ชหลากหลายสภาวะและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ

บทคัดย่อ

แนวโน้มตลาดผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง สตาร์ชหลากหลายสภาวะหรือสตาร์ชดัดแปรโดยไม่ใช้สารเคมีจัดเป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมอาหาร การดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีต่าง ๆ โดยไม่ใช้สารเคมี เช่น การผสม วิธีทางกายภาพ (การใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน) และการใช้เอนไซม์ ส่งผลให้สตาร์ชมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการ ชนิดของสตาร์ช และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สตาร์ชผสมส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามค่าการทำนาย เทคนิคการใช้ความร้อนส่งผลให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันบางส่วน ส่วนการใช้เทคนิคการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนส่วนใหญ่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและบริเวณผิวของกรานูล และบางวิธีอาจส่งผลให้โมเลกุลของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง การใช้เอนไซม์เป็นวิธีที่ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปมากเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชถูกไฮโดรไลซ์ สตาร์ชหลากหลายสภาวะยังคงเป็นสิ่งที่ท้าทายในการนำนวัตกรรมการผลิตมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถส่งต่อถึงผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายสภาวะสำหรับผู้บริโภค

คำสำคัญ : สตาร์ชหลากหลายสภาวะ สตาร์ชผสม การดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ การดัดแปรด้วยเอนไซม์

Clean-label starch: production, properties and applications in food products

Ngamjit Lowithun

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : ifrnjl@ku.ac.th

Received 7 February 2025; **Revised** 3 April 2025; **Accepted** 17 April 2025

Highlights

- Trend of the clean-label starch market is growing continuously to meet the demands for sustainable wellness
- Starch modification techniques with blending, physical and enzymatic methods for innovative clean-label products
- Properties of clean-label starch and applications in several food products

Abstract

The trend of the health food product market is continuously growing. Clean label starch, starch modified without chemical, is one of the ingredients that play an important role in the transformation of the food industry. Various starch modifications without chemicals, such as blending, physical methods (thermal and non-thermal treatment), and enzymatic modification, provide different starch properties depending on process methods, starch types, and related factors. Most starch blends have their properties that are non-additive behavior. The thermal process results in partial gelatinization of starch. The non-thermal process mainly affects the granular shape and surface area and may change the molecular structure. Enzyme treatment greatly changes the properties of starch due to hydrolyzed molecular structure. Clean label starch remains a challenge in applying process innovations in food industry to effectively produce clean label food products for consumers.

Keywords : clean label starch, starch blends, physical modification, enzymatic modification

บทนำ

แนวคิดเกี่ยวกับฉลากสะอาด (clean label) มีจุดเริ่มต้นเมื่อประมาณ 20 ปีก่อน ในประเทศทางยุโรป พัฒนามาจากความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการฉลากผลิตภัณฑ์ที่เข้าใจง่าย และปราศจากส่วนผสมหรือกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนหรือไม่จำเป็น⁽¹⁾ ปัจจุบันแนวคิดนี้ยังคงเป็นกระแสที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแนวทางที่สามารถช่วยตอบโจทยความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจทั้งในเรื่องของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และกระตุ้นให้ผู้ผลิตเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้ส่วนผสมจากวัตถุดิบธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น สารแต่งสี กลิ่นรสสังเคราะห์ หรือวัตถุกันเสีย ใช้กระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนเพื่อคงคุณค่าทางโภชนาการ มีความโปร่งใสในการระบุส่วนประกอบและข้อมูลโภชนาการบนฉลากอย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย นอกจากนี้อาจรวมถึงการใช้วัตถุดิบที่มาจากแหล่งผลิตที่ยั่งยืน หรือการผลิตที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม⁽²⁾ ฉลากสะอาดจึงเป็นช่องทางในการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค ในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคในด้านความปลอดภัย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งตอบสนองความต้องการด้านสุขภาพและความยั่งยืน

สตาร์ชเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่พบได้มากในพืช เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าว และธัญพืชอื่น ๆ สตาร์ชประกอบด้วยโพลิเมอร์ของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน โดยลักษณะโครงสร้างของแอมิโลสประกอบด้วยหน่วยกลูโคสจำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่

ตำแหน่ง α -1,4 ได้เป็นโครงสร้างที่เป็นสายตรง (linear polymer) และมีกิ่งปริมาณน้อย ส่วนโครงสร้างแอมิโลเพคตินมีโครงสร้างแบบกิ่ง (branch chain) ประกอบด้วยโพลิเมอร์สายตรงและโซ่กิ่งที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะที่ตำแหน่ง α -1,6 สตาร์ชมีคุณสมบัติที่นำมาใช้เป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์ เช่น ซอส ชุป และเครื่องดื่ม ใช้เป็นสารยึดเกาะ (binder) หรือทำให้เกิดเจล (gelling agent) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากคุณสมบัติของสตาร์ชธรรมชาติ หรือแป้งดิบ (native starch) มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่าย ไม่ทนต่อความร้อน แรงเฉือนจากการกวนผสม และความเป็นกรด จึงมีการใช้สตาร์ชดัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว วิธีการดัดแปรโครงสร้างของสตาร์ชสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพ การใช้เอนไซม์ และการใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งสตาร์ชดัดแปรที่ผลิตและใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้วิธีการดัดแปรด้วยสารเคมี⁽³⁾

จากข้อมูลตลาดสตาร์ชฉลากสะอาดทั่วโลก พบว่า มีมูลค่าประมาณ 1.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2567 และคาดว่าจะมีมูลค่าสูงถึง 3.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี พ.ศ. 2576 ที่อัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 5.5 ต่อปี โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติบโตของตลาด เช่น ผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ หรือออร์แกนิกเพิ่มขึ้น ความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และความต้องการอาหารพร้อมบริโภค รวมทั้งความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเฉพาะ เช่น ผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน⁽⁴⁾

สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มความต้องการสตาร์ชหลากหลายสะอาดเพิ่มขึ้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทซูป และซอสสำเร็จรูปเนื่องจากมีส่วนแบ่งการตลาดใหญ่ที่สุด⁽⁵⁾ ในบทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการผลิตและคุณสมบัติของสตาร์ชหลากหลาย รวมถึงแนวทางการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

วิธีการผลิตสตาร์ชหลากหลาย คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์

การผสมสตาร์ช (starch blends)

การผสมสตาร์ช เป็นวิธีการง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน โดยนำสตาร์ชตั้งแต่สองชนิดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ พฤติกรรมของสตาร์ชผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ สตาร์ชผสมที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะและปริมาณของสตาร์ชเดี่ยวที่นำมาใช้ผสม หรือมีพฤติกรรมที่เรียกว่า additive effect behavior และสตาร์ชผสมที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามการทำนายจากสัดส่วนคุณลักษณะเดิมของสตาร์ชที่นำมาผสม หรือที่เรียกว่า non-additive effect behavior⁽⁶⁾ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสตาร์ชด้วยวิธีการผสมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

1) ขนาดอนุภาคของสตาร์ช

ความแตกต่างของขนาดอนุภาคระหว่างสตาร์ชที่นำมาผสมกันมีผลทำให้สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชผสมเปลี่ยนแปลงไป เช่น การศึกษาของ Pancha-amon และคณะ⁽⁷⁾ พบว่า การผสมสตาร์ชจากแป้งพุทธรักษา (canna starch) ที่มี

ขนาดอนุภาคใหญ่ (~53 ไมครอน) กับสตาร์ชข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (~7 ไมครอน) ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ประมาณ 125 RVU และ 20 RVU ตามลำดับ ส่งผลให้สตาร์ชที่ผสมในสัดส่วนที่เท่ากันมีค่าความหนืดสูงสุด ~30 RVU ซึ่งต่ำกว่าค่าจากการทำนายถึงร้อยละ 59 เนื่องจากกำลังการพองของเม็ดแป้งพุทธรักษาลดลงเมื่อเทียบกับการผสมสตาร์ชพุทธรักษาด้วยสตาร์ชถั่วเขียว (~24 ไมครอน) และสตาร์ชมันฝรั่ง (~48 ไมครอน) ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุดเป็นไปตามค่าทำนาย

2) ปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนและปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเดี่ยวที่นำมาผสม ปริมาณแอมิโลสมีอิทธิพลต่อสมบัติทางความหนืดของทั้งสตาร์ชเดี่ยวและสตาร์ชผสม โดยเฉพาะในช่วงการเกิดโครงสร้างตาข่ายของเจล ในระหว่างการทำใหเย็นตัวลง สตาร์ชผสมมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น⁽⁷⁻⁸⁾

3) ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช

ปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชที่ใช้ในระบบเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้สตาร์ชผสมมีพฤติกรรมแตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปริมาณน้ำที่มากเพียงพอส่งผลให้สตาร์ชผสมมีสมบัติในการเกิดเจลลิตีในเซชันเป็นไปตามสัดส่วนของคุณลักษณะของสตาร์ชเดี่ยว ในขณะที่ระดับความเข้มข้นสูง สตาร์ชผสมส่วนใหญ่มีคุณลักษณะที่ไม่เป็นไปตามการทำนายเนื่องจากเกิดการแข่งขันระหว่างสตาร์ชโดยสตาร์ชที่มีอุณหภูมิการสุกต่ำจะดูดน้ำและเกิด

การสุกก่อน ทำให้เหลือปริมาณน้ำส่วนที่น้อย สำหรับการสุกของสตาร์ชอีกชนิดที่เหลือจึงส่งผลให้เกิดการสุกที่อุณหภูมิสูงขึ้น⁽⁶⁾

4) กำลังการพองของเม็ดแป้ง

การผสมสตาร์ชที่มีกำลังการพองน้อยและกำลังการพองมากในอัตราส่วนที่เท่ากัน ส่งผลให้สตาร์ชผสมมีกำลังการพองลดลงและอุณหภูมิการสุกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทำนาย⁽⁹⁾ การผสมสตาร์ชมันฝรั่งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน (71, 55 และ 32 ไมครอน) กับสตาร์ชข้าวเหนียว ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชผสมแปรผันตรงกับกำลังการพองของเม็ดแป้ง โดยสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมีการอนุขนาดเล็กแต่มีกำลังการพองมากที่สุดทำให้สตาร์ชผสมมีค่าความหนืดมากที่สุด⁽¹⁰⁾

5) โครงสร้างของแอมิโลเพคติน

จากการศึกษาวิจัยของผู้เขียนพบว่า การผสมสตาร์ชข้าวเจ้ากับสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์

ต่างกันในส่วนที่เท่ากัน สตาร์ชผสมที่ได้มีสมบัติทางความหนืดและสมบัติรีโอโลยีแตกต่างกัน และมีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามค่าการทำนาย เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีโครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน⁽¹¹⁾

สตาร์ชผสมเป็นเทคนิคที่มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น ซอส ชุป รวมถึงการใช้แป้งผสมเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ตลอดจนกลุ่มผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสตาร์ชผสม แสดงใน Table 1 เช่น การผสมสตาร์ชมันฝรั่งในแป้งสาลีสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป⁽¹²⁾ การผสมสตาร์ชมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มความคงตัวของเจลสตาร์ชข้าวแช่เยือกแข็ง⁽¹³⁾ และการใช้แป้งข้าวเหนียวเพื่อชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของขนมปังจากแป้งสาลี⁽¹⁴⁾

Table 1 Starch blending conditions on properties for food applications

Blends	Conditions	Influence on properties	Applications
Potato starch / Wheat flour ⁽¹²⁾	- Different varieties of potato starch	- Potato starch with high phosphate content improved textural properties	Instant noodle
Mung bean starch blends with different botanical sources (potato, sweet potato, rice and sorghum starches) ⁽¹⁵⁾	- Different proportions (0, 20, 40, 60, 80, and 100%) - 20% starch concentration	- Potato starch increased PV, HV and FV - Blending other starches decreased storage modulus (G') and increased tan δ of mung bean starch gel	Noodle
Sweet potato starch / Cassava starch ⁽¹⁶⁾	- Different ratios (100:0, 67:33, 50:50, 33:67, and 0:100) - 10% starch concentration	- PV, BD and PT increased with cassava starch - G' ₂₅ and G'' ₂₅ decreased; similar tan δ ₂₅ compared to the predicted values	Noodle (vermicelli)

Table 1 (continued)

Blends	Conditions	Influence on properties	Applications
Rice starch / Tapioca starch ⁽¹³⁾	- Different ratios (10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, and 5:5) - 5% starch concentration	- Blending tapioca starch increased gel strength and freeze-thaw stability - G' and G'' decreased; tanδ increased with blending tapioca starch	Frozen products
Pea starch / Corn starch ⁽¹⁷⁾	- Different mixture ratios (9:1 to 1:9)	- Good mouthfeel with blending of corn starch - Improving syneresis stability	Pudding, Sauce
Rice flour / Wheat flour ⁽¹⁴⁾	- 30% rice flour - Rice flour with different amylose contents (2.2, 10.2, and 17.2%)	- Waxy rice flour increased extensibility of crumb and retarded retrogradation	Bread

Abbreviations : PV, peak viscosity; HV, hot paste viscosity; FV, final viscosity; BD, breakdown; PT, pasting temperature.

การดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ

การดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีทางกายภาพเป็นการทำให้รูปร่างและโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการใช้เทคนิคกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นวิธีการแปรรูปโดยใช้ความร้อนและการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน สำหรับวิธีที่ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชโดยใช้ความร้อนอาศัยหลักการทำให้แป้งสุกบางส่วน หรือทำให้โครงสร้างผลึกของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น

พรีเจลาติไนเซชัน (pre-gelatinization) เป็นการทำให้แป้งสุกบางส่วนด้วยกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย วิธีพรีเจลาติไนเซชันช่วยให้ความสามารถในการดูดน้ำ กำล้างการพอง และการละลายน้ำของสตาร์ชเพิ่มขึ้น สมบัติทางความหนืดของสตาร์ช (อุณหภูมิการสุก ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และการเกิดรีโทรเกรท) ลดลง ซึ่ง

คุณสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นสารทำให้เกิดความข้นหนืด หรือสารทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อาหารแช่เยือกแข็ง อาหารกึ่งสำเร็จรูป อาหารสำหรับเด็ก ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และน้ำสลัด⁽²⁾

การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น (hydrothermal treatment) เป็นวิธีการดัดแปรสตาร์ชซึ่งอาศัยหลักการให้ความร้อนร่วมกับการควบคุมความชื้นโดยที่ไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ heat moisture treatment (HMT) และ annealing (ANN) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้นแบบ HMT เป็นวิธีที่ใช้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิการสทรานซิชัน (ที่ระดับความชื้นต่ำ) โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในช่วง 90-120 องศาเซลเซียส ควบคุมปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 10-40 และใช้เวลา 1 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนวิธี ANN จะใช้ความชื้นสูง (ร้อยละ 50-60) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการสทรานซิชันและต่ำกว่า

อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน การตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีการให้ความร้อนร่วมกับความชื้นนี้ส่งผลทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึก กำลังการพองตัวลดลง และอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันเพิ่มขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีนี้มีความแตกต่างกันคือ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และชนิดของสตาซ์⁽²⁾

สำหรับการตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีทางกายภาพโดยไม่ใช้ความร้อน Wu และคณะ⁽¹⁸⁾ ได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการตัดแปรรสตาซ์โดยไม่ใช้ความร้อน คุณสมบัติและแนวทางการประยุกต์ใช้สตาซ์ตัดแปรรด้วยวิธีทางกายภาพนี้ใน Table 2 โดยแต่ละวิธีอาศัยหลักการเทคนิคการแปรรูปที่แตกต่างกันในการปรับปรุงคุณสมบัติของสตาซ์ สรุปได้ดังนี้

วิธีไมโครไนเซชัน (micronization) เป็นการบดลดขนาดอนุภาคให้มีขนาดละเอียด หรือน้อยกว่า 10 ไมครอน เครื่องจักรที่ใช้ในการบด เช่น แฮมเมอร์มิล (hammer mill) บอลมิล (ball mill) และเจทมิล (jet mill) การบดลดขนาดให้เล็กลงและมีความละเอียดส่งผลให้พื้นผิวของเม็ดแป้งมีความขรุขระ เม็ดแป้งมีการเกาะติดกันมากขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและกำลังการพองอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน และความเป็นผลึกของเม็ดแป้งลดลง⁽¹⁸⁻¹⁹⁾

การใช้ความดันสูง (high pressure treatment) เป็นวิธีการที่ใช้ในการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยใช้ความดันสูงประมาณ 600 MPa หรือมากกว่า เทคนิคนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาซ์ เม็ดแป้ง

เกิดการเสียรูปร่างโดยการอัดตัวกันแน่นของเม็ดแป้งเป็นชั้น ๆ ส่วนภายในลักษณะของไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงเม็ดแป้งดิบลดลง และเกิดโครงสร้างคล้ายเจลขึ้น แสดงให้เห็นว่าสตาซ์เกิดการสุกภายใต้ความดัน สตาซ์ตัดแปรรด้วยวิธีนี้มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีความคงตัวต่อการกวน และเกิดการรีโทรเกรทชัน เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการแตกน้อย และปริมาณแอมิโลสออกมาได้น้อย⁽²⁾

การใช้เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field หรือ PEF) เป็นวิธีที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์แรงสูง (มากกว่า 10 kV/cm) กับอาหารเหลว ในบริเวณที่มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเป็นระยะเวลาสั้น ๆ (น้อยกว่า 40 μ s) เพื่อทำลายโครงสร้างผนังของเซลล์จุลินทรีย์จนแตกและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ส่งผลทำให้รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ลดลง⁽²⁾ การประยุกต์ใช้วิธี PEF ในการตัดแปรรสตาซ์ทำให้บริเวณผิวแกรนูลไม่เรียบ เกิดโพรงและรอยแยกโมเลกุลของสตาซ์เกิดการแตกตัว ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันและค่าความหนืดลดลง⁽¹⁸⁾

การใช้อัลตราโซนิก (ultrasonication) เป็นวิธีที่ใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงกว่าระดับการได้ยินของมนุษย์ คลื่นความถี่นี้นิยมนำมาใช้กับตัวกลางที่เป็นของเหลวทำให้เกิดฟองอากาศและการสั่นสะเทือนในระดับจุลภาค ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลและพลังงานได้ดีขึ้น ลักษณะของการสร้างฟองอากาศด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นแบบคาวิเทชัน (cavitation)

โดยเกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดขึ้นและสลายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเฉือนส่งผลให้เม็ดแป้งเสียรูปร่าง เกิดรูพรุน มีรอยร้าว และทำให้โครงสร้างโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นผิวของเม็ดแป้งที่ขรุขระหรือเกิดรอยร้าวจากคลื่นอัลตราซาวด์ส่งผลให้ความสามารถในการละลายและกำกวมการพองของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ระดับความหนืดและระยะเวลาที่ใช้ส่งผลให้สมบัติความหนืดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงแตกต่างกัน⁽¹⁸⁾ การใช้ความถี่เพิ่มขึ้นถึงระดับ 80 kHz ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง⁽²⁰⁾ ระยะเวลาที่ใช้ในการอัลตราโซนิกที่นานขึ้น (มากกว่า 50 นาที ที่ 20 kHz) ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น⁽²¹⁾ คลื่นอัลตราโซนิกมีผลทำให้โครงสร้างผลึกของสตาร์ชมันฝรั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะผลึกแบบ B เป็นแบบ V ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของการเกิดรีโทรเกรเดชัน⁽²²⁾

การใช้รังสีแกมมา เป็นวิธีที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และช่วย

ยับยั้งการงอกหรือชะลอการสุกของผักและผลไม้ การฉายรังสีแกมมาทำให้แกรนูลของสตาร์ชยังคงมีรูปร่างเหมือนเดิม แต่สตาร์ชบางชนิดอาจเกิดรอยแตกหรือแกรนูลแยกออกจากกัน ปริมาณแอมิโลสและลักษณะความเป็นผลึกลดลง รวมทั้งโมเลกุลเกิด depolymerization ทำให้มีขนาดเล็กลงด้วย สตาร์ชที่ได้อาจมีกำกวมการพองและอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันเปลี่ยนแปลงในทิศทางแตกต่างกัน⁽¹⁸⁾

เทคนิคพลาสมาแบบไม่ใช้ความร้อน (nonthermal plasma) อาศัยหลักการใช้สนามไฟฟ้าเป็นตัวเร่งอนุภาคก๊าซให้เกิดการแตกตัวและกลายเป็นพลาสมา วิธีนี้ส่งผลให้บริเวณผิวของแกรนูลเกิดรอยแตกหรือเป็นรู ความสามารถในการละลายและกำกวมการพองของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชันอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเจลมีลักษณะเป็นเจลนิ่ม (soft gel)⁽¹⁸⁾

Table 2 Comparison of the effects of nonthermal techniques on starch structures and properties⁽¹⁸⁾

Technique	Advantages	Disadvantages	Influence on structures and properties	Application	Comment
Micronization	- Preserve product quality	- Temperature increase - Some methods (e.g. jet milling) are costly and have low yields	Granule surface became rough and granules aggregated; molecular chains degraded; RC and short-ranged order decreased; SP, solubility, and digestibility increased; T_o , T_p , T_c , and ΔH decreased; starches displayed weakened shear-thinning behavior.	- Micronized starch could be utilized as a fat replacer, texture improver, and gel agent	-
Plasma	- No chemical residues; - Minimal thermal effects on product quality; - Cost-effective	- Increase the oxidation of lipids; - Complexity of action	Cracks or holes emerged on the granule surface; crystalline type unaffected but RC increased or decreased; molecular chains degraded; short-range order decreased; Solubility, SP, and WAI increased; viscosity decreased; T_o , T_p , T_c , ΔH , and digestibility increased or decreased; starch pastes exhibited soft gel behavior.	- Microbial decontamination; - Modification of food components; - Degradation of agrochemical residues	Research still in infancy; not applied on the industrial scale.

Table 2 (continued)

Technique	Advantages	Disadvantages	Influence on structures and properties	Application	Comment
High-pressure	- Preserve product quality; - No evident toxicity; - Short processing time	- High equipment cost	Granule morphology and crystalline structure unaffected with pressure below 500 MPa but destroyed completely at 600 MPa; M_w reduced while AMC increased; Under higher pressure, solubility and SP increased at low temperatures but reduced at high temperatures; T_o, T_p, T_c, ΔH and viscosity decreased; gelatinization peak disappeared at 600 MPa; digestibility either increased or decreased.	- Pressurized starches could be used as fat substitutes	-
Ultrasound	- Simple and efficient; - Higher product yields; - No residues	- Heat generated may cause temperature increase; - Lack of standardization and reproducibility	Granules deformed; pores and cracks emerged on the surface; crystalline type unchanged but RC reduced; molecular chains degraded with M_w reduced but AMC increased; Solubility and SP increased; T_o, T_p, T_c, ΔH and viscosities (PV, FV, TV, SV, and BV) decreased; starch pastes exhibited a more elastic characteristic; digestibility increased or decreased.	- Emulsification; - Formation of starch inclusion complex and starch-based edible film; - Bioethanol production from starch	-
Pulsed electric field	- Short time; - No residues; - Energy-saving	- Not suitable for solid products	Granule surface roughened and displayed cavities and fissures; molecular chains degraded; T_o, T_p, T_c, ΔH, and paste viscosity decreased.	- Modification of starchy foods; - Inactivation of microorganisms and enzymes; - An effective alternative for cold pasteurization	Limited studies and most still in the laboratory so far; more research needed.
γ -Irradiation	- No chemical residues; - Low temperature; - High efficiency - Easy to operate	- May negatively affect the sensory and physicochemical properties of some starch-based foods.	Granules retained original shapes and integrity, despite some starches showed fractured and cleaved granules; crystalline type unaffected but RC reduced; molecular chains depolymerized; AMC reduced; Solubility and digestibility increased; SP, T_o, T_p, T_c, PV, and SV decreased in most cases, SP, T_o, T_p, and T_c also reported to increase.	- Sterilization and food preservation; - Production of irradiated feed suitable for poultry and livestock	-

Abbreviations : AMC, amylose content; BV , breakdown viscosity; ΔH , gelatinization enthalpy change; FV , final viscosity; M_w , weight-average molar mass; PV , peak viscosity; RC, relative crystallinity; RDS, rapidly digestible starch; RS, resistant starch; SDS, slowly digestible starch; SP, swelling power; SV , setback viscosity; T_c , concluding gelatinization temperature; T_o , onset gelatinization temperature; T_p , peak gelatinization temperature; TV , trough viscosity; WAI, water absorption index

การดัดแปรสตาร์ชด้วยเอนไซม์

การดัดแปรสตาร์ชด้วยเอนไซม์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เอนไซม์หลายชนิดถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชให้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ โดยสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการดัดแปรด้วยเอนไซม์

จัดเป็นสตาร์ชหลากหลายชนิดเนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค รวมทั้งกระบวนการผลิตเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม⁽²⁾ เอนไซม์แต่ละประเภทมีความจำเพาะเจาะจงกับโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ช ตัวอย่างเช่น แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ซึ่งทำหน้าที่ในการไฮโดรไลซ์พันธะ แอลฟา-1,4-

ไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสตาร์ชให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้กลุ่มของพวกมอลโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรือเอนไซม์ไซโคลไกลคาโนทรานส์เฟอเรส (cycloglycanotransferase, CGTase) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการไฮโดรไลซ์สตาร์ชให้อยู่ในรูปของไซโคลเดกซ์ตริน (cyclodextrins) โดยสตาร์ชตัดแปรด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติในการช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ในขณะที่การใช้เอนไซม์อะไมโลมอลเตส (amylomaltase) หรือ ดี-เอนไซม์ (D-enzyme) ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทรานส์ไกลโคซิเลชัน (transglycosylation) ในการสังเคราะห์ไซโคลอะไมโลส (cycloamylose) หรือกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลที่มีกิ่งก้านแบบแอมิโลเพคติน ทำให้ได้เจลซึ่งมีลักษณะสามารถคืนรูปได้เมื่อได้รับความร้อนซ้ำ (thermoreversible gel) และสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) ในผลิตภัณฑ์มายองเนส⁽²³⁾

ปัจจุบันเริ่มมีผู้ผลิตสตาร์ชตัดแปรจำหน่ายในทางการค้าหลายรายทั้งในประเทศและต่างประเทศ⁽⁴⁾ ซึ่งหันมาให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสตาร์ชหลากหลาย และสร้างนวัตกรรมสตาร์ชตัดแปรที่ไม่ใช้สารเคมีเพื่อเป็น

ทางเลือกสำหรับภาคอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปต่อเนื่องที่มีการใช้สตาร์ชตัดแปรเป็นส่วนประกอบในการพัฒนาสินค้าให้สามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาดผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญและใส่ใจในเรื่องของสุขภาพกันมากขึ้น

บทสรุป

สตาร์ชหลากหลายสะอาดเป็นสตาร์ชที่ได้รับการตัดแปรด้วยวิธีที่ไม่ใช้สารเคมี เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพให้มีความหลากหลายและสามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาดสินค้าหลากหลายสะอาดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ว่าปัจจุบันสตาร์ชหลากหลายสะอาดยังมีข้อจำกัด และอาจยังไม่สามารถใช้แทนสตาร์ชตัดแปรด้วยวิธีแบบดั้งเดิมได้อย่างสมบูรณ์แบบ แต่ก็นับเป็นโอกาสที่ท้าทายของทั้งส่วนการศึกษาวิจัยและภาคอุตสาหกรรมการผลิตสตาร์ชตัดแปร ในการวิจัยพัฒนาและสร้างนวัตกรรมสตาร์ชหลากหลายสะอาดให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ ให้ได้รับการยอมรับทั้งในด้านคุณภาพและความต้องการสินค้าหลากหลายสะอาดของผู้บริโภคได้อย่างครบถ้วน

เอกสารอ้างอิง

1. Osborn S. Labelling relating to natural ingredients and additives. In: Berryman P, editor. Advances in Food and Beverage Labelling. Oxford: Woodhead Publishing; 2015. p. 207-21.
2. Park S, Kim YR. Clean label starch: production, physicochemical characteristics, and industrial applications. Food Sci Biotechnol. 2021;30(1).
3. Mason WR. Starch use in foods. In: James N. BeMiller RLW, editor. Starch : Chemistry and Technology: Elsevier; 2009. p. 745-95.
4. Custom Market Insights. Global clean label starch market 2025-2034 updated December 6, 2024. Available from: <https://www.custommarketinsights.com/report/clean-label-starch-market/>

5. Persistence market research. Clean label starch market 2023 updated December 6, 2024. Available from: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/clean-label-starch-market.asp>
6. Waterschoot J, Gomand SV, Fierens E, Delcour JA. Starch blends and their physicochemical properties. *Starch/Staerke*. 2015;67(1-2):1-13.
7. Puncha-arnon S, Pathipanawat W, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res Int*. 2008;41(5):552-61.
8. Hagenimana A, Pu P, Ding X. Study on thermal and rheological properties of native rice starches and their corresponding mixtures. *Food Res Int*. 2005;38(3):257-66.
9. Chen JJ, Lai VMF, Lii CY. Effects of compositional and granular properties on the pasting viscosity of rice starch blends. *Starch/Staerke*. 2003;55(5):203-12.
10. Waterschoot J, Gomand SV, Delcour JA. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocoll*. 2016;52:69-77.
11. Lowithun N. Influence of molecular structure of starch on textural and rheological properties of blended rice gels [Thesis Ph.D. (Food Science)]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2023.
12. Noda T, Tsuda S, Mori M, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim SJ, et al. Effect of potato starch properties on instant noodle quality in wheat flour and potato starch blends. *Starch/Staerke*. 2006;58(1):18-24.
13. Sun D, Yoo B. Effect of tapioca starch addition on rheological, thermal, and gelling properties of rice starch. *LWT-Food Science and Technology*. 2015;64(1):205-11.
14. Sasaki T, Kohyama K, Miyashita K, Okunishi T. Effects of Rice Flour Blends on Bread Texture and Staling. *Cereal Chem*. 2014;91(2):146-51.
15. Wu K, Dai S, Gan R, Corke H, Zhu F. Thermal and rheological properties of Mung Bean starch blends with potato, sweet potato, rice, and sorghum starches. *Food Bioproc. Tech*. 2016;9(8):1408-21.
16. Li S, Ye F, Zhou Y, Lei L, Zhao G. Rheological and textural insights into the blending of sweet potato and cassava starches: In hot and cooled pastes as well as in fresh and dried gels. *Food Hydrocoll*. 2019;89:901-11.
17. Stute R, Kern H, inventors; CPC International Inc., Englewood Cliffs, N.J., assignee. Starch mixtures as pudding starches. United States patent 5324532. 28 June 1994.
18. Wu Z, Qiao D, Zhao S, Lin Q, Zhang B, Xie F. Nonthermal physical modification of starch: An overview of recent research into structure and property alterations. *Int J Biol Macromol*. 2022;203:153-75.
19. Dhiman A, Prabhakar PK. Micronization in food processing: A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *J Food Eng*. 2021;292:110248.
20. Zheng J, Li Q, Hu A, Yang L, Lu J, Zhang X, et al. Dual-frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. *Starch/Staerke*. 2013;65(7-8):621-7.
21. Carmona-García R, Bello-Pérez LA, Aguirre-Cruz A, Aparicio-Saguilán A, Hernández-Torres J, Alvarez-Ramirez J. Effect of ultrasonic treatment on the morphological, physicochemical, functional, and rheological properties of starches with different granule size. *Starch/Staerke*. 2016;68(9-10):972-9.
22. Nie H, Li C, Liu P-H, Lei C-Y, Li J-B. Retrogradation, gel texture properties, intrinsic viscosity and degradation mechanism of potato starch paste under ultrasonic irradiation. *Food Hydrocoll*. 2019;95:590-600.
23. Park SH, Na Y, Kim J, Kang SD, Park KH. Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry. *Food Sci Biotechnol*. 2018;27(2):299-312.

แมสสเปกโตรเมตรี: เทคโนโลยีหลักในการพัฒนา foodomics

ศศิธร ลิ้มสุวรรณ

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrsol@ku.ac.th

รับเมื่อ 27 มกราคม 2568 แก้ไขเมื่อ 22 เมษายน 2568 ตอรับเมื่อ 24 เมษายน 2568

จุดเด่น

- แมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry หรือ MS) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถระบุชนิดของโมเลกุลต่าง ๆ ในอาหารได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว
- MS นำมาใช้ศึกษาด้าน foodomics เพื่อระบุและหาปริมาณสารเมตาบอไลต์ โปรตีน และสารประกอบอื่น ๆ ในอาหาร
- การนำ MS มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และวิจัยด้านอาหาร เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณภาพและความปลอดภัย

บทคัดย่อ

แมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry หรือ MS) เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์อาหาร เนื่องจากความสามารถในการระบุชนิดของโมเลกุลต่าง ๆ ในอาหารได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ช่วยให้สามารถเข้าใจองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ซับซ้อนได้อย่างละเอียดลึกซึ้ง เทคโนโลยี MS นี้มีบทบาทสำคัญในการศึกษาด้านฟู้ดโอมิกส์ ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ผสมผสานระหว่างวิทยาศาสตร์อาหาร เคมี และโอมิกส์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีระดับโมเลกุลของอาหารและความสัมพันธ์กับคุณภาพ สุขภาพ และความปลอดภัยของอาหาร โดยเทคโนโลยี MS นี้สามารถระบุและหาปริมาณสารเมตาบอไลต์ โปรตีน และสารประกอบอื่น ๆ ในอาหารได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบสารปนเปื้อนและสารก่อภูมิแพ้ ช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพและปลอดภัยมากขึ้น การนำเทคโนโลยี MS มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และวิจัยด้านอาหาร จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้ได้มาซึ่งอาหารที่มีคุณภาพและปลอดภัย ตลอดจนการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค ในอนาคตเทคโนโลยี MS ยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีบทบาทสำคัญในการวิจัยทางด้านอาหาร ช่วยแก้ไขปัญหาความท้าทายด้านอาหารในอนาคต เช่น การผลิตอาหารที่ยั่งยืน การพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ และการตรวจสอบคุณภาพอาหารอย่างรวดเร็วและแม่นยำ

คำสำคัญ : แมสสเปกโตรเมตรี การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีระดับโมเลกุลของอาหาร ฟู้ดโอมิกส์



Mass spectrometry: A key technology in advancing foodomics

Sasithorn Limsuwan

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : ifrsol@ku.ac.th

Received 27 January 2025; Revised 22 April 2025; Accepted 24 April 2025

Highlights

- Mass spectrometry (MS) provides a precise and efficient method for identifying the molecular composition of food
- By applying MS to foodomics, researchers can accurately determine the levels of metabolites, proteins, and other compounds present in food
- The use of MS in food analysis is essential for advancing food product development and ensuring food safety

Abstract

Mass spectrometry (MS) has emerged as a powerful technique revolutionizing the field of food analysis. MS provides unparalleled insights into their chemical composition by precisely identifying and quantifying molecules within foods. Its versatility makes it invaluable for various food analysis applications, particularly in foodomics - a discipline integrating food science, chemistry, and omics to explore the complex chemical makeup of foods and their relation to quality, health, and safety. MS can accurately identify and quantify metabolites, proteins, and other compounds in foods, detect contaminants and allergens, and investigate correlations between food composition and consumer health. Popular techniques include LC-MS, GC-MS, and MALDI-TOF MS, each suited for analyzing different types of compounds. As a robust analytical tool, MS is driving research in foodomics. Providing molecular-level insights into food composition aids in developing high-quality and safe food products and promoting consumer health. With ongoing advancements, MS is poised to address future food challenges, such as sustainable food production, developing health-promoting foods, and ensuring rapid and accurate food quality assessment.

Keywords : mass spectrometry, molecular-level chemical composition analysis of food, foodomics

บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีชีวภาพและวิทยาศาสตร์อาหารก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหารได้กลายเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ ซึ่งต้องการทั้งคุณภาพ และความปลอดภัย หนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมและมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์อาหารคือ แมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry: MS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของโมเลกุล โดยอาศัยหลักการแยกไอออนของสารตามอัตราส่วนมวลต่อประจุ (m/z) หลังจากนั้นจึงนำไอออนเหล่านั้นมาตรวจวัดและสร้างสเปกตรัมมวล (mass spectrum) ซึ่งเป็น fingerprint เฉพาะของสารแต่ละชนิด ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถระบุตัวตนของสารได้อย่างแม่นยำ เป็นเอกลักษณ์ของโมเลกุลนั้น ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการควบคุมคุณภาพ ความปลอดภัยของอาหาร นอกจากนี้การใช้ MS ยังช่วยในการค้นพบสารประกอบใหม่จากพืชที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ และใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร MS ยังมีบทบาทสำคัญในงานวิจัยด้าน foodomics ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่ผสมผสานระหว่างวิทยาศาสตร์อาหารและชีวสารสนเทศเพื่อศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์อาหารและโภชนาการ โดยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในอาหารระดับโมเลกุล เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับคุณภาพ ความปลอดภัย และคุณประโยชน์ทางโภชนาการของอาหาร และ

สร้างฐานข้อมูลสารประกอบในอาหารเพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

หลักการทํางานและส่วนประกอบของ MS

หลักการสำคัญของแมสสเปกโตรเมตรี คือ การวิเคราะห์ไอออน โดยเริ่มต้นจากการทำให้โมเลกุลของสารตัวอย่างเกิดการไอออไนเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลได้รับหรือสูญเสียอิเล็กตรอนจนเกิดเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า จากนั้นไอออนเหล่านี้จะถูกเร่งและแยกออกจากกันตามอัตราส่วนมวลต่อประจุ (m/z) ภายใต้สภาวะสุญญากาศในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก ไอออนที่มีอัตราส่วน m/z ต่างกันจะถูกหักเหในระดับที่แตกต่างกัน และถูกตรวจวัดเพื่อสร้างแมสสเปกตรัม ซึ่งเป็นเหมือน fingerprint ของสารนั้น ๆ และสามารถนำไปใช้ในการระบุองค์ประกอบและโครงสร้างของสารในตัวอย่างได้ จากที่กล่าวมา MS ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก⁽¹⁾ แสดงตาม Figure 1 ได้แก่

1. แหล่งกำเนิดไอออน (ion source) ทำหน้าที่เปลี่ยนสารตัวอย่างให้เป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า โดยสารตัวอย่างจะถูกนำเข้าจากเครื่องมือ เช่น HPLC, GC, ICP และถูกทำให้เป็นไอออน (ionization) ซึ่งมีหลายวิธี เช่น

การไอออไนเซชันด้วยอิเล็กตรอน (electron ionization, EI) โดยยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูงเข้าไปชนกับโมเลกุลของสารตัวอย่าง ทำให้เกิดไอออน

การไอออนในเซชันแบบอิเล็กโทรสเปรย์ (electrospray ionization, ESI) เปลี่ยนสารละลายตัวอย่างให้เป็นละอองฝอย และทำให้ละอองฝอยมีประจุ

การไอออนในเซชันแบบ MALDI (matrix-assisted laser desorption/ionization) ใช้เลเซอร์ยิงไปที่สารตัวอย่างที่ผสมกับเมทริกซ์ ทำให้เกิดไอออน

2. ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) ทำหน้าที่แยกไอออนตามอัตราส่วนมวลต่อประจุ โดยใช้สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในการแยกไอออนที่มีมวลแตกต่างกันออกจากกัน mass analyzer มีหลายชนิด เช่น

ส่วนกรองมวลแบบควอดรูโพล (quadrupole mass filter) ใช้สนามไฟฟ้าสลับกันเพื่อคัดเลือกไอออนที่มีอัตราส่วนมวลต่อประจุที่ต้องการ

ส่วนวิเคราะห์มวลแบบไทม์ออฟฟลายท์ (time-of-flight mass analyzer, TOF) โดยการเร่งไอออนให้เคลื่อนที่ไปตามท่อสุญญากาศ และวัดเวลาที่ไอออนใช้ในการเดินทาง

ส่วนกักไอออน (ion trap) โดยการกักไอออนไว้ในสนามไฟฟ้า และปล่อยไอออนออกมาทีละกลุ่ม

3. ส่วนตรวจจับ (detector) ทำหน้าที่ตรวจจับไอออนที่ถูกแยกออกมาจาก mass analyzer และแปลงสัญญาณของไอออนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะถูกนำไปประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของสเปกตรัมมวล (mass spectrum) หรือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออน (ความสูงของ peak) กับค่า m/z แต่ละค่า โดยแต่ละ peak ในสเปกตรัมจะสอดคล้องกับไอออนชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการระบุชนิดของสารตัวอย่างได้

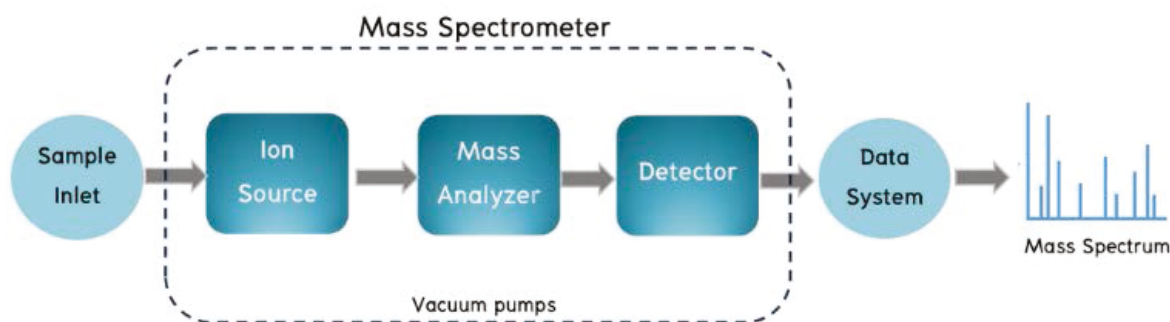


Figure 1 Mass spectrometer scheme

ยกตัวอย่างการวิเคราะห์ catechin ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในชา โกโก้ และผลไม้บางชนิด สามารถทำได้อย่างแม่นยำโดยใช้เทคนิค mass spectrometry (MS) โดยเฉพาะเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับ liquid chromato-

graphy mass spectrometry (LC-MS) เริ่มจากการแยกสารด้วย liquid chromatography (LC) ตามด้วยการตรวจวัดด้วย mass spectrometry (MS) โดย catechin ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 290.27 g/mol จะให้ไอออนหลัก (precursor ion) ในโหมด

negative เป็น $[M-H]^-$ ที่ m/z 289.1 จากนั้นใช้ MS/MS วิเคราะห์ ion นี้เพื่อดูลักษณะการแตกตัวที่เฉพาะเจาะจง เช่น m/z 245, 205 และ 125 แสดงดัง Figure 2 ซึ่งช่วยพิสูจน์เอกลักษณ์ของ catechin ได้อย่างแม่นยำ การใช้ LC-MS มีข้อดีเหนือกว่า HPLC ในด้านความไว (sensitivity) และความจำเพาะ (specificity) โดยเฉพาะเมื่อต้องแยกและวิเคราะห์สารในปริมาณเล็กน้อยในตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อน เช่น อาหารหรือพืช ซึ่ง HPLC ที่ใช้ UV detector อย่างเดียวไม่สามารถแยกสารที่

มีโครงสร้างใกล้เคียงกันได้ดีเท่ากับ LC-MS จากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นได้ว่า MS เป็นเทคนิคที่ให้ข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ของโมเลกุลนั้น ๆ และมีความสำคัญอย่างยิ่งในวงการวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเมตาบอไลต์ (metabolite) ที่เกิดขึ้น ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา MS ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและโภชนาการหรือที่เรียกว่า food metabolomics หรือในอีกชื่อคือ foodomics

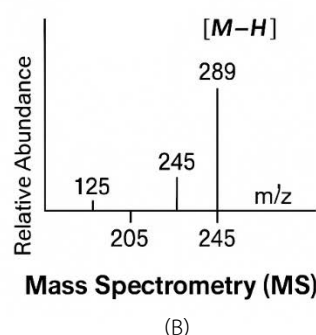
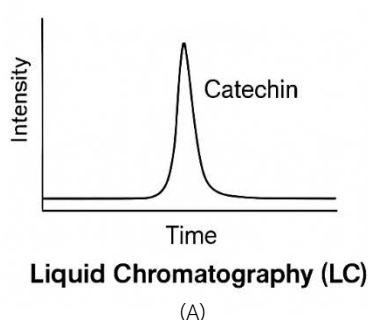


Figure 2 Chromatogram (A) and mass spectrum (B) of catechin

Foodomics การวิจัยอาหารเชิงลึก

ความสำเร็จในการจัดลำดับจีโนมมนุษย์เกือบทั้งหมดในศตวรรษที่ 21 นับเป็นก้าวสำคัญที่เปิดประตูสู่ยุคหลังจีโนม (post genomics era) นำมาซึ่งการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ทางพันธุกรรมที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำยิ่งขึ้น เทคโนโลยีเหล่านี้ได้ปฏิวัติวงการวิทยาศาสตร์และนำไปสู่การเกิดขึ้นของศาสตร์สาขาใหม่ ๆ มากมาย หนึ่งในนั้นคือ foodomics ซึ่งเป็นการศึกษาวิทยาศาสตร์อาหารเชิงลึก

foodomics ถูกอ้างอิงอย่างเป็นทางการครั้งแรกในวารสาร SCI ในปี 2009⁽²⁾ ว่าเป็นสาขา

วิชาใหม่ที่ศึกษาเกี่ยวกับอาหารและโภชนาการ โดยใช้เทคโนโลยีโอมิกส์ขั้นสูง ได้แก่ genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics และ lipodomics ศาสตร์เหล่านี้เกิดขึ้นเพื่อทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างอาหารกับร่างกายในระดับโมเลกุล ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีในอาหารและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในร่างกายหลังการบริโภคอาหาร ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถพัฒนาอาหารและโภชนาการที่ตรงตามความต้องการเฉพาะบุคคล และส่งเสริมสุขภาพที่ดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

MS เป็นเครื่องมือที่จำเป็นอย่างยิ่งในการวิจัยด้าน foodomics ช่วยให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการทางชีวภาพของอาหารได้อย่างครอบคลุม โดยการผสมผสานความไวและความจำเพาะของ MS กับเทคโนโลยีโอมิกส์ นักวิจัยสามารถได้รับข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับคุณภาพ ความปลอดภัย และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร กระบวนการวิเคราะห์อาหารด้วย foodomics แสดงตัวอย่างตาม Figure 3 ประกอบด้วย

1. การเก็บตัวอย่าง เริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างอาหารหรือสิ่งมีชีวิตที่ต้องการศึกษา เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ หรือตัวอย่างทางชีวภาพจากมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง

2. การสกัด นำตัวอย่างที่ได้มาผ่านกระบวนการสกัดเพื่อแยกสารประกอบที่สนใจออกมา เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก และเมตาบอไลต์

3. การวิเคราะห์ นำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น

genomics ศึกษาจีโนมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมถึงยีนและหน้าที่ของยีน

transcriptomics วิเคราะห์ RNA transcripts ที่อยู่ในเซลล์หรือเนื้อเยื่อ เพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการแสดงออกของยีน

proteomics ศึกษาโปรตีนที่ผลิตโดยสิ่งมีชีวิต เพื่อเปิดเผยลักษณะการทำงานของโปรตีน

metabolomics ศึกษาโมเลกุลขนาดเล็ก (เมตาบอไลต์) ที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญของเซลล์ เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

กระบวนการวิเคราะห์เหล่านี้ใช้แพลตฟอร์มเครื่องมือการวิเคราะห์ต่อพ่วงกับ MS เช่น แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography mass spectrometry; GC-MS) โครมาโทกราฟีของเหลว-แมสสเปกโตรเมตรี (liquid chromatography mass spectrometry; LC-MS), การแยกไฟฟ้าแบบแคปิลลารี-แมสสเปกโตรเมตรี (CE-MS)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ MS ดังกล่าวด้านบนมาวิเคราะห์เชิงสถิติและชีวสารสนเทศ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสารต่าง ๆ และระบุตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarkers) ที่มีความสำคัญ

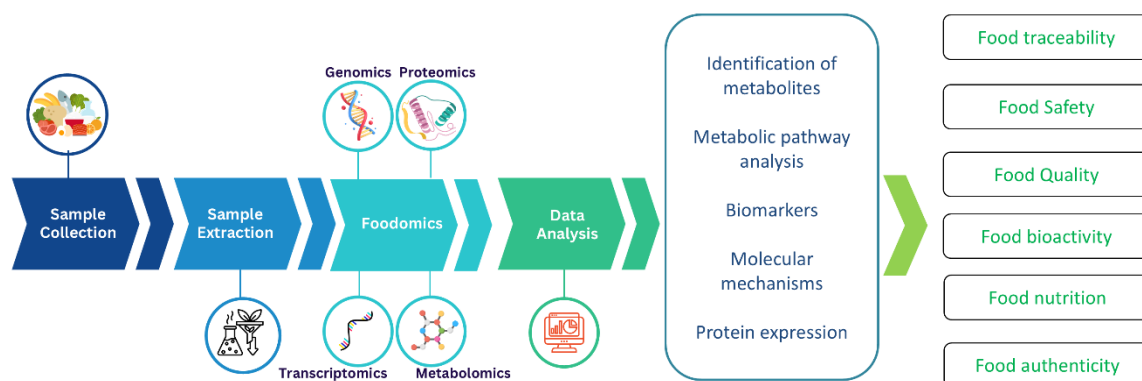


Figure 3 Foodomics-application in food sciences

จากที่กล่าวมาแล้ว MS เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อนำมาศึกษาด้าน foodomics ซึ่งใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ระดับโมเลกุลมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับสุขภาพของมนุษย์ในระดับโมเลกุลและเซลล์ ทำให้ได้ผลวิจัยเชิงลึก ได้ข้อมูลสารอาหารแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อร่างกาย การวิเคราะห์โดย foodomics แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก

1. การวิเคราะห์แบบ target (targeted analysis)

การวิเคราะห์แบบ target มุ่งเน้นการตรวจสอบสารประกอบหรือสารเมแทบอไลต์ชนิดเฉพาะที่เราสนใจ โดยมีขั้นตอนการหาปริมาณและระบุตัวตนของเมแทบอไลต์เหล่านั้นอย่างแม่นยำ⁽⁵⁾ วิธีนี้มีความละเอียดสูง แต่ต้องใช้ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน เช่น สารปนเปื้อน สารก่อภูมิแพ้ วิตามิน หรือสารประกอบเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิด โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ เช่น chromatography (โครมาโทกราฟี) และ mass spectrometry (แมสสเปกโตรเมตรี) ที่มีความไวและความจำเพาะสูง เพื่อแยกและระบุสารเป้าหมายเหล่านั้น ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบสารปนเปื้อนในอาหารทะเล การใช้ LC-MS/MS เพื่อตรวจสอบสารปฏิชีวนะตกค้างในกุ้ง การวิเคราะห์วิตามินในผักผลไม้ การตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ในอาหารแปรรูป

2. การวิเคราะห์แบบ non-target (untargeted analysis)

การวิเคราะห์แบบ non-target คือการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดในตัวอย่างอาหารโดยไม่กำหนดสารเป้าหมายล่วงหน้า เพื่อ

ค้นหาสารประกอบใหม่ ๆ โดยมุ่งเน้นการตรวจหาเมแทบอไลต์หลากหลายชนิด เพื่อสร้าง fingerprint ของอาหารแต่ละชนิด วิธีนี้ช่วยให้เราเห็นภาพรวมขององค์ประกอบทางเคมีในอาหารได้อย่างครอบคลุม⁽⁶⁻⁷⁾ การวิเคราะห์แบบ non-target ใช้เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ที่ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดของตัวอย่าง เช่น high-resolution mass spectrometry (HRMS) และ nuclear magnetic resonance (NMR) ตัวอย่างเช่น การค้นหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใหม่ในพืชสมุนไพร การใช้ HRMS เพื่อค้นหาสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในใบชา การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน การตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์อาหาร (food authenticity) การใช้ HRMS เพื่อเปรียบเทียบลายนิ้วมือทางเคมีของน้ำผึ้งธรรมชาติกับน้ำผึ้งปลอม

ทั้งสองวิธีการวิเคราะห์นี้เป็นส่วนเสริมซึ่งกันและกัน และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์ร่วมกัน จะช่วยให้เราเข้าใจถึงความซับซ้อนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับร่างกายได้ดียิ่งขึ้น นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเชิงลึกด้านอาหารได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น การศึกษาโปรไฟล์ทางเคมีของอาหาร

- การวิเคราะห์เมตาโบโลม ศึกษาสารเมแทบอไลต์ทั้งหมดในอาหาร เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร ตัวอย่างเช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารโพลีฟีนอลในผลไม้ขณะสุก

- การวิเคราะห์โปรตีโอม ศึกษาโปรตีนทั้งหมดในอาหาร เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างและ

หน้าที่ของโปรตีน ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพทางโภชนาการและความเป็นอันตรายของอาหาร ตัวอย่างเช่น การศึกษาโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภูมิแพ้ในอาหารทะเล

- การวิเคราะห์จีโนม ศึกษาข้อมูลทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อทำความเข้าใจบทบาทของจุลินทรีย์ในการหมักและการผลิตอาหาร ตัวอย่างเช่น การศึกษาจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตที่ส่งผลต่อรสชาติและกลิ่น

การเชื่อมโยงโปรไฟล์ทางเคมีกับคุณภาพของอาหาร

- การพัฒนาระบบประเมินคุณภาพอาหาร ใช้ข้อมูลทางเคมีเพื่อพัฒนาระบบประเมินคุณภาพอาหารที่รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดใกล้ (near-infrared spectroscopy) เพื่อประเมินความสุกของผลไม้

- การค้นหาตัวบ่งชี้คุณภาพ ค้นหาสารเคมีที่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของอาหารได้ ตัวอย่างเช่น การใช้สารโพลีฟีนอลเป็นตัวบ่งชี้ความสดของผักใบเขียว

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับสุขภาพ

- การค้นหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ค้นหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีผลต่อสุขภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระและสารที่ช่วยลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง การศึกษาสารฟลาโวนอยด์ในผลไม้ที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง

- การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารอาหาร: ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารอาหารต่าง ๆ ในอาหาร และผลกระทบต่อ การดูดซึมและการเผาผลาญ เช่น การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมและวิตามินดี

- อาหารเพื่อสุขภาพเฉพาะบุคคล การวิเคราะห์จีโนมของแต่ละบุคคลจะช่วยให้สามารถออกแบบอาหารที่เหมาะสมกับพันธุกรรมของแต่ละคน เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ

- การศึกษาผลกระทบของอาหารต่อโรค การวิเคราะห์โปรตีนและเมตาบอไลต์ในเลือดหรือปัสสาวะของผู้ป่วยโรคต่างๆ จะช่วยให้เข้าใจกลไกการเกิดโรคและพัฒนาอาหารเสริมเพื่อรักษาโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทบาทของ foodomics ต่ออุตสาหกรรมอาหาร

foodomics ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ขั้นสูงด้วย MS เพื่อศึกษาองค์ประกอบโมเลกุลของอาหาร ช่วยในการปฏิวัติวงการอาหารด้วยวิทยาศาสตร์ข้อมูล นำเสนอข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับคุณภาพ ความปลอดภัย และการทำงานของอาหาร เทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยให้เราเข้าใจถึงความซับซ้อนของอาหารในระดับโมเลกุล ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงอุตสาหกรรมอาหารในหลายด้าน ดังนี้

1. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ ๆ*

- อาหารเพื่อสุขภาพเฉพาะบุคคล (personalized nutrition) foodomics ช่วยในการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับพันธุกรรมของแต่ละบุคคล (nutrigenomics) ทำให้สามารถพัฒนาอาหารที่ปรับแต่งให้เหมาะสมกับความต้องการทางโภชนาการของแต่ละคนได้ ข้อมูลจาก foodomics โดยเฉพาะ metabolomics สามารถใช้ในการศึกษาการดูดซึม การกระจายตัว การเผาผลาญ และการขับถ่าย (ADME) ขององค์ประกอบอาหารในแต่ละบุคคล ซึ่งให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบทาง

ชีวภาพที่แตกต่างกันไป ข้อมูลนี้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาอาหารที่ตอบสนองความต้องการเฉพาะของบุคคล เช่น ผู้ที่มีความเสี่ยงต่อโรคบางชนิด หรือผู้ที่มีความต้องการทางโภชนาการพิเศษ

- อาหารฟังก์ชัน (functional foods) การค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหาร ทำให้สามารถพัฒนาอาหารที่มีคุณสมบัติในการป้องกันและรักษาโรคได้ เทคนิค metabolomics screening ช่วยในการระบุสารประกอบที่มีศักยภาพในการส่งเสริมสุขภาพ (เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ โพลีฟีนอล เปปไทด์จำเพาะ) ในวัตถุดิบหรือส่วนผสมอาหาร ข้อมูลนี้สนับสนุนการพัฒนาอาหารฟังก์ชันและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์

- อาหารจากพืช (plant-based foods) การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของพืช ทำให้สามารถพัฒนาวัตถุดิบจากพืชให้มีคุณสมบัติทางโภชนาการเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ ช่วยในการทำความเข้าใจโปรตีนจากพืชแต่ละชนิดและองค์ประกอบของกรดอะมิโน และมีคุณสมบัติทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ metabolomics ยังมีบทบาทในการวิเคราะห์สารประกอบอื่น ๆ ในพืช ที่มีผลต่อรสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาอาหารจากพืชให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากสัตว์

2. การปรับปรุงคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร

- การตรวจสอบคุณภาพ foodomics ช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ metabolomics

และ lipidomics profiling สามารถติดตามตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญ เช่น ความสุก การพัฒนาของกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงสี และความเสถียรต่อการออกซิเดชัน ระหว่างการผลิต การแปรรูปและการเก็บรักษา ข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถปรับกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

- การตรวจจับสารปนเปื้อน MS โดยเฉพาะ LC-MS/MS และ GC-MS/MS ช่วยในการตรวจจับและหาปริมาณสารเคมีอันตรายหลายชนิดในอาหารได้พร้อมกัน เช่น สารกำจัดศัตรูพืช สารตกค้างจากยาสัตว์ ไมโคทอกซิน สารปนเปื้อนในกระบวนการผลิต และสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ proteomics มีบทบาทสำคัญในการตรวจจับและหาปริมาณสารก่อภูมิแพ้ในอาหาร ซึ่งช่วยในการติดตามผลิตภัณฑ์อย่างถูกต้อง และปกป้องผู้บริโภคที่แพ้อาหาร

- การติดตามย้อนกลับแหล่งที่มาของอาหารช่วยให้สามารถตรวจสอบที่มาของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ได้อย่างละเอียด โดยการวิเคราะห์ fingerprint ทางเคมีที่เป็นเอกลักษณ์ (เช่น เมทาบอลาइट โปรตีน ไขมัน ธาตุอาหารรอง) เพื่อระบุแหล่งที่มาทางภูมิศาสตร์ สายพันธุ์ หรือวิธีการผลิตของอาหาร ข้อมูลจาก foodomics สามารถนำไปใช้ในการเสริมสร้างระบบตรวจสอบย้อนกลับ ทำให้สามารถระบุแหล่งที่มาของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่เกิดการปนเปื้อนหรือปัญหาด้านคุณภาพ

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหาร

- การปรับปรุงกระบวนการผลิต การใช้ข้อมูลจาก foodomics เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดต้นทุน และลด

การสูญเสีย ช่วยให้เข้าใจขั้นตอนการแปรรูปต่าง ๆ ส่งผลต่อองค์ประกอบโมเลกุลของอาหารอย่างไร ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสม ตัวอย่างเช่น การปรับสภาวะความร้อนเพื่อลดการสูญเสียสารอาหาร หรือการปรับปรุงกระบวนการหมักเพื่อให้ได้กลิ่นรสที่ดีขึ้น

- การพัฒนาวัตถุดิบใหม่ การค้นพบวัตถุดิบใหม่ที่มีคุณสมบัติทางโภชนาการสูงและมีความยั่งยืนด้วยเทคนิค metabolomics screening ช่วยในการค้นหาวัตถุดิบใหม่ ๆ ที่มีสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ หรือมีคุณสมบัติทางเทคโนโลยีที่น่าสนใจ ข้อมูลนี้สนับสนุนการพัฒนาอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม

4. การสร้างความยั่งยืนให้กับอุตสาหกรรมอาหาร

- การลดการสูญเสียอาหาร เทคนิค foodomics เช่น metabolomics และ lipidomics สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบระดับโมเลกุลของอาหารระหว่างการแปรรูป ช่วยให้สามารถปรับพารามิเตอร์การผลิตได้อย่างแม่นยำ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ต้องการและลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งนำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้นและลดของเสีย เช่น เทคนิค metabolomics สามารถระบุสารบ่งชี้ของการเน่าเสีย ทำให้สามารถคาดการณ์อายุการเก็บรักษาของอาหารได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลนี้ช่วยในการพัฒนาวิธีการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ที่ดีขึ้น เพื่อลดการสูญเสียอาหารตลอดห่วงโซ่อุปทาน

- การพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืน การใช้ข้อมูลจาก foodomics เพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชและพัฒนาวิธีการปลูกพืชที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น

ข้อมูลจาก genomics และ metabolomics สามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืชมากขึ้น หรือมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำและธาตุอาหารมากขึ้น ซึ่งช่วยลดการใช้สารเคมีและทรัพยากรในการเกษตร

การประยุกต์ใช้ MS ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อตรวจสอบแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของอาหาร (Applications of mass spectrometry in geographical origin verification)

เทคโนโลยี MS ยังมีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของอาหาร โดยอาศัยการวิเคราะห์สารบ่งชี้ที่ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและกระบวนการผลิตในแต่ละภูมิภาค ตัวอย่างอาหาร GI ที่ใช้เช่น

ไวน์ (wine) เทคนิค IRMS ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$) ของน้ำและเอทานอลในไวน์ ซึ่งสะท้อนถึงสภาพภูมิอากาศและแหล่งน้ำของแหล่งปลูกองุ่น⁽⁸⁾ เทคนิค ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) ถูกใช้เพื่อหาโปรไฟล์ธาตุในไวน์ (เช่น Sr, B, Mn, Zn) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของดินในไร่องุ่น การรวมข้อมูลไอโซโทปและธาตุเข้ากับการวิเคราะห์ทางเคมีเมตริกส์ (chemometrics) ช่วยให้สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของไวน์ได้อย่างแม่นยำ

ข้าว (rice) เทคนิค IRMS วิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) เพื่อจำแนกข้าวตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์และแนวทางการทำเกษตร⁽⁹⁾ เทคนิค ICP-MS หา "ลายนิ้วมือ" ของธาตุต่าง ๆ ในข้าว ซึ่งแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบ

ของดินในแหล่งปลูก (เช่น Mg, Al, K, Mn, Fe, Cu, Zn) การวิเคราะห์ข้อมูลไอโซโทปและธาตุด้วยสถิติแบบหลายตัวแปรช่วยให้สามารถจำแนกข้าวตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ได้อย่างแม่นยำ

ผลไม้ (fruits) เทคนิค metabolomics โดยใช้ LC-MS/MS จำแนกแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของผลไม้ เช่น ลูกพีช โดยการวิเคราะห์โปรไฟล์เมทาบอลไลต์ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระบบนิเวศในแต่ละภูมิภาค⁽¹⁰⁾ เทคนิค ICP-MS และ MP-AES (microwave plasma atomic emission spectroscopy) ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในผลไม้ (เช่น ส้ม ส้มแมนดาริน) เพื่อกำหนดแหล่งที่มาตาม

ปริมาณแร่ธาตุในดิน ทำให้เทคนิค IRMS สามารถใช้เพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในผลไม้เพื่อตรวจสอบแหล่งกำเนิด⁽¹¹⁾

ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตอาหารชั้นนำระดับโลกหลายบริษัท ได้นำ mass spectrometry (MS) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแนวคิด foodomics เพื่อยกระดับคุณภาพ ความปลอดภัย และนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะในการวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางชีวโมเลกุล เช่น โปรตีน เปปไทด์ สารต้านอนุมูลอิสระ และสารปนเปื้อนต่าง ๆ ตัวอย่างบริษัทที่นำเทคนิคนี้มาใช้แสดงดัง Table 1

Table 1 Example of food companies utilizing MS in foodomics

Company	MS technique	Application	Food product example	Reference
Nestlé	LC-MS/MS, GC-MS	Infant nutrition and quality assurance	Infant formula	(12)
Fonterra	RP-HPLC-MS, LC-MS/MS	Dairy product analysis	Infant formula, Milk powder	(13)
Cargill	IMS	Food ingredient quality and authenticity verification	Flour, Sweeteners, Protein, Oil	(14)
DuPont	LC-MS/MS, GC-MS	Food ingredient innovation and analysis	Emulsifiers, Enzymes, Probiotics, Plant-based proteins	(15)
Tate & Lyle	LC-MS/MS	Sweetener analysis and health impact assessment	Low-calorie and zero-calorie sweeteners	(16)
Symrise	IRMS	Natural ingredient authenticity verification and quality management	Vanilla extract, Fruit and Vegetable ingredients	(17)

ความท้าทาย ข้อจำกัด และแนวโน้มในอนาคต

(Challenges, limitations, and future trends)

แม้ว่าเทคโนโลยีแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry: MS) จะเป็นเครื่องมือทรงประสิทธิภาพในการตรวจสอบความถูกต้องและแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของอาหาร แต่ข้อจำกัดด้านต้นทุนเครื่องมือที่สูง ความซับซ้อนในการใช้งาน และความจำเป็นของบุคลากรผู้เชี่ยวชาญยังคงเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูล MS นั้นซับซ้อนและต้องการซอฟต์แวร์เฉพาะทาง อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิค ambient ionization MS (เช่น DESI, PADI, ASAP) ที่ลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และเครื่อง MS ขนาดเล็กแบบพกพาสำหรับการตรวจสอบอาหารแบบเรียลไทม์ ซึ่งเทคนิค ambient ionization MS กำลังได้รับความนิยมสำหรับการคัดกรองอย่างรวดเร็ว การบูรณาการ MS กับเทคนิควิเคราะห์อื่น ๆ (เช่น โครมาโทกราฟีสเปกโทรสโกปี) และเคโมเมตริกส์ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพื่อเสริมประสิทธิภาพการวิเคราะห์ข้อมูล ความก้าวหน้าของ high-resolution MS และ tandem MS (MS/MS) ช่วยเพิ่มความไวในการตรวจหาสารปนเปื้อนในระดับต่ำมาก การประยุกต์ใช้ untargeted metabolomics และ proteomics ร่วมกับ MS กำลังขยายตัวเพื่อค้นหาสารปลอมปนและสารบ่งชี้ใหม่ ๆ นอกจากนี้การพัฒนาซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล MS ที่รวดเร็วและมีขีดความสามารถสูงขึ้น รวมถึงการใช้ AI และ machine learning จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในอนาคต ทิศทางของ MS ในการตรวจสอบความถูกต้องและแหล่งกำเนิดอาหารจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีที่เข้าถึงง่าย รวดเร็ว ใช้งานสะดวก ควบคุม

กับเครื่องมือประมวลผลข้อมูลขั้นสูง เพื่อให้สามารถนำไปใช้อย่างแพร่หลายและป้องกันการฉ้อโกงอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บทสรุป

เทคโนโลยีแมสสเปกโตรเมตรี เป็นเครื่องมือสำคัญที่ขับเคลื่อน foodomics หรือวิทยาศาสตร์การศึกษาอาหารในระดับโมเลกุลให้ก้าวหน้าไปอย่างมาก เทคโนโลยีนี้ช่วยให้เราเข้าใจถึงองค์ประกอบที่ซับซ้อนของอาหารในเชิงลึก ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพสูงปลอดภัย และตรงใจผู้บริโภคมากขึ้น นอกจากนี้ foodomics ยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างความยั่งยืนให้กับอุตสาหกรรมอาหารและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในอนาคต foodomics จะยังคงมีบทบาทสำคัญในการปฏิวัติวงการอาหารและสุขภาพ ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวเคมีรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น การนำ foodomics ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะช่วยให้เราได้เห็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภคมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Labster. Mass Spectrometer. Available from: <https://theory.labster.com/mass-spectrometer>
2. Cifuentes A. Food analysis and foodomics. *J Chromatogr A*. 2009;1216:7109-7110.
3. Valdés A, Álvarez RG, Socas RB, Herrero M, Ibáñez E, Cifuentes A. Foodomics: Analytical opportunities and challenges. *Anal Chem*. 2022;94:366-381.
4. Zhang, S, Qi X, Naggar Y, Wu L, Wang K. Understanding the gastrointestinal protective effects of polyphenols using foodomics-based approaches. *Frontiers in Immunology*. 2021;12:671150.
5. Mozzi F, Ortiz ME, Bleckwedel J, De Vuyst L, Pescuma M. Metabolomics as a tool for the comprehensive understanding of fermented and functional foods with lactic acid bacteria. *Food Res Int*. 2013;54:1152-1161.
6. Cevallos J, Corcuera J, Etcheberria E, Danyluk M, Rodrick G. Metabolomic analysis in food science: a review. *Trends Food Sci Technol*. 2009;20:557-566.
7. Monton J, Soga T. Metabolome analysis by capillary electrophoresis-mass spectrometry, *J Chromatogr A*. 2007;1168:237-246.
8. Geographical origin authentication via elemental fingerprint of food [Internet]. JRC Publications Repository; [cited 2025 Apr 18]. Available from: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC132521/JRC132521_01.pdf
9. Y. Zhang, "Application of isotope analysis for food authenticity and traceability: Progress and challenges," Master's thesis, University of Virginia, 2015.
10. Zhao J, Li A, Jin X, Liang G, Pan L. Discrimination of geographical origin of agricultural products from small-scale districts by widely targeted metabolomics with a case study on pinggu peach. *Front Nutr*. 2022;9:891302. doi: 10.3389/fnut.2022.891302
11. Hidalgo MJ, Gaiad JE, Goicoechea HC, Mendoza A, Pérez-Rodríguez M, Pellerano RG. Geographical origin identification of mandarin fruits by analyzing fingerprint signatures based on multielemental composition. *Food Chem X*. 2023;20:101040.
12. Kussmann M, Fay L. Foodomics: Advanced mass spectrometry in modern food science and nutrition. 2013;167-189.
13. Gill BD, Saldo SC, McGrail IJ, Wood JE, Indyk HE. Rapid method for the determination of thiamine and pantothenic acid in infant formula and milk-based nutritional products by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *J AOAC Int*. 2020;103(3):812–817.
14. Ross KL, Dalluge JJ. Liquid chromatography/tandem mass spectrometry of glycolytic intermediates: deconvolution of coeluting structural isomers based on unique product ion ratios. *Anal Chem*. 2009 May 15;81(10):4021-6.
15. Baniasadi H, Vlahakis C, Hazebroek J, Zhong C, Asiago V. Effect of environment and genotype on commercial maize hybrids using LC/MS-Based metabolomics. *J Agric Food Chem*. 2014;62(6):1412-1422.
16. Van den Abbeele P, Poppe J, Deyaert S, Laurie I, Otto Gravert TK, Abrahamsson A, Baudot A, Karnik K, Risso D. Low-no-calorie sweeteners exert marked compound-specific impact on the human gut microbiota ex vivo. *Int J Food Sci Nutr*. 2023 Sep;74(5):630-644.
17. Geißler K, Greule M, Schäfer U, et al. Vanilla authenticity control by DNA barcoding and isotope data aggregation. *Flavour Fragr J*. 2017;32:228–237.

สาหร่าย: แหล่งอาหารทางเลือกเพื่อการบริโภค

ธีระ ฐะกิจ

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrtet@ku.ac.th

รับเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2568 แก้ไขเมื่อ 13 พฤษภาคม 2568 ตอรับเมื่อ 19 พฤษภาคม 2568

จุดเด่น

- สาหร่ายเป็นแหล่งอาหารทางเลือกที่มีความยั่งยืน
- สาหร่ายมีคุณค่าทางโภชนาการสูง
- สาหร่ายมีศักยภาพในอุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

บทคัดย่อ

ประชากรโลกที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สวนทางกับศักยภาพการผลิตอาหารแบบดั้งเดิมที่เผชิญข้อจำกัดทั้งเรื่องพื้นที่ แหล่งทรัพยากร และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม “สาหร่าย” จึงเป็นหนึ่งในทางเลือกใหม่ที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากมีศักยภาพในการเป็นแหล่งอาหาร มีโปรตีน ไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ สาหร่ายแบ่งได้ทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) โดยแต่ละชนิดมีสารอาหารและแนวทางการใช้ประโยชน์ต่างกัน สาหร่ายทะเลเป็นอาหารดั้งเดิมในหลายวัฒนธรรมชายฝั่ง ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Spirulina* และ *Chlorella* ได้รับการพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหารเสริม สุขภาพ และเวชสำอางอย่างกว้างขวาง บทความนี้นำเสนอภาพรวมของชนิดสาหร่ายที่บริโภคได้ทั้งน้ำเค็มและน้ำจืด ตลอดจนสาหร่ายขนาดเล็กที่ถูกเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม พร้อมสรุปคุณค่าทางโภชนาการหลัก ได้แก่ โปรตีนที่ครบถ้วนด้วยกรดอะมิโนจำเป็น ไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFAs) พอลิแซ็กคาไรด์ วิตามิน และแร่ธาตุ อย่างไรก็ตาม การผลิตสาหร่ายสู่การบริโภคในระดับอุตสาหกรรมยังเผชิญความท้าทายหลายประการ เช่น ต้นทุนการผลิต การควบคุมมาตรฐานความปลอดภัย และความผันแปรของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ด้วยแนวโน้มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมมากขึ้น สาหร่ายจึงมีบทบาทสำคัญในฐานะ “อาหารฟังก์ชัน” และเป็นหนึ่งในทางออกสำคัญของระบบอาหารโลกในอนาคต โดยต้องอาศัยการสนับสนุนด้านเทคโนโลยี การกำกับดูแล และการยอมรับจากผู้บริโภคที่กว้างขวางยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : สาหร่าย คุณค่าทางโภชนาการ อาหารทางเลือก



Edible algae: An alternative food source

Theera Thurakit

Department of Applied Microbiology, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : ifrtet@ku.ac.th

Received 20 February 2025; Revised 13 May 2025; Accepted 19 May 2025

Highlights

- Algae as a sustainable alternative food source
- Algae are highly nutritious
- Algae have great potential in the food and supplement industries

Abstract

The rapidly growing global population has driven an ever-increasing demand for food, which in turn outstrips the capacity of conventional food production due to constraints in arable land, resource availability, and environmental impacts. Algae have thus emerged as a promising alternative food source, offering high-quality protein, lipids, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), vitamins, minerals, and other bioactive compounds in significant quantities. Broadly, algae can be categorized into macroalgae and microalgae, each possessing distinct nutritional profiles and avenues for industrial application. Macroalgae, especially seaweed, traditionally consumed in coastal regions, are well-known for their dietary use, while microalgae such as *Spirulina* and *Chlorella* have seen widespread development for health supplements and cosmeceuticals. This article provides an overview of both freshwater and marine algae that are considered edible, highlighting their key nutritional components particularly essential amino acid-rich proteins, PUFAs, polysaccharides, vitamins, and minerals. Although industrial-scale cultivation of algae still faces significant challenges such as high production costs, the need for robust safety standards, and variability in environmental conditions growing consumer interest in health and environmental sustainability has elevated algae's status as a "functional food". With continued technological innovation, supportive regulations, and greater consumer acceptance, algae are poised to become an important component of the global food system in the future.

Keywords : algae, nutritional value, alternative food

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกได้นำไปสู่ความต้องการบริโภคอาหารที่สูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการขยายตัวของเขตเมือง ตลอดจนแนวโน้มอายุขัยของประชากรที่ยืนยาวขึ้น องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) คาดการณ์ว่า ความต้องการอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เพียงพอต่อประชากรกว่า 9.3 พันล้านคนในปี ค.ศ. 2050⁽¹⁾ และจะเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง ยิ่งไปกว่านั้น มาตรการการจำกัดการเดินทางและขนส่งช่วงการแพร่ระบาดของโรคที่ผ่านมา ยังได้ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการผลิต การกระจาย และการบริโภคอาหาร โดยคาดว่าจะมีผู้คนราว 130 ล้านคนทั่วโลกที่ประสบภาวะขาดแคลนอาหารอันเนื่องมาจากสถานการณ์ดังกล่าว⁽²⁾ การบริโภคอาหารที่เพิ่มขึ้นนั้นเกินขีดความสามารถในการผลิตอาหารแบบดั้งเดิม ในขณะที่เดียวกันระบบการผลิตอาหารในปัจจุบันยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นสารกำจัดศัตรูพืช การรุกรานพื้นที่ป่า การประมงเกินขนาด และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก⁽³⁾

สาหร่าย (algae) มีความสำคัญต่อมนุษยชาติ โดยถูกนำมาใช้เป็นอาหารตั้งแต่ยุคโบราณ⁽⁴⁾ คำว่า “สาหร่าย” ครอบคลุมสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ทั้งในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือในอดีตมักถูกเรียกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสิ่งมีชีวิตในกลุ่มโปรติสตา (Protista) การจัดกลุ่มสาหร่ายสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการมองเห็น เช่น สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา

เปล่า หรือจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยา สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งได้ตามแหล่งน้ำที่สาหร่ายเจริญ เช่น สาหร่ายน้ำเค็ม (สาหร่ายทะเล) และสาหร่ายน้ำจืด เป็นต้น สาหร่ายทะเลถือเป็นส่วนหนึ่งในวัฒนธรรมอาหารแถบประเทศชายฝั่งหลายภูมิภาคทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออก เช่น ประเทศจีน ประเทศเกาหลี และประเทศญี่ปุ่น⁽⁵⁾ ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากผู้คนทั่วโลกให้ความสนใจในเรื่องของความต้องการโปรตีนคุณภาพสูงที่มาจากพืช (plant-based) แหล่งของอาหารที่มีคุณค่าโภชนาการสูงและความตระหนักเรื่องความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าผลิตภัณฑ์จากภาคปศุสัตว์ ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กถูกหยิบยกขึ้นมาศึกษาอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยสาหร่ายขนาดเล็กถูกยอมรับว่าเป็น “โรงงานชีวภาพ (bio-factories)” ที่สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น โปรตีน กรดไขมันจำเป็น วิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture) ทั้งในส่วนของอาหารตั้งต้นสำหรับลูกพันธุ์และเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์น้ำวัยโต รวมถึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารสัตว์บก เช่น สัตว์ปีก สุกร และสัตว์เลี้ยงด้วย⁽⁶⁾

อย่างไรก็ตามการผลิตสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมยังมีความท้าทายที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเหมาะสม ทั้งด้านต้นทุนการผลิต การควบคุมมาตรฐานความปลอดภัย และการปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายให้มีประสิทธิภาพการผลิตสารต่าง ๆ สูงขึ้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนองค์ความรู้เกี่ยวกับสาหร่ายที่รับประทานได้ รวมถึงสำรวจคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารที่พบในสาหร่าย

สาหร่ายที่นิยมนำมาบริโภค

จากรายงานการศึกษาพบว่า สาหร่ายหลากหลายชนิดสามารถนำมาบริโภคได้ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 1 โดยสาหร่ายทะเลจัดเป็นกลุ่มหลักที่ได้รับความนิยมบริโภคมากที่สุด ตัวอย่างสาหร่ายทะเลในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว เช่น *Caulerpa* (สาหร่ายพวงองุ่น) *Codium* และ *Ulva* สาหร่ายสีแดง เช่น *Porphyra* (สาหร่ายโนริ) *Asparagopsis taxiformis*, *Gracilaria* (สาหร่ายผมนาง) *Chondrus crispus*, *Palmaria palmata* (สาหร่ายดัลส์) สาหร่ายทะเลในกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Laminaria* (สาหร่ายคอมบุ) *Undaria* (สาหร่ายวากาเมะ) และ *Macrocystis* โดยรูปแบบการบริโภคมักเป็นรูปแบบสด อบแห้ง หรือดอง ผ่านการปรุงหรือเป็นส่วนประกอบในอาหาร⁽⁷⁻⁸⁾ นอกจากนี้สาหร่ายทะเลแล้วยังพบว่า สาหร่ายขนาดใหญ่ น้ำจืดนิยมนำมาบริโภคด้วย ตัวอย่างเช่น *Spirogyra* (สาหร่ายเตาหรือเทา) *Microspora*, *Rhizoclonium*, *Cladophora* (สาหร่ายไถ) *Nostoc* (สาหร่ายไข่หิน) *Nostochopsis* (สาหร่ายลอน)⁽⁹⁻¹⁰⁾

ในขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กที่รู้จักในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ *Spirulina* (หรือ *Arthrospira*), *Chlorella*, *Haematococcus* และ *Dunaliella*⁽¹¹⁻¹²⁾ ซึ่งมีความโดดเด่นแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด โดย *Spirulina* มีโปรตีนสูง (ร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนักแห้ง) และมีสารรงควัตถุไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ที่ให้สีฟ้า-น้ำเงิน สาหร่าย *Chlorella* มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง สาหร่าย *Dunaliella salina* มีความสามารถในการสังเคราะห์สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์มากเป็นพิเศษภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความเค็มสูง นอกจากการใช้เป็นอาหารและอาหารเสริมแล้ว สารสกัดจากสาหร่ายยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และโภชนเภสัช (pharmaceuticals and nutraceuticals) ตัวอย่างเช่น แอสตาแซนธิน (astaxanthin) จาก *Haematococcus pluvialis* ซึ่งได้รับการศึกษาอย่างต่อเนื่องว่ามีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ⁽¹³⁾

Table 1 Algae that has been reported to be edible or used as an ingredient in food products^(9-10,4-18)

Macroalgae	Green marine: (Chlorophyta)	<i>Ulva lactuca</i>
		<i>U. rigida</i>
		<i>Monostroma nitidum</i>
		<i>Caulerpa lentillifera</i>
		<i>Ca. racemosa</i>
	Brown marine: (Phaeophyceae)	<i>Codium</i> spp.
		<i>Ascophyllum nodosum</i>
		<i>Fucus serratus</i>
		<i>F. spiralis</i>
		<i>F. vesiculosus</i>
		<i>Laminaria digitata</i>
		<i>L. japonica</i>
		<i>L. longicruris</i>
		<i>L. saccharina</i>
		<i>Saccharina latissimi</i>
Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>S. japonica</i>
		<i>Undaria pinnatifida</i>
		<i>Eisenia bicyclis</i>
		<i>Sargassum fusiforme</i>
		<i>Bifurcaria bifurcata</i>
	Red marine: (Rhodophyta)	<i>P. palmata</i>
		<i>C. crispus</i>
		<i>Lithothamnium calcareum</i>
		<i>Gracilariopsis longissimi</i>
		<i>Gracilaria</i> sp.
		<i>Porphyra tenera</i>
		<i>Po. umbilicalis</i>
		<i>Po. yezoensis</i>
		<i>Po. dioica</i>
		<i>Po. laciniata</i>
Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Po. purpurea</i>
		<i>Po. leucostica</i>
		<i>Spirogyra neglecta</i>
		<i>Microspora</i> sp.
		<i>Rhizoclonium</i> sp.
		<i>Cladophora glomerata</i>
	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Auxenochlorella pyrenoidosa</i>
		<i>Au. protothecoides</i>
		<i>Chlorella vulgaris</i>
		<i>Ch. lobophora</i>
		<i>Ch. sorokiniana</i>
		<i>Heterochlorella luteoviridis</i>
		<i>Jaagichlorella luteoviridis</i>
		<i>H. pluvialis</i>
		<i>Nannochloropsis</i> sp.

Table 1 (continued)

Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Isochrysis</i> sp. <i>D. salina</i> * <i>Tetraselmis</i> sp.*
	Red marine microalgae (Rhodophyta)	<i>Porphyridium</i> sp.
	Other	<i>Euglena gracilis</i> <i>Schizochytrium</i> sp.
		<i>Sp. platensis</i> <i>Sp. maxima</i>
Blue-green algae (Cyanobacteria)		<i>Arthrospira fusiformis</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Nostoc</i> sp.
		<i>Nostochopsis</i> sp.

(*found in freshwater and marine habitat)

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

สาหร่ายที่บริโภคได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและอุดมไปด้วยสารอาหารหลากหลาย โดยพบได้ทั้งในสาหร่ายขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายน้ำจืดหรือน้ำเค็ม

โปรตีน (proteins)

โปรตีนจากสาหร่าย (algal proteins) ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีศักยภาพในการทดแทนแหล่งโปรตีนหลัก แม้ว่าโปรตีนจากสัตว์ เช่น เนื้อไก่ เนื้อวัว และเนื้อปลา จะยังคงเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่บริโภคกันทั่วโลก แต่เมื่อคำนึงถึงความยั่งยืนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตโปรตีนจากสัตว์ กลับต้องใช้ทรัพยากรสูงและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ⁽¹⁹⁾ จากรายงานการตีพิมพ์ในไม่กี่ปีที่ผ่านมาเผยให้เห็นว่าสาหร่ายมีประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนต่อพื้นที่ได้ดีกว่า ในการผลิตโปรตีน 1 กิโลกรัม สาหร่ายจะใช้พื้นที่ 1.7-5.4 ตารางเมตร ขณะที่โปรตีนจากไข่ไก่จะใช้พื้นที่ 26-135 ตารางเมตร หรือ 76-166 ตารางเมตร สำหรับโปรตีนจากเนื้อวัว⁽²⁰⁾ เมื่อพิจารณาถึงการใช้น้ำในกระบวนการ

ผลิตยังพบว่า สาหร่ายใช้น้ำในกระบวนการน้อยกว่าโปรตีนจากถั่วและโปรตีนจากเนื้อสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ⁽²¹⁾ นอกจากนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ในการผลิตเนื้อวัว 1 กิโลกรัม จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 150-1,240 กิโลกรัม ขณะที่การผลิตโปรตีนจากสาหร่ายปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2.25 กิโลกรัม⁽²²⁾ หากเมื่อเปรียบเทียบโปรตีนจากสาหร่ายกับโปรตีนจากพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลูกไก่ แม้ว่าพืชดังกล่าวจะอุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ก็มักขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด จึงจำเป็นต้องบริโภคควบคู่กับแหล่งโปรตีนอื่นเพื่อให้ได้สารอาหารครบถ้วน นอกจากนี้แมลงซึ่งมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 60 และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน ยังนับเป็นอีกหนึ่งแหล่งโปรตีนทางเลือกที่มีศักยภาพ ทว่าการยอมรับในมิติทางวัฒนธรรมและพฤติกรรมผู้บริโภคยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญอยู่ในปัจจุบัน⁽²³⁾

โปรตีนจากสาหร่ายมีส่วนในชีวมวลค่อนข้างสูง (Table 2) โดยสาหร่ายสกุล

Arthrospira (Spirulina) sp. และ *Chlorella sp.* อาจมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 50-70 ขณะที่สาหร่ายสีแดง *Porphyra sp.* มีสัดส่วนโปรตีนสูงถึงร้อยละ 44 และสาหร่าย *Ulva sp.* มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 37 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นพบว่า โปรตีนจากสาหร่ายมีกรดอะมิโนที่สำคัญอย่างครบถ้วน (Table 3) อาทิ ไลซีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ส่งผลให้โปรตีนจากสาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีนสมบูรณ์ (complete protein) ที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติกหรือผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์⁽²⁴⁾ ในด้านการย่อยได้และการดูดซึม (digestibility and bioavailability) มี

งานวิจัยรองรับว่า มีค่าการย่อยได้ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการย่อยยังขึ้นอยู่กับเทคนิคการเตรียมชีวมวลสาหร่าย เช่น การทำลายผนังเซลล์ด้วยวิธีเชิงกล (mechanical disruption) หรือการใช้เอนไซม์เพื่อปลดปล่อยโปรตีนภายในเซลล์⁽²⁵⁾ สำหรับสมบัติของโปรตีนจากสาหร่ายที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีรายงานว่าโปรตีนจากสาหร่ายยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเกิดเจล (gelation) การเกิดอิมัลชัน (emulsification) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-binding capacity) ในผลิตภัณฑ์อาหารได้อีกด้วย⁽²⁵⁻²⁶⁾

Table 2 Protein content of some edible algae⁽²⁷⁻³³⁾

Algae	Protein content (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ch. vulgaris</i>	51.0-58.0
<i>H. pluvialis</i>	48.0
<i>Porphyridium cruentum</i>	28.0-39.0
Macroalgae	
<i>Spirogyra sp.</i>	6.0-20.0
<i>Cladophora sp.</i>	16.0-21.5
<i>Ca. cupressoides</i>	20.8
<i>Ca. racemosa</i>	12.5-17.4
<i>U. intestinalis</i>	17.9
<i>U. lactuca</i>	37.1
<i>Un. pinnatifida</i>	11.0-24.0
<i>L. saccharina</i>	6.0-11.0
<i>Gracilaria spp.</i>	5.2-23.6
<i>C. crispus</i>	20.0
<i>Po. umbilicalis</i>	15.0-37.0
<i>Po. tenera</i>	47.5
<i>P. palmata</i>	12.0-21.0
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Ar. platensis</i>	55.0-70.0
<i>Ar. maxima</i>	60.0-71.0

Table 3 Essential amino acid content of some edible algae⁽³⁴⁻³⁸⁾

Algae	Essential amino acid content (% of total proteins)								
	Histidine	Isoleucine	Leucine	Lysine	Methionine	Phenylalanine	Threonine	Tryptophan	Valine
Microalgae									
<i>Chlorella</i> sp.	1.8	3.8	7.8	5.2	2.2	4.3	4.0	0.8	5.3
<i>Ch. vulgaris</i>	2.0	3.8	8.8	8.4	2.2	5.0	4.8	-	5.5
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	1.5	4.6	7.0	6.4	2.7	4.8	4.8	2.6	5.1
<i>Nannochloropsis granulata</i>	2.3	5.6	11.0	8.5	3.5	6.2	5.4	2.8	7.1
<i>Tetraselmis chuii</i>	1.6	3.4	7.3	5.6	2.4	4.7	4.0	2.3	4.8
Macroalgae									
<i>Spi porticalis</i>	1.5	5.2	8.6	6.5	1.6	4.2	4.4	1.1	5.3
<i>U. armoricana</i>	1.2-2.1	2.3-3.6	4.6-6.7	3.5-4.4	1.4-2.6	5.0-7.1	4.5-6.8	-	4.0-5.2
<i>U. lactuca</i>	0.3	0.8	1.6	1.1	0.4	1.3	1.2	1.4	1.4
<i>P. palmata</i>	0.5-1.2	3.5-3.7	5.9-7.1	2.7-5.0	2.7-4.5	4.4-5.3	5.1-6.9	3.0	5.1-6.9
<i>Po. tenera</i>	1.4	4.0	8.7	4.5	1.1	3.9	6.4	1.3	6.4
Blue-green algae (cyanobacteria)									
<i>Sp. platensis</i>	2.2	6.7	9.8	4.8	2.5	5.3	6.2	-	7.1

ไขมัน (lipids)

ไขมันเป็นอีกองค์ประกอบทางโภชนาการที่มีความสำคัญ โดยไขมันในสาหร่ายนั้นสามารถผลิตได้ทั้งจากสาหร่ายขนาดเล็กและสาหร่ายขนาดใหญ่ (Table 4) ไขมันเหล่านี้แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ ไขมันไม่มีขั้ว (nonpolar lipids) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สเตอรอล และไขมันมีขั้ว (polar lipids) เช่น ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด ซึ่งทำหน้าที่ต่างกันทางชีวภาพ ไขมันไม่มีขั้วคิดเป็นประมาณร้อยละ 90 ของไขมันทั้งหมด ทำหน้าที่สะสมพลังงาน ส่วนไขมันมีขั้วมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์และแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเสริมและยา สาหร่ายหลายชนิด เช่น *Ch. vulgaris* *D. salina* และ *Sp. platensis* อุดมด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFAs) ทั้งกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมกา-3 (EPA; Eicosapentaenoic acid หรือกรดอีโคซะเพนตะอีโนอิก DHA; Docosahexaenoic acid หรือกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก ALA; α -Linolenic acid หรือกรดแอลฟาไลโนเลนิก) และโอเมกา-6 (AA;

Arachidonic acid หรือกรดอะราคิโดนิก LA; Linoleic acid หรือกรดลิโนเลอิก) (Table 5)⁽³⁹⁾ สาหร่ายทะเล *Enteromorpha compressa* มีกรดไขมันชนิด AA ในขณะที่สาหร่ายทะเลขนาดเล็กอย่าง *Phaeodactylum tricornutu* และ *Isochrysis galbana* สังเคราะห์ EPA และ DHA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁴⁰⁾ ไขมันจากสาหร่ายถูกนำไปใช้ในอาหารฟังก์ชัน อาหารเสริม โดยกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ถูกเติมในนมผงสำหรับทารกและผลิตภัณฑ์บำรุงหัวใจ ในขณะที่ฟอสโฟลิพิดจากสาหร่าย *Polarella glacialis* และไกลโคลิพิดจาก *N. gaditana* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ เหมาะสำหรับเวชสำอางและระบบนำส่งยา (drug delivery)⁽⁴¹⁾ นอกจากนี้ไตรกลีเซอไรด์จากสาหร่ายยังถูกวิจัยเพื่อผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย สาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณไขมันร้อยละ 20-50 ของน้ำหนักแห้ง เหมาะสำหรับการผลิตโอเมกา-3 ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่มีไขมันน้อยกว่า (ร้อยละ 2-10) แต่ให้กรดไขมันชนิดกรดไขมันชนิด AA และ ALA ในสัดส่วนที่มากกว่าสาหร่ายขนาดเล็ก⁽⁴²⁾

Table 4 Lipid content of some edible algae^(34,43-44)

Algae	Lipid (% of dry weight)
Microalgae	
<i>T. chuii</i> (PLY-429)	12.3
<i>Ch. emersonii</i>	28.0-32.0
<i>Ch. minutissima</i>	57.0
<i>Ch. protothecoides</i>	57.9
<i>Ch. pyrenoidosa</i>	2.0
<i>D. bioculata</i>	8.0
<i>D. primolecta</i>	23.0
<i>D. salina</i>	6.0
<i>D. tertiolecta</i>	35.6
<i>N. granulate</i> (CCMP-535)	23.6
<i>N. granulata</i> (CCMP-535)	47.8

Table 4 (continued)

Algae	Lipid (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ph. tricornutum</i> (CCMP-1327)	18.2
<i>Ph. tricornutum</i>	20.0-30.0
<i>Neochloris oleoabundans</i> (UTEX-1185)	15.4
<i>Por. aeruginosum</i> (UTEX-755)	13.7
<i>Acutodesmus dimorphus</i> (UTEX-1237)	18.8
Macroalgae	
<i>Co. fragile</i>	1.8
<i>En. linza</i>	1.8
<i>Gelidium amansii</i>	0-3.1
<i>Po. tenera</i>	4.4
<i>Gracillaria verrucosa</i>	3.2
<i>L. japonica</i>	1.8-2.4
<i>Hizikia fusiforme</i>	0.4-1.5
<i>S. japonica</i>	0.5
<i>Sa. fulvellum</i>	1.4-1.6
<i>Ecklonia stolonifera</i>	2.4
<i>Un. pinnatifida</i>	1.8-2.0
<i>Spirogyra</i> sp.	11.0-21.0
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Sp. maxima</i>	6.0-7.0
<i>Sp. platensis</i>	4.0-9.0

Table 5 The amount of PUFAs in some algae^(39,45-47)

Algae	PUFAs (% of total fatty acids)		
	ALA	EPA	DHA
Microalgae			
<i>Chlamydomonas mexicana</i>	14.3	–	–
<i>Chl. reinhardtii</i>	44.0	–	–
<i>Ch. sorokiniana</i>	11.0	2.4	–
<i>Ch. vulgaris</i>	18.3-35.4	0.9	0.5
<i>Nannochloropsis</i> sp.	0.1-17	4.0-34.0	–
<i>N. oceanica</i>	–	27.0	–
<i>N. oculata</i>	–	34.0	–
<i>N. salina</i>	0.9	12.7	–
<i>Ph. tricornutum</i>	–	17.7-30.0	0.7-2.4
<i>Schizochytrium limacinum</i>	1.0	1.0	45.0
<i>D. salina</i>	12.9	–	15.4
<i>Pavlova lutheri</i>	0.5	23.4	13.5
<i>Por. cruentum</i>	–	25.4	0.1
<i>I. galbana</i>	6.0-11.0	3.0-7.0	10.0-14.0
<i>I. zhangjiangensis</i>	11.0	2.0	14.0

Table 5 (continued)

Algae	PUFAs (% of total fatty acids)		
	ALA	EPA	DHA
Microalgae			
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	-	-	37.0-40.0
<i>Odontella aurita</i>	0.8	25.6	3.8
<i>Rhodomonas</i> sp.	19.8	7.7	3.8
<i>Tetraselmis</i> sp.	13.6-18.8	3.7-9.4	-
<i>Skeletonema</i> sp.	0.1	10.8	2.2
<i>Tisochrysis lutea</i>	-	2.8	12.7
Macroalgae			
<i>Co. fragile</i>	14.2-19.9	3.0-4.4	-
<i>Co. tomentosum</i>	12.0	2.0	12.0
<i>Sa. muticum</i>	6.2	13.9	7.3
<i>Un. pinnatifida</i>	7.5	13.1	8.6
<i>Colpomenia peregrina</i>	1.5	2.6	5.8
<i>G. gracilis</i>	-	5.6	-
<i>Calliblepharis jubata</i>	-	6.2	22.3
<i>Emiliania huxleyi</i>	-	-	9.2

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates)

สาหร่ายเป็นหนึ่งในทรัพยากรธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหาร หนึ่งในองค์ประกอบหลักที่ทำให้สาหร่ายเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายคือ “พอลิแซ็กคาไรด์” (polysaccharides)⁽¹⁴⁾ โดยพอลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ที่เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์มากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไปต่อกันเป็นสายยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมี พอลิแซ็กคาไรด์ในสาหร่ายมีปริมาณร้อยละ 20-70 (Table 6) ของน้ำหนักแห้ง โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่อยู่ ชนิดของสาหร่าย และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีความหลากหลายมากทั้งในแง่โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ตัวอย่างที่สำคัญ ได้แก่ อัลจิเนต (alginic acid) ฟุคอยแดน (fucoidan) ลามินาริน (laminarin)

ซัลเฟตกาแลคแทน (sulfated galactan) อัลวาน (ulvan) ไชลาน (xylan) อาการ์ (agar) คาร์ราจีแนน (carrageenan) พอร์ไฟริน (porphyran) และฟลอริเดียน (floridean starch)⁽⁴⁸⁻⁵⁰⁾ ซึ่งต่างมีบทบาทหลากหลาย เช่น เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์สาหร่าย เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่ายเอง เป็นสารสำรองพลังงาน และมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน

ในอุตสาหกรรมอาหาร พอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทั้งในรูปแบบของสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล สารคงตัวในอิมัลชัน และสารเสริมโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท ตัวอย่างเช่น อัลจิเนตและคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีแดง มีความสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม และ

เยลลี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁵¹⁾ ขณะที่ฟูคอยแดน และลามินาริน ซึ่งเป็นซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ (sulfated polysaccharides) มีฤทธิ์เสริมสุขภาพ และเป็นที่สนใจในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม⁽⁵²⁻⁵³⁾ โดยรวมแล้วพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย ไม่เพียงตอบโจทย์ด้านการปรับปรุงคุณลักษณะทาง

ประสาทสัมผัสของอาหาร แต่ยังมีแนวโน้มช่วยยกระดับคุณค่าทางโภชนาการและสุขภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมอาหารสมัยใหม่ที่เน้นประโยชน์และความยั่งยืนในระยะยาว

Table 6 The amount of carbohydrate content in algae^(34,43,54-55)

Algae	carbohydrate content (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ch. vulgaris</i>	5.3-22.7
<i>Scenedesmus</i> sp.	16.4-45.4
<i>Chl. reinhardtii</i>	3.3-37.0
<i>Haematococcus</i> sp.	6.3-48.8
<i>Ph. tricornutum</i>	25.2
<i>N. granulata</i>	27.4-36.2
<i>Neochlorisoleo abundans</i>	37.8
<i>Por. aeruginosum</i>	45.8
<i>A. dimorphus</i>	38.6
<i>T. chuii</i>	25.0
Macroalgae	
<i>Po. tenera</i>	35.9
<i>Po. rotunda</i>	52.7
<i>G. verrucosa</i>	33.5
<i>L. japonica</i>	51.9-59.7
<i>L. digitata</i>	65.3
<i>L. articulata</i>	36.2
<i>H. fusiforme</i>	28.6-59.0
<i>S. japonica</i>	44.5
<i>S. latissima</i>	73.0
<i>Sa. fulvellum</i>	39.6-66.0
<i>Ecklonia stolonifera</i>	48.6
<i>Un. pinnatifida</i>	40.1-52.0
<i>Cladophora</i> sp.	25.1-60.9
<i>U. lactuca</i>	71.8
<i>A. nodosum</i>	66.4
<i>P. palmata</i>	66.1
<i>F. serratus</i>	69.5
<i>Punctaria latifolia</i>	50.5
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Sp. platensis</i>	3.3-42.5

วิตามินและแร่ธาตุ (vitamins and minerals)

อย่างที่ทราบกันดีแล้วว่าสาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ วิตามินและแร่ธาตุ เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและโภชนาการของมนุษย์ ในปัจจุบันงานวิจัยจำนวนมากได้รายงานว่าสาหร่ายไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ หรือสาหร่ายขนาดเล็กทั้งน้ำจืดและสาหร่ายน้ำเค็มหรือสาหร่ายทะเล ต่างก็มีศักยภาพในการสังเคราะห์และสะสมวิตามินหลากหลายชนิด เช่น วิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และ เค) วิตามินที่ละลายในน้ำ (กลุ่มวิตามินบี และ วิตามินซี) (Table 7) และแร่ธาตุสำคัญ (Table 8) เช่น ไอโอดีน แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับพืชบกบางชนิด⁽⁵⁶⁾ ทำให้สาหร่ายเป็นที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมอาหารเสริม เครื่องสำอาง และเวชโภชนาภัณฑ์ (nutraceuticals)

วิตามินและแร่ธาตุเป็นสารอาหารรอง (micronutrient) ที่สิ่งมีชีวิตหลายชนิดรวมถึงมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง (หรือสังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอ) จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร วิตามินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญ

และเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) หรือร่วมทำงานกับเอนไซม์ในกระบวนการทางชีวเคมีหลากหลายแขนง การขาดวิตามินและแร่ธาตุเชื่อมโยงกับโรคและความผิดปกติของร่างกาย เช่น โรคเหน็บชา (ขาดวิตามินบี1) โรคลักปิดลักเปิด (ขาดวิตามินซี) ภาวะโลหิตจาง (ขาดวิตามินบี12 หรือโฟเลต หรือขาดธาตุเหล็ก) ความหนาแน่นของกระดูกลดลง (ขาดแคลเซียม) จังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติ (ขาดแมกนีเซียม) เป็นต้น งานวิจัยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาเน้นให้ความสนใจกับสาหร่ายในฐานะแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามิน ทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่ที่นิยมนำมาบริโภคในหลายประเทศ โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย และสาหร่ายขนาดเล็กที่มักนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตสารมูลค่าสูงด้านโภชนเภสัชและอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (cosmeceuticals) วิตามินที่พบในสาหร่ายเหล่านี้ไม่เพียงช่วยส่งเสริมคุณค่าทางอาหาร แต่ยังช่วยลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ได้ จึงเป็นทางเลือกที่ “เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” (eco-friendly) และตอบรับกระแส “วีแกน” หรือการเลี้ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์ได้เป็นอย่างดี

Table 7 Mineral content in some edible algae^(57–59)

Vitamin	Algae	Quantitative (µg/g dry weight)
Vitamin B1	<i>T. suecica</i>	32.3
	<i>I. galbana</i>	14.0
	<i>D. tertiolecta</i>	29.0
	<i>Ch. stigmatophora</i>	14.6
Vitamin B2	<i>T. suecica</i>	19.1
	<i>I. galbana</i>	30.0
	<i>D. tertiolecta</i>	31.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	19.6
	<i>N. gaditana</i>	22.1
	<i>Chlorella sp.</i>	20.7–33.6



Table 7 (continued)

Vitamin	Algae	Quantitative (µg/g dry weight)
Vitamin B3	<i>N. gaditana</i>	240.0
	<i>Chlorella</i> sp.	110.0
Vitamin B5	<i>T. suecica</i>	37.7
	<i>I. galbana</i>	9.1
	<i>D. tertiolecta</i>	13.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	21.4
Vitamin B7	<i>T. suecica</i>	0.8
	<i>I. galbana</i>	1.0
	<i>D. tertiolecta</i>	0.9
	<i>Ch. stigmatophora</i>	1.1
Vitamin C	<i>D. tertiolecta</i>	2,310.0
	<i>Ch. pyrenoidosa</i>	1,000.0-2,000.0
	<i>T. suecica</i>	191.0
	<i>I. galbana</i>	119.0
	<i>D. tertiolecta</i>	163.0
	<i>Ch. stigmatophora</i>	100.2
	<i>Tetraselmis</i> sp.	3,000.0
	<i>Stichoccus</i> sp.	2,500.0
	<i>A. nodosum</i>	810.0
	<i>U. rigida</i>	940.0
	<i>Un. pinnatifida</i>	1,840.0
	<i>Himanthalia</i> sp.	460.0
Vitamin E	<i>N. oculata</i> SAG38.85	1,440.0
	<i>H. pluvialis</i>	1,180.0
	<i>Microchloropsis salina</i>	1,090.0
	<i>Coccomyxa</i> sp.	1,060.0
	<i>Chlorococcum novae angliae</i>	785.0
	<i>Chl.s nivalis</i>	719.7
	<i>N. oculata</i>	2,320.0
	<i>T. suecica</i>	421.8
	<i>I. galbana</i>	58.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	669.0
	<i>D. tertiolecta</i>	160.0-1,810.0
	<i>T. suecica</i>	390.0
	<i>I. galbana</i>	55.4
	<i>Trentepohlia aurea</i>	2,400.0
	<i>E. gracilis</i>	1,422.0
	<i>Diacronema vlkianum</i>	551.3

Table 8 The amount of minerals found in algae⁽⁵⁹⁻⁶⁰⁾

Algae	Minerals in algae (mg/100 g of dry weight)							
	Calcium	Potassium	Magnesium	Sodium	Copper	Iron	Zinc	Iodine
Microalgae								
<i>Por. cruentum</i>	2,067.8	1,102.0	473.7	4,452.6	1.2	37.7	11.5	-
<i>I. galbana</i>	1,145.5	1,314.4	400.4	2,735.0	2.8	31.0	13.4	-
<i>Ph. tricornutum</i>	2,905.1	2,408.9	1,448.1	4,328.9	5.5	87.7	10.3	-
<i>T. suecica</i>	1,790.7	1,349.4	601.4	3,223.1	1.1	30.9	6.6	-
<i>N. gaditana</i>	631.3	1,260.7	370.3	2,022.6	2.9	48.9	10.1	-
Macroalgae								
<i>A. nodosum</i>	900.0	4,400.0	700.0	3,900.0	-	13.3	-	75.0-125.0
<i>L. digitata</i>	1,005.0	11,579.0	659.0	3,818.0	<0.5	3.3	2.0	304.0
<i>Himanthalia elongata</i>	909.0	6,739.0	827.0	3,700.0	-	-	3.8	-
<i>Un. pinnatifida</i>	931.0	8,669.0	1,181.0	7,064.0	<0.5	-	1.7	25.0
<i>Ca. lentillifera</i>	1,874.0	1,143.0	1,029.0	8,917.0	0.1	21.4	3.5	-
<i>U. rigida</i>	525.0	1,561.0	2,094.0	1,595.0	0.5	283.0	0.6	-
<i>P. palmata</i>	1,000.0	2,700.0	200.0	1,100.0	0.6	32.0	2.9	-
<i>Po. umbilicus</i>	687.0	1,407.0	283.0	1,173.0	-	18.2	4.2	17.0
<i>C. crispus</i>	420.0	3,184.0	732.0	427.0	<0.5	4.0	7.1	20.0-30.0
<i>G. vermiculophylla</i>	0.4	4.9	0.3	-	0.0015	0.04	0.0024	-

ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาผลผลิตสาหร่าย

ถึงแม้ว่าสาหร่ายจะมีศักยภาพในการเป็นแหล่งอาหาร แต่การเลือกซื้อเพื่อบริโภคควรเลือกซื้อสาหร่ายจากแหล่งผลิตหรือแหล่งเพาะเลี้ยงที่น่าเชื่อถือ เพื่อความสะอาดและปลอดภัยต่อสุขภาพ นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายทะเล จะมีปริมาณโซเดียมค่อนข้างสูง จึงควรเลี่ยงการบริโภคที่มากเกินไปหรือบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน ในด้านการผลิตสาหร่ายปริมาณมากในระดับอุตสาหกรรมยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุนการเพาะเลี้ยงที่สูง ตลอดจนพลังงานจำนวนมากที่จำเป็นในการเก็บเกี่ยวชีวมวล งานวิจัยหลายชิ้นระบุว่าต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กอยู่ในช่วงประมาณ 36-105 ยูโร (€: EUR) ต่อกิโลกรัม และต้นทุนในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวนี้คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20-30 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด⁽⁶¹⁾ นอกจากนี้การควบคุมคุณภาพและมาตรฐานด้านความปลอดภัยยังขาดมาตรฐานที่ชัดเจนและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล⁽⁶²⁾ ความท้าทายดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถยกระดับผลผลิตของสาหร่ายให้มีคุณภาพและความปลอดภัยตามมาตรฐาน อีกทั้งยังต้องส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจ และการยอมรับจากผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ การผลักดันให้สาหร่ายกลายเป็นแหล่งอาหาร จำเป็นต้องดำเนินการพัฒนาในหลากหลายมิติ ได้แก่

1. การพัฒนาด้านความยั่งยืน: การจับคู่วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายร่วมกับระบบบำบัดน้ำหรือการกักเก็บคาร์บอน เพื่อให้กระบวนการผลิต

เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้น เช่น การนำน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตเวย์มาใช้เป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย⁽⁶¹⁾

2. การบูรณาการเทคโนโลยี: การคัดเลือกสายพันธุ์ การปรับปรุงพันธุ์และพันธุวิศวกรรม เป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะสามารถเพิ่มผลผลิตชีวมวลได้ การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายท้องถิ่นที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ จะมีการเจริญของชีวมวลอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีระบบเพาะเลี้ยง เช่น การเพาะเลี้ยงโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีระบบแสง (photobioreactor)⁽⁶³⁾ การพัฒนารูปแบบเพาะเลี้ยง (cultivation mode: heterotrophic, mixotrophic, photoheterotrophic) และกระบวนการเพาะเลี้ยง (cultivation process: fed-batch, fed-batch, continuous) ไปจนถึงปัญญาประดิษฐ์ในการติดตามหรือเพิ่มกำลังผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุน⁽⁶⁴⁻⁶⁵⁾

3. การศึกษาทางคลินิก: ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารสำคัญเพื่อยืนยันถึงประโยชน์ต่อสุขภาพของสารสำคัญในสาหร่าย

4. การยอมรับจากผู้บริโภค: สร้างการจดจำให้กับแบรนด์ ชื่อสินค้าและผลิตภัณฑ์หลากหลายที่รสชาติดี มีภาพลักษณ์ดี และให้ข้อมูลด้านประโยชน์อย่างตรงไปตรงมา

บทสรุป

สาหร่ายที่รับประทานได้ถือเป็นอาหารที่ไม่เพียงดีต่อร่างกายและสุขภาพ ยังสามารถส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม สาหร่ายขนาดใหญ่ (โดยเฉพาะสาหร่ายทะเล) เป็นอาหารดั้งเดิมในหลายภูมิภาค ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus* ได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง คุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งโปรตีน กรดไขมันโอเมกา-3 วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้สาหร่ายเป็นแหล่งอาหารทางเลือกช่วย

แก้ภัยด้านโภชนาการและสุขภาพของประชากรโลก ท้ายที่สุด การวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายมีความก้าวหน้า โดยความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และภาควิชาการจะเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนและปลดล็อกศักยภาพของสาหร่ายในฐานะส่วนหนึ่งของระบบอาหาร ความร่วมมือดังกล่าวจะมีบทบาทในการบรรเทาปัญหาภาวะทุพโภชนาการ ส่งเสริมสุขภาพของประชากร และสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

1. Sakschewski B, Von Bloh W, Huber V, Müller C, Bondeau A. Feeding 10 billion people under climate change: How large is the production gap of current agricultural systems? *Ecol Modell.* 2014;288.
2. Maqbool ME, Farhan A, Qamar MA. Global impact of COVID-19 on food safety and environmental sustainability: Pathways to face the pandemic crisis. Vol. 10, *Heliyon.* Elsevier Ltd; 2024.
3. Vermeulen SJ, Campbell BM, Ingram JSI. Climate change and food systems. Vol. 37, *Annual Review of Environment and Resources.* 2012.
4. Ahmed N, Sheikh MA, Ubaid M, Chauhan P, Kumar K, Choudhary S. Comprehensive exploration of marine algae diversity, bioactive compounds, health benefits, regulatory issues, and food and drug applications. Vol. 14, *Measurement: Food.* Elsevier Ltd; 2024.
5. Danao K, Rokde V, Nagar A, Bendale AR, Karande N. Advances in food and nutrition research. In: *Nutrigenomics and Nutraceuticals.* 2024.
6. Zhou L, Li K, Duan X, Hill D, Barrow C, Dunshea F, et al. Bioactive compounds in microalgae and their potential health benefits. Vol. 49, *Food Bioscience.* 2022.
7. Mendes MC, Navalho S, Ferreira A, Paulino C, Figueiredo D, Silva D, et al. Algae as Food in Europe: An Overview of Species Diversity and Their Application†. Vol. 11, *Foods.* 2022.
8. Ścieszka S, Klewicka E. Algae in food: a general review. Vol. 59, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2019.
9. Thiamdao S, Motham M, Pekkoh J, Mungmai L, Peerapornpisal Y. *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler (Nostocales), edible algae in northern Thailand. *Chiang Mai Journal of Science.* 2012;39(1).
10. Thiamdao S, Boo GH, Boo SM, Peerapornpisal Y. Diversity of edible cladophora (cladophorales, chlorophyta) in northern and northeastern Thailand, based on morphology and nuclear ribosomal DNA sequences. *Chiang Mai Journal of Science.* 2012;39(2).
11. Masojidek J, Torzillo G. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In: *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set.* 2008.
12. Masojidek J, Torzillo G. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* 2014.



13. Khoo KS, Lee SY, Ooi CW, Fu X, Miao X, Ling TC, et al. Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. Vol. 288, Bioresour Technol. 2019.
14. Wu JY, Tso R, Teo HS, Haldar S. The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. Vol. 10, Front Nutr. 2023.
15. Senevirathne M, Kim SK. Marine macro- and microalgae as potential agents for the prevention of asthma. Hyperresponsiveness and inflammatory subjects. In: Advances in Food Nutr Res. 2011.
16. Thiviya P, Gamage A, Gama-Arachchige NS, Merah O, Madhujith T. Seaweeds as a Source of Functional Proteins. Vol. 2, Phycology. 2022.
17. Thunyawanichnondh J, Suebsiri N, Lertamonchaikul S, Pimolsri W, Jittanit W, Charoensiddhi S. Potential of green seaweed *Ulva rigida* in Thailand for healthy snacks. J Fish Environ. 2020;44(1).
18. Hwang PA, Wong SL, Liu YC. A Comparison of Cooking Conditions of *Rhizoclonium* Pulp as a Substitute for Wood Pulp. Polymers (Basel). 2022;14(19).
19. Wang S, Miao S, Sun DW. Modifying structural and techno-functional properties of quinoa proteins through extraction techniques and modification methods. Vol. 143, Trends in Food Science and Technology. 2024.
20. Ciani M, Lippolis A, Fava F, Rodolfi L, Niccolai A, Tredici MR. Microbes: Food for the future. Vol. 10, Foods. 2021.
21. Ali SS, Al-Tohamy R, Al-Zahrani M, Schagerl M, Kornaros M, Sun J. Advancements and challenges in microalgal protein production: A sustainable alternative to conventional protein sources. Vol. 24, Microbial Cell Factories. BioMed Central Ltd; 2025.
22. Li X, Wang K, Bai F, Ge P, Tan M. Algal protein: Structural functionality, advanced extraction technologies, and challenges for applications in food nutrition security. Food Chem. 2025;477:135035.
23. Lange KW, Nakamura Y. Edible insects as future food: chances and challenges. Vol. 1, Journal of Future Foods. 2021.
24. Surya Ulhas R, Ravindran R, Malaviya A, Priyadarshini A, Tiwari BK, Rajauria G. A review of alternative proteins for vegan diets: Sources, physico-chemical properties, nutritional equivalency, and consumer acceptance. Food Research International. 2023;173.
25. Bleakley S, Hayes M. Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. Foods. 2017;6(5).
26. Phillips GO, Williams PA. Handbook of Food Proteins. Cambridge: Woodhead Publishing; 2011.
27. Dewan A, Sridhar K, Yadav M, Bishnoi S, Ambawat S, Nagaraja SK, et al. Recent trends in edible algae functional proteins: Production, bio-functional properties, and sustainable food packaging applications. Vol. 463, Food Chemistry. Elsevier Ltd; 2025.
28. Benjama O, Masniyom P. Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (*Ulva pertusa* and *U. intestinalis*) from the Pattani Bay in Southern Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2011;33(5).
29. Gamero-Vega G, Palacios-Palacios M, Quitral V. Nutritional composition and bioactive compounds of red seaweed: A mini-review. J Food Nutr Res. 2020;8(8):431–40. doi:10.12691/jfnr-8-8-7.
30. Roy S Sen, Pal R. Microalgae in Aquaculture: A Review with Special References to Nutritional Value and Fish Dietetics. Vol. 68, Proceedings of the Zoological Society. 2015.
31. Hwang ES, Ki KN, Chung HY. Proximate composition, amino acid, mineral, and heavy metal content of dried laver. Prev Nutr Food Sci. 2013;18(2).
32. de Gaillande C, Payri C, Remoissenet G, Zubia M. *Caulerpa* consumption, nutritional value and farming in the Indo-Pacific region. In: Journal of Applied Phycology. 2017.
33. Nutautaitė M, Vilienė V, Racevičiūtė-Stupelienė A, Bliznikas S, Karosienė J, Koreivienė J. Freshwater *Cladophora* glomerata biomass as promising protein and other essential nutrients source for high quality and more sustainable feed production. Agriculture (Switzerland). 2021;11(7).

34. Tibbetts SM, Milley JE, Lall SP. Chemical composition and nutritional properties of freshwater and marine microalgal biomass cultured in photobioreactors. *J Appl Phycol.* 2015;27(3).
35. Pastrana-Pastrana ÁJ, Rodríguez-Herrera R, Solanilla-Duque JF, Flores-Gallegos AC. Plant proteins, insects, edible mushrooms and algae: more sustainable alternatives to conventional animal protein. Vol. 5, *Journal of Future Foods.* KeAi Communications Co.; 2025. p. 248–56.
36. Elsharkawy S, Nour A, Zaki M, Mehrim A. Impacts of dietary replacement of soybean meal with dried *Ulva lactuca* meal on growth performance, feed efficiency, and physiological responses of *Oreochromis niloticus*. *Egypt J Aquat Biol Fish.* 2022;26(3).
37. Raji AA, Jimoh WA, Bakar NHA, Taufek NHM, Muin H, Alias Z, et al. Dietary use of *Spirulina (Arthrospira)* and *Chlorella* instead of fish meal on growth and digestibility of nutrients, amino acids and fatty acids by African catfish. *J Appl Phycol.* 2020;32(3).
38. Haroun AA, Matazu IK, Abdulhamid Y, Sani J. Molecular identification of green algae, *Spirogyra porticalis*, along parts of River Kaduna and its potential for single-cell protein (SCP) production. *Niger Ann Pure Appl Sci.* 2019;1:28–34.
39. Chen W, Li T, Du S, Chen H, Wang Q. Microalgal polyunsaturated fatty acids: Hotspots and production techniques. Vol. 11, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* 2023.
40. Barta DG, Coman V, Vodnar DC. Microalgae as sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids: Biotechnological aspects. *Algal Res.* 2021;58.
41. De Bhowmick G, Guieysse B, Everett DW, Reis MG, Thum C. Novel source of microalgal lipids for infant formula. Vol. 135, *Trends in Food Science and Technology.* 2023.
42. Santos JP, Guihéneuf F, Fleming G, Chow F, Stengel DB. Temporal stability in lipid classes and fatty acid profiles of three seaweed species from the north-eastern coast of Brazil. *Algal Res.* 2019;41.
43. Milledge JJ, Nielsen B V., Maneein S, Harvey PJ. A brief review of anaerobic digestion of algae for BioEnergy. Vol. 12, *Energies.* 2019.
44. Akubude VC, Nwaigwe KN, Dintwa E. Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Mater Sci Energy Technol.* 2019;2(2).
45. Rocha CP, Pacheco D, Cotas J, Marques JC, Pereira L, Gonçalves AMM. Seaweeds as valuable sources of essential fatty acids for human nutrition. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9).
46. Lafarga T, Acién G. Cultured Microalgae for the Food Industry: Current and Potential Applications. *Cultured Microalgae for the Food Industry: Current and Potential Applications.* 2021.
47. Soto-Sánchez O, Hidalgo P, González A, Oliveira PE, Hernández Arias AJ, Dantagnan P. Microalgae as Raw Materials for Aquafeeds: Growth Kinetics and Improvement Strategies of Polyunsaturated Fatty Acids Production. Vol. 2023, *Aquaculture Nutrition.* 2023.
48. Jin Y, Yu Q, Li S, Chen T, Liu D. Application of seaweed polysaccharide in bone tissue regeneration. Vol. 10, *Frontiers in Marine Science.* 2023.
49. Ju J, Yang J, Zhang W, Wei Y, Yuan H, Tan Y. Seaweed polysaccharide fibers: Solution properties, processing and applications. Vol. 140, *Journal of Materials Science and Technology.* 2023.
50. Zhong H, Gao X, Cheng C, Liu C, Wang Q, Han X. The Structural Characteristics of Seaweed Polysaccharides and Their Application in Gel Drug Delivery Systems. Vol. 18, *Marine Drugs.* 2020.
51. Liao YC, Chang CC, Nagarajan D, Chen CY, Chang JS. Algae-derived hydrocolloids in foods: applications and health-related issues. Vol. 12, *Bioengineered.* 2021.



52. Li Y, Zheng Y, Zhang Y, Yang Y, Wang P, Imre B, et al. Brown algae carbohydrates: Structures, pharmaceutical properties, and research challenges. Vol. 19, *Marine Drugs*. 2021.
53. Karuppusamy S, Rajauria G, Fitzpatrick S, Lyons H, McMahon H, Curtin J, et al. Biological properties and health-promoting functions of laminarin: A comprehensive review of preclinical and clinical studies. vol. 20, *Marine Drugs*. 2022.
54. Selvaraj S, Bains A, Sharma M, Chawla P, Sridhar K. Freshwater Edible Algae Polysaccharides: A Recent Overview of Novel Extraction Technologies, Characterization, and Future Food Applications. *J Polym Environ*. 2023;
55. Beacham TA, Cole IS, DeDross LS, Raikova S, Chuck CJ, Macdonald J, et al. Analysis of seaweeds from South West England as a biorefinery feedstock. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2019 Oct 1;9(20).
56. Koyande AK, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu DT, Show PL. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. Vol. 8, *Food Science and Human Wellness*. 2019.
57. Arora N, Philippidis GP. The Prospects of Algae-Derived Vitamins and Their Precursors for Sustainable Cosmeceuticals. Vol. 11, *Processes*. 2023.
58. Alam MA, Parra-Saldivar R, Bilal M, Afroze CA, Ahmed MN, Iqbal HMN, et al. Algae-derived bioactive molecules for the potential treatment of sars-cov-2. Vol. 26, *Molecules*. 2021.
59. Imchen T. Nutritional value of seaweeds and their potential to serve as nutraceutical supplements. *Phycologia*. 2021;60(6).
60. Di Lena G, Casini I, Lucarini M, Sanchez del Pulgar J, Aguzzi A, Caproni R, et al. Chemical characterization and nutritional evaluation of microalgal biomass from large-scale production: a comparative study of five species. *European Food Research and Technology*. 2020; 246(2).
61. Gupta S, Marchetti JM. Co-cultivation of high-value microalgae species with filamentous microalgae for dairy wastewater treatment. *NPJ Clean Water*. 2024 Dec 1;7(1).
62. Qin S, Wang K, Gao F, Ge B, Cui H, Li W. Biotechnologies for bulk production of microalgal biomass: from mass cultivation to dried biomass acquisition. Vol. 16, *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2023.
63. Abdur Razzak S, Bahar K, Islam KMO, Haniffa AK, Faruque MO, Hossain SMZ, et al. Microalgae cultivation in photobioreactors: sustainable solutions for a greener future. Vol. 5, *Green Chemical Engineering*. 2024.
64. Guieysse B, Plouviez M. Microalgae cultivation: closing the yield gap from laboratory to field scale. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12.
65. Abreu AP, Morais RC, Teixeira JA, Nunes J. A comparison between microalgal autotrophic growth and metabolite accumulation with heterotrophic, mixotrophic and photoheterotrophic cultivation modes. Vol. 159, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นวารสารของสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน (เผยแพร่เดือน มิถุนายน) และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม (เผยแพร่เดือน ธันวาคม) วารสารนี้เผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (e-Journal)

การส่งบทความ ขอให้ส่งบทความต้นฉบับในรูปแบบไฟล์ .doc หรือ .docx และไฟล์ .pdf ทางระบบ Online Submission ที่ลิงก์ <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/JFRPD> สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ หน้าเว็บไซต์วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ในแถบคู่มือการใช้งานระบบ หัวข้อ “สมัครใช้งานระบบวารสาร” และ “สำหรับผู้เขียนบทความ”

เรื่องที่ผู้เขียนจะส่งมาพิมพ์ในวารสารแยกเป็น 2 ประเภท

1. บทความวิจัย (Research article)

1.1 Research article : เป็นงานเสนอผลการวิจัย ที่ผู้เขียนและคณะเป็นผู้ดำเนินการศึกษาวิจัย

2. บทความวิชาการ (Review article)

2.1 Review article : บทความลักษณะการรวบรวมและทบทวนวรรณกรรม รวมถึงการวิเคราะห์สังเคราะห์ข้อมูล และนำเสนออภิปรายผลการทบทวนวรรณกรรม

การเตรียมบทความต้นฉบับเพื่อลงพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

1. บทความวิจัย (Research article)

1.1 บทความต้นฉบับ ควรพิมพ์บนกระดาษขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียวความยาวประมาณ 25 บรรทัด ต่อหน้า มีความยาวทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้าพิมพ์ และตัวอักษรควรใช้ Font TH Sarabun New หรือ Angsana New ขนาด 16 ระยะห่างบรรทัด 1.15

1.2 ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและอังกฤษ ควรกะทัดรัดและตรงกับเนื้อเรื่อง ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ขึ้นต้นตัวแรกเท่านั้น ตัวอักษรอื่นใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

1.3 ชื่อ สกุล ผู้เขียน (Author) Email และสถานที่ทำงาน ให้ระบุภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

1.4 จุดเด่น (Highlights) ของบทความวิจัยทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 3-5 หัวข้อ

1.5 บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นการสรุปสาระสำคัญของงานวิจัย โดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผลการดำเนินงานวิจัย จำนวน 200-300 คำ

1.6 คำสำคัญ (Keywords) ให้กำหนดคำศัพท์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 2-5 คำศัพท์ โดยใช้คำภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีความหมายตรงกัน คำอังกฤษที่ไม่มีคำแปลภาษาไทย อาจใช้คำทับศัพท์ เช่น อัลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นต้น และโปรดตรวจสอบหลักการเขียนคำทับศัพท์จากราชบัณฑิต คำภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

1.7 เนื้อหา (Text) ควรประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

- (1) บทนำ (Introduction) เพื่ออธิบายถึงปัญหาและวัตถุประสงค์ อารวมการตรวจเอกสาร (literature review) เข้าไว้ด้วย
- (2) อุปกรณ์และวิธีการ (Material and method) ประกอบด้วยวัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือ และวิธีการที่ใช้ในการทดลอง
- (3) ผลการทดลอง (Result) เป็นการเสนอผลการทดลอง ถ้ามีตาราง กราฟ แผนภูมิ หรือรูปภาพ ให้เขียนคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ
- (4) วิจารณ์ (Discussion) เป็นการวิจารณ์ผลการทดลองให้เห็นถึงสาเหตุ ที่มาของผล หลักการที่แสดงถึงผลการทดลอง ทั้งนี้สามารถรายงานผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลองรวมกันได้ โดยใช้หัวข้อ ผลการทดลองและวิจารณ์ (Result and discussion)

หมายเหตุ: ผลการทดลองและวิจารณ์สามารถรวมเป็นหัวข้อเดียวกันได้

- (5) สรุป (Conclusion) เป็นการสรุปสาระสำคัญและแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์ รวมถึงคำแนะนำเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยในอนาคต
- (6) คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า **Table** เช่น **Table 1** Effect of... คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า **Figure** เช่น **Figure 1** Effect of... แล้วต่อท้ายด้วยหมายเลขเอกสารอ้างอิง กำหนดให้ชื่อและเนื้อหาของตารางและรูปภาพเป็นภาษาอังกฤษ หากมีหมายเหตุท้ายรูปหรือตารางให้ใช้คำว่า **Note:**
- (7) คำภาษาอังกฤษที่ใช้บรรยายในเนื้อความให้ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ คำย่อ ถ้าคำภาษาอังกฤษในตาราง ให้ใช้ตัวอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่เท่านั้น ตัวอักษรอื่น ๆ ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ
- (8) การอ้างอิงในเนื้อความเพื่อระบุแหล่งที่มาของข้อมูลให้ใช้รูปแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) โดยใช้การอ้างอิงระบบลำดับหมายเลขคู่มือหัวข้อ **การเขียนเอกสารอ้างอิง** ประกอบ

1.8 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ช่วยเหลือ แต่มีได้เป็นผู้ร่วมงานด้วย

1.9 เอกสารอ้างอิง (Reference) เป็นเอกสารที่ผู้เขียนได้อ้างไว้ในบทความ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านสามารถสืบค้นเอกสารที่มาได้ โดยให้เขียนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในหัวข้อ **การเขียนเอกสารอ้างอิง**

1.10 บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิล์ม สไลด์ รูปภาพ หรือไฟล์ข้อมูล รูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 200 จุดต่อนิ้ว

1.11 ชื่อวิทยาศาสตร์ หรือภาษาละตินที่ปรากฏในบทความให้พิมพ์ตัวเอียง เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *in vitro* เป็นต้น

2. บทความวิชาการ (Review article)

2.1 ต้นฉบับ ควรพิมพ์บนกระดาษขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียวความยาวประมาณ 25 บรรทัดต่อหน้า มีความยาวทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้าพิมพ์ และตัวอักษรควรใช้ Font TH Sarabun New หรือ Angsana New ขนาด 16 ระยะห่างบรรทัด 1.15

2.2 ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกะทัดรัดและตรงกับเนื้อเรื่อง ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ขึ้นต้นตัวแรกเท่านั้น ตัวอักษรอื่นใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

2.3 ชื่อ สกุล ผู้เขียน (Author) Email และสถานที่ทำงาน ให้ระบุภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2.4 จุดเด่น (Highlights) ของบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 3-5 หัวข้อ

2.5 บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทคัดย่อในบทความวิชาการ เป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญ เน้นประเด็นสำคัญของงานที่ต้องการนำเสนอจริง ๆ ควรเขียนให้สั้น กระชับ มีความยาวไม่เกิน 10 ถึง 15 บรรทัด โดยบทคัดย่อมักจะประกอบด้วยเนื้อหาสามส่วน คือ เกริ่นนำ สิ่งที่ทำ สรุปผลสำคัญที่ได้ ซึ่งอ่านแล้วต้องเห็นภาพรวมทั้งหมดของงาน

2.6 คำสำคัญ (Keywords) ให้กำหนดคำศัพท์ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ 2-5 คำศัพท์ โดยใช้คำภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีความหมายตรงกัน คำอังกฤษที่ไม่มีคำแปลภาษาไทย อาจใช้คำทับศัพท์ เช่น อัลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นต้น คำภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ และให้ใส่ไว้หลังหัวข้อบทคัดย่อ

2.7. เนื้อหา ประกอบด้วย คำนำ เนื้อเรื่อง และบทสรุป

2.7.1 คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า **Table** เช่น **Table 1** Effect of... คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า **Figure** เช่น **Figure 1** Effect of... แล้วต่อท้ายด้วยหมายเลขเอกสารอ้างอิง กำหนดให้ชื่อและเนื้อหาของตารางและรูปภาพเป็นภาษาอังกฤษ หากมีหมายเหตุท้ายรูปหรือตารางให้ใช้คำว่า **Note:**

2.7.2 คำภาษาอังกฤษที่ใช้บรรยายในเนื้อความ ให้ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ คำย่อ ถ้าคำภาษาอังกฤษในตาราง ให้ใช้ตัวอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่เท่านั้น ตัวอักษรอื่น ๆ ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

2.7.3 กรณีที่มีการอ้างอิงในส่วนเนื้อหาเพื่อระบุแหล่งที่มาของข้อมูล ให้ใช้รูปแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style)

2.8 เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในหัวข้อ **การเขียนเอกสารอ้างอิง**

2.9 บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิล์ม สไลด์ รูปภาพ หรือไฟล์ข้อมูล รูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 200 จุดต่อนิ้ว

2.10 ชื่อวิทยาศาสตร์ หรือภาษาละตินที่ปรากฏในบทความให้พิมพ์ตัวเอียง เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *in vitro* เป็นต้น

การเขียนเอกสารอ้างอิง

เป็นเอกสารที่ผู้เขียนได้อ้างไว้ในบทความ ซึ่งผู้อ่านสามารถไปสืบค้นเอกสารที่มาได้

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้รูปแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style)

รูปแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) โดยการอ้างอิงประกอบด้วย 2 แบบ คือ การอ้างอิงในเนื้อหาและการอ้างอิงท้ายบทความ

การอ้างอิงในเนื้อหา รูปแบบแวนคูเวอร์จะใช้การอ้างอิงระบบลำดับหมายเลข โดย

1. ระบุหมายเลขเรียงลำดับกันไปที่ทำยข้อความหรือชื่อบุคคลที่ใช้อ้างอิงเริ่มจากหมายเลข 1,2,3 ไปตามลำดับที่อ้างก่อนหลังเป็นเลขอารบิกโดยไม่มีการเว้นวรรค รวมถึงให้อยู่ในวงเล็บกลม () และใช้ตัวยก
2. ทุกครั้งที่มีการอ้างซ้ำจะต้องใช้หมายเลขเดิมในการอ้างอิง และหมายเลขที่ใช้อ้างอิงจะต้องตรงกับหมายเลขของรายการอ้างอิงท้ายเล่มด้วย
3. สำหรับการอ้างอิงในตารางหรือในคำอธิบายตารางให้ใช้เลขที่สอดคล้องกับที่ได้เคยอ้างอิงมาก่อนแล้วในเนื้อเรื่อง
4. การอ้างอิงจากเอกสารมากกว่า 1 รายการ ต่อเนื่องกันจะใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) เชื่อมระหว่างรายการแรกถึงรายการสุดท้าย เช่น (1-3) หากเป็นการอ้างถึงเอกสารที่มีลำดับไม่ต่อเนื่องกัน จะใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) โดยไม่มีการเว้นวรรค เช่น (4,6,10)

ตัวอย่างการอ้างอิงในส่วนของเนื้อความ

การอ้างอิงที่ผู้เขียนเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหา ให้ใส่ตัวเลขลำดับการอ้างอิงตามหลังชื่อผู้เขียน

ในปี ค.ศ. 2007 Komsan และคณะ⁽¹³⁾ ได้ศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการของข้าวโพดสีม่วง (purple field corn) พันธุ์ผสมเปิด (open-pollinated variety) ที่ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์ปีกพบว่า.....

การอ้างอิงที่ผู้เขียนไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหา ให้ใส่ตัวเลขลำดับการอ้างอิงตามหลังข้อความที่อ้างอิง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนพืชที่นิยมบริโภคกันมากในประเทศญี่ปุ่นและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น สารไอโซฟลาโวน⁽¹⁻²⁾ สารซาโปนิน⁽³⁾ และสารโทโคฟีรอล⁽⁴⁾ เป็นต้น

การประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี รวมถึง hydrophilic-oxygen radical absorbance capacity (H-ORAC) assay ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระอย่าง peroxy radical⁽⁵⁾

การอ้างอิงท้ายบทความ

การอ้างอิงที่อยู่ท้ายบทความหรือที่เรียกว่า เอกสารอ้างอิง (References) มีหลักการอ้างอิงดังนี้

1. พิมพ์ตามลำดับการอ้างอิงตามหมายเลขที่ได้กำหนดไว้ภายในวงเล็บที่ได้อ้างถึงในเนื้อหา โดยไม่ต้องแยกภาษาและประเภทของเอกสารอ้างอิง
2. พิมพ์หมายเลขลำดับการอ้างอิงไว้ขีดขอบกระดาษด้านซ้าย หากรายการอ้างอิงมีความยาวมากกว่าหนึ่งบรรทัด ให้พิมพ์บรรทัดถัดไปโดยย่อหน้าให้ตรงกับข้อความในบรรทัดแรก
3. รูปแบบการอ้างอิงจะแตกต่างกันตามประเภทของเอกสารที่นำมาอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสารในส่วนท้ายบทความ

1. Han R-M, Tian Y-X, Liu Y, Chen C-H, Ai X-C, Zhang J-P, et al. Comparison of flavonoids and isoflavonoids as antioxidants. J Agric Food Chem. 2009;57(9):3780-3785.
2. Rüfer CE, Kulling SE. Antioxidant activity of isoflavones and their major metabolites using different *in vitro* assays. J Agric Food Chem. 2006;54(8):2926-31.
3. Yoshiki Y, Kahara T, Okubo K, Sakabe T, Yamasaki T. Superoxide- and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical-scavenging activities of soyasaponin β g related to gallic acid. Biosci Biotechnol Biochem. 2001;65(10):2162-5.
4. Kamal-Eldin A, Appelqvist LA. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. Lipids. 1996;31(7):671-701.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากหนังสือในส่วนท้ายบทความ

5. Zhong Y, Shahidi F. 12 - Methods for the assessment of antioxidant activity in foods. In: Shahidi F, editor. Handbook of Antioxidants for Food Preservation: Woodhead Publishing; 2015.

หลักเบื้องต้นในการอ้างอิงข้อมูลแต่ละส่วน

1. ผู้แต่ง เป็นได้ทั้งบุคคล กลุ่มบุคคล หรือหน่วยงาน และเป็นได้ทั้งผู้เขียน บรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

1.1 กรณีเป็นผู้แต่งเป็นคนไทย ให้ใช้ชื่อและนามสกุลตามลำดับ โดยเว้น 1 บรรทัด

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพิทุกุล. รชฎ ขำบุญ.

1.2 กรณีเป็นผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใช้ชื่อสกุลขึ้นก่อน เว้น 1 บรรทัด ตามด้วยอักษรย่อของชื่อตัวและชื่อกลางโดยไม่ต้องเว้นวรรคหรือมีเครื่องหมายใดใดคั่น

ตัวอย่าง Chin YL. Guth LM.

1.3 กรณีที่ผู้แต่งมีจำนวนมากกว่า 1 คน

1.3.1 หากผู้แต่งมีจำนวนไม่เกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อทุกคน โดยใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างชื่อ และเว้น 1 บรรทัด หลังชื่อผู้แต่งชื่อสุดท้ายให้ใส่เครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพิทุทกุล, รชฏ ขำบุญ, วิลาศิณี เกิดสมบุญ.

Rüfer CE, Kulling SE, Guth LM.

1.3.2 หากผู้แต่งมีจำนวนมากกว่า 6 คน ให้ใส่ชื่อ 6 คนแรก โดยใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างชื่อ และเว้น 1 บรรทัด หลังชื่อผู้แต่งชื่อที่ 6 ให้ใส่คำว่า “และคณะ.” (สำหรับภาษาไทย) หรือ “et al.” (สำหรับภาษาอังกฤษ) และตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพิทุทกุล, รชฏ ขำบุญ, วิลาศิณี เกิดสมบุญ, อรรวรยา พันธูลาภ,
วรารณ ประเสริฐ, ระวิน สืบคำ, และคณะ.

Rüfer CE, Kulling SE, Guth LM, Wang S, Orsat V, Shahidi F, *et al.*

1.4 ผู้แต่งที่เป็นกลุ่ม เป็นคณะ หรือสถาบัน ให้ใช้ชื่อก่อน คณ หรือสถาบันนั้นเป็นผู้แต่ง กรณีมีทั้งหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) หลังชื่อหน่วยงานใหญ่ เว้น 1 บรรทัดตามด้วยชื่อหน่วยงานย่อย และเครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง คณะกรรมการอาหารและยา

The United States Food and Drug Administration (U.S. FDA).

1.5 ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง ให้ใช้ชื่อนิตยสารหรือชื่อบทความแทนตำแหน่งชื่อผู้แต่ง

ตัวอย่าง 84 เมนู อาหารผู้สูงอายุเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร;2555.

21st century heart solution may have a sting in the tail. BMJ.

2002;325(7357):184.

2. ชื่อนิตยสาร/ ชื่อวารสาร/ ชื่อบทความ

2.1 ชื่อนิตยสาร/ ชื่อบทความ กรณีเป็นภาษาไทย ให้ใช้ชื่อตามที่ปรากฏ กรณีเป็นภาษาอังกฤษ ให้ใช้อักษรตัวใหญ่เฉพาะคำแรกของชื่อ หลังจากนั้นให้ใช้อักษรตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นศัพท์เฉพาะ และตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง 84 เมนู อาหารผู้สูงอายุเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร;2555.

Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology.
4th ed. St. Louis: Mosby;2002.

Meltzer PS, Kallioniemi A, Trent JM. Chromosome alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler KW, editors. The genetic basis of human cancer. New York: McGraw-Hill;2002.p.93-113.

2.2 ชื่อวารสาร กรณีเป็นวารสารภาษาไทย ให้ใช้ชื่อตามที่ปรากฏ กรณีเป็นวารสารภาษาอังกฤษ ให้ใช้ชื่อย่อ
ตัวอย่าง กัญญรัตน์ กัญญาคำ. ยีสต์โพรไบโอติก. วารสารอาหาร. 2565;52(2):28-34.

Halpern SD, Ubel PA, Caplan AL. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. N Engl J Med. 2002;347:284-7.

3. จำนวนเล่ม กรณีหนังสือมีหลายเล่ม (Volume) หากนำมาใช้อ้างอิงทุกเล่ม ให้ใส่จำนวนเล่มทั้งหมดไว้ท้าย
รายการอ้างอิง เช่น 3 ล. หรือ 3 vol. (ใช้อักษร v ตัวพิมพ์เล็ก)

ตัวอย่าง อุไร จิรมงคลการ. ผักพื้นบ้าน. กรุงเทพฯ: สายธุรกิจโรงพิมพ์; 2547. 2 ล.

Tressler DK, Woodroof JG. Fruit, vegetable and nut products. United States of America: The AVI; 1976. 3 vol.

หากนำมาใช้อ้างอิงเพียงเล่มใดเล่มหนึ่ง ให้ใส่เฉพาะเล่มที่อ้างไว้หลังชื่อเรื่องหรือครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)
เช่น เล่ม 3. หรือ Vol. 3. (ใช้อักษร v ตัวพิมพ์ใหญ่) และใส่จำนวนหน้าของเล่มที่อ้างไว้หลังปีพิมพ์

ตัวอย่าง อุไร จิรมงคลการ. ผักพื้นบ้าน. เล่ม 2. กรุงเทพฯ: สายธุรกิจโรงพิมพ์; 2547. 35 น.

Tressler DK, Woodroof JG. Fruit, vegetable and nut products. Vol. 1. United States of America: The AVI; 1976. 1,243 p.

4. ครั้งที่พิมพ์ ระบุตั้งแต่การพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป โดยใช้คำว่า “พิมพ์ครั้งที่” (สำหรับภาษาไทย) หรือ
“ed.” (สำหรับภาษาอังกฤษ) ตามด้วยเครื่องหมายทวิภาค (.) เช่น พิมพ์ครั้งที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 5. 2nd ed.
3rd ed. 4th ed. 5th ed. เป็นต้น ทั้งนี้ nd, rd, th ไม่ต้องทำเป็นตัวยก ส่วนคำประกอบอื่น ๆ ให้ใช้อักษรย่อ
เช่น revised ใช้ “rev.” reprint(ed) ใช้ “repr.” เป็นต้น

ตัวอย่าง เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. เมนูอร่อย...อาหารลดโซเดียม เพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ:
สมมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง; 2557.

Gilstrap LC 3rd, Cunningham FG, VanDorsten JP, editors. Operative obstetrics.
2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2002.

5. เมืองที่พิมพ์

5.1 ใส่ชื่อเมืองที่สำนักพิมพ์ตั้งอยู่ หากมีชื่อเมืองมากกว่า 1 ชื่อ ให้ใช้ชื่อเมืองแรก ตามด้วยเครื่องหมาย
ทวิภาค (:)

5.2 กรณีที่ชื่อเมืองไม่เป็นที่รู้จัก ให้ใส่ชื่อรัฐหรือประเทศไว้ในวงเล็บกลมตามหลังชื่อเมือง

5.3 กรณีที่ไม่สามารถระบุเมืองที่พิมพ์ได้ ให้ระบุไว้ในวงเล็บเหลี่ยมโดยใช้คำว่า [ม.ป.ท.] (สำหรับ
ภาษาไทย) หรือ [place unknown] (สำหรับภาษาอังกฤษ) หมายถึง ไม่ปรากฏเมืองที่พิมพ์

ตัวอย่าง	กรุงเทพฯ:	[ม.ป.ท.]:
	New York:	[place unknown]:

6. สำนักพิมพ์ ใส่ชื่อสำนักพิมพ์ตามที่ปรากฏในหนังสือ ตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) ทั้งนี้คำประกอบอื่นไม่ต้องใส่ เช่น สำนักพิมพ์, บริษัท, Publisher, Publishing, Limited, Company, Co. เป็นต้น ยกเว้นสำนักพิมพ์ที่มีชื่อเดียวกับหน่วยงาน ต้องระบุคำว่า “สำนักพิมพ์” ด้วย

กรณีสำนักพิมพ์เป็นหน่วยงานที่มีทั้งหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) หลังชื่อหน่วยงานใหญ่ เว้น 1 บรรทัด แล้วตามด้วยชื่อหน่วยงานย่อย

6.1 กรณีไม่ปรากฏสำนักพิมพ์: ใช้ชื่อสถาบันที่ผู้แต่งสังกัดแทน

6.2 กรณีไม่ปรากฏหน่วยงานใด ๆ: ให้ลงชื่อโรงพิมพ์ที่พิมพ์หนังสือนั้น โดยระบุคำว่า “โรงพิมพ์” ไว้ด้วย

6.3 กรณีเป็นสิ่งพิมพ์รัฐบาล: ให้ลงชื่อหน่วยราชการที่รับผิดชอบเป็นสำนักพิมพ์ แม้ว่าในหนังสือจะมีการระบุชื่อสำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์ก็ตาม

6.4 กรณีที่ชื่อสำนักพิมพ์เป็นชื่อเดียวกับชื่อผู้แต่ง ให้เขียนย่อ เช่น

ชื่อผู้แต่ง คือ กระทรวงการคลัง สำนักพิมพ์ให้ใส่ว่า กระทรวง

ชื่อผู้แต่ง คือ American Occupational Therapy Association สำนักพิมพ์ให้ใส่ว่า The Association

6.5 กรณีไม่สามารถระบุชื่อสำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์ได้ : ให้ระบุไว้ในวงเล็บเหลี่ยมโดยใช้คำว่า [ม.ป.พ.] (สำหรับภาษาไทย) หรือ [publisher unknown] (สำหรับภาษาอังกฤษ) หมายถึง ไม่ปรากฏสำนักพิมพ์

ตัวอย่าง สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง;

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร;

[ม.ป.พ.];

Williams & Wilkins;

Mcgraw-Hill, Health Professions Division;

7. ปีพิมพ์

7.1 ใส่เฉพาะตัวเลขของปีพิมพ์ ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.) เช่น 2565. 2022. เป็นต้น

7.2 หากไม่มีปีพิมพ์ ให้ใส่ปีลิขสิทธิ์ได้ โดยใส่ “c” กำกับไว้ด้วย เช่น c2022 เป็นต้น

7.3 หากไม่มีปีพิมพ์หรือปีลิขสิทธิ์ สามารถใส่ปีโดยประมาณโดยดูจากข้อมูลที่แสดงไว้ในเนื้อหา และใส่ไว้ในวงเล็บเหลี่ยมตามด้วยเครื่องหมายปริศนา (?) เช่น [2022?] เป็นต้น

7.4 หากไม่สามารถระบุปีพิมพ์ได้ ให้ระบุไว้ในวงเล็บเหลี่ยมโดยใช้คำว่า [ม.ป.ป.] (สำหรับภาษาไทย) หรือ [date unknown] (สำหรับภาษาอังกฤษ) หมายถึง ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์

8. ปี เดือน เล่มที่ และฉบับที่ ของวารสาร

8.1 กรณีเป็นวารสารที่มีเลขหน้าต่อเนื่องกันทั้งปี: วารสารวิชาการทางการแพทย์ส่วนใหญ่จะใช้เลขหน้าต่อเนื่องกันทั้งปี ให้ใส่เฉพาะปีพิมพ์ ตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) และเล่มที่ (Volume) โดยไม่มีการเว้นวรรค และไม่จำเป็นต้องใส่เดือน วันที่ และฉบับที่

ตัวอย่าง Figueroa JV, Chieves LP, Johnson GS, Buening GM. Multiplex polymerase chain reaction based assay for etection of Babesia bigemina, Babesis bovis and Anaplasma marginale DNA in bovine blood. Vet Parasitol. 1993;50:69-81.

8.2 กรณีเป็นวารสารที่ไม่ได้ใช้เลขหน้าต่อเนื่องกันทั้งปี: หากเป็นวารสารภาษาอังกฤษ ให้ใส่ปี เดือน* วันที่ พิมพ์ (ถ้ามี) หากเป็นวารสารภาษาไทย ให้ใส่วัน (ถ้ามี) เดือน* ปีที่พิมพ์ จากนั้นตามด้วยเครื่องหมาย อดภาค (;) เล่มที่ (Volume) และถ้ามีฉบับที่ (Issue/Number) ให้พิมพ์ไว้ในวงเล็บกลม โดยไม่มีการเว้นวรรค

*กรณีเป็นภาษาอังกฤษ ให้ใช้ตัวอักษร 3 ตัวแรกของเดือน เช่น Sep, Jan เป็นต้น กรณีเป็นภาษาไทย ให้ใช้อักษรย่อของเดือน

ตัวอย่าง สุรเกียรติ์ อาชานานุภาพ. เจ็บคอขอยาฆ่าเชื้อ/ยาแก้อักเสบ. หมอชาวบ้าน. ก.พ. 2563; 41(490):22-7.

Halpern SD, Ubel PA, Caplan AL. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. N Engl J Med. 2002 Jul 25;347(4):284-7.

9. เลขหน้า ให้ระบุเลขหน้าตั้งแต่หน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย ค้นด้วยเครื่องหมายยัติภังค์ (-) ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.) หลังเลขหน้าสุดท้าย โดยเลขหน้าสุดท้ายให้ใส่เฉพาะเลขที่ไม่ซ้ำกับเลขหน้าแรก ยกเว้นเลขโรมัน หรือเลขหน้าที่มีตัวอักษรต่อท้าย ให้ระบุเลขโดยไม่ต้องตัดเลขหน้าออก กรณีเลขหน้าไม่ต่อเนื่องกัน ให้ค้นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,)

ตัวอย่าง หน้า 7-29 ให้ใส่ 7-29.

หน้า 20-29 ให้ใส่ 20-9.

หน้า 980-983 ให้ใส่ 980-3.

หน้า xi-xii ให้ใส่ xi-xii.

หน้า 325A-329A ให้ใส่ 325A-329A.

หน้า 2, 4, 7 ให้ใส่ 2, 4, 7.

10. การระบุความเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนรายการอ้างอิงเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ให้เขียนตามประเภทของเอกสารนั้น ๆ และเพิ่มเติมข้อมูลที่แสดงความเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์หลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่

10.1 ประเภทของสื่อ: ให้ระบุประเภทของสื่อไว้ในวงเล็บเหลี่ยมหลังชื่อเรื่อง เช่น [อินเทอร์เน็ต] หรือ [Internet] [ซีดีรอม] หรือ [CD-ROM] [ดีวีดี] หรือ [DVD] เป็นต้น โดยย้ายเครื่องหมายมหัพภาค (.) หลังชื่อเรื่องไปไว้หลังวงเล็บเหลี่ยมแทน

10.2 วันที่เข้าถึง: เนื่องจากข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์อาจมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้เสมอ จึงต้องระบุวันที่เข้าถึงไว้ด้วย โดยหลังปีพิมพ์ของรายการอ้างอิงให้ระบุในวงเล็บเหลี่ยมไว้ว่า [เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี] สำหรับภาษาไทย หรือ [cited ปี เดือน วัน] สำหรับภาษาอังกฤษ

กรณีที่แหล่งข้อมูลมีการแจ้งวันที่ปรับปรุงข้อมูลล่าสุด สามารถเพิ่มข้อมูลดังกล่าวไว้ในวงเล็บเหลี่ยมข้างต้น โดยให้ระบุเพิ่มไว้ด้านหน้า ตามด้วยเครื่องหมายอดภาค (;) เว้น 1 วรรค ดังนี้ [ปรับปรุงเมื่อ วัน เดือน ปี; เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี] สำหรับภาษาไทย หรือ [updated ปี เดือน วัน; cited ปี เดือน วัน] สำหรับภาษาอังกฤษ

10.3 แหล่งที่มาของข้อมูล: ให้ระบุ URL ของแหล่งที่มาของข้อมูล ไว้ท้ายรายการอ้างอิง โดยใช้คำว่า “เข้าถึงได้จาก: URL ของแหล่งข้อมูล” สำหรับภาษาไทย หรือ “Available from: URL ของแหล่งข้อมูล” สำหรับภาษาอังกฤษ ทั้งนี้หลัง URL ของแหล่งข้อมูลไม่ต้องตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง ชมดาว สิกขะมณฑล. ผลิตภัณฑ์คีโตเจนิค. วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร [อินเทอร์เน็ต]. ก.ค.-ก.ย. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 16 ต.ค. 2565];52(3):15-24. เข้าถึงได้จาก: <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/JFRPD/article/view/5016>

Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet]. Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/10149/improving-palliative-care-for-cancer>

การอ้างอิงตามประเภทของเอกสาร

ในที่นี้ขอนำเสนอเฉพาะเอกสารที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้อ้างอิง สำหรับเอกสารประเภทอื่น ๆ ดูรายละเอียดได้จากวิธีการอ้างอิงรูปแบบแวนคูเวอร์ โดยหอสมุดแพทย์แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Library of Medicine: NLM) ที่ https://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

ตัวอย่าง

เนตรนภิส วัฒนสุขชาติ. เมนูอร่อย...อาหารลดโซเดียม เพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง; 2557.

Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2002.

หนังสือที่มีทั้งผู้แต่งและบรรณาธิการหรือผู้แปล

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors. หรือ ชื่อผู้แปล, ผู้แปล/translator/translators. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

ตัวอย่าง

นิพนธ์ ลิ้มสงวน, เขมิสร่า ชิวพฤกษ์. ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช...แนวโน้มในการบริโภคยุคปัจจุบัน. พิมพ์ครั้งที่ 2 ปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม. วนิดา ชิตีธรรมกุล, บรรณาธิการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2565.

Breedlove GK, Schorfheide AM. Adolescent pregnancy. 2nd ed. Wiecek RR, editor. White Plains (NY): March of Dimes Education Services; 2001.

หนังสือที่มีเฉพาะบรรณาธิการ

ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

ตัวอย่าง

สมใจ วิชัยดิษฐ์, บรรณาธิการ. ใครกิน...ใครได้. กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์พรินท์ติ้ง; 2551.

Gilstrap LC 3rd, Cunningham FG, VanDorsten JP, editors. Operative obstetrics. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2002.

หนังสือรวมบทความ

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อบท. ใน/In: ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์. น./p. หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง

บุญมา นิยมวิทย์. โยอาหารคืออะไร. ใน: เพลินใจ ตังคณะกุล, บรรณาธิการ. โภชนาการเร่ง สุขภาพแจ้ว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ประชาชน; 2548. น. 12-16.

Meltzer PS, Kallioniemi A, Trent JM. Chromosome alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler KW, editors. The genetic basis of human cancer. New York: McGraw-Hill; 2002. p. 93-113.

บทความวารสาร

1. วารสารที่ใช้เลขหน้าต่อเนื่องกันทั้งปี

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่: เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง

Figuroa JV, Chieves LP, Johnson GS, Buening GM. Multiplex polymerase chain reaction based assay for erection of Babesia bigemina, Babesia bovis and Anaplasma marginale DNA in bovine blood. Vet Parasitol. 1993;50:69-81.

2. วารสารที่ไม่ได้ใช้เลขหน้าต่อเนื่องกันทั้งปี

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปี เดือน วันที่พิมพ์; เล่มที่(ฉบับที่): เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

*กรณีเป็นวารสารภาษาไทย ให้ใส่วัน (ถ้ามี) เดือน ปีที่พิมพ์

ตัวอย่าง

กัญญรัตน์ กัญญาคำ. ยีสต์โพรไบโอติก. วารสารอาหาร. เม.ย. 2565;52(2):28-35.

Russell FD, Coppell AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human kidney as a food ingredient. Biochem Pharmacol. 1998 Mar 1;55(5):697-701.

กรณีเป็นบทความวารสารที่ได้รับการเผยแพร่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ก่อนรูปแบบฉบับพิมพ์ (ส่วนมากจะเป็นบทความจากฐานข้อมูล PubMed) ทำรายการอ้างอิง ให้เพิ่มข้อความว่า “สิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ วัน เดือน ปี.” สำหรับภาษาไทย หรือ “Epub ปี เดือน วัน.” สำหรับภาษาอังกฤษ

ตัวอย่าง

Yu WM, Hawley TS, Hawley RG, Qu CK. Immortalization of yolk sac-derived precursor cells. Blood. 2002 Nov 15;100(10):3828-31. Epub 2002 Jul 5.

ปริญญาานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง [ประเภท/ระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: มหาวิทยาลัย; ปีที่รับปริญญา.

*ประเภท/ระดับปริญญา เช่น วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต dissertation, thesis, Ph.D. เป็นต้น

ตัวอย่าง

กุลกัญญา ศศะภูมิ. การผลิตแป้งเค้กทุเรียนสำเร็จรูปเพื่อการอบด้วยไมโครเวฟ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2548.

Kaplan SJ. Post-hospital home health care: the elderly's access and utilization [dissertation Ph.D. Medicine]. St. Louis (MO): Washington University; 1995.

หนังสือประกอบการประชุม/รายงานการประชุม

ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors. ชื่อเรื่อง. ชื่อการประชุม; ปี เดือน วันที่ประชุม; สถานที่จัดประชุม. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

*กรณีเป็นภาษาไทย ให้ใส่วัน เดือน ปีที่ประชุม

ตัวอย่าง

นเรนทร์ โชติรสนิรมิต, บรรณาธิการ. New frontier in surgery. การประชุมวิชาการส่วนภูมิภาค ครั้งที่ 22 New frontier in surgery; 2551; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะแพทยศาสตร์, ภาควิชาศัลยศาสตร์; 2551.

Harnden P, Joffe JK, Jones WG, editors. Germ cell tumours V. Proceedings of the 5th Germ Cell Tumour Conference; 2001 Sep 13-15; Leeds, UK. New York: Springer; 2002.

Saithong P, Un-tom K, Muangnoi M, editors. Application of surface culture fermentation technique in production of pineapple wine vinegar. In: Proceedings of the 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017), 15-17 June 2017. Bangkok, Thailand p.743-748.

บทความที่นำเสนอในการประชุม

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อบทความ. ใน/In: ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors. ชื่อเรื่อง. ชื่อการประชุม; ปี เดือน วันที่ประชุม; สถานที่จัดประชุม. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์. น./p. หน้าแรก-หน้าสุดท้ายของบทความ.

*กรณีเป็นภาษาไทย ให้ใส่วัน เดือน ปีที่ประชุม

ตัวอย่าง

ธีระ ฤชตระกูล. Coagulopathy in liver diseases. ใน: ปิยะวัฒน์ โกมลมิศร์, ทวีศักดิ์ แทนวันดี, อนุชิต จูทะพุทธิ, บรรณาธิการ. Vascular diseases of the liver. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 4 Vascular disease of the liver; 12-14 มี.ค. 2552; เพชรบุรี. [กรุงเทพฯ]: สมาคมโรคตับ (ประเทศไทย); 2552. น. 1-13.

Christensen S, Oppacher F. An analysis of Koza's computational effort statistic for genetic programming. In: Foster JA, Lutton E, Miller J, Ryan C, Tettamanzi AG, editors. Genetic programming. EuroGP 2002: Proceedings of the 5th European Conference on Genetic Programming; 2002 Apr 3-5; Kinsdale, Ireland. Berlin: Springer; 2002. p. 182-91.

สิทธิบัตร

ชื่อผู้ประดิษฐ์, ผู้ประดิษฐ์/inventor/inventors; ชื่อผู้ขอรับสิทธิบัตร, ผู้ขอรับสิทธิบัตร/assignee. ชื่อสิ่งประดิษฐ์. ประเทศที่ออกสิทธิบัตร สิทธิบัตร/patent รหัสประเทศ หมายเลขสิทธิบัตร. ปี เดือน วันที่จดสิทธิบัตร.

*กรณีเป็นภาษาไทย ให้ใส่วัน เดือน ปีที่จดสิทธิบัตร

ตัวอย่าง

มันทนา เอื้อวิทยา, ผู้ประดิษฐ์; บริษัทมหาชนพาณิชย์เชียงใหม่จำกัด, ผู้ขอรับสิทธิบัตร. องค์ประกอบสมุนไพรรากวาวเครือ. ประเทศไทย สิทธิบัตร ไทย 8919. 10 พ.ค. 2542.

Pagedas AC, inventor; Ancel Surgical R&D Inc., assignee. Flexible endoscopic grasping and cutting device and positioning tool assembly. United States patent US 20020103498. 2002 Aug 1.

พจนานุกรม

ชื่อพจนานุกรม. ครั้งที่พิมพ์. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์. คำศัพท์; น./p. เลขหน้าที่ปรากฏคำศัพท์.

ตัวอย่าง

ศัพท์แพทยศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม. กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน; 2543. Cystitis; น. 89.

Dorland's illustrated medical dictionary. 29th ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 2000. Filamin; p. 89.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

การเขียนรายการอ้างอิงเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ให้เขียนตามประเภทของเอกสารนั้น ๆ และเพิ่มเติมข้อมูลที่แสดงความเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

- 1. ประเภทของสื่อ:** ให้ระบุประเภทของสื่อไว้ในวงเล็บเหลี่ยมหลังชื่อเรื่อง เช่น [อินเทอร์เน็ต] หรือ [Internet] [ซีดีรอม] หรือ [CD-ROM] [ดีวีดี] หรือ [DVD] เป็นต้น โดยย้ายเครื่องหมายหักภาค (.) หลังชื่อเรื่องไปไว้หลังวงเล็บเหลี่ยมแทน
- 2. วันที่เข้าถึง:** เนื่องจากข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์อาจมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้เสมอ จึงต้องระบุวันที่เข้าถึงไว้ด้วย โดยหลังปีพิมพ์ของรายการอ้างอิงให้ระบุในวงเล็บเหลี่ยมไว้ว่า [เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี] สำหรับภาษาไทย หรือ [cited ปี เดือน วัน] สำหรับภาษาอังกฤษ กรณีที่แหล่งข้อมูลมีการแจ้งวันที่ปรับปรุงข้อมูลล่าสุด สามารถเพิ่มข้อมูลดังกล่าวไว้ในวงเล็บเหลี่ยมข้างต้น โดยให้ระบุเพิ่มไว้ด้านหน้า ตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) เว้น 1 บรรทัด ดังนี้ [ปรับปรุงเมื่อ วัน เดือน ปี; เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี] สำหรับภาษาไทย หรือ [updated ปี เดือน วัน; cited ปี เดือน วัน] สำหรับภาษาอังกฤษ
- 3. แหล่งที่มาของข้อมูล:** ให้ระบุ URL ของแหล่งที่มาของข้อมูลไว้ท้ายรายการอ้างอิง โดยใช้คำว่า “เข้าถึงได้จาก: URL ของแหล่งข้อมูล” สำหรับภาษาไทย หรือ “Available from: URL ของแหล่งข้อมูล” สำหรับภาษาอังกฤษ ทั้งนี้หลัง URL ของแหล่งข้อมูลไม่ต้องตามด้วยเครื่องหมายหักภาค (.)

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ [อินเทอร์เน็ต/Internet]. ครั้งที่พิมพ์. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

วิชัย โชควิวัฒน์, บรรณาธิการ. ระบบยาของประเทศไทย 2563 [อินเทอร์เน็ต]. พิมพ์ครั้งที่ 6. นนทบุรี: สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก:

<http://thesis.swu.ac.th/swuebook/A440954.pdf>

Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet]. Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9]. Available from: [https://www.nap.edu/catalog](https://www.nap.edu/catalog/10149/improving-palliative-care-for-cancer)

/10149/improving-palliative-care-for-cancer

บทความวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร [อินเทอร์เน็ต/Internet]. ปีพิมพ์ [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน];เล่มที่: เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

มนัญญา คำวชิระพิทักษ์. แนวทางการพัฒนาเนื่องจากพืชของไทย. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [อินเทอร์เน็ต]. ก.ค.-ก.ย. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 16 เม.ย. 2565];2(3): 1-13. เข้าถึงได้จาก:

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JRIST/article/view/245065>

Happell B. The influence of education on the career preferences of undergraduate nursing students. Aust Electron J Nurs Educ [Internet]. 2002 Apr [cited 2007 Jan 8];8(1):[about 12 p.].

Available from: http://www.scu.edu.au/schools/nhcp/aejne/vol8-1/refereed/happell_max.html

ปริญญานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง [อินเทอร์เน็ต/Internet] [ประเภท/ระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: มหาวิทยาลัย; ปีที่รับปริญญา [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

นิภาวรรณ ปันธิ. การพัฒนาน้ำสลัดจากคีเฟอร์น้ำมันถั่วเหลือง [อินเทอร์เน็ต] [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2560 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก:

<https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:126633>

เว็บไซต์

1. อ้างอิงทั้งเว็บไซต์

ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต/Internet]. ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors (ถ้ามี). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อ/updated ปี เดือน วัน; เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก /Available from: <http://...>

ชื่อผู้แต่ง หมายถึง บุคคลหรือหน่วยงานที่จัดทำเว็บไซต์ หากไม่ปรากฏข้อมูลหรือเป็นชื่อเดียวกับเว็บไซต์ สามารถใส่ชื่อเว็บไซต์ แทนได้

เมืองที่พิมพ์ หมายถึง เมืองที่เผยแพร่เว็บไซต์ หากไม่พบข้อมูล ให้ใส่ [ม.ป.ท.] หรือ [place unknown]

สำนักพิมพ์ หมายถึง หน่วยงานหรือผู้รับผิดชอบเว็บไซต์ หากมีหลายหน่วยงาน ให้ใส่เฉพาะชื่อแรก หากไม่พบข้อมูล ให้ใส่ [ม.ป.พ.] หรือ [publisher unknown]

ปีพิมพ์ หมายถึง ปีที่เริ่มเผยแพร่เว็บไซต์ หากมีทั้งปีพิมพ์และปีลิขสิทธิ์ ให้ใช้ปีพิมพ์ หากไม่พบข้อมูล ให้ใช้ที่ปรับปรุง หรือปีที่สืบค้น หลังปีพิมพ์ให้เว้น 1 วรรค โดยไม่ต้องใส่เครื่องหมายจุลภาค (.)

ปรับปรุงเมื่อ/updated หมายถึง วันที่ปรับปรุงเว็บไซต์ (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

กระทรวงสาธารณสุข [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 27 ธ.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/news/news_red337_261163.pdf
Alternative Nature Online Herbal [Internet]. Bergeron K, editor. Erin (TN): Alternative Nature; 1997 [cited 2007 Mar 23]. Available from: <http://altnature.com/>

2. อ้างอิงบางส่วนของเว็บไซต์

ชื่อเว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต/Internet]. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์. ชื่อเรื่องที่น่าสนใจ; ปีพิมพ์ของเรื่อง ที่นำมาอ้างอิง [ปรับปรุงเมื่อ/updated ปี เดือน วัน; เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]; [ประมาณ ... น./about ...screens/p.]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

การระบุเลขหน้า

1. กรณีเป็นเอกสารในรูปแบบ PDF หรือมีแสดงเลขหน้า: ใส่เลขหน้าตามหลักเบื้องต้นในการระบุเลขหน้า เช่น น. 427-78. หรือ p. 23-42.
2. กรณีไม่มีการแสดงเลขหน้า:
 - 2.1 ระบุจำนวนหน้า ย่อหน้า หรือบรรทัด ตามที่สามารถประมาณได้ เช่น [about 2 screens]. หรือ [ประมาณ 6 น.]. หรือ [10 paragraphs]. หรือ [5 ย่อหน้า]. เป็นต้น
 - 2.2 กรณีที่มีการพิมพ์ผลออกมาเป็นเอกสาร สามารถระบุตามจำนวนหน้าที่พิมพ์ผลออกมา เช่น [about 12 p.]. หรือ [ประมาณ 3 น.]. เป็นต้น

ตัวอย่าง

กระทรวงสาธารณสุข [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2563. รายงานข่าวกรณีโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19); 2563 [เข้าถึง เมื่อ 12 ธ.ค. 2563]; [ประมาณ 1 น.]. เข้าถึงได้จาก https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/news/news_red337_261163.pdf
American Medical Association [Internet]. Chicago: The Association; c1995-2020. AMA leadership and policy development through the World Medical Association; 2020 [cited 2020 Oct 12]; [about 2 screens]. Available from: <https://www.ama-assn.org/about/office-international-relations/ama-leadership-and-policy-development-through-world-medical>

ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต

1. ฐานข้อมูลแบบเปิด

หมายถึง ฐานข้อมูลที่ยังมีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

ชื่อฐานข้อมูล [อินเทอร์เน็ต/Internet]. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์. ปีพิมพ์ - [ปรับปรุงเมื่อ/updated ปี เดือน วัน; เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

การอ้างอิงแต่ละส่วน ใช้หลักเดียวกับเว็บไซต์ ยกเว้น

1. สำนักพิมพ์: ให้ตามด้วยเครื่องหมายจุลภาค (.)
2. ปีพิมพ์: ให้ใส่ปีเริ่มต้นของฐานข้อมูล เว้น 1 วรรค ตามด้วยเครื่องหมายยัติภังค์ (-) และเว้น 3 วรรค

ตัวอย่าง

Who's Certified [Internet]. Evanston (IL): The American Board of Medical Specialists. c2000 - [cited 2001 Mar 8]. Available from: <https://www.abms.org/verify-certification/>

2. ฐานข้อมูลแบบปิด

หมายถึง ฐานข้อมูลที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนข้อมูลใดใดแล้ว

ชื่อฐานข้อมูล [อินเทอร์เน็ต/Internet]. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์. ปีพิมพ์เริ่มต้น - ปีพิมพ์สุดท้าย [ปรับปรุงเมื่อ/updated ปี เดือน วัน; เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

การอ้างอิงแต่ละส่วน ใช้หลักเดียวกับฐานข้อมูลแบบเปิด ยกเว้นปีพิมพ์ ให้ใส่ปีเริ่มต้นและปีสุดท้ายที่มีการปรับเปลี่ยนข้อมูลของฐานข้อมูล

ตัวอย่าง

EARSS: the European Antimicrobial Resistance Surveillance System [Internet]. Bilthoven (Netherlands): RIVM. 2001 - 2005 [cited 2007 Feb 1]. Available from: <http://www.rivm.nl/earss/>

บล็อก

1. อ้างอิงทั้งบล็อก

ชื่อเจ้าของบล็อก. ชื่อบล็อก [อินเทอร์เน็ต/Internet]. ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors (ถ้ามี). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ - [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

การอ้างอิงแต่ละส่วน ใช้หลักเดียวกับเว็บไซต์ ยกเว้นปีพิมพ์

1. กรณีเป็นบล็อกเปิด: ใส่ปีเริ่มต้น เว้น 1 พรรค ตามด้วยเครื่องหมายอัฒจันทร์ (-) และเว้น 3 พรรค
2. กรณีเป็นบล็อกปิด: ใส่ปีเริ่มต้น - ปีสิ้นสุด หากไม่มีปีเริ่มต้น ให้ใช้ปีของข้อความแรกที่มีการนำขึ้นบล็อก หรือปีลิขสิทธิ์ หรือ ปีโดยประมาณในวงเล็บเหลี่ยม เช่น [2004?] หรือ [ม.ป.ป.] / [date unknown] ตามลำดับ

ตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร, หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์. บล็อกแลกเปลี่ยนเรียนรู้ หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์.

[อินเทอร์เน็ต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัย, หอสมุด; c2019 - [เข้าถึงเมื่อ 14 ต.ค. 2563]. เข้าถึงได้จาก

<http://www.snc.lib.su.ac.th/kmblog/>

Holt M. The Health Care Blog [Internet]. San Francisco: Matthew Holt. 2003 - [cited 2020 Sep 26].

Available from: <https://thehealthcareblog.com/>

2. อ้างอิงบางส่วนของบล็อก

ชื่อผู้แต่งเรื่องที่น่ามาอ้าง. ชื่อเรื่องที่น่ามาอ้าง. ปีพิมพ์ของเรื่องที่น่ามาอ้าง. ใน/In: ชื่อบล็อก [อินเทอร์เน็ต/Internet]. ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ/editor/editors (ถ้ามี). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ของบล็อก - [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]. [ประมาณ...น./about ...screens/p.]. เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

Panida Jamoosri. สุขภาพดีไม่มีขาย. 2019. ใน: บล็อกแลกเปลี่ยนเรียนรู้หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์ [อินเทอร์เน็ต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร, หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์; c2019 - [เข้าถึงเมื่อ 14 ต.ค. 2563]. [ประมาณ 1 น.]. เข้าถึงได้จาก <http://www.snc.lib.su.ac.th/kmblog/?p=33>

Measuring the Effectiveness of Cost-of-Care Conversations. 2020 Sep 25. In: The Health Care Blog [Internet]. Khan Z, editor. San Francisco: Matthew Holt. 2003 - [cited 2020 Sep 27]. [about 1 screen]. Available from: <https://thehealthcareblog.com/blog/2020/09/25/measuring-the-effectiveness-of-cost-of-care-conversations/>

การใช้รูปภาพจากบทความ

ผู้เขียนต้องตรวจสอบลิขสิทธิ์ก่อนการใช้งานทุกรูปภาพที่มีการอ้างอิง โดยตรวจสอบจากสัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ ดังนี้



Attribution CC – BY ให้เผยแพร่ ดัดแปลง โดยต้องระบุที่มา



Attribution CC – BY -SA ให้เผยแพร่ ดัดแปลง โดยต้องระบุที่มาและต้องเผยแพร่งานดัดแปลงโดยใช้สัญญาอนุญาตเดียวกัน



Attribution CC – BY -ND ให้เผยแพร่ โดยต้องระบุที่มา แต่ห้ามดัดแปลง



Attribution CC- BY -NC ให้เผยแพร่ ดัดแปลง โดยต้องระบุที่มาแต่ ห้ามใช้เพื่อการค้า



Attribution CC- BY – NC – SA ให้เผยแพร่ ดัดแปลง โดยต้องระบุที่มาแต่ห้ามใช้เพื่อการค้าและต้องเผยแพร่งานดัดแปลงโดยใช้สัญญาอนุญาตชนิดเดียวกัน



Attribution CC- BY – NC -ND ให้เผยแพร่ โดยต้องระบุที่มาแต่ห้ามดัดแปลงและห้ามใช้เพื่อการค้า

จริยธรรมในการตีพิมพ์ของวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

บทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่ดำเนินการตรวจสอบเนื้อหาและคุณภาพของบทความทุกเรื่องที่ส่งมาเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสาร โดยต้องพิจารณาความสำคัญ ความเกี่ยวข้องกับขอบเขตและวัตถุประสงค์ของวารสาร เพื่อความถูกต้องของวารสาร
2. บรรณาธิการต้องพิจารณาคุณภาพบทความภายใต้หลักเกณฑ์ทางวิชาการเป็นหลักในการคัดเลือกบทความโดยปราศจากอคติต่อผู้นิพนธ์บทความ และไม่ใช้ความสัมพันธ์ส่วนบุคคลในการตอบรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์
3. กระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องตรวจสอบการคัดลอกผลงานของบทความ (plagiarism) ประเมินด้วยโปรแกรม Turnitin หากตรวจพบการคัดลอกผลงานมากกว่าร้อยละ 10 จะระงับการประเมิน และติดต่อผู้นิพนธ์เพื่อเป็นหลักฐานประกอบการพิจารณาตอบรับ หรือปฏิเสธการตีพิมพ์
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
5. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์
6. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด
7. บรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพและมีความทันสมัยเสมอ

บทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลัก พิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบการคัดลอกผลงานของบทความ (plagiarism) หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมินเป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องได้รับรู้

บทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์

1. บทความของผู้นิพนธ์ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างขั้นตอนการพิจารณาตีพิมพ์ที่ใด รวมถึงการไม่นำบทความไปตีพิมพ์เผยแพร่กับแหล่งอื่นหลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว หากพบการตีพิมพ์ซ้ำซ้อนผู้นิพนธ์จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบในทุกกรณี
2. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกหรือทำซ้ำผลงานของตนเองและผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง และจะต้องอ้างอิงผลงาน รูปภาพ หรือตาราง หากมีการ

นำมาใช้ในบทความของตนเอง โดยระบุ “ที่มา” เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ (หากมีการฟ้องร้องจะถือเป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์ในทุกกรณี ทางวารสารไม่มีส่วนเกี่ยวข้องใด ๆ ทั้งสิ้น)

3. ผู้นิพนธ์ต้องเคารพความคิดเห็นทางวิชาการของผู้ประเมิน และพร้อมปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาตามคำแนะนำของผู้ประเมินและกองบรรณาธิการ เพื่อให้บทความถูกต้องตามมาตรฐานทางวิชาการและตรงตามรูปแบบของวารสาร
4. กรณีที่ผู้นิพนธ์หลายคน ผู้ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคนจะต้องมีส่วนร่วมในการดำเนินการอย่างแท้จริง และการส่งต้นฉบับบทความให้วารสารพิจารณาตีพิมพ์จะต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้นิพนธ์ทุกคนแล้ว
5. ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัย (หากมี)
6. ผู้นิพนธ์จะต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบของวารสารตาม “คำแนะนำสำหรับผู้เขียน”
7. หากผลงานทางวิชาการของผู้นิพนธ์เกี่ยวข้องกับการใช้สัตว์ ผู้เข้าร่วม หรืออาสาสมัคร ผู้นิพนธ์ควรตรวจสอบให้แน่ชัดว่าได้ดำเนินการตามหลักจริยธรรม ปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด รวมถึงต้องได้รับความยินยอมก่อนการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทุกครั้ง

หมายเหตุ :

1. ข้อมูล วรรณคดี และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิมโดยเฉพาะ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย
2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์แก้ไขเรื่องที่จะลงพิมพ์ทุกเรื่องในกรณีที่จำเป็น ต้นฉบับที่แก้ไขแล้วจะแจ้งไปยังผู้เขียนเพื่อความเห็นชอบอีกครั้ง
3. แจ้งเบอร์โทรศัพท์ หรือ e-mail เพื่อติดต่อ เมื่อบทความได้เข้าสู่กระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
4. หากมีการละเมิดสิทธิ์ใด ๆ โดยคณะผู้เขียน คณะผู้เขียนจะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

เอกสารอ้างอิง

1. อัมพร ขาวบาง. การเขียนรายการอ้างอิงตามรูปแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) [อินเทอร์เน็ต]. [กรุงเทพฯ]: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, สำนักหอสมุดกลาง; 2564 [เข้าถึงเมื่อ 24 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://lib.swu.ac.th/images/Documents/Researchsupport/VancouverSWU_Citation-260121.pdf
2. National Library of Medicine [Internet]. Maryland: The Library; 2020. Samples of formatted references for authors of journal articles; 2018 [cited 2022 Dec 24]; [about 9 screens]. Available from: https://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html



JFRPD (online)