ISSN : 2821-9813 (Online)
ปีที่ 54 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567
Vol. 54 No. 2 July - December 2024

วารสาร วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
Journal of Food Research and Product Development
JFRPD

บทความวิจัย

- การประยุกต์ใช้**กากถั่วดาวอินคา**ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นอบกรอบ
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์**น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป**ด้วย**กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง**
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์**ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ**

บทความวิชาการ

- การเพาะเลี้ยง**สาหร่ายสไปรูลิน่า**เพื่อผลิต**ซี-ไฟโคไซยานิน**
- ความท้าทายในการเปลี่ยนแปลงระบบอาหารเพื่อแก้ไข**ปัญหาภาวะทุพโภชนาการ** ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน
- การเพิ่มปริมาณ**สารพฤกษเคมีในผักและผลไม้**โดยกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก
- ประโยชน์ของ**เปลือกมะนาว**
- ผู้บริโภคยุคใหม่ : **กลุ่มวีแกน**และ**ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช**
- **สารเมตาบอไลต์**จากกระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันและคุณสมบัติเชิงหน้าที่
- **การเพาะเลี้ยงยีสต์**ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีมูลค่า
- **เห็ดหัวลิง** : การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และฤทธิ์เชิงชีวภาพ

JFRPD (online)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
INSTITUTE OF FOOD RESEARCH AND PRODUCT DEVELOPMENT
KASETSART UNIVERSITY

ISSN : 2821-9813 (Online)

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 ตู้ปณ. 1043 ปทฝ. 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	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นิพัฒน์ ลิ้มสงวน	นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ประมวล ทรายทอง	นักวิจัย ชำนาญการพิเศษ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บรรณาธิการ

ดร.วนิดา เทวารุทธิ์ ชิติสรรค์กุล	นักวิจัย ชำนาญการพิเศษ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองบรรณาธิการ

ดร.วนิดา ปานอุทัย	นักวิจัย เชี่ยวชาญ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.อรวรรณ ละอองคำ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นราพร พรหมไกรวร	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี เจริญ	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณทิชา เศวตบวร	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ฤทธิศักดิ์	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันทร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยสุดา พรภักดีวัฒนา	คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภมร จินดามณี	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กองบรรณาธิการ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชนีย์ ยะสุรินทร์	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติยา แววนุกูล	สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหลำ	สาขาวิชาการจัดการครัวและศิลปะการประกอบอาหาร คณะอุตสาหกรรมบริการ วิทยาลัยดุสิตธานี
อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ชูชีพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ดร.รุ้งดาว กลิ่นจะโป๊ะ	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
ดร.อทิตยา ตันธรรศกุล	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
ดร.ศันสนีย์ อุดมระติ	นักวิจัย ชำนาญการพิเศษ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.กานต์ธิดา วดีศิริศักดิ์	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานุวัตร	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นราพร พรหมไกรวร	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ปิยาภัทร ไตรสนธิ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.วราภรณ์ ประเสริฐ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศิริพร ตันจอ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นางกนกวรรณ ยอดอินทร์	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นภัสสร เพียสุระ	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายพสธร ผ่องแผ้ว	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก (Peer review)

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี เจริญ	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณทิชา เศวตบวร	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ฤทธิศักดิ์	คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ จันทร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยสุดา พรภักดีวัฒนา	คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภมร จินดามณี	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชนีย์ ยะสุรินทร์	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติยา แววนุกูล	สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหลำ	สาขาวิชาการจัดการครัวและศิลปะการประกอบอาหาร คณะอุตสาหกรรมบริการ วิทยาลัยดุสิตธานี
อาจารย์ ดร.กมลวรรณ ชูชีพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ดร.รุ้งดาว กลิ่นจะโป๊ะ	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก
ดร.อทิตยา ตันธรรศกุล	คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ วิทยาเขตหัวหมาก

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน (Peer review)

ดร.ศันสนีย์ อุดมระติ	นักวิจัย ชำนาญการพิเศษ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.กานต์ธิดา วดีศิริศักดิ์	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานุวัตร	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นราพร พรหมไกรวร	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ปิยาภัทร ไตรสนธิ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.วราภรณ์ ประเสริฐ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศิริพร ตันจอ	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นางกนกวรรณ ยอดอินทร์	นักวิจัย ชำนาญการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.นภัสสร เพียสุระ	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นายพสธร ผ่องแผ้ว	นักวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้จัดการวารสาร

นางสาวมณฑาทิพย์ ธรรมนิติโชค	เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ISSN : 2821-9813 (Online)

วารสาร
วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
Journal of Food Research and Product Development
JFRPD

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 54 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งประกอบด้วยบทความวิจัย 3 เรื่อง เกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากส่วนเหลืออย่างกากถั่วดาวอินคาและเปลือกส้มโอเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งด้วยและบทความวิชาการ 8 เรื่อง ซึ่งให้ความรู้เกี่ยวกับสารสำคัญอย่างสารพฤกษเคมีในวัตถุดิบธรรมชาติ และยังได้รวบรวมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายและจุลินทรีย์เพื่อให้ได้สารสำคัญที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพอีกด้วย

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการประเมินและเสนอแนะแก้ไขจนได้บทความที่มีความสมบูรณ์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้เชิงวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์อาหารที่มีความน่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการต่อยอดพัฒนาองค์ความรู้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งงานวิจัยและการต่อยอดในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

แบบสอบถาม

ข้อมูล ทรรศนะ และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิมโดยเฉพาะ
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย

ISSN : 2821-9813 (Online)
ปีที่ 54 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567
Vol. 54 No. 2 July - December 2024

วารสาร วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
Journal of Food Research and Product Development
JFRPD

สารบัญ

บทความวิจัย

- **การประยุกต์ใช้กากถั่วดาวอินคาในการทำผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นอบกรอบ** 1
  Development of crispy Sacha Inchi sheets
  จิราภรณ์ บุราคร, ปราน์ ปิ่นทอง, ทรงพร ไกรสิทธิ์ และ ณัฐชา ศิริวาริน
  (Jiraporn Burakorn, Pran Pinthong, Songporn Kraisit, and Nattacha Siriwarin)

- **การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง** 13
  Development of instant Nam Prik Ong using freeze drying process
  จิราภรณ์ บุราคร, ปราน์ ปิ่นทอง, มนทกานต์ เอี่ยมแก้ว และ ณัฐชา ศิริวาริน
  (Jiraporn Burakorn, Pran Pinthong, Montakan Aimkaew, and Nattacha Siriwarin)

- **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไยอาหารจากเปลือกส้มโอ** 30
  Development of dietary fiber products from pomelo peels
  ธณัฐพล เวียงสิมมา, ภาพิมล ประจงพันธ์, ภัทรภร ภควีระชาติ และ ธนวิทย์ ลายิ้ม
  (Thanutpon Wiengsimma, Papimon Prachongpun, Pattarabhorn Pakaweerachat, and Tanavit Layim)

บทความวิชาการ

- **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อผลิตซี-ไฟโคไซยานิน** 42
  C-phycocyanin production from *Spirulina* cultivation
  มิวลิกา อินทอง และ วนิดา ปานอุทัย (Millika Intong, and Wanida Pan-utai)

- **ความท้าทายในการเปลี่ยนแปลงระบบอาหารเพื่อแก้ไขปัญหาภาวะทุพโภชนาการตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน** 53
  The challenges in transforming the food system to address malnutrition issues and achieve the sustainable development goals
  ณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน (Nuttawut Lainumngen)

- **การเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในผักและผลไม้โดยกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก** 64
  Increasing the amount of phytochemicals in fruits and vegetables using the lactic acid bacteria fermentation
  นภัสสร เพียสุระ (Napassorn Peasura)

- **ประโยชน์ของเปลือกมะนาว** 76
  Benefits of lime peel
  ชมดาว สิกขะมณฑล (Chomdao Sikkhamondhol)

ISSN : 2821-9813 (Online)
ปีที่ 54 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567
Vol. 54 No. 2 July - December 2024

วารสาร
วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
Journal of Food Research and Product Development
JFRPD

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิชาการ

◆ **ผู้บริโภคยุคใหม่ : กลุ่มวีแกนและผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช** 85
Modern consumer : vegan and plant-based food product
กัษมาพร ปัญต๊ะบุตร (Kassamaporn Puntaburt)

◆ **สารเมตาบอไลต์จากกระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันและคุณสมบัติเชิงหน้าที่** 98
Metabolites from microbial co-cultures and their functional properties
เนตรดาว พิมพ์ทอง, วรรณลักษณ์ เสนะกูล, วริยา อนุอัน, มาริสา หงส์ชนะกิจ และ วนิดา ปานอุทัย
(Netdaow Pimthong, Wannalak Senagul, Wariya Anuan, Marisa Hongchanakit, and Wanida Pan-utai)

◆ **การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีมูลค่า** 111
Yeast and other microbial co-cultures for the production of valuable co-products
วรรณลักษณ์ เสนะกูล, เนตรดาว พิมพ์ทอง, วริยา อนุอัน, มาริสา หงส์ชนะกิจ และ วนิดา ปานอุทัย
(Wannalak Senagul, Netdaow Pimthong, Wariya Anuan, Marisa Hongchanakit, and Wanida Pan-utai)

◆ **เห็ดหัวลิง : การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และฤทธิ์เชิงชีวภาพ** 127
Lion's Mane mushroom (*Hericium erinaceus*) : extraction, purification and biological activity
ทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์ (Thipthida Kaewtathip)

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน 145

การประยุกต์ใช้กากถั่วดาวอินคาในการทำผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นอบกรอบ

จิราภรณ์ บุราคร[1*], ปรานต์ ปิ่นทอง[1], ทรงพร ไกรสิทธิ์[1] และ ณัฐชา ศิริวาริน[1]

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหาร
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : juntarama@yahoo.com
รับเมื่อ 8 มีนาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 21 พฤษภาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 24 พฤษภาคม 2567

จุดเด่น

- การเพิ่มปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาส่งผลให้ขนมแผ่นอบกรอบมีค่าความแข็ง ความเปราะ และความกรอบเพิ่มขึ้น
- ผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นอบกรอบที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้แป้งถั่วดาวอินคาได้ถึง 20%
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นอบกรอบจากแป้งถั่วดาวอินคา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่ากากถั่วดาวอินคา ที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกแล้ว โดยกากถั่วดาวอินคานำมาผ่านกระบวนการผลิตแป้งถั่วดาวอินคาโดยมีกระบวนการลดกลิ่นถั่วและรสฝาดของกากถั่วดาวอินคาด้วยการละลายในน้ำเกลือ ต้มจนเดือด อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำมาบดเป็นผงให้ละเอียด ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่ปราศจากกลิ่นเหม็นหืน นำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในการพัฒนาสูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบโดยแปรผันปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาร้อยละ 20 30 และ 40 มีส่วนประกอบเม็ดมะม่วงหิมพานต์ผง น้ำตาลทรายขาว ไข่ขาวสด เนยสดรสจืด ผงฟู เกลือ และน้ำมันปาล์ม วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร พบว่า มีปริมาณโปรตีนสูงในช่วงร้อยละ 16.2-18.1 เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร พบว่า สูตรที่ 1 (ส่วนผสมแป้งถั่วดาวอินคาร้อยละ 20) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด เมื่อเก็บในถุงอะลูมิเนียมปิดสนิท เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง 27$\pm$2 องศาเซลเซียส ยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบจึงเหมาะสมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถนำไปผลิตและจำหน่ายต่อไป

คำสำคัญ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ ถั่วดาวอินคา ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

Development of crispy Sacha Inchi sheets

Jiraporn Burakorn[1*], Pran Pinthong[1], Songporn Kraisit[1], and Nattacha Siriwarin[1]

[1]Department of Science Service, Bangkok, Thailand
*Corresponding author, e-mail : juntarama@yahoo.com
Received 8 March 2024; **Revised** 21 May 2024; **Accepted** 24 May 2024

Highlights

- Increasing the amount of Sacha Inchi flour resulted in increased hardness, fracture ability, and crispness
- The developed Sacha Inchi sheets can use up to 20% of Sacha Inchi flour
- Product development of crispy Sacha Inchi sheets from Sacha Inchi flour

Abstract

This research aims to increase the value of Sacha Inchi oil extraction by-product. The Sacha Inchi by-product was processed to become Sacha Inchi flour. There is a process to reduce the bean odor and astringent of Sacha Inchi by-product by dissolving it in salt water, boiling and baking in a hot air oven at 70 °C for 3 hours, then grind into a fine powder. Sacha Inchi flour was produced which no rancid odor. Sacha Inchi flour was used to develop a prototype recipe for crispy product by varying the amount of Sacha Inchi flour to 20%, 30% and 40% which contains cashew nut powder, white sugar, fresh egg whites, unsalted butter, baking powder, salt, and palm oil. The three formulas of crispy Sacha Inchi product was analyzed chemical composition. It was found that the protein content was high in the range of 16.2-18.1% . The sensory evaluation of all three formulas of crispy Sacha Inchi product were found that the formula 1 (20% of Sacha Inchi flour) was the highest of total liking score. The formula 1 was kept in sealed aluminum bag for 12 weeks at room temperature (27$\pm$2 °C), it still accepted by trained panellists. The crispy Sacha Inchi product was suitable as a food product that can be produced and sold further.

Keywords : product development, Sacha Inchi, crispy Sacha Inchi product

1. บทนำ

ถั่วดาวอินคา (Sacha Inchi) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Plukenetia volubilis* เป็นพืชเฉพาะถิ่นในป่าแอมะซอนแถบประเทศเปรู มีการนำเข้ามาปลูกในจังหวัดหนองคายและขยายพื้นที่การปลูกไปทั่วประเทศไทย[1] ถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 35-60[2] ซึ่งเป็นน้ำมันคุณภาพดี มีกรดไขมันที่จำเป็นปริมาณสูง เช่น กรดไขมันโอเมก้า 3 (omega-3 fatty acid) ร้อยละ 45-60 กรดไขมันโอเมก้า 6 (omega-6 fatty acid) ร้อยละ 34-39 กรดไขมันโอเมก้า 9 (omega-9 fatty acid) ร้อยละ 6-10[3] มีโปรตีนสูงร้อยละ 27[2] และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น ซีสเตอีน (cysteine) 25 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ไทโรซีน (tyrosine) 55 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ทรีโอนีน (threonine) 43 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน และทริปโตแฟน (tryptophan) 29 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน เป็นต้น[4-6] มีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30 และมีวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ 981 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินอี 7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม[7] นอกจากนี้มีสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น สาร tocopherols สาร phytosterols และสาร phenolic[2] เป็นต้น

กระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาในระดับอุตสาหกรรม เริ่มจากนำเมล็ดถั่วดาวอินคามากะเทาะเปลือกออก และนำเมล็ดถั่วดาวอินคาไปบีบเย็นด้วยไฮโดรลิก (cold pressing with hydraulic press) ทำให้ได้ส่วนกากถั่วดาวอินคาที่บีบน้ำมันออกแล้ว (pressed cake)[3] โดยกากถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมันแล้ว ยังคงอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีโปรตีนร้อยละ 56.61 ไขมันร้อยละ 4.13 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.72[8] อย่างไรก็ตามกากถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่ว (bean odor) หรือกลิ่นหญ้า (grassy odor) ทำให้เป็นอุปสรรคในการนำมาใช้ผสมในอาหาร แนวทางในการลดกลิ่นถั่วสามารถทำได้โดยวิธีการใช้ความร้อน (heat treatment) เช่น การอบ (roasting) การนึ่งด้วยไอน้ำ (steaming) และวิธีไม่ใช้ความร้อน (non-heat treatment) เช่น การแช่ในตัวทำละลาย[9]

กากถั่วดาวอินคาที่บีบน้ำมันออกแล้ว (pressed cake) มีการนำมาผลิตเป็นแป้งถั่วดาวอินคา พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ[3] ผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก[1] เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่ากากถั่วดาวอินคาที่บีบน้ำมันออกแล้ว โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการอบลมร้อน (hot air drying) ที่เหมาะสมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ของผู้ประกอบการอาหารวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ที่จะนำองค์ความรู้จากผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

กากถั่วดาวอินคาที่รีดน้ำมันออกแล้วจากบริษัท ที ไทย แสน์ค ฟู้ดส์ จำกัด อ. บางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา น้ำตาลทรายขาว ผงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ไข่ขาวสด เนยสดรสจืด ผงฟู เกลือ น้ำมันปาล์ม

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Binder รุ่น ED56 ประเทศเยอรมนี) เครื่องบดแบบละเอียด (ยี่ห้อ Ocean รุ่น JGY-2005B ประเทศจีน) เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น quintix3102-1S ประเทศเยอรมนี) เครื่องบรรจุปิดผนึกสุญญากาศ (ยี่ห้อ BESPACKER รุ่น DZQ-400TE ประเทศจีน) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (ยี่ห้อ Novasina รุ่น LabMaster-aw Neo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในอาหาร (ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา) เครื่องวิเคราะห์สีในอาหาร (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Miniscan EZ ประเทศสหรัฐอเมริกา) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในอาหาร (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น HC103 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) และตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (ยี่ห้อ Binder รุ่น KBF-S240E6 ประเทศเยอรมนี)

2.3 การดำเนินการศึกษาวิจัย

2.3.1 การผลิตแป้งถั่วดาวอินคา

นำเกลือ 100 กรัม ละลายในน้ำกรอง 2,000 มิลลิลิตร ได้สารละลายน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 5 นำกากถั่วดาวอินคา 1 กิโลกรัม ลงไปผสมและคนให้เข้ากัน นำของผสมไปต้มจนเดือด เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดกลิ่นเหม็นเขียวและรสชาติฝาดเฝื่อนของกากถั่วดาวอินคา จากนั้นใส่น้ำกรองเพิ่ม 3,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทน้ำออกให้เหลือแต่กากถั่วดาวอินคา นำกากถั่วดาว-อินคาที่ได้ไปสะเด็ดน้ำบนกระชอนสแตนเลสตาถี่ และนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ $10^{(3)}$ จากนั้นนำถั่วดาวอินคามาบดด้วยเครื่องบดละเอียด วัดปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 3.49±0.04 บรรจุแป้งใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์หนา 200 ไมครอน ปิดสนิทและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งานต่อไป

2.3.2 การพัฒนาสูตรถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

ชั่งส่วนผสมของแห้งประกอบด้วยแป้งถั่วดาวอินคา ผงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ น้ำตาลทรายขาว ผงฟู และเกลือ ส่วนผสมของเหลวประกอบด้วย ไข่ขาว เนยจืดละลาย และน้ำมันปาล์ม ตามอัตราส่วนของสูตรดัง Table 1 ผสมให้เข้ากันโดยการนวดส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยมือ แล้วนำส่วนผสมที่นวดเสร็จมาเทในถาดที่ปูกระดาษรองอบที่เตรียมไว้โดยทาน้ำมันบาง ๆ เพื่อไม่ให้ขนมติดกับถาดขณะอบ นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำถั่วดาวอินคาแผ่นกรอบออกจากตู้อบ ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 3x4 เซนติเมตร พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์พร้อมใส่ซองกันความชื้น (oxygen absorber) แล้วปิดผนึก

Table 1 The ingredients of crispy Sacha Inchi sheets for each three formulas

Ingredients	Ingredients (%)		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Sacha Inchi flour	20	30	40
Cashew nut powder	23	13	3
Sugar	16	16	16
White egg	20	20	20
Unsalted butter	12	12	12
Baking powder	2	2	2
Salt	0.4	0.4	0.4
Palm oil	6.6	6.6	6.6
Total	100	100	100

2.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง (วัดค่าตัวอย่างละ 5 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้หัววัดทรงกระบอก (cylinder plate) ขนาด P/50 Load cell 50 kg กำหนดความเร็วของการวัดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วก่อนการวัด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วหลังการวัด 10 มิลลิเมตรต่อวินาที

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่าง (วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) ด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ CIE (L^* a^* b^*) ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น MiniScanEZ ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่า 0-100, + a^* หมายถึงวัตถุมีสีแดง, - a^* หมายถึงวัตถุมีสีเขียว และ + b^* หมายถึงวัตถุมีสีเหลือง

วิเคราะห์ค่าความชื้นและค่า water activity ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ พร้อมบันทึกผลการทดลอง

2.3.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point Hedonic Scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ใช้ผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 60 คน ให้คะแนน 1-9 (คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบจะทดสอบตัวอย่างทีละ 1 ตัวอย่าง ระหว่างการทดสอบให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำก่อนการทดสอบตัวอย่างถัดไป วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) หลังจากวิเคราะห์ผลการทดลองนำผลิตภัณฑ์ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคสูงสุดไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

2.3.5 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

ผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ จำนวน 3 สูตร นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ. 2556 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท โดยรายการทดสอบ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน เถ้า วิธีการประยุกต์จากวิธีทดสอบ AOAC (2016) 906.03, 920.151, 922.06, 931.04, 985.35, 989.05, 985.29, 900.02, 991.20, 994.10 และ 996.06[10] และวิเคราะห์องค์ประกอบอาหาร AOAC (1993)[11]

2.3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

นำผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ ปริมาณ 100 กรัม บรรจุถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ข้อ 2.3.2 มาเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ 27±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Ideal ratio profile technique ที่อายุการเก็บรักษานาน 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77 และ 84 วัน รวมเป็นเวลานาน 12 สัปดาห์ โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ในด้านการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น ความกรอบ และรสชาติแปลกปลอม

2.3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติพื้นฐาน ได้แก่ % (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความชอบโดยวิธี 9-Point hedonic scale และวิเคราะห์ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์โดยการใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 24

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

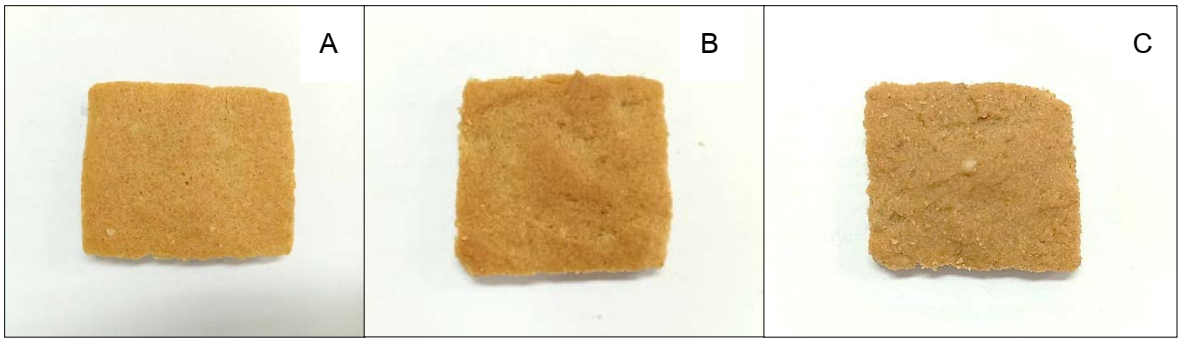


Figure 1 Crispy Sacha Inchi sheet formula 1 (A) crispy Sacha Inchi sheet formula 2 (B) and crispy Sacha Inchi sheet formula 3 (C)

Figure 1 แสดงผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร และผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบแสดงดัง Table 2 พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีค่าความชื้นมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 3.33±0.02 รองลงมาได้แก่ ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 3 เท่ากับร้อยละ 3.11±0.12 และผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 เท่ากับร้อยละ 2.78±0.12 เมื่อเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาจึงทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์มาการองที่ใช้กากถั่วดาวอินคาทดแทนผงถั่วอามอนด์ เมื่อเพิ่มการทดแทนกากถั่วดาวอินคาในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้แนวโน้มค่าความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)[12] นอกจากนี้ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.40±0.01, 0.35±0.00 และ 0.38±0.00 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า a_w เป็นดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่ต่ำกว่า 0.6 คือระดับที่ปลอดภัยต่อจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) สามารถยับยั้งการสร้างสารพิษจากเชื้อรา aflatoxin ระงับการทำงานของเอนไซม์ รวมทั้งชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage)[13-14]

Table 2 แสดงคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบพบว่า ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 มีค่า L^* a^* และ b^* มากที่สุดเท่ากับ 54.55±1.09, 10.08±0.25 และ 37.83±0.56 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 20 (สูตรที่ 3) นั้น ส่งผลให้ค่าสี L^* a^* และ b^* ลดลง คือ มีค่า L^* อยู่ในช่วง 46.62-47.69 ค่า a^* เท่ากับ 9.33±0.05 และค่า b^* เท่ากับ 34.25±0.31 เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาเป็นแป้งที่ประกอบด้วยโปรตีนสูง (42% dry basis) เมื่อถูกความร้อนในการประกอบอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลประเภทรีดิวซ์ (reducing sugar) และกรดอะมิโน (amino acid) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 68 °C เป็นต้นไป[15] ผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ สูตรที่ 3 ผลิตภัณฑ์จึงมีสีคล้ำและสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสใน Table 3 พบว่า ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคามีผลต่อค่าความแข็ง ความเปราะ และความกรอบของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 มีทั้งค่าความแข็ง ความเปราะ และความกรอบน้อยที่สุด เท่ากับ 10.08±2.36 นิวตัน 8.14±0.53 มิลลิเมตร และ 4.50±1.12 นิวตัน ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยของความเปราะและความกรอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือค่าความเปราะอยู่ในช่วง 12.41-13.97 มิลลิเมตร

และค่าความกรอบอยู่ระหว่าง 11.60-12.60 นิวตัน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาทำให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสทั้ง 3 ด้านดังกล่าวเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปริมาณไขมันจากกากถั่วดาวอินคาที่มีน้อยกว่าผงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งจากข้อมูลพบว่า ไขมันในเมล็ดถั่วดาวอินคามีประมาณร้อยละ 42[16] และไขมันในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประมาณร้อยละ 46.35[12] จึงทำให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบยึดเกาะกันแน่นขึ้น โดยปกติไขมันในอาหารช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีความนุ่มขึ้น ดังนั้นการที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งและความกรอบเพิ่มขึ้น[17] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bureepakdee *et al.*, 2023 ได้รายงานว่า เมื่อทดแทนถั่วอัลมอนด์ป่นด้วยกากถั่วดาวอินคาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มาการองทั้ง 3 สูตร (กากถั่วดาวอินคาร้อยละ 40, 60 และ 80 ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)[18]

Table 2 Color properties and water activity (a_w) of crispy Sacha Inchi sheets in three formulas

Formula	Color properties			Water activity (a_w)	Moisture content (%)
	*L**	*a**	*b**		
1	54.55±1.09^{a}	10.08±0.25^{a}	37.83±0.56^{a}	0.40±0.01^{a}	3.33±0.02^{a}
2	47.69±0.58^{b}	10.42±0.44^{a}	35.10±0.29^{b}	0.35±0.00^{c}	2.78±0.12^{c}
3	46.62±0.24^{b}	9.33±0.05^{b}	34.25±0.31^{c}	0.38±0.00^{b}	3.11±0.12^{b}

Note : $^{a-c}$ means values having different letters in a column differ significantly at $p \leq 0.05$

Table 3 Texture properties of crispy Sacha Inchi sheets in three formulas

Formula	Hardness (N)	Fracture ability (mm)	Crispness (N)
1	10.08±2.36^{b}	8.14±0.53^{b}	4.50±1.12^{b}
2	12.45±0.96^{ab}	12.41±0.99^{a}	12.60±0.55^{a}
3	14.02±1.89^{a}	13.97±1.85^{a}	11.60±2.19^{a}

Note : $^{a-b}$ means values having different letters in a column differ significantly at $p \leq 0.05$

3.2 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภคจำนวน 60 คน พิจารณาทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ (เนื้อสัมผัส) รสชาติ และความชอบโดยรวม ดังแสดงใน Table 4 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนด้านความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติโดยรวมผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 มากที่สุดเท่ากับคะแนน 6.75, 7.20 และ 6.33 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 2 และ 3 ได้รับคะแนนรองลงมาที่เท่ากันและมีค่าไม่

แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) คะแนนความชอบด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ สูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) อยู่ในช่วง 6.07-6.15 คะแนน ซึ่งได้รับคะแนนจากผู้บริโภคมากกว่าผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 3 ที่มีค่าคะแนนความชอบด้านความกรอบเพียง 5.37±0.55 คะแนน คุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.47±0.68 คะแนน อาจเนื่องจากมีปริมาณส่วนผสมของถั่วดาวอินคาในปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ อีกทั้งยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 6.82±0.62 คะแนน จะเห็นได้ชัดเจนที่ว่า เมื่อใส่ปริมาณถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความชอบในแต่ละด้านมีแนวโน้มลดลง

ผลการคัดเลือกการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูตรถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร พบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคด้วยคะแนนความชอบมากที่สุดทั้งในด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวม จึงนำผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ สูตรที่ 1 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

Table 4 Evaluation of consumer satisfaction towards of crispy Sacha Inchi sheets in three formulas

Formula	Score of evaluation					
	Appearance	Color	Odor	Texture	Flavor	Overall
1	6.75±0.65^{a}	7.20±0.51^{a}	5.98±0.68^{a}	6.07±0.78^{a}	6.33±0.73^{a}	6.82±0.62^{a}
2	5.18±0.57^{b}	5.07±0.61^{b}	5.73±0.45^{b}	6.15±0.69^{a}	5.10±0.90^{b}	5.30±0.79^{c}
3	5.33±0.60^{b}	5.08±0.59^{b}	5.47±0.68^{c}	5.37±0.55^{b}	5.18±0.98^{b}	5.63±0.97^{b}

Note : $^{a-c}$ means values having different letters in a column differ significantly at $p\leq0.05$
Values are mean ± standard deviations of triplicate determinations

3.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบ

จากการนำผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบจำนวน 3 สูตร วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด พลังงานทั้งหมด ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า แสดงดัง Table 5 พบว่าผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบทั้ง 3 สูตร มีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกันมาก โดยมีพลังงานทั้งหมดในช่วง 611.5-623.1 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 26.1-30.7 ความชื้นร้อยละ 2.73-3.46 ไขมันร้อยละ 47.1-49.6 เถ้าร้อยละ 2.75-2.76 และโปรตีนในช่วงร้อยละ 16.2-18.1 โดยที่ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 3 มีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 18.1 เนื่องจากมีส่วนประกอบของแป้งถั่วดาวอินคามากที่สุด โดยแป้งถั่วดาวอินคามีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 42[8]

Table 5 Proximate composition (g/ 100 g sample, dry basis) of crispy Sacha Inchi sheets in three formulas

Components (g/ 100 g sample)	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Carbohydrates	30.7	28.9	26.1
Energy (kcal)	611.5	620.0	623.1
Moisture	3.23	2.73	3.46
Fat	47.1	48.4	49.6
Protein	16.2	17.2	18.1
Ash	2.77	2.75	2.76

3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1

จากผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ และทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี ideal ratio profile test มีผู้ทดสอบจำนวน 8 คน เพื่อหาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่น ความกรอบ และรสชาติแปลกปลอม โดยมีค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะแสดงดัง Table 6 โดยที่หากค่าสัดส่วนของคุณลักษณะใดมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่า ตัวอย่างมีลักษณะตามที่ผู้บริโภคต้องการ จะเห็นได้ว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (3 เดือน) คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสี กลิ่น ความกรอบ และรสชาติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสังเกตน้อยกว่าค่าในอุดมคติอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและพบว่า ช่วงการเก็บรักษาที่ 14-42 วัน ผู้ทดสอบไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ด้านกลิ่น ความกรอบ และรสชาติ หลังจากนั้นจึงพบการเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งถึงวันที่ 84 เนื่องจากเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์นั้น ผลิตภัณฑ์มีสีค่อนข้างเข้มขึ้น มีกลิ่นหืน ความกรอบลดลง และมีรสชาติฝาดเฝื่อนและขมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงว่า ผู้ทดสอบยังคงมีความต้องการให้ปรับปรุงคุณลักษณะด้านกลิ่น สี ความกรอบ และรสชาติของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม

Table 6 Sensory evaluation of crispy Sacha Inchi sheets formula 1 during storage at room temperature

Time (week)	Changed Color	Off-odor	Crispness	Off-flavor
0	0.99±0.01^{a}	0.99±0.02^{a}	0.99±0.00^{a}	0.99±0.01^{a}
1	0.99±0.00^{ab}	0.96±0.02^{b}	0.99±0.00^{a}	0.97±0.01^{b}
2	0.98±0.00^{ab}	0.94±0.02^{c}	0.97±0.01^{b}	0.94±0.01^{c}
3	0.98±0.01^{bc}	0.94±0.02^{c}	0.93±0.01^{c}	0.93±0.01^{d}
4	0.97±0.01^{c}	0.94±0.01^{c}	0.93±0.01^{c}	0.92±0.01^{d}
5	0.97±0.01^{d}	0.94±0.01^{c}	0.93±0.01^{c}	0.92±0.01^{d}
6	0.94±0.02^{e}	0.93±0.02^{d}	0.93±0.01^{c}	0.92±0.01^{d}
7	0.92±0.02^{f}	0.92±0.01^{d}	0.91±0.03^{d}	0.92±0.01^{de}
8	0.91±0.01^{g}	0.90±0.01^{e}	0.91±0.02^{d}	0.91±0.01^{e}
9	0.88±0.01^{h}	0.87±0.01^{f}	0.90±0.02^{d}	0.89±0.02^{f}
10	0.86±0.01^{i}	0.87±0.01^{f}	0.89±0.02^{e}	0.88±0.03^{g}
11	0.85±0.01^{i}	0.85±0.01^{g}	0.88±0.02^{e}	0.87±0.03^{g}
12	0.85±0.01^{i}	0.84±0.01^{h}	0.86±0.01^{f}	0.86±0.03^{h}

Note : $^{a-c}$ means values having different letters in a column differ significantly at $p \leq 0.05$

Values are mean ± standard deviations of duplicate determinations of 8 panelists 1.00 equals Ideal product

บทสรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบต้นแบบจำนวน 3 สูตร โดยแปรผันปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาร้อยละ 20, 30 และ 40 พบว่า ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบมีปริมาณโปรตีนสูงในช่วงร้อยละ 16.2-18.1 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร อยู่ในช่วง 0.38-0.40 ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อเชื้อราและจุลินทรีย์ก่อโรค ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีค่า *L** *a** และ *b** มากที่สุด แนวโน้มของค่าสีมีค่าลดลงเมื่อปริมาณกากถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากปริมาณโปรตีนจากกากถั่วดาวอินคาที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความเปราะและความกรอบของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบสูตรที่ 1 (แป้งถั่วดาวอินคาร้อยละ 20 และผงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อยละ 23) ได้รับคะแนนประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงสุดในด้านความชอบโดยรวมและเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมปิดสนิทเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องผลิตภัณฑ์ยังถือว่า คงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้นผลิตภัณฑ์ถั่วดาวอินคาแผ่นอบกรอบจึงเหมาะสมที่จะนำไปต่อยอดการผลิตให้กับผู้ประกอบการอาหารวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) เพื่อจำหน่ายต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนงบประมาณตลอดโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. สิริมา ชินสาร, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, นิสานารถ กระแสร์ชล. การเพิ่มมูลค่าให้กับต้นถั่วดาวอินคาโดยการนำส่วนกากเมล็ดที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน และส่วนใบมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2560.
2. Chirinos R, Zuloeta G, Pedreschi R, Mignolet E, Larondelle Y, Campos D. Sacha Inchi (Plukenetia volubilis): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. Food Chem. 2013;141: 1732-9.
3. วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สิริมา ชินสาร, นิสานารถ กระแสร์ชล. การศึกษาศักยภาพการใช้ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2560.
4. Fanali C, Dugo L, Cacciola F, Beccaria M, Grass S, Dacha, M, et al. Chemical characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) oil. J Agric Food Chem. 2011;59:13043-9.
5. Maurer NE, Hatta-Sakoda B, Pascual-Chagman G, Rodriguez-Saona LE. Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) oil. Food Chem. 2012;134:1173-80.
6. Hamaker E, Valles C, Gilman R, Hardmeier R, Clark D, Garcia, H, et al. Aminoacid and fatty acid profile of the Inca peanut (Plukenetia volubilis L.). American Association of Cereal Chemists. 1992;69(4):461-5.
7. Hazen D. Guidelines for the establishment and operation of vegetable oil factors. E.E.U.U.: Cornell University; 1980.
8. Rawdkuen S, Murdayanti D, Ketnawa S, Phongthai S. Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and Sacha Inchi seeds. Food Biosci. 2016;15:64-71.
9. Shin DJ, Kim W, Kim Y. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour. Food Chem. 2013;14:517-23.
10. AOAC. Official Methods of Analysis. 20th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Maryland: U.S.A.; 2016.
11. Sullivan D, Carpenter D. Method of Analysis for Nutrition Labeling. AOAC International, Arlington. 1993.
12. Panyayong C, Khantasen V. Development of almond powder substitute macaron from cashew nut powder. Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology. 2018;10(19):14-30.
13. Vibulsresth P, Trevanich S. Microorganism in Food. In. Food Science and Technology. Bangkok: Kasetsart University Publishing; 2013. p. 48-64.
14. Kluczkovski AM, Kluczkovski Junior A. Aflatoxin in fish flour from the Amazon region. In M., RazzaghiAbhyaneh. (Ed). Aflatoxins-Recent Advances and future prospects. Iran: Pasteur Institute of Iran. 2013.
15. Blessing I, Gregory I. Effect of processing on the proximate composition of the dehulled and undehulled mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek] flours. Pak J Nutr. 2010;9:1006-16.
16. นรินทร์ภพ ช่วยการ, ศิริวัลย์ พฤฒิวัลัย. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มาการองเพื่อสุขภาพจากถั่วดาวอินคา. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)]. สงขลา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย; 2563.
17. Bakkalbasi E, Meral RR, Dogan IS. Bioactive compounds physical and sensory properties of cake made with walnut press-cake. J Food Qual. 2015;38(6):422-30.
18. Bureepakdee W, Bunsiri T, Chuaykarn N, Pruettiwilai S. Effect of using Sacha Inchi pressed-cake as a substitute for almond powder on the quality of macaron shell product. RMUTP Research Journal. 2023;17(1):1-13.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จิราภรณ์ บุราคร[1], ปรานต์ ปิ่นทอง[1], มนทกานติ์ เอี่ยมแก้ว[1] และ ณัฐชา ศิริวาริน[1*]

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหาร
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : srwr.nc@gmail.com
รับเมื่อ 15 มีนาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 27 มิถุนายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 8 กรกฎาคม 2567

จุดเด่น

- การยืดอายุการเก็บรักษาน้ำพริกอ่องด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
- การประเมินอายุการเก็บรักษาน้ำพริกอ่องในสภาวะเร่งด้วยวิธี Q10
- คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แบบสด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถเก็บรักษาได้นาน สะดวกต่อการขนส่ง และยังคงคุณค่าของสารอาหาร ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพัฒนาสูตรต้นแบบน้ำพริกอ่องสด แล้วนำน้ำพริกอ่องสดไปแช่แข็งด้วยตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาการทำแห้ง 48 ชั่วโมง และ 60 ชั่วโมง ให้ค่าความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) จึงคัดเลือกเวลา 48 ชั่วโมง ในการผลิตน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ผลการทดลองพบว่า มีค่าดัชนีการละลายและความสามารถในการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 25.36 และ 2.31 ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อน้ำพริกอ่องในการคืนรูปที่ 1:1 ทำให้น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำพริกอ่องสดมากที่สุด นอกจากนี้น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เถ้า และปริมาณความชื้น ร้อยละ 25.9, 50.2, 17.2, 4.36 และ 2.32 ตามลำดับ และให้พลังงาน 624.3 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม น้ำพริกอ่องสดและน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีคะแนนของลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน (p>0.05) เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปในสภาวะเร่งด้วยวิธี Q10 พบว่า ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 31 วัน 21 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ

คำสำคัญ : น้ำพริกอ่อง น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การพัฒนาผลิตภัณฑ์

Development of instant Nam Prik Ong using freeze drying process

Jiraporn Burakorn[1], Pran Pinthong[1], Montakan Aimkaew[1], and Nattacha Siriwarin[1*]

[1]Department of Science Service, Bangkok, Thailand
*Corresponding author, e-mail : srwr.nc@gmail.com
Received 15 March 2024; **Revised** 27 June 2024; **Accepted** 8 July 2024

Highlights

- Extending the shelf life of instant Nam Prik Ong by freeze drying process
- Evaluating shelf life of Nam Prik Ong under accelerated conditions using the Q10 method
- Textural quality of product after drying is similar to the fresh product

Abstract

This research aims to study the production of instant Nam Prik Ong that can be stored for a long time, is convenient for transportation and still maintains the value of nutrients by using the freeze drying process. A prototype recipe for fresh Nam Prik Ong was developed and frozen at -20 °C for 12 hours, then dried in a freeze dryer at -80 °C for 36, 48, and 60 hours. It was found that the drying times of 48 hours and 60 hours showed the moisture contents and a_w that were not significantly different ($p>0.05$). Therefore, 48-hour drying was chosen to produce the instant Nam Prik Ong and physical and chemical properties were investigated. The results showed that solubility index and water absorption capacity were 25.36% and 2.31%, respectively. In the ratio of water to Nam Prik Ong at 1:1 provided that was very similar to fresh one. In addition, instant Nam Prik Ong had protein, fat, total carbohydrates, ash, and moisture content of 25.9%, 50.2%, 17.2%, 4.36%, and 2.32%, respectively, also an energy value of 624.3 kilocalories per 100 gram sample. Fresh Nam Prik Ong and instant Nam Prik Ong had no difference ($p>0.05$) in texture and overall liking scores. The shelf life evaluation of instant Nam Prik Ong under accelerated conditions by using the Q10 method showed that temperatures of 30 °C, 40 °C, and 50 °C can preserve instant Nam Prik Ong for 31 days, 21 days, and 14 days, respectively.

Keywords : Nam prik ong, instant northern thai-style spicy tomato dip, freeze drying, product development

1. บทนำ

น้ำพริกอ่อง เป็นอาหารที่นิยมบริโภคในภาคเหนือของประเทศไทย มีส่วนประกอบหลัก คือ หมูสับ มะเขือเทศ และพริก มีรสชาติเค็ม เผ็ดเล็กน้อย หวานอมเปรี้ยวจากมะเขือเทศ ลักษณะเนื้อสัมผัสกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4.8-5.2[1-2] และมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งไม่สามารถขนส่งไปจำหน่ายทางไกลได้ ปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมการซื้ออาหารออนไลน์จากร้านค้าที่มีสินค้าอาหารที่ต้องการทั้งในและต่างประเทศ การพัฒนาน้ำพริกอ่องให้เป็นสินค้ากึ่งสำเร็จรูปที่มีรสชาติไม่แตกต่างจากน้ำพริกอ่องสด สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น น้ำหนักเบา ง่ายต่อการจัดเก็บและขนส่ง จึงเป็นการขยายตลาดสินค้าน้ำพริกอ่องให้ตอบโจทย์ผู้บริโภคมากขึ้น ปัจจุบันมีการผลิตน้ำพริกชนิดต่าง ๆ ในลักษณะอาหารแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นเช่นเดียวกับน้ำพริกอ่องที่มีการจำหน่ายในรูปแบบน้ำพริกอ่องกรอบ อีกทั้งยังมีการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องสำเร็จรูปในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การผลิตน้ำพริกอ่องเป็ดอี๊-เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ต โดยใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 วัน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างและคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงหลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 60 วัน แต่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวมทั้งหมดยังมีค่าน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้[1] อีกทั้งมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปโดยการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ได้น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.72 และมีปริมาณน้ำอิสระ 0.54 เมื่อคืนรูปตัวอย่างน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปด้วยน้ำอุ่น ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมและลักษณะปรากฏสูงสุด[3]

เทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เป็นการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการใช้ความดันเพื่อให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหิดออกมา ลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารที่เกิดจากความร้อน สามารถรักษากลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ได้ดีกว่าเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนสูง[4] การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเก็บรักษาได้นาน โดยมีวิธีการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่ง ซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่มอัตราการเสื่อมเสีย เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง เป็นต้น เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการทดสอบอายุการเก็บรักษา โดยการทดสอบส่วนใหญ่นิยมทดสอบด้วยการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาด้วยเทคนิค Q10 เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเป็นอย่างมาก[1,5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทาง

โภชนาการสูง สามารถเก็บรักษาได้นาน สะดวกในการบริโภคและการขนส่ง ตลอดจนประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การผลิตน้ำพริกอ่อง

ดัดแปลงจากธีรวัฒน์ และคณะ[6] โดยการชั่งเนื้อหมูบด มะเขือเทศสีดา น้ำตาลปี๊บ ซีอิ๊วขาว น้ำปลา กรดซิตริก น้ำมันพืช ต้นหอม ผักชี พริกแห้ง กระเทียม หอมแดง เกลือ และกะปิ (Table 1) จากนั้นโขลกพริกแห้ง กระเทียม หอมแดง เกลือ และกะปิรวมกันให้ละเอียด ตั้งกระทะ ใส่น้ำมัน ใช้ไฟระดับปานกลาง รอจนน้ำมันร้อน นำน้ำพริกและหมูบดลงผัดรวมกัน เติมมะเขือเทศ น้ำตาลปี๊บ น้ำปลา ซีอิ๊วขาว กรดซิตริก ผัดให้เข้ากันจนสุก ใส่ผักชี และต้นหอมลงไป จากนั้นปิดไฟ

Table 1 Ingredients of instant Nam Prik Ong

Ingredients of instant Nam Prik Ong	Percentage (%)
Minced pork	41
Tomatoes	32
Palm sugar	4
Soy sauce	1.4
Fish sauce	1.3
Citric acid	0.2
Vegetable oil	7.1
Scallions	1
Coriander	1
Dried chilies	1.3
Garlic	2
Shallots	6
Salt	0.85
Shrimp paste	0.85

2.2 กระบวนการทำน้ำพริกอ่องแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

นำน้ำพริกอ่อง 100 กรัม ใส่กล่องพลาสติกสี่เหลี่ยมชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 7x11x4 เซนติเมตร เกลี่ยให้ได้ความหนา 2 เซนติเมตร นำไปแช่แข็งด้วยตู้แช่แข็ง (ยี่ห้อ Vestforst รุ่น VT306 ประเทศเดนมาร์ก) ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ยี่ห้อ Operon รุ่น FDB-8603 ประเทศเกาหลีใต้) โดยตั้งโปรแกรมเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 36, 48 และ 60 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างในกล่องพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 7x11x4 เซนติเมตร พร้อมปิดฝากล่องและเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป

2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป

นำน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคัดเลือกสภาวะในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ดังนี้

2.3.1 ความชื้น (Moisture content) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

วิเคราะห์ความชื้น ด้วยเครื่อง Moisture analyzer (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น HC103 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Thermo รุ่น ORION 3 STAR ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ด้วยเครื่องวัด a_w (ยี่ห้อ Novasina รุ่น LabMaster-aw Neo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

2.3.2 ความสามารถการละลายและความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ดัดแปลงจากวิธีของ Anderson และคณะ[7] โดยการชั่งตัวอย่าง 2.5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3870*xg* เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใสและส่วนที่เป็นตะกอนออกจากกัน นำส่วนใสเทลงใส่ถ้วยอลูมิเนียมและนำไประเหยด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Binder รุ่น FED 115 ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าความสามารถในการละลาย ตามสมการ (1) ในส่วนของตะกอนที่เหลือนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ ตามสมการ (2)

(1)

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเริ่มต้น}} \times 100$$

(2)

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนและภาชนะหลังอบ - น้ำหนักภาชนะเปล่า}}{\text{น้ำหนักน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเริ่มต้น}} \times 100$$

2.3.3 สี

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Miniscan EZ ประเทศสหรัฐอเมริกา) ด้วยระบบ CIE โดยค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 (มืดถึง สว่าง) ค่า a^* แสดงถึงค่าสีเขียว-สีแดง ($-a^*$ ถึง $+a^*$) ค่า b^* แสดงถึงค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง ($-b^*$ ถึง $+b^*$)

2.4 การคืนรูป

นำน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคัดเลือกสภาวะในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2.2 มาศึกษาการคืนรูป โดยศึกษา

ลักษณะปรากฏหลังจากเติมน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำพริกอ่องเท่ากับ 0.5:1, 1:1 และ 1.5:1 จับเวลา 1 นาที และสังเกตลักษณะปรากฏ

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำพริกอ่องแบบสดและแบบกึ่งสำเร็จรูป

นำน้ำพริกอ่องแบบสดและแบบกึ่งสำเร็จรูปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นวิธี Direct Heating method โดยการอบด้วยตู้อบลมร้อน วิเคราะห์ปริมาณเถ้าโดยการเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) วิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมันโดยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยชุดเครื่องมือย่อยโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method (N x 6.25) หาปริมาณเถ้า คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และพลังงานทั้งหมดตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2023)[8] และ AOAC (1993)[9]

2.6 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองการคืนรูปข้อ 2.3.3 มาศึกษาการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9-point Hedonic scale โดยมีค่าคะแนน ดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (Randomize Complete Block design หรือ RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 60 คน ทดสอบในบูธทดสอบชิม ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.7 กำหนดดัชนีชี้วัดคุณภาพที่สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป

การกำหนดดัชนีชี้วัดคุณภาพเพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป ประเมินจากปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียหรือไม่เป็นที่ยอมรับ ใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสควบคู่กับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ โดยบรรจุน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุดในถุงรีทอร์ตเพาช์สุญญากาศขนาด 3x5 นิ้ว ถุงละ 40 กรัม และวางเรียงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทุก 7 วัน วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน

2.8 การหาอายุการเก็บรักษาน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปในสภาวะเร่งด้วยวิธี Q10

หาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปในสภาวะเร่งด้วยการใช้ค่า Q10 (Accelerated shelf life testing, ASLT; Q10) ซึ่งเป็นวิธีสากลที่ใช้ในการหาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้ระยะเวลาในการทดสอบสั้น ประหยัดค่าใช้จ่าย และไม่ต้องทำการทดลองที่ทุกอุณหภูมิ[4,10] ทดสอบโดยบรรจุน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุดในถุงรีทอร์ตเพาช์สุญญากาศชนิด

PET/AL/NY/RCPP ขนาด 3x5 นิ้ว วางเรียงผลิตภัณฑ์ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี และทดสอบทางประสาทสัมผัส คำนวณหาอายุการเก็บรักษาของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป[7] จากสมการที่ 3 ดังต่อไปนี้

$$Q_{10} = \theta_{S(T)} / \theta_{S(T+10)} \text{ และ } Q_1 = Q_{10}^{0.1} \quad (3)$$

$$Q^{\Delta T} = \theta_{S(T)} / \theta_{S(T+\Delta T)}$$

เมื่อ $\theta_{S(T)}$ คือ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T (วัน)

$\theta_{S(T+10)}$ คือ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T + 10 (วัน)

Q_{10} และ Q_1 คือ อัตราส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิห่างกัน 10 °C และ 1 °C ตามลำดับ

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ทำนายกับอุณหภูมิ T

2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ผลการทดลองข้อ 2.3 และ 2.7) โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลกระบวนการทำแห้งน้ำพริกอ่องแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหารเพื่อชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีในอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป น้ำพริกอ่องสดเมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า การทำแห้งที่ -80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำแห้งที่ 36 ชั่วโมง ตัวอย่างยังคงมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณน้ำอิสระเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยของอาหาร หากมีค่าสูงกว่า 0.6 มีผลทำให้อาหารเสื่อมเสียจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์[11] เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 48 ชั่วโมง และ 60 ชั่วโมง พบว่า ผลิตภัณฑ์ให้ค่าปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Table 2) ผู้วิจัยจึงคัดเลือกเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปและนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป

Table 2 Water activity and moisture content of instant Nam Prik Ong at -80 ℃ in the different drying time

Drying time at -80 °C (h)	Moisture content (%)	Water activity (a_w)
36	5.92 ± 0.08[a]	0.68± 0.02[a]
48	0.47 ± 0.03[b]	0.26 ±0.05[b]
60	0.41 ± 0.06[b]	0.25±0.01[b]

Note : Different letter (a-b) in same column represents a significant difference at $p \leq 0.05$

3.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป

สมบัติทางเคมีกายภาพ แสดงใน Table 3 การทำแห้งน้ำพริกอ่องแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 0.47 และปริมาณน้ำอิสระ 0.26 ใกล้เคียงกับงานวิจัยผลิตภัณฑ์น้ำจิ้มแจ่วขมแบบผงในการลดปริมาณความชื้นในอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีการทำแห้งโดยการใช้ความร้อน ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้งและการทำแห้งแบบถาด ซึ่งพบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.93-1.09 และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.210-0.219[12] อย่างไรก็ตามการทำแห้งโดยวิธีการให้ความร้อนอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์และสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ ข้อดีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระในอาหารต่ำกว่าร้อยละ 0.6 คือ เป็นระดับที่ปลอดภัยต่อจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen)[13] สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรีย อีกทั้งช่วยยับยั้งการสร้างสารพิษจากเชื้อรา aflatoxin รวมทั้งช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในอาหารอันเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพอาหาร[13-14] สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำพริกปลาร้าชนิดพร้อมปรุง (มผช.131/2566) ซึ่งกำหนดค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 ทั้งนี้เพื่อป้องกันและควบคุมการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์[11]

น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีค่าดัชนีการละลายและความสามารถในการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 25.36 และ 2.31 ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลายของอาหารผง ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค รูปร่าง ความหนาแน่นของอนุภาค อุณหภูมิการละลาย และการกระจายตัวของอาหารผงในน้ำ เป็นต้น[15] ดังงานวิจัยของสิริมา และคณะ[16] พบว่า ขนาดของอนุภาคมีผลต่อความสามารถในการละลายของเร่วหอมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ขนาดอนุภาคของผง 300 ไมครอน มีค่าการละลายร้อยละ 25 เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงที่ 180 ไมครอน ค่าการละลายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 31 จึงสรุปได้ว่าค่าการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีทั้งโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก มีลักษณะปรากฏของขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ แสดงดัง Figure 1 ทั้งขนาดอนุภาคและส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกัน จึงส่งผล

ให้ความสามารถการละลายและการดูดซึมน้ำมีค่าไม่สูงมากนัก แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ประเภทโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ต้องการคุณสมบัติในการละลายน้ำและสามารถดูดซึมน้ำได้ดี พรพิไล และคณะ[17] พัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รีกึ่งสำเร็จรูปผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า ค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงร้อยละ 33.2-53.78 และดัชนีการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.29-9.90 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้มีพื้นที่สัมผัสกับน้ำมากขึ้น อัตราการละลายน้ำจึงสูงขึ้น

ผลการวัดค่าสีของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปดัง Table 3 ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 29.98 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 14.57 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 40.37 จะเห็นว่า ค่าของ a^* และ b^* เป็นผลของส่วนประกอบของน้ำพริกอ่องที่มาจากมะเขือเทศที่ให้สีแดงจากสารไลโคปีน (lycopene) และพริกแดงจากสารแคปไซซิน (capsaicin) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) อันมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ[18] ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่จะสามารถเจริญได้ซึ่งพบว่า น้ำพริกอ่องคืนรูปมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.44 ให้คุณสมบัติเป็นกลาง

Figure 1 Instant Nam Prik Ong (freeze-dried sample)

Table 3 Physical properties of instant Nam Prik Ong

Physical properties	Results
Moisture content (%)	0.47 ± 0.03
Water activity (a_w)	0.26 ± 0.05
Solubility (%)	25.36 ± 0.86
Water absorption capacity (%)	2.31 ± 0.08
pH	7.44 ± 0.04
Color	
L^*	29.98 ± 0.04
a^*	14.57 ± 0.20
b^*	40.37 ± 1.24

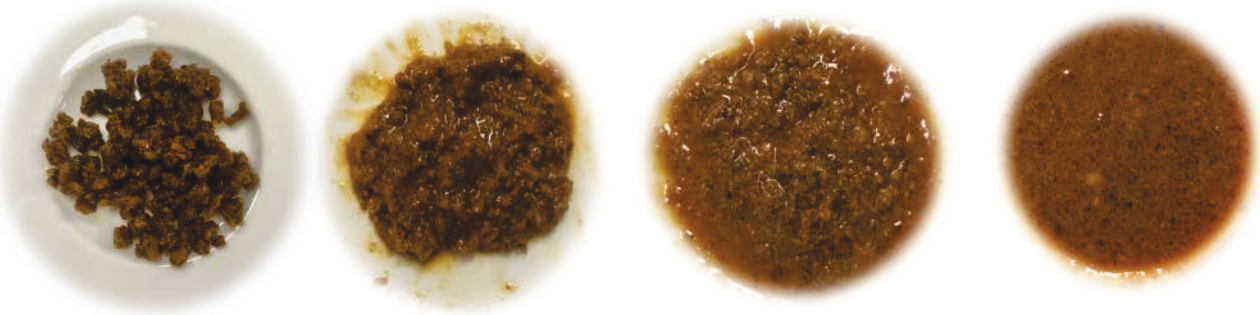
3.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการคืนรูป

Table 4 และ Figure 2 แสดงลักษณะปรากฏของน้ำพริกอ่องที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยอัตราส่วนน้ำต่อน้ำพริกอ่องที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.5:1, 1:1 และ 1.5:1 พบว่า ในอัตราส่วนที่ 1:1 นั้น น้ำพริกอ่องมีลักษณะชุ่มน้ำเล็กน้อย เหลวพอดี ไม่แข็งและหนืดจนเกินไปซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำพริกอ่องแบบสดมากที่สุด โดย

ลักษณะทั่วไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำพริกอ่อง ฉบับที่ 292/2566[19] กำหนดให้ส่วนประกอบต้องมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ ปรากฏสีที่ดีตามธรรมชาติและสีตรงตามส่วนประกอบที่ใช้ อีกทั้งไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นอับ[17] จะเห็นได้ว่าภายหลังการคืนรูปของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

Table 4 Reconstitution of instant Nam Prik Ong in hot water (95-100 °C) for 1 minute

Sample	Ratio of water to instant Nam Prik Ong	Appearance
(a)	-	Instant Nam Prik Ong (freeze-dried sample)
(b)	0.5:1	Nam Prik Ong had a viscous consistency and coagulation
(c)	1:1	Nam Prik Ong was slightly moist. It's not hard and didn't clump together
(d)	1.5:1	Nam Prik Ong was too watery



(a) (b) (c) (d)

Figure 2 Appearance of instant Nam Prik Ong (freeze-dried sample (a)) and instant Nam Prik Ong after reconstitution in the ratio of instant Nam Prik Ong to hot water; (b) 0.5:1; (c) 1:1; and (d) 1.5:1 respectively

3.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำพริกอ่องแบบสดและแบบกึ่งสำเร็จรูป

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องแบบสดและแบบกึ่งสำเร็จรูป พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องแบบสดประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 15.9 ไขมันร้อยละ 18.5 คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 9.61 เถ้าร้อยละ 2.38 และปริมาณความชื้นฐานเปียกร้อยละ 53.6 และมีค่าพลังงาน 624.3 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม ในขณะที่น้ำพริกอ่องแบบกึ่งสำเร็จรูปมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เถ้า และปริมาณความชื้นร้อยละ 25.9, 50.2, 17.2, 4.36 และ 2.32 ตามลำดับ และมีค่าพลังงาน 624.3 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) จะเห็นว่า กระบวน

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นการลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานขึ้น น้ำหนักเบา และง่ายต่อการบริโภค[3]

3.5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้ำพริกอ่องแบบสดและแบบกึ่งสำเร็จรูป

นำน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมาทำการคืนรูปตามวิธีข้อ 2.4 ได้ผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดัง Table 5 พบว่า ผู้ทดสอบชิมทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 60 คน ให้คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมากกว่าน้ำพริกอ่องแบบสด ซึ่งผู้บริโภคให้ความเห็นว่า ผลิตภัณฑ์แบบกึ่งสำเร็จรูปให้กลิ่นและรสชาติของน้ำพริกอ่องที่เข้มข้นและโดดเด่นกว่าผลิตภัณฑ์แบบสด ไม่มีลักษณะเป็นน้ำมันไม่มีกลิ่นหืน อีกทั้งยังให้ลักษณะปรากฏที่ข้นหนืดพอดีและเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องมีจุดเด่น คือ สีแดงสดของมะเขือเทศ จึงทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีของผลิตภัณฑ์แบบสดมากกว่า เนื่องจากแบบสดให้ลักษณะของสีแดงที่ชัดเจนและเป็นเอกลักษณ์ ในส่วนคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จะเห็นได้ว่า ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีคะแนนของลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมค่อนข้างดี และผู้บริโภคให้การยอมรับว่า เมื่อรับประทานน้ำพริกอ่องที่ผ่านการทำแห้งแบบกึ่งสำเร็จรูปแล้วยังคงให้เนื้อสัมผัสเหมือนรับประทานแบบสดใหม่ การแปรรูปน้ำพริกอ่องโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและยังคงคุณภาพลักษณะทางเนื้อสัมผัสดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

Table 5 Evaluation of consumer satisfaction of fresh and instant Nam Prik Ong

Sample	Score of evaluation					
	Appearance	Colour	Odor	Texture	Flavour	Overall
Fresh	5.73±0.88^{b}	6.48±0.29^{a}	5.35±0.54^{b}	7.18±0.83^{ns}	5.95±0.56^{b}	6.18±0.19^{ns}
Instant	6.23±0.66^{a}	6.05±0.69^{b}	6.70±1.43^{a}	7.22±0.65^{ns}	6.80±0.57^{a}	6.22±0.65^{ns}

Note : Different letter (a-b) in same column represents a significant difference at $p \leq 0.05$
ns means not significant difference ($p>0.05$)
Values are mean ± standard deviations of triplicate determinations

3.6 ผลการกำหนดดัชนีชี้วัดคุณภาพที่สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นของทั้ง 3 ตัวอย่าง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่า ความชื้นเริ่มต้นของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเท่ากับร้อยละ 0.14 ในช่วงแรกของการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.24-0.30 ซึ่งไม่มีความแตกต่าง อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 35 วัน และมีปริมาณความชื้นสูงสุดที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 50 องศาเซลเซียส สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นตัวบ่งชี้ความปลอดภัยอาหารและแปรผันตามปริมาณความชื้นในอาหาร อีกทั้งยังสามารถคาดคะเนอายุการเก็บรักษา กล่าวคือ หากลดปริมาณน้ำอิสระลงต่ำกว่าร้อยละ 0.6 อาหารจะปลอดภัยจากจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาที่นานขึ้น[20] โดยการทดลองพบว่า น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วงที่ร้อยละ 0.31-0.36 แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาโดยการเร่งสภาวะที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำอิสระสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของปริมาณความชื้นในอาหารที่เพิ่มขึ้น กระบวนการบ่มเร่งสภาวะนั้นเป็นการเร่งสภาวะที่ทำให้อากาศสามารถซึมเข้าผ่านไปในบรรจุภัณฑ์เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในอาหาร ได้แก่ การเกิดกลิ่นหืนจากการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ การเปลี่ยนของสีและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสในอาหาร[21] สอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 แสดงใน Table 7 พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลา 14 วัน เป็นต้นไป น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส โดยมีสีค่อนข้างเข้มขึ้น เนื้อสัมผัสมีลักษณะกระจายตัว มีลักษณะเปียกแฉะไม่เกาะตัวกัน จนกระทั่งในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาพบว่า น้ำพริกอ่องมีกลิ่นหืนชัดเจนขึ้น สีเข้ม และเนื้อสัมผัสเปียกแฉะจนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อธิบายได้ว่า น้ำพริกอ่องที่มีองค์ประกอบของไขมันถึงร้อยละ 50 เมื่อสัมผัสกับอากาศจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจึงเป็นสาเหตุของกลิ่นหืนทำให้เกิดการเสื่อมเสีย และทางประสาทสัมผัสของอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค[21]

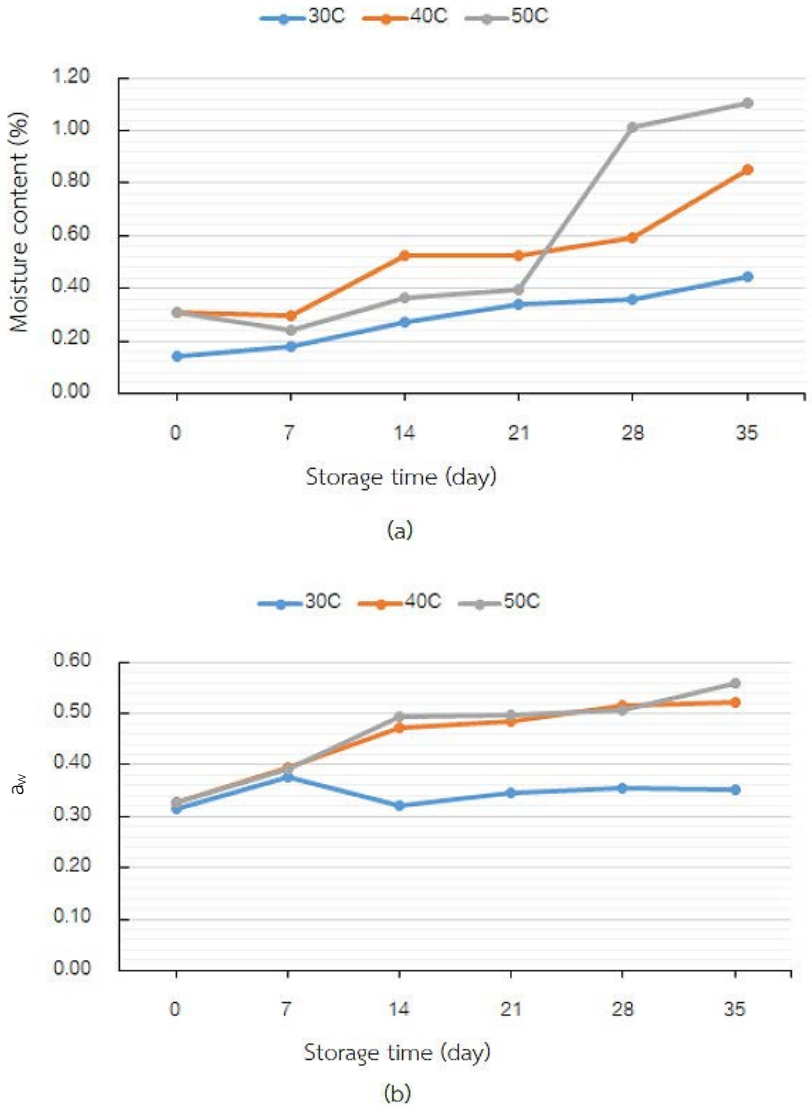


Figure 3 Relationship between storage time and moisture content (%, a); a_w (b) of the instant Nam Prik Ong stored at 30, 40 and 50 °C (relative humidity 70%)

Table 6 Moisture content (%) and a_w of instant Nam Prik Ong stored at 30, 40 and 50 °C (relative humidity 70%)

Storage time (day)	Moisture content (%)			a_w		
Temperature	30 °C	40 °C	50 °C	30 °C	40 °C	50 °C
0	0.14 ± 0.02^{nsD}	0.14 ± 0.02^{nsC}	0.14 ± 0.02^{nsE}	0.31 ± 0.03^{nsD}	0.33 ± 0.00^{nsE}	0.33 ± 0.00^{nsB}
7	0.18 ± 0.02^{bD}	0.33 ± 0.04^{aB}	0.31 ± 0.01^{aCD}	0.38 ± 0.01^{bA}	0.40 ± 0.01^{aD}	0.39 ± 0.01^{aB}
14	0.27 ± 0.03^{nsC}	0.30 ± 0.09^{nsB}	0.24 ± 0.04^{nsD}	0.32 ± 0.01^{bC}	0.47 ± 0.00^{aC}	0.50 ± 0.10^{aA}
21	0.34 ± 0.02^{bB}	0.53 ± 0.06^{aA}	0.37 ± 0.06^{bBC}	0.35 ± 0.00^{cBC}	0.48 ± 0.00^{bBC}	0.51 ± 0.00^{aA}
28	0.36 ± 0.04^{bB}	0.52 ± 0.02^{aA}	0.39 ± 0.01^{bB}	0.36 ± 0.00^{bAB}	0.51 ± 0.03^{aAB}	0.51 ± 0.00^{aA}
35	0.45 ± 0.03^{bA}	0.59 ± 0.16^{bA}	1.01 ± 0.06^{aA}	0.35 ± 0.01^{bB}	0.52 ± 0.03^{aA}	0.56 ± 0.07^{aA}

Note : Different letter (a-b) in same row represents a significant difference at $p\leq0.05$
Different letter (A-E) in same column represents a significant difference at $p\leq0.05$
ns means not significant difference ($p>0.05$)
Values are mean ± standard deviations of triplicate determinations

Table 7 Sensory evaluation of instant Nam Prik Ong stored at 40 and 50 °C (relative humidity 70%)

Storage time (day)	Colour			Odor			Taste / Texture		
Temperature	30 °C	40 °C	50 °C	30 °C	40 °C	50 °C	30 °C	40 °C	50 °C
0	n	n	n	n	n	n	n	n	n
7	n	n	n	n	n	n	n	n	n
14	n	slightly dark	n	n	n	n	n	abnormal/ moist	slightly abnormal/ moist
21	n	dark	slightly dark	n	slightly rancid	slightly rancid	n	abnormal/ moist	abnormal/ moist
28	n	dark	dark	n	rancid	rancid	n	abnormal/ moist	abnormal/ moist

Note : n means normal

3.7 อายุการเก็บรักษาน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปในสภาวะเร่งด้วยวิธี Q10

จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ดัง Table 7 พบว่า อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คือ 14 วัน ผลิตภัณฑ์เริ่มมีลักษณะเสื่อมเสียทางกายภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กล่าวคือ มีสีคล้ำขึ้น ผลิตภัณฑ์ชื้นและเปียก มีกลิ่นหืน และลักษณะทาง

เนื้อสัมผัสนิ่ม ไม่ร่วนเป็นผง เมื่อทดสอบตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาเป็นจำนวน 21 วัน จะเห็นได้ว่า ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารทำให้เกิดกลิ่นหืน อีกทั้งมีสีน้ำตาลคล้ำขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ของน้ำตาลชนิด reducing sugar กับโปรตีน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ดังนั้นสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิคือ 30 องศาเซลเซียส (θT) ซึ่งพบว่า สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นระยะเวลา 31 วัน ซึ่งคำนวณจากผลของข้อมูลอายุการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ผ่านสมการ (3) โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$Q_{10} = \theta_{S(T)} / \theta_{S(T+10)} \text{ และ } Q_1 = Q_{10}^{0.1} \qquad (3)$$

$$Q^{\Delta T} = \theta_{S(T)} / \theta_{S(T+\Delta T)}$$

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส/ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

$= 21/14$

$= 1.5$

จาก $Q_1 = Q_{10}^{0.1}$

$= 1.5^{0.1}$

$= 1.0414$

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาได้จากสมการ

$Q^{\Delta T}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส/ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส = $Q^{\Delta T}$ x อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (วัน)

$= 1.0414^{20}$ x 14 วัน

$= 2.2509$ x 14 วัน

$= 31.51$ วัน

บทสรุป

การพัฒนาสูตรต้นแบบน้ำพริกอ่องสด เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่มีการคืนรูปที่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำพริกอ่องที่ 1:1 มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำพริกอ่องสด นอกจากนี้น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เถ้า และปริมาณความชื้นร้อยละ 25.9, 50.2, 17.2, 4.36 และ 2.32 ตามลำดับ และมีค่าพลังงาน 624.3 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปมีคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมเทียบเท่าน้ำพริกอ่องสดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ในการคำนวณอายุการเก็บรักษาของน้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในสภาวะเร่งด้วยวิธี Q10 ยังมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 33 วัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากผลงานวิจัยนี้ สามารถนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการอาหาร เพื่อผลิตและจำหน่ายต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้การสนับสนุนงบประมาณงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. มาลัยพร วงค์แก้ว, โบว์ ถิ่นโพธิ์วงศ์, เอกรินทร์ อินประมูล, ณัฐธินี สาลี, กันยวิชญ์ กันจินะ, สุรีรัตน์ ถมยา, และคณะ. การผลิตน้ำพริกอ่องเป็ดอี๋เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท. วารสารเกษตร. 2565;38(1):149-58.
2. Krusong W. Food preservation and processing. In: Food Preservation and Processing. Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi; 1996. p. 91-113.
3. นภาพร ดีสนาม, อรทัย บุญทะวงศ์, ชณิชา จินาการ, วิไลวรรณ ชูเกียรติภิญโญ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องกึ่งสำเร็จรูป. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ฉบับพิเศษ. 2555;35(1):93-103.
4. พิมพ์สิรี สุวรรณ, มโน สุวรรณคำ. การพัฒนาและประเมินอายุการเก็บรักษาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2564;26(3):1692-706.
5. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์; 2550.
6. ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, ชณิชา จินาการ, สุรพล ใจวงศ์ษา. การพัฒนาสำรับอาหารชุดล้านนาเพื่อสุขภาพในรูปแบบของ Tailor-made เพื่อเสริมสร้างเอกลักษณ์ให้แก่ชุมชน [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์]. ลำปาง: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2562.
7. Mizrahi S. Understanding and measuring the shelf life of food. Westport: F&N Press; 2004.
8. AOAC Official Methods of Analysis.22th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Maryland: U.S.A.; 2023.

9. Darryl MS, Donald EC. AOAC Methods of Analysis for Nutrition Labeling; 1993. p.8 and p.106.
10. Labuza TP, Schmidl MK. Accelerated shelf life testing of foods. Food Technol. 1985;39(9):57-64.
11. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง น้ำพริกปลาร้า มผช. 131/2566. 2566.
12. ชุลีพร ชำนาญค้า, สิรินาฏ เนติศรี, บุศราวรรณ ไชยะ. การพัฒนาผลิตภัณฑน้ำจิ้มแจ่วขมแบบผง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2566;28(3):1879-94.
13. Vibulsresth P, Trevanich S. Microorganism in Food. In. Food Science and Technology. Bangkok: Kasetsart University Publishing; 2003. p. 48-64.
14. Kluczkovski AM, Kluczkovski Junior A. Aflatoxin in fish flour from the Amazon region. In M., RazzaghiAbhyaneh. (Ed), Aflatoxins-Recent Advances and future prospects. Iran: Pasteur Institute of Iran; 2013.
15. ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, ณัฏฐิกา ศิลาลาย, ธนากรณ์ เชื้อวงษ์ดี. กรรมวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายครีมเทียมผงจากแป้งข้าวด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561;28(1):73-85.
16. สิริมา ชินสาร, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, นิสานารถ กระแสร์ชล, มุทิตา แคนมั่น, อาภาพรรณ ฉลองจันทร์. ผลของกระบวนการผลิตต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 2562;5(1):41-51.
17. พรพิไล นิยมเวช, ปฐมพร สรรพสิทธิ์, อติกานต์ วารี, เพ็ญศิริ คงสิทธิ์. การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รีกึ่งสำเร็จรูป. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2561;23(3):1638-1654.
18. Kaur C, George B, Deepa N, Jaggi S, Kapoor HC. Viscosity and quality of tomato juice as affected by processing methods. J Food Qual. 2007;30:864-877.
19. Thai Industrial Standards Institute. Community Product Standard: Namphrik Ong No. 292/2023. Published documents, Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, Bangkok; 2023.
20. Labuza TP, Tannenbaum SR, Karel M. Water content and stability of low moisture and intermediate-moisture foods. J Food Technol. 1970;24(5):543-50.
21. Helen H, Onyeaka Ozioma FN. Chapter 2 - Food ecology and microbial food spoilage. In: Helen N, Onyeaka Ozioma FN, editors. Food Preservation and Safety of Natural Products, Academic Press; 2022.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ธณัฐพล เวียงสิมมา[1], ภาพิมล ประจงพันธ์[1], ภัทรภร ภควีระชาติ[1] และ ธนวิทย์ ลายิ้ม[1*]

[1]คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : tanavit.l@mail.rmutk.ac.th
รับเมื่อ 7 กรกฎาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 24 กันยายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 27 กันยายน 2567

จุดเด่น

- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารทางเลือกจากเนื้อเปลือกส้มโอเหลือใช้
- กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ในครัวเรือน
- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอพร้อมใช้ เติมในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด ไม่มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหารเดิม
- ผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้ไม่น้อยกว่า 20 วัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยการนำเนื้อเปลือกส้มโอส่วนสีขาวมาขจัดรสขมโดยการนำมาปั่นแล้วนำมากรอง และนำมาต้มด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออก นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ผ่านกระบวนการมาผสมน้ำเชื่อมข้าวโพด 20, 30 และ 40 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 700 วัตต์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 และ 3 นาที เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำเชื่อมที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้มีสีแตกต่างกัน ค่า L^* C^* และ h แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.961 ถึง 0.983 ค่า pH ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.62 ถึง 5.89 จากผลการทดสอบในด้านต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างที่ 4 (น้ำเชื่อมข้าวโพดที่ร้อยละ 20 และมีระยะเวลาให้ความร้อนที่ 2 นาที) มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้เวลา 3 นาที มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ปริมาณใยอาหารร้อยละ 15.04 เถ้าร้อยละ 0.59 โปรตีนร้อยละ 0.50 ไขมันร้อยละ 0.04 ความชื้นร้อยละ 69.64 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 29.24 และพลังงานทั้งหมด 119.30 กิโลแคลอรี โดยมีปริมาณพลังงานจากไขมัน 0.36 กิโลแคลอรี เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอในอุณหภูมิห้องระยะเวลา 20 วัน และทำการตรวจเชื้อทุก 5 วัน พบว่า ปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราและยีสต์เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ : เนื้อเปลือกส้มโอ ใยอาหาร ความมั่นคงทางอาหาร

Development of dietary fiber products from pomelo peels

Thanutpon Wiengsimma[1], Papimon Prachongpun[1], Pattarabhorn Pakaweerachat[1], and Tanavit Layim[1*]

[1]Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand
*Corresponding author, e-mail : tanavit.l@mail.rmutk.ac.th
Received 7 July 2024; **Revised** 24 September 2024; **Accepted** 27 September 2024

Highlights

- Alternative dietary fiber products from leftover pomelo peels
- The production is simple, and can be done at home
- Pomelo peel dietary fiber product can be added to a variety of food products without affecting the color, odor, and taste
- Pomelo peel dietary fiber product can be stored at room temperature for at least 20 days

Abstract

This research aimed to developed the pomelo peel dietary fiber (PDF) product. The white part of the pomelo peel has been blended, filtered and then boiling in an electric stove using 1,000 W at 100 °C for 5 min to removed the bitterness. It was filtered and centrifuged to removed the water. The processed pomelo peel was mixed with the corn syrup at 20, 30 and 40 g per 100 g peel, and microwaved using 700 W for 2 and 3 min to studied the effect of corn syrup ratio and microwave heating time on the physical, chemical and shelf life of the PDF product.

The results found that the *L**, *C**, *h* color value and the pH values (5.62-5.89) of PDF were significantly different ($p<0.05$) while the water activity (a_w) were in the range of 0.961-0.983 and not significantly different between samples. The sample No. 4 (20% corn syrup) with 2 min and 3 min microwave heated had low a_w and not significantly different from each other. The chemical analysis of 100 g of sample has 15.04 g of total dietary fiber, 0.59 g of ash, 0.50 g of protein, 0.04 g of fat, 69.64 g of moisture, 29.24 g of carbohydrate, total energy of 119.30 Kcal and 0.36 Kcal energy from fat. The PDF product was stored at room temperature for 20 days and sampling for microbiological tests every 5 days. It was found that the corn syrup and microwave heating could inhibited the growth of mold and yeast compared to the control sample.

Keywords : pomelo albedo, dietary fiber, food security

บทนำ

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ให้ความหมายของความมั่นคงทางอาหารไว้คือ ความพอเพียง (availability) ของอาหารในประเทศ การเข้าถึง (access) โดยที่ประชาชนสามารถเข้าถึงอาหารที่มีโภชนาการที่ดีตามความเหมาะสมของตน การใช้ประโยชน์ (utilization) การนำวัตถุดิบมาใช้ให้มีความคุ้มค่าสูงสุด และเสถียรภาพ (stability) โดยประชาชนในประเทศยังมีอาหารเพียงพอต่อการบริโภคและมีโภชนาการที่เหมาะสม[1] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.)[2] ได้รวบรวมข้อมูลและนำเสนอสถานการณ์โลกในภาพรวมยังมีประชากรในบางประเทศขาดแคลนอาหารประมาณ 800 ล้านคน ในแต่ละประเทศมีอาหารที่ถูกทิ้ง (food waste) ประมาณ 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตขึ้น ซึ่งในแต่ละปีมีอาหารในกลุ่มนี้มากถึง 1,300 ล้านตัน และปัญหาขยะอาหารเหล่านี้เริ่มส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปี มีรายงานว่าปริมาณขยะมูลฝอยกว่า 26.77 ล้านตัน ซึ่งในปริมาณนี้มีขยะอาหารถึงร้อยละ 64 เฉพาะในกรุงเทพฯ มีปริมาณขยะมูลฝอย 9,000 ตัน/วัน จำนวนนี้มีขยะอาหารร้อยละ 50 อีกทั้งการจัดการขยะด้วยวิธีฝังกลบที่ไม่ถูกต้องของประเทศที่มากขึ้น 2,024 แห่ง จากที่มีทั้งหมด 2,490 แห่ง จึงก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษจากขยะสู่ดิน แหล่งน้ำ ทั้งบนดินและใต้ดินเป็นแหล่งนำเชื้อโรคที่เกิดขึ้นจากกองขยะมูลฝอย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีโครงการผลักดันให้การจัดการขยะมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเรื่องขยะจากเดิมที่เน้นการขจัดทิ้งมากที่สุดมาเป็นเน้นเรื่องการลดสร้างขยะตั้งแต่ต้นทาง[3-4] ประเทศไทยมีการเพาะปลูกสินค้าการเกษตรเพื่อใช้ในการบริโภคและส่งออก โดยในการส่งออกสินค้าเกษตรไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2564 เป็นอันดับ 8 ของโลก กลุ่มสินค้าเกษตรส่งออกสำคัญของไทยที่มีอัตราการขยายตัวของกลุ่มเครื่องเทศและสมุนไพร ผัก และผลไม้[5] ส่งผลให้มีวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกผลไม้ที่เหลือทิ้งจากการหั่นตัดแต่ง ซึ่งในผลไม้บางชนิดสามารถนำเปลือกมาบริโภคได้และมีคุณค่าทางโภชนาการ

ส้มโอเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีการปลูกอยู่หลายจังหวัด จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการปลูกอยู่มากในจังหวัดสมุทรสงคราม เชียงราย นครปฐม และพิจิตร เป็นต้น รวมผลผลิตต่อปี พ.ศ. 2564 มีจำนวน 171,482,090.98 กิโลกรัม[6] ซึ่งผลส้มโอโดยทั่วไปจะบริโภคเฉพาะในส่วนเนื้อเป็นหลัก แต่ส่วนเปลือกจะถูกทิ้งเป็นขยะ ผู้วิจัยได้ใช้ส้มโอสายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท เนื่องจากมีผลขนาดใหญ่ เปลือกหนามากกว่า 3 เซนติเมตร มีส่วนที่สูญเสียจำนวนมาก ถ้านำเปลือกส่วนขาวมาผ่านกระบวนการในการขจัดรสขมออกแล้วนำมาเพิ่มมูลค่าทำเป็นผลิตภัณฑ์ใยอาหารใช้เป็นส่วนผสมในการประกอบอาหาร เนื่องจากเนื้อเปลือกส้มโออุดมไปด้วยใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 89.64 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 53.27 และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 36.37[7] นอกจากนี้ใยอาหารจากเปลือกส้มโอยังมีความสามารถในการเก็บกักน้ำและเพิ่มเนื้อสัมผัสในอาหารได้[8] หรือ

นำมาเสริมโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ[9] คุกกี้เนยสดเสริมเปลือกส้มโอ[10] เต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ[11] การพัฒนาอาหารเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มนั้นมีความน่าสนใจ ดังนั้นควรมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่เข้าถึงได้ง่าย ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในครัวเรือน การใช้ส่วนผสมทางอาหารที่มีความเข้มข้นที่ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล น้ำเชื่อมข้าวโพด หรือสารให้ความหวานชนิดอื่น ๆ ส่วนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ได้รับความสนใจอย่างมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งมุ่งหวังที่จะผลิตผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานในระดับอุตสาหกรรมผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่รวดเร็ว[12]

จากเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง เพื่อเป็นการลดวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ อีกทั้งเป็นการสร้างฐานข้อมูลพื้นฐานวัตถุดิบอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ และเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจด้านสุขภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

1. เนื้อเปลือกส้มโอ สายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท
2. น้ำเชื่อมข้าวโพด ตราซองจองวอน
3. น้ำ (น้ำกรอง)

เครื่องมืออุปกรณ์

1. เครื่องปั่นอเนกประสงค์ Philips Series 500
2. เตาไฟฟ้า ELECTROLUX รุ่น ETD29KC
3. เตาไมโครเวฟ SHARP R-46PS
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น VALOR 1000 (V11P3)
5. มีด
6. กระชอนกรอง
7. ผ้าขาวบาง

วิธีการ

1. ศึกษากระบวนการขจัดรสขมของเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

การเลือกสายพันธุ์ส้มโอเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยพิจารณาจากสายพันธุ์ที่มีเปลือกหนาและเนื้อเปลือกมีสีขาว ส้มโอสายพันธุ์ขาวแตงกวา จังหวัดชัยนาท มีความเหมาะสมเป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากเนื้อเปลือกมีสีขาวเป็นฟองนุ่มไม่แข็งเกินไป จัดหาได้ง่าย เป็นที่รู้จักของผู้บริโภคทั่วไป จากนั้นทำการขจัดรสขมของเปลือกส้มโอโดยดัดแปลงจากวันเพ็ญ แสงทองพินิจ[13] โดยการเตรียมเปลือกส้มโอเฉพาะส่วนเนื้อเปลือกส้มโอ (albedo) หั่นชิ้น 2x2 ซม. นำมาปั่นกับน้ำเปล่าในอัตราส่วน เนื้อเปลือกส้มโอ 200 กรัม ต่อน้ำ 1,500 กรัม และกรองด้วยผ้าขาวบาง นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ได้ใส่ในอ่างผสมเติมน้ำ 2,000 กรัม ใช้ไม้พายยางคนเป็นเวลา 2 นาที กรองน้ำออกด้วยผ้าขาวบาง ทำซ้ำจำนวน 2 ครั้ง แล้วนำเปลือกส้มโอที่ได้มาต้มกับน้ำเปล่า 2,000 กรัม ที่อุณหภูมิ

100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที กรองน้ำออกจากเนื้อเปลือกส้มโอ และนำเปลือกส้มโอใส่ลงในน้ำอุณหภูมิห้อง 2,000 กรัม คนเนื้อเปลือกส้มโอ 2 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและนำส่วนเนื้อเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง โดยมีความเร็วที่ 1250 rpm เป็นเวลา 7 นาที นำเนื้อเปลือกส้มโอที่ได้ทำการศึกษาต่อ

2. ศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

วางแผนทดลองแฟคทอเรียล 3x3 ได้ 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง โดยทำการศึกษาใน 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนน้ำเชื่อมข้าวโพด 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 กรัม ต่อเนื้อเปลือกส้มโอ 100 กรัม แล้วนำมาบรรจุในกระปุกแก้ว ปริมาณกระปุกละ 100 กรัม และเวลาในการอบในไมโครเวฟแบบต่อเนื่องโดยใช้กำลังไฟ 700 วัตต์[14] เวลา 2 นาที และ 3 นาที และไม่ผ่านความร้อน จากนั้นดำเนินการตรวจสอบคุณภาพเพื่อเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม ดังนี้

2.1 วัดค่าสี (*L* C* h*) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าสี Color Quest XE Spectrophotometer โดยใช้เครื่อง Hunterlab Ultra Scan VIS ประเทศสหรัฐ-อเมริกา ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา

2.2 วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ NOVASINA รุ่น Lab Master-aw

2.3 ค่า pH โดยนำตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ผสมน้ำกลั่นปริมาณ 10 กรัม ผสมโดยใช้เครื่องผสมสารเป็นเวลา 1 นาที และนำมาวัดค่าโดยใช้เครื่องยี่ห้อ SI Analytics Lab 845 ประเทศเยอรมนี

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าสี ค่าน้ำอิสระ และค่า pH โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลหาความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ของตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างควบคุมอีก 1 ตัวอย่าง ทำการวัดค่าจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาต่อ

3. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

3.1 ศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) AOAC. (2019) 985.29.[15]

3.2 ศึกษาองค์ประกอบปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC. (2019) 920.153.[16]

4. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

โดยใช้วิธีการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (standard plate count) ด้วยวิธี pour plate technique ในระยะเวลา 20 วัน โดยสุ่มตรวจทุก 5 วัน นับจำนวนจุลินทรีย์ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนี 25-250 โคโลนี จะทำให้สามารถคำนวณหาเชื้อจุลินทรีย์ต่อมิลลิลิตร[17] ได้ดังนี้

CFU/ml = ค่าเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ x ค่าผกผันของ dilution

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยทำการศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด ระยะเวลาให้ความร้อนที่เหมาะสม และศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

จาก Table 1 เปรียบเทียบค่าสีของเนื้อเปลือกส้มโอ แสดงให้เห็นว่าค่า *L** ที่สามารถบอกค่าความสว่างของสีตัวอย่างพบว่า ค่า *L** มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.66-88.97 โดยระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *L** โดยเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า *L** เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า *L** ลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำเชื่อมข้าวโพด เกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่างส่งผลต่อค่าการกระเจิงของแสงทำให้เกิดการกระเจิงแสงน้อยลง[18] ค่า *C** ความเข้มของสีพบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.94-12.13 โดยระยะเวลาการให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *C** ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และค่า *h* เฉดสีโดยมีมุมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 94.61-98.73 โดยระยะเวลาให้ความร้อนส่งผลต่อค่า *h* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อน 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 2 นาที โดยสีของเนื้อเปลือกส้มโออยู่ในโทนสีเขียวอ่อน ตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลต่อสีที่ลดลงจากรงควัตถุถูกทำลายเพิ่มขึ้น[19]

Table 1 Color value of pomelo peel pulp with syrup concentration and different microwave heating time

Example	Syrup concentration (g/100 g pomelo peel)	Microwave heating time (minutes)	*L**	*C**	*h*
Control	0	0	88.97±0.47^{a}	9.66±0.12^{cd}	96.37±0.68^{bc}
1	20	0	83.81±0.34^{f}	8.94±0.27^{d}	98.26±0.53^{a}
2	30	0	81.44±0.52^{g}	9.14±0.62^{d}	98.62±0.35^{a}
3	40	0	75.66±0.08^{h}	10.04±0.26^{c}	98.73±01.05^{a}
4	20	2	85.44±0.24^{d}	11.44±0.55^{ab}	96.59±0.12^{b}
5	30	2	84.59±0.30^{e}	10.98±0.28^{b}	96.84±0.41^{b}
6	40	2	81.51±0.20^{g}	11.41±0.50^{ab}	97.10±0.25^{b}
7	20	3	87.74±0.08^{b}	11.26±0.70^{b}	95.59±0.59^{cd}
8	30	3	88.22±0.27^{b}	11.41±0.21^{ab}	94.61±0.36^{d}
9	40	3	86.85±0.43^{c}	12.13±0.39^{a}	95.12±0.18^{de}

Note : $^{a-h}$ has different letters vertically. indicates a statistically significant difference ($p\leq0.05$)

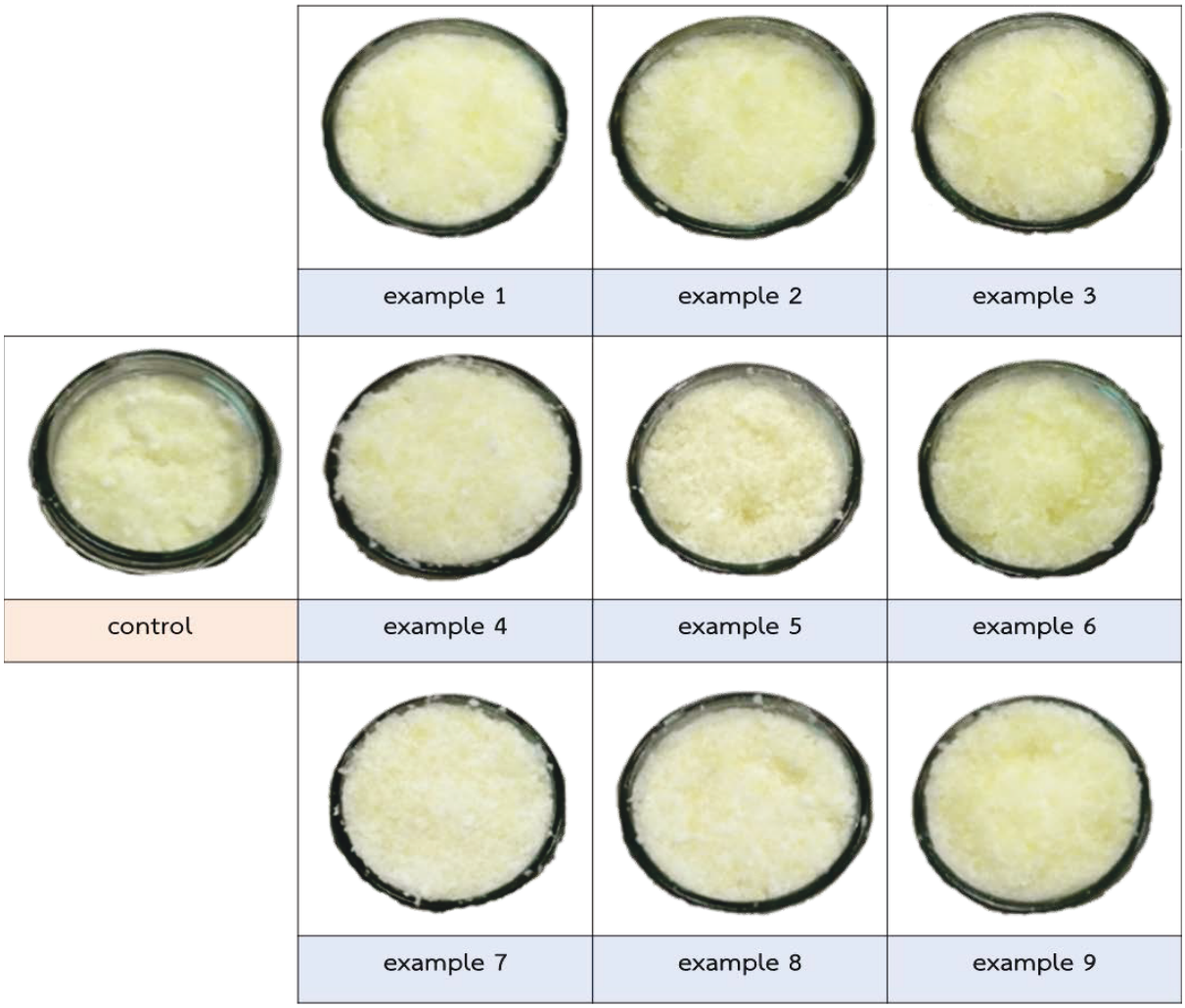


Figure 1 Appearance of pomelo peel pulp with syrup concentration and different microwave heating time

Note : control = syrup concentration 0 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 1 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 2 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 3 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 0 minute
example 4 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 5 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 6 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 2 minutes
example 7 = syrup concentration 20 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes
example 8 = syrup concentration 30 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes
example 9 = syrup concentration 40 g /100 g pomelo peel, microwave heating time 3 minutes

Table 2 Free water content (a_w) and pH of pomelo peel fibers

Example	Syrup concentration (g/100 g pomelo peel)	Microwave heating time (minutes)	a_w	pH
Control	0	0	0.982±0.01^{a}	5.62±0.04^{d}
1	20	0	0.983±0.00^{a}	5.89±0.01^{a}
2	30	0	0.977±0.00^{ab}	5.88±0.05^{a}
3	40	0	0.970±0.00^{bc}	5.89±0.03^{a}
4	20	2	0.967±0.00^{cd}	5.81±0.02^{b}
5	30	2	0.964±0.00^{cd}	5.80±0.02^{bc}
6	40	2	0.962±0.00^{d}	5.80±0.02^{bc}
7	20	3	0.967±0.00^{cd}	5.80±0.02^{bc}
8	30	3	0.963±0.00^{cd}	5.79±0.02^{bc}
9	40	3	0.961±0.00^{d}	5.75±0.05^{c}

Note : $^{a-d}$ have different letters vertically indicates a statistically significant difference ($p \leq 0.05$)

จาก Table 2 ทำการเปรียบเทียบค่าน้ำอิสระของเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอพบว่า ตัวอย่างที่มีระยะเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน และมีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดแตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระแตกต่างกัน โดยเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณค่าน้ำอิสระลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจากการเพิ่มของปริมาณน้ำเชื่อมจะไปจับพันธะกับน้ำอิสระทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง[20] ส่งผลต่ออายุการเก็บที่ยาวนานขึ้นของผลิตภัณฑ์ และการเปรียบเทียบค่า pH ของเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอ พบว่า ตัวอย่างที่มีระยะเวลาให้ความร้อนที่แตกต่างกัน และมีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพดที่แตกต่างกันมีค่า pH ต่างกันในตัวอย่างที่ 4 และตัวอย่างที่ 9 มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ให้ความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านความร้อนพบว่า ค่า pH ของตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื้อเปลือกส้มโอเมื่อผ่านการปรุงส่งผลให้ค่า pH ของเนื้อเปลือกส้มโอสูงขึ้น

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอในด้านสีตัวอย่างมีค่า L^* ที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำเชื่อมที่สูงขึ้น เมื่อให้ความร้อนในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่า C^* ของเนื้อเปลือกส้มโอเพิ่มขึ้นด้วย และระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้ค่า h ที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีระยะเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน ปริมาณน้ำอิสระพบว่า ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.961 ถึง 0.967 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบในค่า pH ของตัวอย่างเส้นใยเนื้อเปลือกส้มโอ พบว่า ค่า pH ของตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนด้วย

ไมโครเวฟกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.62 ถึง 5.89 โดยค่า pH แสดงให้เห็นถึงความเป็นกรดที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านความร้อนอย่างตัวอย่างควบคุม

จากกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิต ตัวอย่างของเส้นใยเปลือกส้มโอ ค่า a_w ไม่มีความแตกต่าง ค่า pH แตกต่างกันในบางตัวอย่าง แต่อาจมีความแตกต่างในส่วนของค่าสีเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตา ผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่างที่ 4 ที่มีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม และมีระยะเวลาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 นาที เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณเนื้อเปลือกส้มโอมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ จากการนำเนื้อเปลือกส้มโอที่ผสมน้ำเชื่อมข้าวโพดแล้วแบ่งบรรจุใส่ในขวดโหลแก้วในน้ำหนัก 100 กรัม/ขวด และมีระยะเวลาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 นาที ซึ่งใช้พลังงานที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่น นำมาศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

2. ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูง

ผลการศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน ความชื้น คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ แสดงดัง Table 3

Table 3 Results of the study of chemical quality of pomelo peel products

Nutrients	Quantity/100 grams	
	Control	Example 4
Moisture	84.75±0.05*	69.64±0.07
Fat^{ns}	0.01±0.00	0.04±0.00
Energy from Fat^{ns}	0.00±0.00	0.36±0.00
Protein^{ns}	0.47±0.00	0.50±0.00
Carbohydrate	14.28±0.06	29.24±0.08*
Total Dietary Fiber	11.65±0.03	15.04±0.15*
Ash^{ns}	0.58±0.01	0.59±0.01
Total Energy	58.59±0.36	119.30±0.31*

Note : ^{ns}indicate no statistically significant difference (p>0.05)

*represents the highest average

จาก Table 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ ตัวอย่างที่ 4 มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม มีปริมาณไขมัน พลังงานจากไขมัน โปรตีน และเถ้า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตัวอย่างควบคุม แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ใยอาหารทั้งหมด และพลังงานทั้งหมด สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

เนื้อเปลือกส้มโอ และสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารได้[21] ทั้งนี้เกิดจากลักษณะทางกายภาพของเนื้อเปลือกส้มโอส่วนขาวที่มีความนุ่มฟู เพียงขจัดรสขมออกทำให้เกิดใยอาหารที่มีคุณภาพได้[22]

3. ผลอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากเนื้อเปลือกส้มโอที่เหมาะสม

จากการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยการเก็บตัวอย่างในอุณหภูมิห้องโดยใช้เวลา 20 วัน และมีการสุ่มตัวอย่างมาทำการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ในวันที่ 0 วันที่ 4 พบว่า มีเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างควบคุม

Table 4 รายงานจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอ เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน พบว่า ตัวอย่างที่ 4 เมื่อเก็บในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 20 วัน (โดยมีการตรวจเชื้อทุก 5 วัน) ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนไม่พบเชื้อราและยีสต์ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมพบว่า มีเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ตั้งแต่วันที่ 1 และมีแนวโน้มว่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เก็บรักษา การพาสเจอไรซ์โดยใช้เตาไมโครเวฟกำลังไฟ 700 วัตต์ ระยะเวลานาน 2 นาที สามารถควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ และเมื่อเพิ่มกำลังไฟที่ใช้สามารถทำการพาสเจอไรซ์ผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงวิธีการต้มแบบทั่วไป[23]

Table 4 Results of the study of microbial counts of pomelo peel products over a period of 20 days

Day	Number of microorganisms (colonies per cubic centimeter)			
	Control		Example 4	
	PCA (Microorganism)	PDA (Yeast & mold)	PCA (Microorganism)	PDA (Yeast & mold)
1	$2.43\pm0.40\times10^{6}$	$1.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
5	$3.47\pm0.15\times10^{5}$	$2.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
10	$5.33\pm0.58\times10^{5}$	$2.00\pm0.00\times10^{1}$	Not found	Not found
15	$1.57\pm0.06\times10^{3}$	$4.67\pm0.58\times10^{2}$	Not found	Not found
20	$5.33\pm0.58\times10^{6}$	$5.33\pm0.58\times10^{3}$	Not found	Not found

Note : PCA = measures the number of bacteria, yeasts and molds that grow aerobically
PDA = measures the number of yeasts and molds

บทสรุป

จากการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอพบว่า ตัวอย่างที่ 4 ที่มีปริมาณน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 กรัมต่อเปลือกส้มโอ 100 กรัม และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที มีความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเปลือกส้มโอใยอาหารสูงเนื่องจากมีการใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่าตัวอย่างอื่น และมีปริมาณเนื้อเปลือกส้มโอมากกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีพบว่า ตัวอย่างที่ 4 ที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมีค่าน้ำอิสระต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการ และอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างที่ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานาน 20 วัน ไม่พบเชื้อราและยีสต์ เกิดจากปัจจัยความเข้มข้นของน้ำเชื่อมข้าวโพด และการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถฆ่าเชื้อในเบื้องต้นได้[23]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่อำนวยสถานที่ในการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. ความมั่นคงทางอาหาร สิ่งที่ทุกคนควรได้รับอย่างเพียงพอ. [อินเทอร์เน็ต]. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน); 2663 [เข้าถึงเมื่อ 29 ม.ค. 2566]; เข้าถึงได้จาก: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=50
2. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). ความสูญเสีย (Food loss) กับ ความสูญเปล่า (Food waste). [อินเตอร์เน็ต]. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.); 2567 [เข้าถึงเมื่อ 20 ก.พ. 2567]; เข้าถึงได้จาก: https://warning.acfs.go.th/th/early-warning/view/?page=9334
3. โพสต์ทูเดย์. (2559, 10 พฤศจิกายน). มลพิษจากอาหารเหลือ. โพสทูเดย์. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก https://www.posttoday.com/lifestyle/464509
4. ภาพิมล ประจงพันธ์, ลลิตา ปานแก้ว, รังสิตา จันทร์หอม. การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมเสริมกระดูกปลาแซลมอนโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2566;18(3):151-64.
5. กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. (2564). การส่งออกสินค้าเกษตรของไทยกับประเทศคู่ FTA. ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเทศ.
6. กรมส่งเสริมการเกษตร ส้มโอ (12 มกราคม 2567). เข้าถึงได้จาก https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2015/02/som-oh.pdf
7. Ni J, Shangguan Y, Jiang L, He C, Ma Y, Xiong H. Pomelo peel dietary fiber ameliorates alterations in obesity-related features and gut microbiota dysbiosis in mice fed on a high-fat diet. Food Chem X. 2023 Dec;20(30):1-9.
8. Gamonpilas C, Buathongjan C, Kirdsawasd T, Rattanaprasert M, Klomtun M, Phonsatta N, Methacanon P. Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. Food Hydrocolloids Volume 120, November 2021.
9. กุลชญา สิ่วหงวน, ผกาวดี ภู่จันทร์, อารชา คำเพ็ญ, ภานุเดช อินประถม. การใช้เปลือกส้มโอผงเพื่อเสริมใย อาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบ. PSRU Journal of Science and Technology. 2560;2(1):14-23.
10. นราธิป ปุณเกษม. การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ. วารสารวิจัย มสด. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2559;9(1):35-49.
11. ธีรนุช ฉายศิริโชติ, สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี. การพัฒนาเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต; 2558.
12. Soni A, Smith J, Thompson A, Brightwell G. Microwave-induced thermal sterilization A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods. Trends in Food Science & Technology. 2020;97.

13. วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. การผลิต และคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. Proceeding of the 1st NPRU Academic Conference. 2551.
14. Jaynes HO. Microwave pasteurization of milk. J Food Prot. 1975;38(7):386-7.
15. บุษบา มะโนแสน, จิรรัชต์ กันทะขู้, จริยา มามาตร, พรพรรณ ธิตา. ผลของไมโครเวฟต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแคบกึ่งสำเร็จรูป. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54; 2559 กุมภาพันธ์ 2-5; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559;872-8
16. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis of AOAC. International.21st Edition, AOAC, Washington DC. 2019.
17. FAO, Manual of Food Quality Control, 4. Review, Microbiological Analysis FAO Food and Nutrition paper. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. 1992.
18. อังศิมา ศิริวัฒนาศิลป์. ผลของสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างระดับจุลภาคของ. [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2564.
19. นิธิมา อรรถวานิช. ใยอาหารผงจากส้มและการประยุกต์. [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2544.
20. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. วารสารจาร์พา. 2546;9(68):39-46.
21. Fernández-Ginés JM, Fernández-López J, Sayas-Barberá E, Sendra E, Pérez-Álvarez JA. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. Meat Science. 2004;67(1):7-13.
22. เนาวกูล บงกชรัตน์. การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขมและการใช้ประโยชน์ในไอศกรีมนม. บัณฑิตวิทยาลัย, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2553.
23. Stratakos AC, Delgado-Pando G, Linton M, Patterson MF, Koidis A. Industrial scale microwave processing of tomato juice using a novel continuous microwave system. Food Chemistry, 2016;622-8.

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อผลิตซี-ไฟโคไซยานิน

มิวลิกา อินทอง[1] และ วนิดา ปานอุทัย[2*]

[1]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th
รับเมื่อ 4 มีนาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 17 มิถุนายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 8 กรกฎาคม 2567

จุดเด่น

- การเพิ่มปริมาณซี-ไฟโคไซยานินด้วยกระบวนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า
- การสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานินภายใต้สภาวะเครียด
- คุณสมบัติสำคัญของซี-ไฟโคไซยานินและการประยุกต์ใช้

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสาหร่ายสไปรูลิน่าได้รับความนิยมทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และทางการแพทย์ โดยสาหร่ายสไปรูลิน่าสามารถผลิตสารสำคัญซี-ไฟโคไซยานินได้ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่ามีปัจจัยภายนอกที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณสารซี-ไฟโคไซยานินและการผลิตชีวมวลเซลล์ เช่น ความเข้มแสง ความเข้มข้นของไนเตรต พีเอช และอุณหภูมิ เป็นต้น นอกจากนี้การเลือกสภาวะและชนิดของสารอาหารที่ส่งผลต่อสภาวะเครียดของเซลล์ ย่อมส่งผลต่อการสะสมซี-ไฟโคไซยานินผ่านวิถีการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานินภายใต้สภาวะเครียด โดยที่สารสำคัญซี-ไฟโคไซยานินมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และลดคอเลสเตอรอล ด้วยคุณสมบัติที่น่าสนใจเหล่านี้จึงมีการประยุกต์ใช้ซี-ไฟโคไซยานินเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนั้นสาหร่ายสไปรูลิน่าถือว่าเป็นแหล่งของซี-ไฟโคไซยานินที่มีศักยภาพ

คำสำคัญ : ซี-ไฟโคไซยานิน สาหร่ายสไปรูลิน่า กระบวนการเพาะเลี้ยง

C-phycocyanin production from *Spirulina* cultivation

Millika Intong[1], and Wanida Pan-utai[2*]

[1]Department of Microbiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University

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

*Corresponding author, e-mail : ifrwdp@ku.ac.th

Received 4 March 2024; **Revised** 17 June 2024; **Accepted** 8 July 2024

Highlights

- Enhancement of C-phycocyanin from *Spirulina* cultivation
- Accumulation of C-phycocyanin through metabolic stress
- Biological properties of C-phycocyanin and application

Abstract

Spirulina is currently popular in the food, cosmetic and medical industries. *Spirulina* can produce the important bio-substance C-phycocyanin. *Spirulina* cultivation has extrinsic factors for improving C-phycocyanin and biomass production, such as light intensity, nitrate concentration, pH, and temperature. In addition, the optimum conditions and nutrients had affected cell stress conditions. High-content C-phycocyanin accumulated through the C-phycocyanin synthesis pathway under stress conditions. C-phycocyanin has important biological properties, including antioxidant, anti-inflammatory, and cholesterol reduction properties. Due to these attractive properties, the application of C-phycocyanin is increasing in various industries. Therefore, *Spirulina* is considered a potential source of C-phycocyanin.

Keywords : C-phycocyanin, *Spirulina*, cultivation

บทนำ

สาหร่ายขนาดเล็กเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตสารประกอบที่มีคุณค่าหลากหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน รงควัตถุ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น สาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และมีการเพาะเลี้ยงในระบบเปิดขนาดใหญ่มาเป็นระยะเวลานาน เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารทั้งของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากมีสารอาหารสูงและสามารถย่อยได้ง่าย[1] ตลาดมีความต้องการสารสำคัญมูลค่าสูงจากธรรมชาติ โดยเฉพาะสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ เม็ดสีและสารโภชนเภสัช มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์และคาดการณ์ว่า ความต้องการของตลาดจะยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตลาดทั่วโลกของโปรตีนจากสาหร่ายขนาดเล็กคาดว่าจะมีมูลค่าถึง 840 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐภายในปี ค.ศ. 2023 ในขณะที่รงควัตถุสีฟ้าซี-ไฟโคไซยานิน (C-phycocyanin) คาดว่า จะมีมูลค่าตลาดถึง 409.8 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐภายในปี ค.ศ. 2030 สาหร่ายสไปรูลิน่าอุดมไปด้วยโปรตีนสูงถึงร้อยละ 60-70 และเป็นแหล่งของซี-ไฟโคไซยานินประมาณร้อยละ 47 ของโปรตีนทั้งหมด ดังนั้นสาหร่ายสไปรูลิน่าจึงได้รับความสนใจและมีแนวโน้มสำหรับการผลิตโปรตีนและซี-ไฟโคไซยานินที่มีมูลค่าสูง[2] การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นหนึ่งกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการสะสมสารสำคัญซี-ไฟโคไซยานินภายในเซลล์ เพื่อให้ได้สาหร่ายสไปรูลิน่าที่มีปริมาณซี-ไฟโคไซยานิน และมีศักยภาพต่อการใช้ประโยชน์ตามคุณสมบัติทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาหร่ายสไปรูลิน่า

สาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina* หรือ *Arthrospira platensis*) จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียที่มีความสมบูรณ์ทางด้านโภชนาการ มีองค์ประกอบทางเคมีที่โดดเด่นทั้ง กรดอะมิโน วิตามิน เบต้าแคโรทีน กรดไขมันจำเป็น พอลิแซ็กคาไรด์ และโปรตีนที่มีมากถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิโปรตีน จึงทำให้สาหร่ายสไปรูลิน่าได้รับการประกาศให้เป็น “the best food for the future” จากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ในปี ค.ศ. 1993[3] การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อผลิตโปรตีนยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าในสภาวะควบคุมจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตโปรตีนจากสัตว์หรือพืช[4] นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลิน่ายังถือว่าเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่ดี เช่น เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม สังกะสี กรดฟีนอลิก และกรดซาลิไซลิก เป็นต้น อีกทั้งสาหร่ายสไปรูลิน่าไม่มีรายงานความเป็นพิษสำหรับมนุษย์[5]

ซี-ไฟโคไซยานิน

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-phycocyanin, C-PC) เป็นเม็ดสีธรรมชาติที่เรียกว่า bright-blue ซึ่งมีความเข้มข้นสูงในไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งประกอบด้วยโครโมฟอร์ (chromophores) และอะพอโปรตีน (apoproteins) ที่เชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งซี-ไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบหลักของไฟโคบิลิโซม (phycobilisome) มีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของไซยาโนแบคทีเรีย[6] ถึงแม้ว่าซี-ไฟโคไซยานินจะมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ แต่ซี-ไฟโคไซยานินยังมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมสูง ทั้งค่าความเป็นกรดด่าง แสง อุณหภูมิ และสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา ส่งผลให้คุณสมบัติของซี-ไฟโคไซยานินลดลงได้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้[7]

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อผลิตซี-ไฟโคไซยานิน

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่ามีสภาวะที่สำคัญหลายประการที่ส่งผลต่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน โดยสภาวะที่มีผลต่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานินนั้น ย่อมส่งผลต่อการผลิตโปรตีนและชีวมวลสาหร่ายด้วย สภาวะที่มีความสำคัญและส่งผลต่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานินเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ การควบคุมพีเอช ความเข้มแสง ความเข้มข้นของไนเตรต ความเข้มข้นของเกลือ อุณหภูมิ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า นอกจากนี้ยังมีชนิดของสารอาหารที่ส่งผลต่อความเครียดของเซลล์ และทำให้ซี-ไฟโคไซยานินมีการสะสมเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Condition of *Spirulina* cultivation for C-phycocyanin production

Microalgae	Conditions	C-phycocyanin	Protein	Biomass	References
S. platensis	pH 7.5 and CO_2	10%	18.75%	49 mg/l/d	(8)
S. platensis	pH 8.5 and CO_2	14%	64%	72 mg/l/d	(9)
S. platensis	pH 9.5 CO_2	13%	-	62 mg/l/d	(9)
S. platensis	Nitrate: 2.0 g g/l	-	-	1.44 g/l	(9)
S. platensis	Nitrate: 2.5 g/l Salinity: 1.5 g/l	-	-	3.50 g/l	(10)
S. platensis	Nitrate: 3.0 g/l	-	-	2.33 g/l	(10)
Spirulina strains LAMB171	CO_2 10%	-	-	272.12 mg/l/d	(10)
Spirulina strains LAMB172	CO_2 10%	-	-	265.45 mg/l/d	(11)

Table 1 (continued)

Microalgae	Conditions	C-phycocyanin	Protein	Biomass	References
Spirulina strains LAMB220	CO_2 10%	-	-	260.91 mg/l/d	(11)
S. platensis FACHB-314	Sodium glutamate 5 mM	0.34 mg/ml	-	13.37 g/l	(11)
S. platensis FACHB-314	Succinic acid 7.5 mM	0.311 mg/ml	-	13.37 g/l	(11)
C. caldarium	Biliverdin 30 mg/l	C-PC increased 12.7%	-	-	(12)
C. caldarium	Biliverdin 6 mg/l	C-PC increased 9.4%	-	-	(12)

วิถีการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานิน

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมสารสำคัญมูลค่าสูงภายในเซลล์สไปรูลิน่า ดังเช่น ไฟโคบิลิโปรตีน เบต้า-แคโรทีน คลอโรฟิลล์เอ เป็นต้น ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลให้สารสำคัญ หรือสารเมตาบอไลต์ที่สะสมภายในเซลล์สไปรูลิน่ามีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น การแปรปรวนของสภาพแวดล้อม สายพันธุ์ของสาหร่าย อาหารเลี้ยงสาหร่าย และการสะสมความเครียด เป็นต้น (Figure 1a) ในสภาวะที่สาหร่ายมีอาหารสมบูรณ์หรือขาดสารอาหารนั้นก่อให้เกิดความเครียดในการสะสมของสารเมตาบอไลต์ที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ความเครียดจากการขาดสารอาหารถือว่าเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการเพิ่มการสะสมของสารเมตาบอไลต์ในเซลล์สาหร่าย การเลือกสภาวะของสารอาหารจึงมีความสำคัญต่อการสะสมของสารเมตาบอไลต์ ดังนั้นการควบคุมการสะสมสารสำคัญไฟโคบิลิโปรตีน และซี-ไฟโคไซยานินในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงผ่านสารตัวกลางต่าง ๆ ที่เรียกว่า ไฟโคบิลิโซม จึงต้องมีการเลือกสภาวะเครียดจากสารอาหารที่เหมาะสม สารตั้งต้น aminolevulinic acid (ALA) เป็นสารตั้งต้นหลักของกระบวนการสะสมไฟโคบิลิน และยังเป็นสารเริ่มต้นในกระบวนการสังเคราะห์ฮีมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งฮีมจัดเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์ไฟโคบิลิน และเป็นเม็ดสีช่วยส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของเซลล์ไฟโตแพลงก์ตอน (phytoplankton cells) เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายของฮีมจะส่งผลทำให้บิลิเวอร์ดินลดลง เกิดเป็นไฟโคบิลิน ซึ่งไฟโคบิลินที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฟโคไซยานิน คือ ไฟโคไซยาโนบิลิน โดยไฟโคไซยาโนบิลินซินเทส (phycocyanobilin synthase, PcyA) ทำให้บิลิ-เวอร์ดินเปลี่ยนเป็นไฟโคไซยาโนบิลิน นอกจากนี้ไฟโคไซยาโนบิลินสามารถเกิดการสังเคราะห์ได้โดยตรง โดยใช้ฮีมเป็นตัวกลางในการเผาผลาญ ทั้งนี้การสะสมของซี-ไฟโคไซยานินปริมาณสูงสามารถทำได้เมื่อพิจารณาความเครียดจากการเผาผลาญ (metabolic stress) ของตัวกลางการเผาผลาญของไฟโคไซยาโนบิลินและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ (Figure 1b)[11]

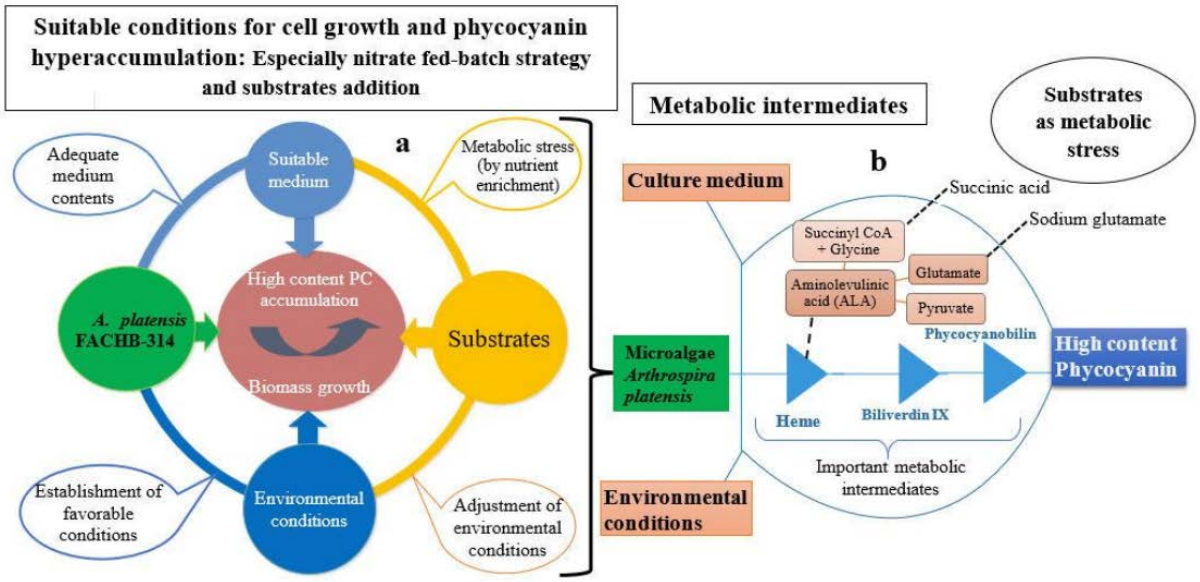


Figure 1 Factors of *Spirulina* for biomass and C-phycocyanin accumulation which a is significant factors affected on high biomass and C-phycocyanin production, and b is metabolic intermediates of high content of C-phycocyanin from *Spirulina*[11]

การสังเคราะห์ฮีมสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งมีความแตกต่างกันในบางประการ โดยการสังเคราะห์จะเริ่มต้นที่ 5-aminolevulinic acid (ALA) ที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสองเส้นทางในการสังเคราะห์ทางชีวภาพ คือ การเปลี่ยนกลูตาเมตหรือการควบแน่นของไกลซีน (glycine) กับซัคซินิล-โคเอ (succinyl-coA) โดยในพืชที่สามารถสังเคราะห์แสงและสาหร่ายขนาดเล็ก รวมถึงไซยาโนแบคทีเรียจะเกิด ALA ได้จากกลูตาเมตผ่านวิถี five-carbon (C5) ในสามขั้นตอนที่ควบคุมด้วยเอนไซม์ glutamyl-tRNA synthetase, glutamyl-tRNA reductase และ glutamate-1-semialdehyde aminotransferase ซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะใน plastids และสิ้นสุดด้วยการสร้างฮีมหรือคลอโรฟิลล์ ส่วนในสัตว์ เชื้อรา แบคทีเรีย และยีสต์ จะเกิด ALA ผ่านการควบแน่นของไกลซีน (glycine) กับซัคซินิล-โคเอ (succinyl-coA) ผ่านวิถี four-carbon (C4) โดยจะเกิดขึ้นเฉพาะในไมโทรคอนเดรียและนำไปสู่การสร้างฮีมเท่านั้น (Figure 2)[13]

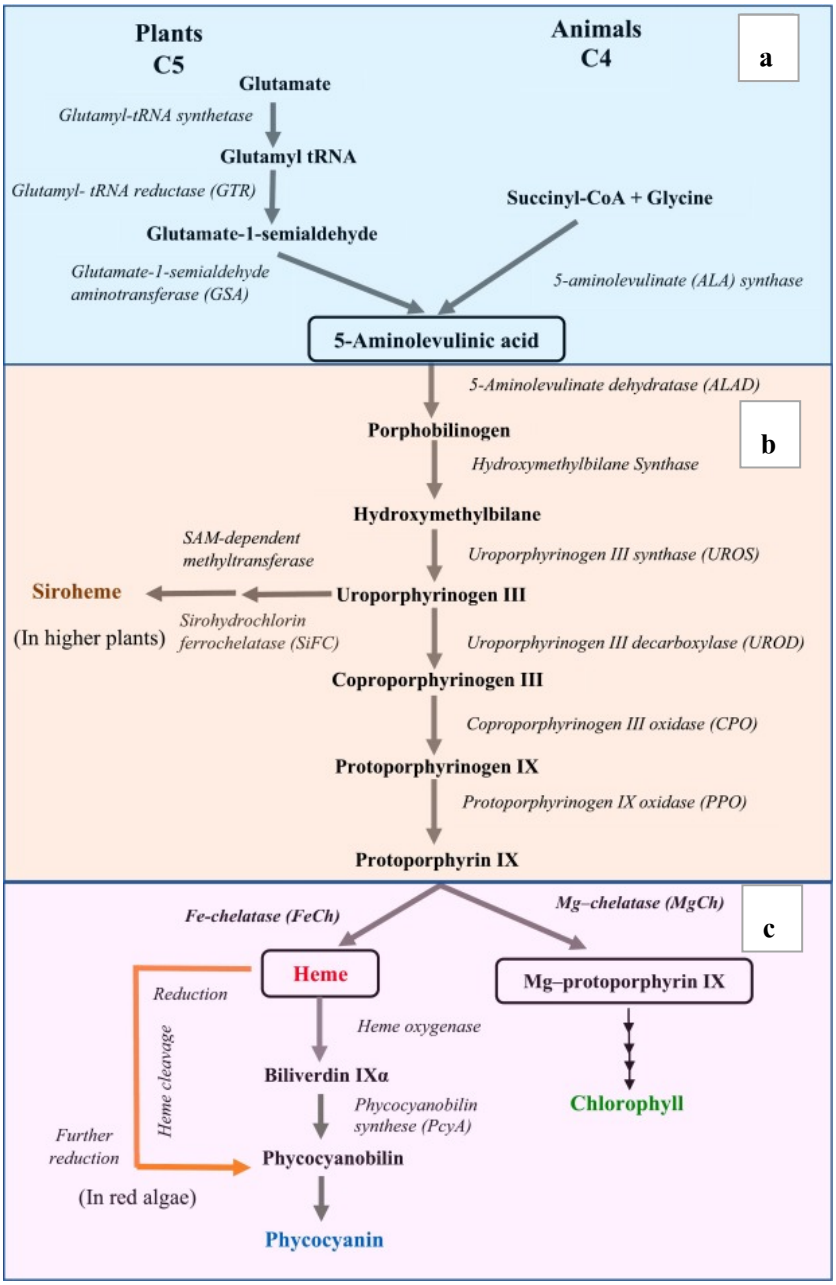


Figure 2 Pathway of heme in microalgae which a is biosynthesis of ALA precursor, b is biosynthesis of all organisms, and c is protoporphyrin IX in plants and algae[13]

คุณสมบัติของซี-ไฟโคไซยานิน

ซี-ไฟโคไซยานิน เป็นเม็ดสีที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจและมีความโดดเด่น ได้แก่ คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสิ่งมีชีวิตผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อทำหน้าที่ต่อต้านผลกระทบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยซี-ไฟโคไซยานินสามารถออกฤทธิ์ด้วยกลไกต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช้เอนไซม์ คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่อความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดโมเลกุลที่เป็นกลาง

และระดับของการเกิดออกซิเดชันลดลง ซึ่งซี-ไฟโคไซยานินและไฟโคไซยาโนบิลินถือว่ามีประสิทธิภาพในการลดการสร้างเปอร์ออกซีไนไตรท์ (peroxynitrite) และยับยั้งความเสียหายที่เกิดกับดีเอ็นเอ[14] นอกจากนี้ซี-ไฟโคไซยานินยังมีคุณสมบัติในการต้านจุลชีพ ป้องกันโลหิตจาง[15] ต้านการอักเสบและลดคอเลสเตอรอล[16] ซี-ไฟโคไซยานินจึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นยาเนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ อีกทั้งซี-ไฟโคไซยานินมีฤทธิ์ในการต้านเนื้องอกและแสดงให้เห็นถึงการตายของเซลล์ นอกจากนี้การต้านอนุมูลอิสระของซี-ไฟโคไซยานินยังสามารถป้องกันโรคต่าง ๆ ได้[17] (Table 2)

Table 2 Biological properties of C-phycocyanin

Microalgae	Biological properties	References
S. platensis	Anti- inflammatory properties	(18)
S. maxima	Antioxidant and anti-inflammatory properties	(19)
Spirulina sp.	Reduction in the blood cholesterol levels, protection against some cancers, prevention of cardiovascular diseases, and improvement in the resistance of the body's immune system	(20)
Spirulina sp.	Inhibition the spread of the virus HIV-1, HIV-2, HSV and influenza	(21)
S. platensis	Reduction the lipid accumulation in the steatosis L02 cells and the liver	(22)
Spirulina sp.	Antioxidant and anti-inflammatory properties	(23)

การประยุกต์ใช้ซี-ไฟโคไซยานิน

ในปัจจุบันมีความตระหนักเกี่ยวกับสีสังเคราะห์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเพิ่มขึ้น ในทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงมีความต้องการสีจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น โดยซี-ไฟโคไซยานินที่สกัดออกมาจากสาหร่ายสไปรูลิน่ามักใช้เป็นสารให้สีตามธรรมชาติทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางแทนการใช้สีสังเคราะห์[24] โดยการประยุกต์ใช้ซี-ไฟโคไซยานินในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ ไอศกรีม โยเกิร์ต และลูกอม อีกทั้งการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ได้แก่ ลิปบาล์ม มาส์กหน้า มาส์กผม และผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้า[15] ทั้งนี้สารสีตามธรรมชาติสามารถใช้ทดแทนสีผสมอาหารชนิดสังเคราะห์ ที่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคก่อให้เกิดโรคและความผิดปกติของร่างกาย นอกจากนี้สารให้สีตามธรรมชาติจากซี-ไฟโคไซยานินยังช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับอาหาร และช่วยในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกด้วย (Table 3)

Table 3 C-phycocyanin application

Microalgae	Application	Results	References
S. platensis	Food industries	Ice cream, gum, fruit drinks, noodles, wasabi, jelly, candy, yogurt, margarine, butter and baked goods	(18)
S. platensis	Fluorescent probes	Labels for cell-sorting, Fluorescence microscopy, fluorescence activated cell sorting (FACS), fluorescence correlation spectroscopy (FCS) and labeling of proteins, antibodies and nucleic acids	(18)
S. platensis	Food industries	C-PC for food coloring	(25)
S. platensis	Nutraceuticals and pharmaceuticals	Antioxidant, inhibits the number of cancers cells and has anti-carcinogenic effects	(25)
Spirulina sp.	Environment	Phycocyanin can be used as an indicator for several environmental problems such as algal bloom	(15)
Spirulina sp.	Cosmetic	Phycocyanin is incorporated in various cosmetic products such as lipstick, sunscreen, eye shadow and hair dye	(15)
Spirulina sp.	Food industries	Prepare edible films and coatings that extend the shelf life of products by reducing deterioration by microorganism action and prevent the oxidative process that occurs in foods	(26)

บทสรุป

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อผลิตซี-ไฟโคไซยานินมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ ความเข้มแสง ความเข้มข้นของไนเตรต พีเอช อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้การผลิตซี-ไฟโคไซยานินยังมีปัจจัยเกี่ยวกับการเลือกสภาวะและชนิดของสารอาหารที่จะส่งผลต่อสภาวะเครียดของเซลล์ ทำให้เกิดการสะสมของสารสำคัญซี-ไฟโคไซยานิน ดังเช่น อาหารเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มข้นไนเตรต 2 -3 g/l ความเข้มข้นของเกลือ 1.5 g/l ค่าพีเอชระหว่าง 7.5-8.5 และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 10 โดยที่ซี-ไฟโคไซยานินมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์

และเครื่องสำอาง ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อเพิ่มการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน จึงเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการสะสมสารสำคัญจากสาหร่ายสไปรูลิน่า เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. de Jesus CS, da Silva Uebel L, Costa SS, Miranda AL, de Morais EG, de Morais MG, et al. Outdoor pilot-scale cultivation of *Spirulina* sp. LEB-18 in different geographic locations for evaluating its growth and chemical composition. Bioresour Technol. 2018;256:86-94.
2. Thevarajah B, Nishshanka GKSH, Premaratne M, Nimarshana PHV, Nagarajan D, Chang J-S, et al. Large-scale production of *Spirulina*-based proteins and C-phycocyanin: a biorefinery approach. Biochem Eng J. 2022;185:108541.
3. Pina-Pérez MC, Ricós-Muñoz N, López-Suárez EK, Esteve C, Maicas S, Beyrer M. Impact of cold atmospheric pressure plasma (CAPP) treatments on the prebiotic potential of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*). Algal Res. 2024;78:103432.
4. Fantechi T, Contini C, Casini L. Pasta goes green: Consumer preferences for *Spirulina*-enriched pasta in Italy. Algal Res. 2023;75:103275.
5. Mostafa Mohammed D, El-Messery TM, Baranenko DA, Hashim MA, Tyutkov N, Marrez DA, et al. Effect of *Spirulina maxima* microcapsules to mitigate testicular toxicity induced by cadmium in rats: Optimization of in vitro release behavior in the milk beverage. J Funct Foods. 2024;112:105938.
6. Yu Y, Hou X, Yu Q, Huo Y, Wang K, Wen X, et al. A novel two-stage culture strategy to enhance the C-phycocyanin productivity and purity of *Arthrospira platensis*. LWT. 2023;184:115010.
7. Nami B, Tayebi-Moghaddam S, Molaveisi M, Dehnad D. Development of soy protein isolate films incorporated with phycocyanin-loaded nanoliposomes to maintain shrimp freshness. LWT. 2024;196:115803.
8. Mehar J, Shekh A, M. U N, Sarada R, Chauhan VS, Mudliar S. Automation of pilot-scale open raceway pond: A case study of CO_2-fed pH control on *Spirulina* biomass, protein and phycocyanin production. J CO2 UTIL. 2019;33:384-93.
9. Çelekli A, Yavuzatmaca M. Predictive modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of nitrate and NaCl concentrations. Bioresour Technol. 2009;100(5):1847-51.
10. Zhu B, Xiao T, Shen H, Li Y, Ma X, Zhao Y, et al. Effects of CO_2 concentration on carbon fixation capability and production of valuable substances by *Spirulina* in a columnar photobioreactor. Algal Res. 2021;56:102310.
11. Manirafasha E, Murwanashyaka T, Ndikubwimana T, Rashid Ahmed N, Liu J, Lu Y, et al. Enhancement of cell growth and phycocyanin production in *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* by metabolic stress and nitrate fed-batch. Bioresour Technol. 2018;255:293-301.
12. Brown SB, Holroyd JA, Vernon DI. Biosynthesis of phycobiliproteins. Incorporation of biliverdin into phycocyanin of the red alga *Cyanidium caldarium*. Biochem J. 1984;219(3):905-9.
13. Lithi UJ, Laird DW, Ghassemifar R, Wilton SD, Moheimani NR. Microalgae as a source of bioavailable heme. Algal Res. 2024;77:103363.
14. Pagels F, Guedes AC, Amaro HM, Kijjoa A, Vasconcelos V. Phycobiliproteins from cyanobacteria: Chemistry and biotechnological applications. Biotechnol Adv. 2019;37(3):422-43.
15. Athiyappan KD, Routray W, Paramasivan B. Phycocyanin from *Spirulina*: a comprehensive review on cultivation, extraction, purification, and its application in food and allied industries. Food and Humanity. 2024;2:100235.
16. Grover P, Bhatnagar A, Kumari N, Narayan Bhatt A, Kumar Nishad D, Purkayastha J. C-Phycocyanin-a novel protein from *Spirulina platensis*- In vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies. Saudi J Biol Sci. 2021;28(3):1853-9.

17. Adjali A, Clarot I, Chen Z, Marchioni E, Boudier A. Physicochemical degradation of phycocyanin and means to improve its stability: a short review. J Pharm Anal. 2022;12(3):406-14.
18. Morya S, Kumar Chattu V, Khalid W, Zubair Khalid M, Siddeeg A. Potential protein phycocyanin: an overview on its properties, extraction, and utilization. Int J Food Prop. 2023;26(2):3160-76.
19. Romay C, Armesto J, Remirez D, González R, Ledon N, García I. Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycocyanin from blue-green algae. Inflamm Res. 1998;47(1):36-41.
20. Hamidi M, Mohammadi A, Mashhadi H, Mahmoudnia F. Evaluation of effective environmental parameters on lipid, protein and beta-carotene production in *Spirulina platensis* microalga. RINENG. 2023;18:101102.
21. Prasetiya FS, Destiarani W, Nuwarda RF, Rohmatulloh FG, Natalia W, Novianti MT, et al. The nanomolar affinity of C-phycocyanin from virtual screening of microalgal bioactive as potential ACE2 inhibitor for COVID-19 therapy. J King Saud Univ Sci. 2023;35(3):102533.
22. Ma P, Huang R, Jiang J, Ding Y, Li T, Ou Y. Potential use of C-phycocyanin in non-alcoholic fatty liver disease. Biochem Biophys Res Commun. 2020;526(4):906-12.
23. Liu R, Qin S, Li W. Phycocyanin: Anti-inflammatory effect and mechanism. Biomed Pharmacother. 2022;153:113362.
24. Jiang L, Wang Y, Yin Q, Liu G, Liu H, Huang Y, et al. Phycocyanin: A Potential Drug for Cancer Treatment. J Cancer. 2017;8(17):3416-29.
25. Eriksen NT. Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. Appl Microbiol Biotechnol. 2008;80(1):1-14.
26. Nakamoto MM, Assis M, de Oliveira Filho JG, Braga ARC. *Spirulina* application in food packaging: Gaps of knowledge and future trends. Trends Food Sci Technol. 2023;133:138-47.

.

ความท้าทายในการเปลี่ยนแปลงระบบอาหารเพื่อแก้ไขปัญหาภาวะทุพโภชนาการตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

ณัฐวุฒิ ลายน้ำเงิน

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrnwl@ku.ac.th
รับเมื่อ 29 มีนาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 19 สิงหาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 26 สิงหาคม 2567

จุดเด่น

- การเปลี่ยนแปลงระบบอาหารเป็นเรื่องจำเป็นในการแก้ไขปัญหาภาวะทุพโภชนาการในทุกรูปแบบ
- การวิจัยและนวัตกรรมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ด้วยผลิตภัณฑ์จากพืช เป็นหนึ่งในกลยุทธ์ที่ช่วยส่งเสริมและขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงในระบบอาหารที่ยั่งยืน
- ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วนควรมีส่วนร่วมในการอภิปรายและการวางแนวปฏิบัติเพื่อให้เกิดอาหารที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัย และมีความมั่นคง

บทคัดย่อ

การรับมือกับปัญหาภาวะทุพโภชนาการในทุกรูปแบบเป็นหนึ่งในความท้าทายครั้งสำคัญของการบริหารจัดการระบบสาธารณสุขในแต่ละประเทศตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน การเกิดปัญหาด้านโภชนาการตั้งแต่วัยเด็กหรือตั้งแต่อยู่ในครรภ์มารดาจะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงของการเจ็บป่วยและเสียชีวิตก่อนวัยอันควร ภาวะทุพโภชนาการมักมีสาเหตุพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความยากจน การขาดเสถียรภาพด้านอาหาร และการขาดความตระหนักรู้ถึงความสำคัญของการเลือกบริโภคอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพในระยะยาว รัฐบาลจึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบอาหารที่ยั่งยืนเพื่อรับรองความมั่นคงด้านอาหารและโภชนาการสำหรับประชาชน รวมทั้งมีมาตรการในการเฝ้าระวังโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการขาดสมดุลทางด้านโภชนาการ ได้แก่ ผู้หญิง เด็กทารก เด็กวัยเรียน และเด็กวัยรุ่น หากปัญหาภาวะทุพโภชนาการไม่ได้รับการป้องกันและแก้ไข จะทำให้ภาระค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพของครัวเรือนสูงขึ้นและเกิดการชะลอตัวทางเศรษฐกิจ วงจรของความยากจนและความเจ็บป่วยอย่างเรื้อรังนี้สามารถส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ทุพโภชนาการ ระบบอาหารยั่งยืน ความมั่นคงทางอาหาร เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

The challenges in transforming the food system to address malnutrition issues and achieve the sustainable development goals

Nuttawut Lainumngen

Department of Nutrition and Health, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrnwl@ku.ac.th
Received 29 March 2024; **Revised** 19 August 2024; **Accepted** 26 August 2024

Highlights

- Transforming the food system is necessary to address all forms of malnutrition
- Research and innovation in the development of plant-based meat alternatives represent one of the strategies to promote and drive transformation towards a sustainable food system
- All stakeholders should be involved in part of discussion and planning process to pursue a food quality, safety, and security

Abstract

Dealing with malnutrition in all its forms is one of the critical challenges of public health management in each country towards sustainable development goals (SDGs). Experiencing malnutrition from early childhood or even during pregnancy increase the risk of illness and premature death. The cause of malnutrition is normally related to issues of poverty, instability in food supply, and lack of awareness about the importance of choosing beneficial foods for long-term health. Therefore, the government must develop a sustainable food system, which is necessary to guarantee food/nutrition security for all. Additionally, nutrition surveillance should be implemented and particularly focused on vulnerable group at risk of nutrition imbalances, including women, infants, children, and adolescents. If malnutrition issues are not prevented and addressed, it will lead to an increase in household health expenditure and slow economic growth. This perpetual cycle of poverty and illness can affect the socio-economic situation of a whole country, significantly.

Keywords : malnutrition, sustainable food system, food security, sustainable development goals (SDGs)

บทนำ

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ความต้องการอาหารมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมากเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของจำนวนประชากรโลก ซึ่งมนุษย์ต้องการอาหารเพื่อบรรเทาความหิวและเพื่อการดำรงชีพ แต่การได้มาซึ่งอาหารชนิดหนึ่ง เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากการได้มาซึ่งอาหารในระบบอาหารนั้นจะครอบคลุมถึงผู้เกี่ยวข้องในทุกกิจกรรมที่เชื่อมโยงกัน ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต การรวบรวม การแปรรูป การกระจาย การบริโภค และการกำจัดผลิตภัณฑ์อาหาร รวมถึงการมีปฏิสัมพันธ์กับระบบสำคัญอื่น ๆ เช่น ระบบพลังงาน ระบบการค้า ระบบสุขภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเข้าถึงอาหารที่ปลอดภัยและมีคุณค่าทางโภชนาการยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญในหลายประเทศ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อระบบอาหาร ปัญหาความเหลื่อมล้ำทางสังคมอย่างมีนัยสำคัญ ความอดอยากหิวโหยที่เพิ่มมากขึ้นของประชากรในแต่ละประเทศ ตลอดจนปัญหาภาวะทุพโภชนาการจากการขาดสมดุลของสารอาหารหรือพลังงาน หากประเทศขาดความมั่นคงทางอาหารจะเกิดความเสียหายเป็นวงกว้างซึ่งจะกระทบกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในทุกด้าน ด้วยเหตุที่อาหาร โภชนาการ และสุขภาวะของมนุษย์มีความเชื่อมโยงต่อกัน และมนุษย์มีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน จึงต้องมีการปฏิรูประบบอาหารโดยครอบคลุมประเด็นสำคัญ ได้แก่ การสร้างความมั่นคงทางอาหาร การเข้าถึงอาหารที่ปลอดภัยและมีคุณค่าทางโภชนาการ เพื่อส่งเสริมความยั่งยืนให้กับประเทศในหลากหลายมิติ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม บทความนี้จึงนำเสนอภาพรวมความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงระบบอาหารให้มีความยั่งยืนเพื่อแก้ปัญหาภาวะทุพโภชนาการซึ่งเป็นความท้าทายเชิงระบบที่มีความซับซ้อนและผสมผสานการดำเนินการที่เชื่อมโยงกันในระดับท้องถิ่น ระดับชาติ ระดับภูมิภาค และระดับโลก

ปัญหาทุพโภชนาการในปัจจุบัน

ในภาวะที่บุคคลมีการบริโภคอาหารซึ่งทำให้ร่างกายได้รับพลังงาน และ/หรือ สารอาหาร ในปริมาณมากหรือน้อยกว่าความต้องการเพื่อการดำรงชีวิตโดยปกติของร่างกายเป็นระยะเวลานานจนเกิดความผิดปกติจะกล่าวได้ว่า บุคคลผู้นั้นเป็นผู้มีภาวะทุพโภชนาการ (malnutrition) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ภาวะโภชนาการขาด (undernutrition) เป็นภาวะที่ต้องเฝ้าระวังในเด็กเล็กซึ่งเป็นวัยที่ต้องการอาหารและพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ประกอบด้วย 3 รูปแบบย่อย ได้แก่ ภาวะผอม (wasting) ภาวะเตี้ยแคระ (stunting) และภาวะน้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ (underweight) โดยสามารถแยกภาวะผอม ภาวะเตี้ยแคระ และภาวะน้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ ตามนิยามขององค์การอนามัยโลก[1] ได้ดังนี้

1.1 ภาวะผอม (wasting) นิยามถึงบุคคลซึ่งมีกราฟการเจริญเติบโตของร่างกายแบบมีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงต่ำ (Low weight-for-height) เนื่องจากได้รับอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายหรือมีการเจ็บป่วยจากโรคติดเชื้อ (infectious diseases) ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรังร่วมด้วย หากเด็กเล็กมีภาวะผอมในระดับปานกลางหรือรุนแรงจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต อย่างไรก็ตามสามารถรักษาฟื้นฟูร่างกายได้ง่ายกว่าภาวะเตี้ยแคระ

1.2 ภาวะเตี้ยแคระ (stunting) นิยามถึงบุคคลซึ่งมีกราฟการเจริญเติบโตของร่างกายแบบมีส่วนสูงตามเกณฑ์อายุต่ำ (low height-for-age) เป็นผลจากการมีภาวะโภชนาการขาดมาเป็นระยะเวลานานจนปรากฏลักษณะของการเตี้ยแคระ ภาวะนี้พบว่า มีความสัมพันธ์กับระดับเศรษฐานะ สุขภาพของแม่ในระหว่างตั้งครรภ์ การดูแลให้อาหารและภาวะโภชนาการที่ไม่เหมาะสมตั้งแต่วัยเด็ก ภาวะนี้ทำให้เด็กขาดการพัฒนาทั้งทางด้านร่างกายและสติปัญญา

1.3 ภาวะน้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ (underweight) นิยามถึงบุคคลซึ่งมีกราฟการเจริญเติบโตของร่างกายแบบมีน้ำหนักตามเกณฑ์อายุต่ำ (low weight-for-age) ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งแบบภาวะผอม ภาวะเตี้ยแคระ หรือ มีทั้งภาวะผอมร่วมกับภาวะเตี้ยแคระ

2. ภาวะขาดวิตามินและเกลือแร่ (vitamins and minerals deficiencies) วิตามินและเกลือแร่มีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลสุขภาพ เนื่องจากสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยให้ร่างกายสามารถผลิตเอนไซม์ สังเคราะห์ฮอร์โมน และสารต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น ไอโอดีน วิตามินเอ และธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นกลุ่มหลักที่เป็นปัญหาทางสาธารณสุข มักพบการขาดสารอาหารเหล่านี้ได้ในกลุ่มเด็กและหญิงตั้งครรภ์ที่อาศัยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ต่ำ

3. ภาวะน้ำหนักเกินเกณฑ์ปกติและโรคอ้วน (overweight and obesity) คัดแยกโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (body mass index; BMI) โดยผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จะมีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในช่วง 23.0-24.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยงโรคอ้วน จะมีค่าตั้งแต่ 25.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตรขึ้นไป สาเหตุจากการบริโภคอาหารที่มีพลังงานสูงเกินความต้องการของร่างกาย อาหารที่มีน้ำตาลและไขมันสูง และขาดการออกกำลังกาย

องค์การอนามัยโลกวิเคราะห์ผลสำรวจจากประชากรทั่วโลกในปี พ.ศ. 2565[1] พบภาวะน้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ปกติในผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 390 ล้านคน ในขณะที่ภาวะน้ำหนักตัวสูงเกินเกณฑ์ปกติพบ 2,500 ล้านคน โดยเป็นโรคอ้วน 890 ล้านคน สำหรับผลการสำรวจในประชากรเด็กเล็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ปี พบว่าประมาณ 149 ล้านคนที่กำลังเผชิญกับความทุกข์ทรมานจากภาวะเตี้ยแคระ ในขณะที่ 37 ล้านคนมีภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน นอกจากนี้ยังพบประเด็นสำคัญว่าการเสียชีวิตเกือบครึ่งหนึ่งของเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ปี ล้วนมีสาเหตุที่เชื่อมโยงกับการมีภาวะน้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ โดยมักพบได้ในประชากรที่อาศัยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ต่ำและรายได้ปานกลาง

ข้อมูลสถานการณ์และแนวโน้มภาวะทุพโภชนาการของเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ในประเทศแถบภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิกพบว่า ความชุกของภาวะเตี้ยแคระค่อนข้างสูง ประเทศที่มีความชุกสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ประเทศติมอร์เลสเต (ร้อยละ 51) ปาปัวนิวกินี (ร้อยละ50) และอัฟกานิสถาน (ร้อยละ 41) โดยตามรายงานของสำนักโภชนาการ ปี พ.ศ. 2565[2] พบว่า ประเทศไทยจัดอยู่ในประเทศที่มีความชุกของภาวะเตี้ยแคระ (ร้อยละ 11) ภาวะผอม (ร้อยละ 5.4) และภาวะน้ำหนักเกินเกณฑ์ปกติ จัดอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศในภูมิภาคเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์สถานการณ์ภาพรวมของประเทศไทยย้อนหลังไม่น้อยกว่า 5 ปี พบว่า ประเด็นปัญหาภาวะทุพโภชนาการเหล่านี้ยังอยู่ในระดับที่น่ากังวลและเป็นความท้าทายของการขับเคลื่อนการดำเนินงานและการแก้ไขปัญหาทางด้านสาธารณสุขร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ภาวะทุพโภชนาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ยังเป็นปัญหาระดับนานาชาติที่ต้องให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหา

ความสำคัญของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs)[3] เป็นชุดเป้าหมายการพัฒนาระดับโลกที่ได้รับการรับรองจากประเทศสมาชิกขององค์การสหประชาชาติ (United Nations; UN) ครอบคลุมช่วงระยะเวลาที่ต้องบรรลุภายใน 15 ปี (ปี ค.ศ. 2016 - ค.ศ. 2030) ที่ทุกประเทศดำเนินการร่วมกันโดยไม่ใช่ข้อตกลงที่มีการบังคับสัญญาและลงโทษ แต่เป็นการเข้าร่วมโดยสมัครใจของประเทศต่าง ๆ โดย SDGs มี 17 เป้าหมาย (goals) ประกอบด้วย

เป้าหมายที่ 1 No Poverty : ยุติความยากจนทุกรูปแบบในทุกที่

เป้าหมายที่ 2 Zero Hunger : ยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหารและยกระดับโภชนาการ และส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน

เป้าหมายที่ 3 Good health and well-being : สร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย

เป้าหมายที่ 4 Quality and education : สร้างหลักประกันว่าทุกคนมีการศึกษาที่มีคุณภาพอย่างครอบคลุมและเท่าเทียม และสนับสนุนโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต

เป้าหมายที่ 5 Gender equality : บรรลุความเสมอภาคระหว่างเพศ และเพิ่มบทบาทของสตรีและเด็กหญิงทุกคน

เป้าหมายที่ 6 Clean water and sanitation : สร้างหลักประกันเรื่องน้ำและสุขาภิบาล ให้มีการจัดการอย่างยั่งยืนและมีสภาพพร้อมใช้สำหรับทุกคน

เป้าหมายที่ 7 Affordable and clean energy : สร้างหลักประกันว่าทุกคนเข้าถึงพลังงานสมัยใหม่ในราคาที่สามารถซื้อหาได้ เชื่อถือได้ และยั่งยืน

เป้าหมายที่ 8 Decent work and economic growth : ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่อง ครอบคลุม และยั่งยืน มีการจ้างงานเต็มที่

เป้าหมายที่ 9 Industry, innovation and infrastructure : สร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีความ

ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมและยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม

เป้าหมายที่ 10 Reduced inequalities : ลดความไม่เสมอภาคภายในและระหว่างประเทศ

เป้าหมายที่ 11 Sustainable cities and communities : ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน

เป้าหมายที่ 12 Responsible consumption and production : สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน

เป้าหมายที่ 13 Climate action : ปฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น

เป้าหมายที่ 14 Life below water : อนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร ทะเลและทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

เป้าหมายที่ 15 Life on land : ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน จัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน ต่อสู้การกลายสภาพเป็นทะเลทราย หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่ และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ

เป้าหมายที่ 16 Peace, justice and strong institutions : ส่งเสริมสังคมที่สงบสุขและครอบคลุม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ให้ทุกคนเข้าถึงความยุติธรรมและสร้างสถาบันที่มีประสิทธิผล รับผิดชอบและครอบคลุมในทุกระดับ

เป้าหมายที่ 17 Partnerships for the goals : เสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน

ในแต่ละเป้าหมายจะมีเป้าหมายย่อย (targets) และตัวชี้วัด (indicators) เพื่อติดตามความก้าวหน้าของเป้าหมายย่อยดังกล่าว[4] หากพิจารณาในรายละเอียดจะพบว่า เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนในแต่ละข้อนี้ จะช่วยพัฒนาประเทศในหลายมิติอย่างเป็นระบบและไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน ในขณะเดียวกัน การละเลยเรื่องใดเรื่องหนึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการบรรลุเป้าหมายอื่นร่วมด้วย เช่น ปัญหาความยากจน ความเหลื่อมล้ำด้านต่าง ๆ ปัญหาความมั่นคงทางอาหาร ปัญหาด้านโภชนาการและสุขภาพ ปัญหาสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นวงจรปัญหาที่ทับซ้อนและมีผลกระทบที่เกี่ยวเนื่องกัน เป็นต้น องค์การสหประชาชาติเน้นย้ำการสร้างระบบอาหารที่ยั่งยืนให้แก่ประชากรในแต่ละประเทศ และทรัพยากรมนุษย์ก็เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

SDG-2 เกี่ยวข้องกับความมั่นคงทางอาหารและโภชนาการ มีเป้าหมายเพื่อยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหาร ขจัดปัญหาภาวะทุพโภชนาการทุกรูปแบบ และส่งเสริมการทำเกษตรอย่างยั่งยืน ซึ่งจะสัมพันธ์กับ SDG-3 คือ การส่งเสริมให้เกิดสุขภาวะที่ดีแบบองค์รวมตลอดช่วงอายุ และ SDG-12 คือ การสร้างแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน เช่น การลดของเสียที่เป็นอาหาร (food waste) และลดการสูญเสียอาหาร

(food loss) ตลอดการผลิตและห่วงโซ่อุปทาน โดยในยุคที่มีการปฏิวัติรูปแบบการทำเกษตรที่นำความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้า ที่เรียกว่าการปฏิวัติเขียว (green revolution) ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้นและต่อเนื่อง จึงเชื่อว่า สามารถผลักดันให้เกิดความมั่นคงทางด้านอาหารและโภชนาการ และช่วยลดภาวะทุพโภชนาการรูปแบบที่มีการขาดโปรตีนหรือพลังงานได้[5] แต่จุดอ่อนของการปฏิวัติเขียว คือ การละเลยผลกระทบเชิงลบด้านอื่น ๆ เช่น ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ทั้งน้ำ ดิน และอากาศ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดจนยังคงพบปัญหาสาธารณสุข เช่น การเพิ่มขึ้นของโรคอ้วน การขาดสารอาหารรอง (micronutrients) และการเจ็บป่วยอื่น ๆ ที่สัมพันธ์ตามมา[6] แม้การมีเทคโนโลยีที่ช่วยทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น จะสามารถรองรับความต้องการอาหารของประชากรที่มากขึ้นได้ แต่ไม่ได้รับรองการมีอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีอย่างยั่งยืนสำหรับประชากร ดังนั้นภาครัฐและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการผลิตอาหาร ต้องร่วมกันส่งเสริมให้เกิดอาหารที่มีคุณภาพที่เหมาะสมในปริมาณที่เพียงพอ (food availability) และผลักดันนโยบายที่สนับสนุนให้ประชากรทุกคนสามารถเข้าถึงทรัพยากรอาหาร (food access) ภายใต้กฎหมาย สังคมและเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อให้ได้มาซึ่งอาหารที่มีคุณภาพ มีคุณค่าทางโภชนาการ และแก้ปัญหาทุพโภชนาการอย่างยั่งยืน

ความท้าทายในระบบการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์และโอกาสในการทดแทนด้วยผลิตภัณฑ์จากพืช

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) ได้นิยามคำว่า animal-source foods (ASFs) ว่าเป็นอาหารที่มาจากผลิตภัณฑ์สัตว์ ทั้งจากการผลิตแบบปศุสัตว์และรวมถึงสัตว์ป่า โดย ASFs เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะประเภทเนื้อแดง ไข่ และนม ซึ่งมีสารอาหารสำคัญในรูปโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเป็นแหล่งของสารอาหารรองที่สำคัญหลากชนิด เช่น ธาตุเหล็ก แคลเซียม ซีลีเนียม และวิตามินบี 12 เป็นต้น โดยยากจะทดแทนด้วยอาหารจากพืช (plant-based food)[7] แม้สารอาหารรองจะหมายถึงสารอาหารที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อยแต่การขาดสารอาหารเหล่านี้เป็นปัญหาที่มักพบได้ทั่วไปในทุกรูปแบบวัฒนธรรมของมนุษย์ เช่น การขาดธาตุเหล็กและการเกิดภาวะโลหิตจางที่สัมพันธ์กับความบกพร่องในระบบความจำและระบบภูมิคุ้มกันในชาวตะวันตก[8] หรือทางตอนใต้ของโลกที่มักขาดสารอาหารสำคัญที่พบในเนื้อสัตว์ เช่น เหล็ก สังกะสี วิตามินเอ หรือ วิตามินบี 12 เนื่องจากเน้นการบริโภคอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก จึงอาจกล่าวได้ว่า ASFs เป็นอาหารหลักของมนุษย์ตลอดทุกช่วงวิวัฒนาการ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางด้านอาหารและโภชนาการเพื่อการมีสุขภาพที่ดี

เนื่องจาก ASFs เป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง และมีสารอาหารรองที่หลากหลาย จึงเป็นที่แน่ชัดว่า ASFs มีคุณสมบัติทางโภชนาการที่ดีต่อร่างกายในหลายประการหากรับประทานในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งปริมาณการบริโภค ASFs ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงวัย ตั้งแต่วัยเด็ก วัยรุ่น หญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตร ไปจนถึงผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตามยังมีข้อถกเถียงในบางประเด็นว่า ควรมีการจำกัดปริมาณการบริโภค ASFs หรือไม่ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการทำปศุสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยง เช่น วัว แกะ แพะ ควาย และสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดอื่น ๆ จะเกิดการผลิตแก๊สมีเทน (methane) หนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas; GHG) ที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยอาหารในกระเพาะหมักของสัตว์และบางส่วนจากกระบวนการย่อยสลายมูลสัตว์ภายใต้สภาพไร้อากาศ ซึ่งมีเทนเป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) และวิกฤตการณ์โลกร้อน (global warming) จากการที่ก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศของโลกมีปริมาณมากเกินไป

ระบบอาหารและรูปแบบการบริโภคอาหารสามารถส่งผลกระทบต่อโลกและสุขภาพของมนุษย์ได้โดยตรง คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) เสนอหนึ่งในกลยุทธ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา คือ การปรับรูปแบบการบริโภคอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการบริโภคอาหารจะมีส่วนร่วมประมาณร้อยละ 20 ในการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของโลกเปลี่ยนมากถึง 2 องศาเซลเซียส[9] จึงควรเปลี่ยนมารับประทานอาหารจากพืชมากขึ้น อาหารจากพืชไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่มีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ลดความเสี่ยงของโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดและหัวใจ และลดความเสี่ยงในการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร ในทางตรงกันข้ามการบริโภคเนื้อสัตว์โดยเฉพาะเนื้อแดงที่ผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้เช่นกัน[10] ด้วยเหตุนี้จำนวนผู้บริโภคที่เริ่มลดการบริโภคอาหารจากสัตว์จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นโอกาสทางการตลาดที่กำลังเติบโตของผลิตภัณฑ์จากพืชในหลากหลายกลุ่มอาหาร เช่น โปรตีนจากพืช (plant-based protein) โปรตีนจากจุลินทรีย์ (mycoprotein) เนื้อสัตว์เพาะเลี้ยง (cultured meat) ผลิตภัณฑ์นมทางเลือกจากพืช (plant-based milk alternatives) ผลิตภัณฑ์ทดแทนชีส (cheese alternatives) ผลิตภัณฑ์ทดแทนไข่ (egg alternatives) ผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อปลา (fish alternatives) และสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) แต่ความท้าทายด้านโภชนาการในการทดแทนผลิตภัณฑ์สัตว์ด้วยผลิตภัณฑ์จากพืชเหล่านี้ ต้องคำนึงถึงสารอาหารโปรตีน วิตามินบี 12 วิตามินดี เหล็ก โอเมก้า-3 และแคลเซียม เป็นสำคัญ[11] โดยอาศัยความรู้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ในอีกแง่มุมหนึ่งที่มีความท้าทายในด้านความยั่งยืน คือ ผลิตภัณฑ์จากพืชบางกลุ่มอาจส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อนได้มากกว่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น mycoprotein มีค่าแสดง

ความสามารถในการทำให้โลกร้อนที่เรียกว่า ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (carbon dioxide equivalent; CO_{2e}) สูงกว่าเนื้อหมู เนื้อไก่[12] นอกจากนี้การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณเศษเหลือทิ้งที่เกิดในระบบอาหาร หรือการนำกลับมาแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์อีกครั้งในด้านโภชนาการ เป็นอีกหัวใจสำคัญของการพัฒนาที่ยั่งยืน เช่น การใช้ประโยชน์จากกากข้าวมอลต์หรือกากเบียร์ (brewers' spent grains) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเบียร์ภายหลังจากเอาแป้งและน้ำตาลส่วนใหญ่ออกจากข้าวมอลต์ ส่วนที่เหลือถูกนำมาพัฒนาเป็นแหล่งของโปรตีนชนิดใหม่ที่มีคุณภาพดี กล่าวคือ ร่างกายสามารถดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น[13]

การเปลี่ยนแปลงระบบอาหารในทุกมิติเพื่อความยั่งยืน

เมื่อทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหาความมั่นคงทางอาหาร สหประชาชาติและประเทศสมาชิกจึงเห็นชอบร่วมกันในการดำเนินการขจัดความหิวโหยและป้องกันภาวะทุพโภชนาการทุกรูปแบบตลอดชีวิต จึงมีทศวรรษแห่งการดำเนินการด้านโภชนาการ หรือ The UN Decade of Action on Nutrition (2016-2025) ในที่ประชุมระหว่างประเทศว่าด้วยโภชนาการครั้งที่ 2 (second international conference on nutrition; ICN2) จัดโดย FAO/WHO ได้มีปฏิญญากรุงโรมว่า ด้วยโภชนาการ (Rome declaration on Nutrition) กำหนดกลยุทธ์การดำเนินการด้านโภชนาการในช่วงเวลา 10 ปี เพื่อบรรลุเป้าหมายโภชนาการระดับโลก (global nutrition targets) และเป้าหมายโรคไม่ติดต่อเรื้อรังระดับโลก (diet-related NCD targets) และสอดคล้องกับเป้าหมาย SDGs โดยเฉพาะอย่างยิ่ง SDG-2 และ SDG-3 ซึ่งครอบคลุมแนวปฏิบัติสำคัญ 6 หัวข้อ[14] ยกตัวอย่างดังนี้

1. Sustainable, resilient food systems for healthy diets กล่าวถึง การส่งเสริมการผลิตอาหารที่มีประโยชน์ให้สอดคล้องกับระบบนิเวศน์และสังคมวัฒนธรรมในพื้นที่นั้น การสนับสนุนทางด้านการเงินแก่กลุ่มธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) เพิ่มคุณภาพอาหารโดยมุ่งเน้นการเกษตรอินทรีย์ (organic farming) การปรับเปลี่ยนสูตรอาหาร (food reformulation) ซึ่งรวมถึงอาหารปรุงสุกสำเร็จรูป เป็นต้น

2. Aligned health systems providing universal coverage of essential nutrition actions กล่าวถึง การส่งเสริมสุขภาพและโภชนาการในแม่และเด็ก การเน้นย้ำเรื่องโภชนาการ 1,000 วันแรก การเข้าถึงบริการสุขภาพของรัฐอย่างเท่าเทียม เป็นต้น

3. Social protection and nutrition education กล่าวถึง การเพิ่มศักยภาพและจำนวนของผู้เชี่ยวชาญในการให้บริการด้านโภชนาการในประเทศ บรรจุหัวข้อเกี่ยวกับโภชนาการในหลักสูตรการเรียนการสอน ผลิตอาหารสุขภาพในราคาที่เป็นธรรมและเข้าถึงได้ง่าย สร้างเครือข่ายเชื่อมโยงกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยเพื่อเปิดโอกาสพบกับห่วงโซ่อุปทานที่หลากหลายยิ่งขึ้น พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงบริการทาง

การเงินและการสนับสนุนด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นต้น

4. Trade and investment for improved nutrition กล่าวถึง นโยบายการค้าระหว่างประเทศ นโยบายจำกัดราคาอาหารจากธรรมชาติและอาหารเพื่อสุขภาพ พัฒนามาตรฐานหลักสวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพที่ดีของเกษตรกร ผู้บริโภคและระบบนิเวศได้ พัฒนาแนวทางในการให้ข้อมูลโภชนาการด้านหน้าภาชนะบรรจุ (front-of-pack nutrition labeling; FOPNL) ลดการส่งออกสินค้าที่เป็นการผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary production) เช่น ผักผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป เป็นต้น

5. Safe and supportive environments for nutrition at all ages กล่าวถึง พัฒนาแนวทางการบริโภคอาหารอย่างยั่งยืนโดยคำนึงถึงสุขภาพมนุษย์ สัตว์และระบบนิเวศ พัฒนาวิธีการตรวจหาภาวะทุพโภชนาการได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นและวิธีการป้องกันรักษา จัดให้มีการเสริมอาหารในกลุ่มเปราะบางผ่านการจัดการระบบสาธารณสุข พัฒนาคุณภาพน้ำ สุขาภิบาลและสุขอนามัย งานวิจัยและนวัตกรรมโดยยึดหลักการป้องกันไว้ก่อน (precautionary principle) เป็นต้น

6. Strengthened governance and accountability for nutrition กล่าวถึง การประเมินนโยบายของรัฐบาล การกำหนดเป้าหมายในบริบทของทศวรรษการดำเนินงานด้านโภชนาการ เชื่อมโยงให้เกิดความร่วมมือของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย แก้ไขปัญหาการทุจริต ต้องโปร่งใสตรวจสอบได้ ในการชี้วัดการบรรลุเป้าหมายด้านโภชนาการ เป็นต้น

บทสรุปทิศทางในอนาคต

การแก้ปัญหาทุพโภชนาการด้วยระบบอาหารที่ยั่งยืน เป็นการแก้ปัญหาแบบองค์รวมและต้องอาศัยความร่วมมือในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 4 มิติหลัก ที่ต้องได้รับการแก้ไขร่วมกัน ได้แก่ ด้านสุขภาพ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคมและด้านเศรษฐกิจ กล่าวคือ จะต้องส่งเสริมระบบการผลิตอาหารที่ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอ มีความปลอดภัย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงแหล่งอาหารได้ มีกำลังในการซื้อได้ ได้รับการยอมรับและสอดคล้องกับวัฒนธรรมของประเทศ หรืออีกนัยหนึ่งกล่าวได้ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงระบบอาหารที่ครอบคลุมใน 4 ประเด็น คือ การมีอาหารเพียงพอ (availability) ความสามารถในการเข้าถึงอาหาร (accessibility) ความสามารถในการซื้ออาหาร (affordability) และความพึงพอใจต่ออาหาร (desirability) โดยแนวปฏิบัติที่เป็นพื้นฐานสำคัญอยู่เบื้องหลังการบรรลุเป้าหมายด้านโภชนาการและความยั่งยืน คือ การสนับสนุนความร่วมมือในกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อการสร้างระบบอาหารที่ยั่งยืน การสนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานโดยมีแหล่งทุนและผู้ให้บริการด้านการเงินที่เพียงพอ การสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัย สถาบันการวิจัยและองค์กร

อิสระเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ และสนับสนุนการทำงานร่วมกันระหว่างภาครัฐ ภาคธุรกิจ ชุมชน ตลอดจนองค์กรไม่แสวงหากำไร (cross-sectoral collaboration) เพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาทุพโภชนาการ ซึ่งจำเป็นต้องมีความเชื่อมโยงตลอดห่วงโซ่อาหารและพัฒนานโยบายให้มีความสอดคล้องทางด้านเศรษฐกิจ ด้านการเกษตร ด้านสาธารณสุข ด้านการศึกษา ด้านการค้า และด้านสังคมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. WHO. Malnutrition. [Internet]. 2024 [cited 2024 Mar 21]. Available form: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition
2. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. รายงานประจำปี 2565 เฝ้าระวังทางโภชนาการ. [อินเทอร์เน็ต]. 2565. [เข้าถึงเมื่อ 25 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก https://nutrition2.anamai.moph.go.th/web-upload/6x22caac0452648c8dd1f534819ba2f16c/202303/m_magazine/37955/4261/file_download/13affb4dde0d884d8536cb0096eecca9.pdf
3. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. เส้นทางประเทศไทยสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. วารสารเศรษฐกิจและสังคม 2560; 54(4): 1-64.
4. เครือข่ายวิชาการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย. Sustainable development goals. [อินเทอร์เน็ต]. 2565. [เข้าถึงเมื่อ 27 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก https://www.sdgmove.com/intro-to-sdgs/
5. IFPRI. Green revolution: curse or blessing? [Internet]. 2002. [cited 2024 Mar 28]. Available form: https://www.ifpri.org/cdmref/p15738coll2/id/64639/filename/64640.pdf
6. Kennedy E, Raiten D, Finley J. A view to the future: opportunities and challenges for food and nutrition sustainability. Curr. Dev. Nutr. 2020;4(4):1-3.
7. FAO. 2023. Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes – An evidence and policy overview on the state of knowledge and gaps. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cc3912en
8. Gupta PM, Perrine CG, Mei Z, Scanlon KS. Iron, anemia, and iron deficiency anemia among young children in the United States. Nutrients. 2016;8:330.
9. Varzakas T, Smaoui S. Global food security and sustainability issues: the road to 2030 from nutrition sustainable health diets to food system change. Foods. 2024;13(2):1-29.
10. Neuenschwander M, Stadelmaier J, Eble J, Grummich K, Szczerba E, Kiesswetter E, et al. Substitution of animal-based with plant-based foods on cardiometabolic health and all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. BMC Med. 2023;21(404):1-16.
11. Alcorta A, Porta A, Tarrega A, Alvarez MD, Vaquero M. Foods for plant-based diets: challenges and innovations. Foods. 2021;10(2):1-23.
12. Filho PF, Andersson D, Ferreira JA, Taherzadeh MJ. Mycoprotein: environmental impact and health aspects. World J Microbiol Biotechnol. 2019;35(147):1-8.
13. Gibas-Dorna M, Zukiewicz-Sobczak W. Sustainable nutrition and human health as part of sustainable development. Nutrients. 2024;16(2):225.
14. FAO/WHO. United Nations decade of action on nutrition 2016-2025: priority actions on nutrition for the next five years. [Internet]. 2021. [Cited 2024 Mar 28]. Available form: https://www.fao.org/3/cb9467en/cb9467en.pdf

การเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในผักและผลไม้โดยกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก

นภัสสร เพียสุระ

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrnop@ku.ac.th
รับเมื่อ 25 เมษายน 2567 **แก้ไขเมื่อ** 14 สิงหาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 26 สิงหาคม 2567

จุดเด่น

- การเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในผักและผลไม้โดยกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก
- เอนไซม์จากแบคทีเรียแล็กติกในกระบวนการหมักสามารถเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้

บทคัดย่อ

สารพฤกษเคมีเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พืชสร้างขึ้น และมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ อาหารจากพืชที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก นอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น และอายุการเก็บรักษานานขึ้นแล้ว ยังมีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น สารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผักและผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการหมัก นอกจากนั้นยังมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายโครงสร้างของสารพฤกษเคมี ด้วยเอนไซม์ของเชื้อแบคทีเรียแล็กติกที่สร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก ให้สารเหล่านี้อยู่ในรูปที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากขึ้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมงานวิจัยนี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการนำเชื้อแบคทีเรียแล็กติกมาประยุกต์ใช้ในการหมักผักและผลไม้ เพื่อผลิตอาหารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในอนาคต

คำสำคัญ : แบคทีเรียแล็กติก สารพฤกษเคมี การหมัก

Increasing the amount of phytochemicals in fruits and vegetables using the lactic acid bacteria fermentation

Napassorn Peasura

Department of Applied Microbiology, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrnop@ku.ac.th
Received 25 April 2024; **Revised** 14 August 2024; **Accepted** 26 August 2024

Highlights

- Increasing the amount of phytochemicals using lactic acid bacteria fermentation
- Enzymes of lactic acid bacteria can increase the antioxidant activity of vegetables and fruits

Abstract

Phytochemicals are biologically active compounds produced by plants and beneficial to human health. Food from plants that undergo fermentation with lactic acid bacteria not only increases nutritional value but also improves sensory properties, extends shelf life, and increases the quantity of beneficial phytochemicals for human health, such as phenolic compounds increase flavonoid content, compared to non-fermented vegetables and fruits. Additionally, it exhibits higher antioxidant properties due to the breakdown of chemical structures of phytochemicals by enzymes from lactic acid bacteria during fermentation, making these substances more biologically active. As a result, the research presented in this review can be used as a guideline for using lactic acid bacteria in the fermentation of vegetables and fruits to produce health-promoting foods that meet future consumer demand.

Keywords : lactic acid bacteria, phytochemicals, fermentation

บทนำ

สารพฤกษเคมี คือ สารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการเจริญเติบโต มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช และยังสามารถทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณ ปกป้องพืชจากความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต[1] และมีฤทธิ์ทางชีวภาพ แบ่งตามโครงสร้างทางเคมี ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เทอร์พีนอยด์ (terpenoid) สเตียรอยด์ (steroid) และอัลคาลอยด์ (alkaloid)[2] และยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการป้องกันโรค[3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยเพิ่มความต้านทานตามธรรมชาติของร่างกายต่อความเสียหายจากปฏิกริยาออกซิเดชัน เมื่อมนุษย์บริโภคผักและผลไม้ที่เป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี ซึ่งจะถูกย่อยด้วยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ผ่านกระบวนการหมัก ผลจากการย่อยจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นกรดแล็กติกและกรดไขมันสายสั้น เช่น สารจำพวกแอซีเทต (acetate) บิวทิเรต (butyrate) และโพรพิโอเนต (propionate) เป็นต้น และยังปลดปล่อยสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ และถูกดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ จากองค์ความรู้เรื่องกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยเปลี่ยนแปลงลักษณะ เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ซึ่งเชื้อแบคทีเรียแล็กติก (Lactic Acid Bacteria, LAB) มีบทบาทสำคัญในอาหารหมัก โดยการหมักจะอาศัยกิจกรรมของแบคทีเรียแล็กติกที่สามารถเปลี่ยนสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงขึ้น[4-7] โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) ให้อยู่ในรูปที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงขึ้น ด้วยเอนไซม์รีดักเตส (reductase) และไฮโดรเลส (hydrolase) และกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation)[8] เอนไซม์ที่ได้จากเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียแล็กติก คือ ไฮโดรเลส (hydrolase) เช่น อะไมเลส (amylases) โปรตีเอส (proteases) ไลเปส (lipases) และไฟเตส (phytases)[9-10] ปัจจุบันผู้คนหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวโน้มในการรับประทานอาหารจากพืชเพื่อชะลอหรือยับยั้งการเกิดโรคกำลังเป็นที่นิยมและพูดถึงกันอย่างกว้างขวาง ทำให้อาหารจากพืชที่ผ่านกระบวนการหมักที่มีสารพฤกษเคมีในปริมาณสูง และเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมีมูลค่าและกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

สารพฤกษเคมี

ในกระบวนการทางชีวเคมีของพืชหรือเมแทบอลิซึม แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การสร้างหรือสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่ (anabolism) จากสารโมเลกุลเล็ก และการสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง (catabolism)[11] ซึ่งสารพฤกษเคมีจัดเป็นสารที่ได้จากเมแทบอลิซึมของพืช หรือเรียกอีกอย่างว่า สารทุติยภูมิ (secondary metabolite) มีหลายกลุ่มด้วยกัน เช่น อัลคาลอยด์ (alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และไกลโคไซด์ (glycosides)[12]

เป็นต้น สารเหล่านี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อพืชเอง เช่น ช่วยให้พืชสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ ช่วยในการป้องกันโรคของพืช เป็นสารป้องกันแมลงที่เป็นศัตรูของพืช นอกจากประโยชน์ต่อตัวพืชเองแล้วสารพฤกษเคมีที่พืชสร้างขึ้นยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อบริโภคพืช เช่น สารประกอบฟีนอลิก มีสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (oxidation) จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระในร่างกาย ลดโอกาสในการเกิดมะเร็ง[13] เป็นต้น

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารพฤกษเคมีที่พืชสร้างขึ้น มีโครงสร้างหลากหลาย สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน คือ จำนวนคาร์บอน และหมู่เคมีอื่น ๆ ที่เกาะในโครงสร้างหลัก โดยโครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่ไฮดรอกซิลมาแทนที่ 1 หมู่หรือมากกว่า และอาจมีหมู่เคมีอื่น ๆ มาเกาะที่ตำแหน่งต่าง ๆ[14] โดยมีการจำแนกสารประกอบฟีนอลิกได้มากกว่า 8,000 ชนิด ดัง Figure 1

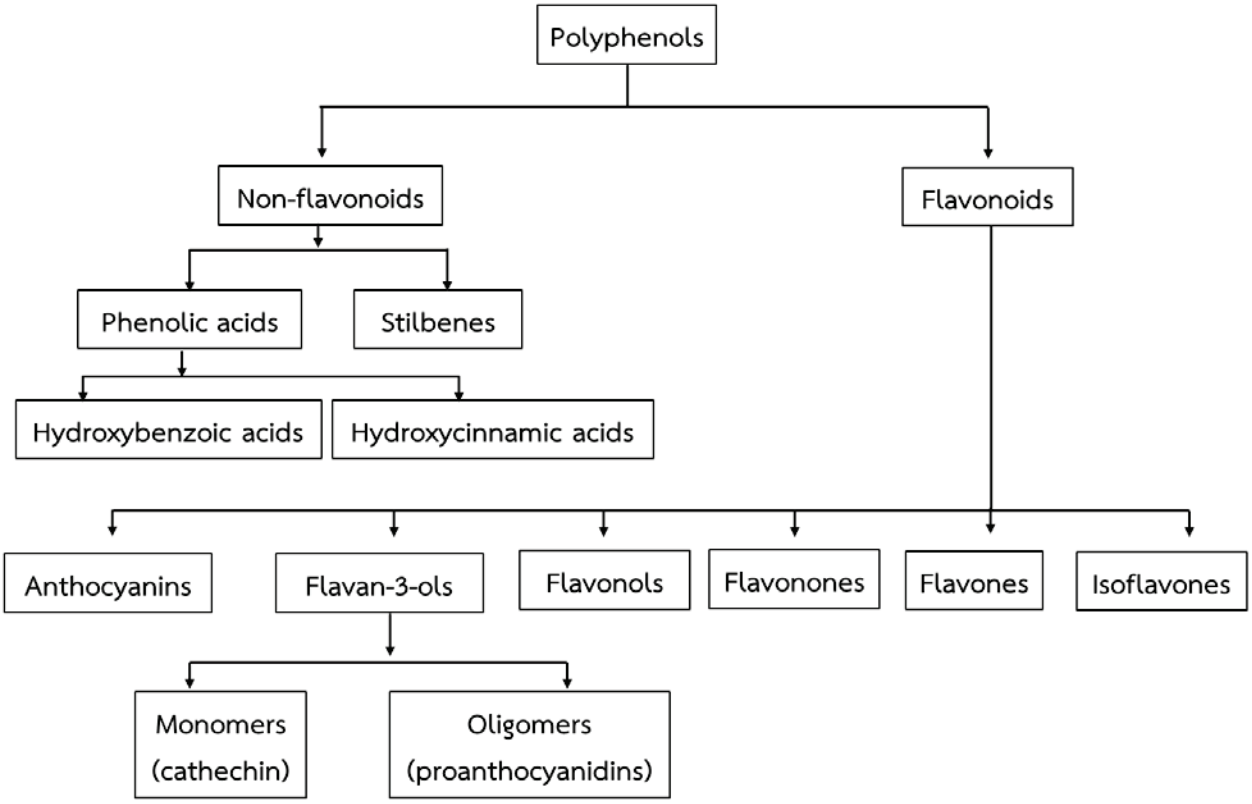


Figure 1 Schematic of phenolic compounds classification

สารประกอบฟีนอลที่สำคัญในพืชที่กินได้ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (C_6–C_3–C_6) กรดฟีนอลิก (C_6–C_3 หรือ C_6–C_1) และแทนนิน[15-16] ซึ่งกรดฟีนอลิกมีปริมาณ 1 ใน 3 ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด[17] แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่ม คือ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids, C_1-C_6) และกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxyl-cinnamic acids, C_3-C_6) โดยธรรมชาติกรดฟีนอลิกจะอยู่ในรูปที่เชื่อมกับสารประกอบอื่นภายในเซลล์ของพืชมากกว่าอยู่ในรูปอิสระ เช่น เชื่อมด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester) และอีเทอร์ (ether) กับอะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) และโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) อื่น ๆ ที่ผนังเซลล์ของพืช[18] หรือเชื่อมต่อด้วยพันธะโควาเลนท์ (covalent) กับโมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol)[19-20] เป็นต้น โดยกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) จะพบมากในพืชจำพวกธัญพืช เช่น ข้าวไรย์และข้าวบาร์เลย์[21]

สารประกอบฟลาโวนอยด์มีจำนวนประมาณ 6,000 ชนิด[22] อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นฟีนอลเบนโซไพโรน (phenylbenzopyrones) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 ตัว (C_6 - C_3 - C_6) จัดเรียงเป็น 3 วงแหวน เรียกเป็นวงแหวน A, B, และ C โดย วงแหวน A และ B เป็นวงเบนซีน (benzene ring) ส่วนวงแหวน C เป็นวงแหวนเฮทเทอโรไซคลิก (heterocyclic pyran ring) ซึ่งอยู่ตรงกลางของโครงสร้างสารประกอบฟลา-โวนอยด์ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้อีกหลายกลุ่มตามหมู่ฟังก์ชันที่แทนที่ในโครงสร้างหลัก เช่น ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวโนน (flavanone) และแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) เป็นต้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ที่พบได้ทั่วไปในสมุนไพรและเครื่องเทศอีกหลายชนิด[23] หน้าที่ของสารประกอบฟลาโวนอยด์ในพืช คือ ทำหน้าที่เป็นสารให้สีในพืชเพื่อลดความเข้มข้นของรังสีอัลตราไวโอเลตที่พืชได้รับ และช่วยตรึงไนโตรเจน โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่มีโมเลกุลของน้ำตาลเข้ามาเกาะในรูปของบีตา-ไกลโคไซด์ (β-glycoside) เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิก

จากงานวิจัยทั้งในห้องปฏิบัติการและในสัตว์ พบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์[24] โดยเชื้อแบคทีเรียภายในลำไส้สามารถสลายสารประกอบฟีนอลิกผ่านกระบวนการหมักและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย[25] ดังนั้นการบริโภคผักและผลไม้จึงส่งผลดีต่อสุขภาพ และส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อลำไส้[26] นอกจากนั้นหลักฐานการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การบริโภคอาหารที่มีสารประกอบฟีนอลิกและมีเส้นใยในปริมาณสูง มีฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านเบาหวาน ควบคู่ไปกับการลดปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด และความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง[19,27- 28]

การหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียแล็กติก

กระบวนการหมักเป็นเทคนิคการถนอมอาหารและการผลิตอาหารที่เก่าแก่ที่สุด และเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารหมัก เช่น ขนมปัง ชีส ซีอิ๊ว ไวน์ เบียร์ น้ำส้มสายชู เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักจะต้องมีความปลอดภัย ไม่ผลิตสารเมแทบอไลต์ที่เป็นพิษ และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์[29] โดยกิจกรรมของแบคทีเรียแล็กติกในกระบวนการหมักจะผลิตกรดแล็กติก ส่งผลให้อาหารมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดอื่นที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย หรือก่อโรคในอาหารที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น ยีสต์และเชื้อรา[30] แบคทีเรียแล็กติกถูกนำมาใช้เพื่อผลิตอาหารหมักหลายชนิด เช่น ในผลิตภัณฑ์นม เพื่อผลิตโยเกิร์ต ชีส เนย และครีมเปรี้ยว เป็นต้น[31] ซึ่งแบคทีเรียแล็กติกที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ จีนัส *Lactococcus, Streptococcus, Lactobacillus, Leuconostoc, Pediococcus, Weissella* และ *Bifidobacterium* แบคทีเรียที่ผลิตกรดแล็กติกเป็นแบคทีเรียแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ และไม่สร้างเอนไซม์คะตาเลส (catalase) สามารถหมักน้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลแล็กโทส (lactose) ให้เกิดกรดแล็กติก (lactic acid) และกรดอินทรีย์อื่น ได้แก่ กรดแอซีติก (acetic acid) และกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และสารอื่น เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และไดอะซิติล (diacetyl)[32] ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและรสของอาหารหมัก นอกจากนั้นแบคทีเรียแล็กติกยังสามารถสร้างแบคเทอริโอซิน (bacteriocin) เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นเติบโตได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนไปจนถึงไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ

การหมักอาหารถือเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมมนุษย์ที่มีมานาน ในกระบวนการหมักจะอาศัยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถผลิตกรดแล็กติก (*Lactobacillaceae*) ในการเปลี่ยนหรือย่อยสลายสารอาหารเพื่อเพิ่มหรือคงคุณภาพของอาหารและมีความปลอดภัย นอกจากนั้นอาหารหมักบางชนิดที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์[33-35] ดังงานวิจัยหลายเรื่องที่รายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนหรือสลายสารประกอบฟีนอลิกในพืชด้วยแบคทีเรียในลำไส้ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์[31,23] *Lactobacillaceae* เป็นกลุ่มของแบคทีเรียแล็กติกที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกในพืชให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากขึ้น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ รีดักเตส (reductase) เอสเทอเรส (esterase) และดีคาร์บอกซีเลส (decarboxylase) โดยเอนไซม์ที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของเชื้อในระหว่างกระบวนการหมักขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น หรือวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมักและสายพันธุ์ของเชื้อ เช่น เอนไซม์เฟอรูลิกแอซิดเอสเทอเรส (ferulic acid esterase) ที่เชื้อ *L. acidophilus* สร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักที่ใช้ชานอ้อยเป็นสารตั้งต้น (substrate) และเอนไซม์คลอโรจีนิกแอซิดเอสเทอเรส (chlorogenic acid esterase) เมื่อใช้เชื้อสายพันธุ์ *L.plantarum L.sakei*, *L.gasseri* และ *Limosilactobacillus* ใน

กระบวนการหมักที่ใช้ผักเคล ทานตะวัน และบรอกโคลีเป็นสารตั้งต้น[36-38] จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า เอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายสารประกอบฟีนอลิกให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากขึ้น คือ เอนไซม์กลุ่มไกลโคซิเดส (glycosidase) และเอสเทอเรส (esterase) ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดซินาปิก (sinapic acid) โดยเอนไซม์ไฮดรอกซีซินนามิก รีดักเตส (hydroxyl-cinnamic reductase) ที่มีความจำเพาะต่อโครง-สร้างของกรดซินาปิก (sinapic acid) นอกจากนั้นยังมีเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะของน้ำตาลที่เกาะอยู่กับโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ คือ บีตา-กลูโคซิเดส (ß-glucosidase)

การเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในผักและผลไม้ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก

สำหรับการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ มักเลือกใช้แบคทีเรียในสกุล *Lactiplantibacillus* และ *Lacticaseibacillus* ในระหว่างกระบวนการหมักจะพบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้น ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดไซรินจิก (syringic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) และคาเทชิน (catechin) ดังรายงานของ Wu และคณะ[39] ที่หมักน้ำองุ่นด้วยเชื้อ 2 ชนิด คือ *L. plantarum* และ *L. brevis* นาน 12 ชั่วโมง สามารถเพิ่มปริมาณโพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) บี1 บี2 คาเทชิน และอีพิคาเทชิน (epicatechin) ส่วนการหมักน้ำเอลเดอร์เบอร์รีและเชอร์รี พบปริมาณแอนโทไซยานินและสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงขึ้น[40-41] การหมักน้ำแอปเปิลและมัลเบอร์รี ด้วยเชื้อ *L. plantarum* เพิ่มปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ฟลาโวนอยด์ไกลโคซิเดส (flavonoid glycosidase) จากเชื้อที่ผลิตขึ้นลดปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-O-glucoside) แต่ปริมาณไซยานิดิน (cyanidin) เพิ่มขึ้นด้วยกิจกรรมของเอนไซม์แอนโทไซยานินไกลโคซิเดส (anthocyanin glycosidase)[40] การเปลี่ยนโครงสร้างของกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) ด้วยกิจกรรมของเอนไซม์กรดไฮดรอกซี-ซินนามิก เอสเทอรเรส (hydroxycinnamic acid esterase) เช่น การเพิ่มปริมาณของกรดคลอโร-จีนิก (chlorogenic acid) ในมะละกอบดที่หมักด้วยเชื้อ *L. plantarum* และ *L. casei* นาน 48 ชั่วโมง และเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 4°C[41] การหมักเนื้ออะโวคาโดบดด้วยเชื้อ *L. plantarum* AVEF17 ส่งผลให้ปริมาณกรดคาเฟอิก (caffeic acid) เพิ่มขึ้น และปริมาณของกรดโรสมา-รินิก (rosmarinic acid) ลดลง[42] นอกจากนั้นยังพบว่า เชื้อ *L. plantarum* ยังสามารถสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดฟีนอลิกในระหว่างการเกิดกระบวนการหมัก เช่น เอทิลฟีนอล (ethyl phenol) และเอทิลแคทีคอล (ethyl catechol) ในน้ำเชอร์รีและอะโวคาโดบดด้วยเอนไซม์ไวนิลฟีนอลรีดักเตส (vinyl phenol reductase) และกระบวนการกำจัดหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างของกรดฟีนอลิก[43-44]

การหมักผักด้วยแบคทีเรียแล็กติก เช่น การหมักใบของ *Cudrania tricuspidate* ด้วยเชื้อ *L. plantarum* SDL 1413 สามารถเปลี่ยนโครงสร้างของ flavonol-7-O-β-glucopyranosides และ kaempferol-3-O-β-glucopyranoside ด้วยเอนไซม์ไกลโคซิลไฮโดรเลส (glycosyl hydrolases) ให้อยู่ในรูปที่ไม่มีโมเลกุลของน้ำตาลมาเกาะ (aglycone) ซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่าในรูปที่มีน้ำตาลมาเกาะที่โครงสร้าง นอกจากนั้นงานวิจัยของ Xu และ Ji[45] รายงานว่า เอนไซม์บีตากลูโคโรนิเดส (β-glucuronidase) และบีตากลูโคซิเดส (β-glucosidase) ที่ได้จากการเชื้อ *L. brevis* และ *L. paracasei* ตามลำดับ ในระหว่างกระบวนการหมักพืชเครื่องเทศที่จัดอยู่ในตระกูลเดียวกันกับกะเพรา (*Scutellaria baicalensis*) และสารสกัดจากเคล[46] สามารถเพิ่มปริมาณไบคาลิน วาโกนิน (baicalein wogonin) และเคมเฟอรอล (kaempferol) ที่เป็นสารประกอบฟาโวนอยด์

ประโยชน์ของอาหารที่หมักด้วยแบคทีเรียแล็กติกต่อสุขภาพมนุษย์

อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสารที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของเซลล์ตามธรรมชาติ และสามารถถูกสร้างขึ้นมาอย่างต่อเนื่องจากภายนอก ได้แก่ การสัมผัสกับรังสี มลพิษทางอากาศ ภาวะออกซิเจนเป็นพิษ การสูบบุหรี่ และดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น อนุมูลอิสระประกอบด้วยอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวหรือมากกว่าในบริเวณชั้นนอกสุดของเซลล์ มีความไม่เสถียร และไวต่อการทำปฏิกริยากับสารอื่น ทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารประเภทไขมัน โปรตีน และดีเอ็นเอ ซึ่งร่างกายสามารถจัดการและกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ตามธรรมชาติ แต่หากร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ให้หมดไป จะเกิดการสะสมอนุมูลอิสระในร่างกาย นำไปสู่การเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ส่งผลต่อกระบวนการเสื่อมของเซลล์ และยังเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็ง โรคตับแข็ง และการอักเสบของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย โดยสารที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระเพื่อหยุดปฏิกิริยาเกิดอนุมูลอิสระนั้นเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารเหล่านี้มีทั้งเอนไซม์ เช่น เอนไซม์คะตาเลส เพอร์ออกซิเดส (catalase peroxidase) เป็นต้น และสารที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น วิตามินอี วิตามินซี ฟลาโวนอยด์ และฟีนอลิก เป็นต้น โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มจากกระบวการหมักด้วยแบคทีเรียแล็กติก เชื่อมโยงกับความสามารถในการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิกให้อยู่ในรูปที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยเอนไซม์ที่เชื้อสร้างขึ้น เช่น รีดักเตสไฮโดรเลส (reductase hydrolase) และผ่านกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decaboxylation) ของกรดฟีนอลิก ในระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากขึ้น จึงส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นยังลดปริมาณสารต้านการดูดซึมแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น กรดไฟติก (phytic acid) และแทนนิน (tannin) ที่ยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็ก โปรตีน และน้ำตาลเชิงเดี่ยว[47-48] และยังเพิ่มความสามารถในการดูดซึมวิตามินเข้าสู่ร่างกาย ดังงานวิจัยที่ศึกษาปริมาณ

วิตามินซีที่เพิ่มขึ้นในน้ำบีตรูตที่ผ่านกระบวนการหมักตามธรรมชาติสูงกว่าน้ำบีตรูตที่ไม่ได้ผ่านการหมัก และปริมาณลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเอนไซม์แอสคอร์บิก ออกซิเดส (ascorbic oxidase) ที่ทำให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของวิตามินซี การหมักน้ำบลูเบอร์รีด้วยเชื้อ *L. plantarum* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เมื่อทดสอบด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และยับยั้งการเกิดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion) และยังช่วยลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ในเซลล์ลำไส้ใหญ่ (Caco-2 cell)[49-50] นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการหมักน้ำวูฟเบอรีจากเชื้อแบคทีเรียแล็กติกต่างสายพันธุ์กัน จำนวน 6 ชนิด หลังจากการหมักพบว่า ปริมาณกรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินเพิ่มขึ้น พร้อมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP[51-52] การเพิ่มปริมาณของสาร centaurin-3-O-rutin และ quercetin ในน้ำมัลเบอรรีที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *L. plantarum* ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 36 ชั่วโมง ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามไปด้วย[53]

บทสรุป

เนื่องจากปัจจุบัน ผู้คนให้ความสำคัญกับปัญหาสุขภาพของตนเองมากขึ้นเรื่อย ๆ อาหารหมักจากพืช เช่น ผักและผลไม้จึงมีบทบาทสำคัญในตลาดอาหารเพื่อสุขภาพในอนาคต และมีแนวโน้มสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน การหมักผักและผลไม้ด้วยเชื้อแบคทีเรียแล็กติกสามารถเพิ่มปริมาณสารพฤกษ-เคมีที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย และมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยชะลอและป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามกระบวนการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียยังต้องมีการทดสอบความปลอดภัยให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้ได้สารพฤกษเคมีหรือสารอื่น ๆ ที่มีผลดีต่อสุขภาพ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่ปลอดภัยและมีผลต่อการชะลอการเกิดโรค เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและความต้องการของตลาด

เอกสารอ้างอิง

1. Noman M, Shahid M, Ahmed T, Niazi MBK, Hussain S, Song F, Manzoor I. Use of biogenic copper nanoparticles synthesized from a native *Escherichia* sp. as photocatalysts for azo dye degradation and treatment of textile effluents. Environ Pollut. 2020;257:113514.
2. Yang XJ, Dang B, Fan MT. Free and bound phenolic compound content and antioxidant activity of different cultivated blue highland barley varieties from the Qinghai-Tibet Plateau. Molecules. 2018;23(4):879.
3. Roberts JL, Moreau R. Functional properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) phytochemicals and bioactives. Food Funct. 2016;7(8):3337-53.
4. Wang Y, Zhang C, Liu F, Jin Z, Xia X. Ecological succession and functional characteristics of lactic acid bacteria in traditional fermented foods. Crit Rev Food Sci Nutr. 2023;63(22):5841-55.

5. Mantzourani I, Terpou A, Alexopoulos A, Chondrou P, Galanis A, Bekatorou, A, et al., Application of a novel potential probiotic *Lactobacillus paracasei* strain isolated from kefir grains in the production of feta-type cheese. Microorganisms. 2018;6(4):121.
6. Agnieszka Z, Barbara S, Marcin B. Role of lactic acid bacteria in food preservation and safety. Foods. 2022;11:1283.
7. Quan Q, Liu W, Guo J, Ye M, Zhang J. Effect of six lactic acid bacteria strains on physicochemical characteristics, antioxidant activities and sensory properties of fermented orange juices. Foods. 2022;11:1920.
8. Szutowska J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: A systematic literature review. Eur Food Res Technol. 2020;246:357-72.
9. Sharma R, Garg P, Kumar P, Bhatia SK, Kulshrestha S. Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods. Fermentation. 2020;6:106.
10. Melini F, Melini V, Luziatelli F, Ficca AG, Ruzzi M. Health-promoting components in fermented foods: An up-to-date systematic review. Nutrients. 2019;11:1189.
11. Atkin OK, Millar AH, Gardeström P, Day DA. Photosynthesis, carbohydrate metabolism and respiration in leaves of higher plants. Photosynthesis: physiology and metabolism 2000;153-75.
12. Crozier A, Clifford MN, Ashihara H. Plant secondary metabolites. Occurrence, Structure and Role in the Human Diet, Blackwell-Publishers. 2006.
13. Xiao J. Phytochemicals in food and nutrition. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2016;56:S1-S3.
14. Babenko LM, Smirnov OE, Romanenko KO, Trunova OK, Kosakivska IV. Phenolic compounds in plants: Biogenesis and functions. Ukr. Biochem. J. 2019;91(3):5-18.
15. Del Rio D, Rodriguez-Mateos A, Spencer JPE, Tognolini M, Borges G, Crozier A, Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. Antioxid Redox Signal. 2013;18:1818-92.
16. Tsimogiannis D, Oreopoulou V. Classification of phenolic compounds in plants. In: Watson, R.R. (Ed.), Polyphenols in Plants. Elsevier, 2019. pp. 263-84.
17. Haminiuk CW, Maciel GM, Plata‐Oviedo MS, Peralta RM. Phenolic compounds in fruits–an overview. Int J Food Sci Technol. 2012;47(10):2023-44.
18. Vitaglione P, Napolitano A, Fogliano V. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. Trends Food Sci Technol. 2008;19:451-63.
19. Acosta-Estrada BA, Gutiˊerrez-Uribe JA, Serna-Saldívar SO. Bound phenolics in foods, a review. Food Chem. 2014;152:46-55.
20. Shahidi F, Yeo JD. Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: a review. Int J Mol Sci. 2018;19:1573.
21. Martínez-Sˊanchez A, Gil-Izquierdo A, Gil MI, Ferreres F. A comparative study of flavonoid compounds, vitamin C, and antioxidant properties of baby leaf Brassicaceae species. J Agric Food Chem. 2008;56:2330-40.
22. Vuolo MM, Lima VS, Junior MRM. (2019). Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In Bioactive compounds (pp. 33-50). Woodhead Publishing.
23. de la Rosa LA, Moreno-Escamilla JO, Rodrigo-García J, Alvarez-Parrilla E. (2019). Phenolic compounds. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 253-271). Woodhead publishing.
24. Leonard W, Zhang P, Ying D, Fang Z. Hydroxycinnamic acids on gut microbiota and health. Compr. Rev. Food Sci Food Saf. 2021;20:710-37.
25. Loo YT, Howell K, Chan M, Zhang P, Ng K. Modulation of the human gut microbiota by phenolics and phenolic fiber-rich foods. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2020;19:1268-98.

26. De Filippis F, Pellegrini N, Vannini L, Jeffery IB, La Storia A, Laghi L, et al., High-level adherence to a Mediterranean diet beneficially impacts the gut microbiota and associated metabolome. Gut. 2016;65:1812-21.
27. Ardona F, Andr´es-Lacueva C, Tulipani S, Tinahones FJ, Queipo-Ortu˜no MI, Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. J Nutr Biochem. 2013;24:1415-22.
28. Vitaglione P, Mennella I, Ferracane R, Rivellese AA, Giacco R, Ercolini D, et al., Whole-grain wheat consumption reduces inflammation in a randomized controlled trial on overweight and obese subjects with unhealthy dietary and lifestyle behaviors: role of polyphenols bound to cereal dietary fiber. Am J Clin. 2015;101(2):251-61.
29. Muhialdin BJ, Saari N, Hussin ASM. Review on the biological detoxification of mycotoxins using lactic acid bacteria to enhance the sustainability of foods supply. Molecules. 2020;25:2655.
30. Ayivi RD, Gyawali R, Krastanov A, Aljaloud SO, Worku M, Tahergorabi R, et al., Lactic acid bacteria: Food safety and human health applications. Dairy. 2020;1:202-32.
31. Castellano P, Ibarreche MP, Massani MB, Fontana C, Vignolo GM. Strategies for pathogen biocontrol ising lactic acid bacteria and their metabolites: A focus on meat ecosystems and industrial environments. Microorganisms. 2017;5:38.
32. G¨anzle MG. Food fermentations for improved digestibility of plant foods – an essential ex situ digestion step in agricultural societies? Curr. Opin Food Sci. 2020;32:124-32.
33. Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD, Foligné B, et al., Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. Curr Opin Biotechnol. 2017;44:94-102.
34. Wastyk HC, Fragiadakis GK, Perelman D, Dahan D, Merrill BD, Feiqiao BY, et al., Gut-microbiota-targeted diets modulate human immune status. Cell. 2021;184(16):4137-53.
35. Chia LW, Hornung BVH, Aalvink S, Schaap PJ, de Vos WM, Knol J, et al., Deciphering the trophic interaction between *Akkermansia muciniphila* and the butyrogenic gut commensal *Anaerostipes caccae* using a metatranscriptomic approach. Int J Gen Mol Microbiol. 2018;111:859-73.
36. Filannino P, Bai Y, Di Cagno R, Gobbetti M, G¨anzle MG. Metabolism of phenolic compounds by *Lactobacillus* spp. during fermentation of cherry juice and broccoli puree. Food Microbiol. 2015;46:272–79
37. Fritsch C, Heinrich V, Vogel RF, Toelstede S. Phenolic acid degradation potential and growth behavior of lactic acid bacteria in sunflower substrates. Food Microbiol. 2016;57:178-86.
38. Szutowska J, Gwiazdowska D, Rybicka I, Pawlak-Lema´nska K, Biega´nska-Marecik R, Gliszczy´nska-´Swigło A. Controlled fermentation of curly kale juice with the use of autochthonous starter cultures. Food Res Int. 2021;149:110674
39. Wu B, Liu J, Yang W, Zhang Q, Yang Z, Liu H, Lv Z, et al., Nutritional and flavor properties of grape juice as affected by fermentation with lactic acid bacteria. Int J Food Prop. 2021;24:906-22.
40. Ricci A, Cirlini M, Calani L, Bernin V, Neviani E, Del Rio D et al., In vitro metabolism of elderberry juice polyphenols by lactic acid bacteria. Food Chem. 2019;276:692-9.
41. Ricci A, Cirlini M, Maoloni A, Del Rio D, Calani L, Bernini V, et al., Use of dairy and plant-derived lactobacilli as starters for cherry juice fermentation. Nutrients. 2019;11:213.
42. Tang S, Cheng Y, Wu T, Hu F, Pan S, Xu X. Effect of *Lactobacillus plantarum* fermented mulberry pomace on antioxidant properties and fecal microbial community. Lebensm Wiss Technol. 2021;147:111651.
43. Mashitoa FM, Akinola SA, Manhevi VE, Garcia C, Remize F, Slabbert RM, et al., Influence of fermentation of pasteurised papaya puree with different lactic acid bacterial strains on quality and bioaccessibility of phenolic compounds during in vitro digestion. Foods. 2021;10:962.

44. Filannino P, Tlais AZA, Morozova K, Cavoski I, Scampicchio M, Gobbetti M, et al., Lactic acid fermentation enriches the profile of biogenic fatty acid derivatives of avocado fruit (*Persea americana* Mill.). Food Chem. 2020;317:126384.
45. Xu C, Ji G-E. Bioconversion of flavones during fermentation in milk containing *Scutellaria baicalensis* extract by *Lactobacillus brevis*. J Microbiol Biotechnol. 2013;23:1422-7.
46. Shimojo Y, Ozawa Y, Toda T, Igami K, Shimizu T. Probiotic *Lactobacillus paracasei* A221 improves the functionality and bioavailability of kaempferolglucoside in kale by its glucosidase activity. Sci Rep. 2018;8:9239.
47. Admassie M. A review on food fermentation and the biotechnology of lactic acid bacteria. World J Food Sci Technol. 2018;2:19–24.
48. Ligenza A, Jakubczyk KP, Kochman J, Janda K. Potencjał prozdrowotny i skład mikrobiologiczny fermentowanego napoju tepache. Med Ogólna Nauk Zdrowiu. 2021;27:272-6.
49. Li S, Tao Y, Li D, Wen G, Zhou J, Manickam S, et al., Fermentation of blueberry juices using autochthonous lactic acid bacteria isolated from fruit environment: Fermentation characteristics and evolution of phenolic profiles. Chemosphere. 2021;276.
50. Yu Q, Wang W, Liu X, Shen W, Ruixia Gu, Tang C. The Antioxidant Activity and Protection of probiotic bacteria in the In vitro gastrointestinal digestion of a blueberry juice and whey protein fermentation system. Fermentation. 2023;9(4):335
51. Wang Z, Lao J, Kang X, Xie Z, He W, Liu X, et al., Insights into the metabolic profiling of *Polygonati rhizoma* fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* under aerobic and anaerobic conditions using a UHPLC-QE-MS/MS system. Front Nutr. 2023;26(10):1093761.
52. Aleman RS, Avila D, Avila A, Losso JN, Picha D, Xu Z, et al., Chemical characterization and impact of nipple Fruit (*Solanum mammosum*) on the characteristics of *Lactobacillus acidophilus* LA K. Fermentation. 2023;9:715.
53. Kwaw E, Ma Y, Tchabo W, Apaliya MT, Wu M, Sackey AS, et al., Effect of lactobacillus strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice. Food Chem. 2018;1(250):148-54.

ประโยชน์ของเปลือกมะนาว

ชมดาว สิกขะมณฑล

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrcds@ku.ac.th
รับเมื่อ 10 เมษายน 2567 **แก้ไขเมื่อ** 27 สิงหาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 30 สิงหาคม 2567

จุดเด่น

- ผิวเปลือกมะนาว มีน้ำมันหอมระเหย วิตามินซี และเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณสารไบโอฟลาโวนอยด์สูง

บทคัดย่อ

มะนาว (Lime) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* (Christm et. Panz.) Swing เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก จัดเป็นไม้ผลในตระกูลส้ม (Citrus) มีรสเปรี้ยวจัดหรือเป็นแหล่งของวิตามินซี ให้รสชาติและกลิ่นหอม มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะวิตามินซีในมะนาวช่วยป้องกันโรค โดยการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะสมดุลที่ร่างกายรับได้ มะนาวอยู่ในวงศ์ *Rutaceae* มีคุณสมบัติทางโภชนาการและยา เป็นแหล่งของเพกติน สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำและน้ำมันหอมระเหย เปลือกมะนาวอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถต้านมะเร็ง ต้านไวรัส ต้านแบคทีเรีย และต้านการอักเสบ ยังเป็นสารพฤกษเคมีหรือไฟโตนิวเทรียนท์ (phytochemicals หรือ phytonutrients) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช และมีฤทธิ์ต้านจุลชีพที่สำคัญมีคุณสมบัติเป็นยาสมานแผลได้ นอกจากนี้เปลือกมะนาวมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ดี จากคุณประโยชน์ของเปลือกมะนาวสามารถนำไปประยุกต์อาหารคาว อาหารว่าง เบเกอรี เครื่องดื่มต่าง ๆ รวมทั้งใช้เป็นอาหารเสริมหรือผลิตภัณฑ์เสริมความงามหรือใช้เป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

คำสำคัญ : เปลือกมะนาว เฮสเพอริดิน วิตามินซี รสขม

Benefits of lime peel

Chomdao Sikkhamondhol

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrcds@ku.ac.th
Received 10 April 2024; **Revised** 27 August 2024; **Accepted** 30 August 2024

Highlights

- Lime peel is rich in essential oils, vitamin C, and dietary fiber. It is high in antioxidants and bioflavonoids

Abstract

Lime *Citrus aurantifolia* (Christm et. Panz.) Swing is a small tree. Its fruit has a very sour taste and is a good source of vitamin C. It adds a delicious flavor and aroma to dishes. Limes have antioxidant properties, with vitamin C helping to prevent various diseases by controlling free radicals in the body. They also have nutritional and medicinal benefits, containing pectin, water-soluble and water-insoluble antioxidants, and essential oils. Lime peel is rich in phenolic compounds with antioxidant properties, which can help combat cancer, viruses, bacteria, and inflammation. Limes also contain phytochemicals, which are plant-based compounds with important antimicrobial properties. Furthermore, lime peels have wound-healing properties and can inhibit the growth of disease-causing microorganisms. Because of these benefits, lime peel can be used in savory foods, snacks, baked goods, and various beverages, as well as in beauty and medical products.

Keywords : lime peel, hesperidin, vitamin C, bitter taste

บทนำ

มะนาวจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในประเทศไทย โดยมีการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมากมาย เช่น เป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ซักล้างที่มีประสิทธิภาพ การนำมาใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มรสชาติในผลิตภัณฑ์อาหารและการนำมาเป็นเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ สำหรับผลผลิตมะนาวในปี พ.ศ. 2567 จากรายงานศูนย์ข่าวกระทรวงพาณิชย์คาดว่า ทั่วประเทศจะมีการผลิตมะนาวกว่า 200,000 ตัน ลดลงจากปีก่อน 18% โดยแหล่งผลิตสำคัญ ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดราชบุรี จังหวัดพิจิตร และจังหวัดเพชรบุรี โดยผลผลิตออกมากในช่วงฤดูฝน คือ เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม[1] ดังนั้นเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรปลูกมะนาวได้ทางหนึ่งโดยนำมะนาวมาแปรรูปให้มากขึ้น การปลูกมะนาวมีอยู่หลายพันธุ์ ซึ่งพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก[2] ได้แก่

1. มะนาวหนัง เป็นมะนาวที่ปลูกทั่วไปตามพื้นบ้าน ลักษณะผลใหญ่ ผลอ่อนและกลมยาว หัวท้ายแหลม เมื่อโตขึ้นจะค่อย ๆ สั้นเข้า หัวท้ายจะมน เมื่อโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาว มีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุดเล็ก ๆ ผิวเรียบ เปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาไว้ได้นาน เป็นพันธุ์ที่รสเปรี้ยวจัด เพราะมีเปอร์เซ็นต์กรดค่อนข้างสูง น้ำมีกลิ่นหอมนำไปใช้ทำน้ำมะนาวดื่มได้ดี

2. มะนาวไข่ เป็นมะนาวที่มีลักษณะคล้ายกับมะนาวหนังทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลมและค่อย ๆ กลมเข้าเมื่อโตขึ้น เมื่อผลเจริญเต็มที่มีลักษณะกลมมนเป็นส่วนใหญ่ หัวและก้นมีจุกไม่แหลม ผิวเรียบ เปลือกบางใส ผลโตกว่ามะนาวหนัง ออกลูกดกและผลมีน้ำมาก มีเมล็ดค่อนข้างน้อย ข้อดีของมะนาวไข่คือ ออกผลที่ปลายกิ่งซึ่งสะดวกต่อการเก็บผล

3. มะนาวแป้น เป็นมะนาวที่ได้จากการเพาะเมล็ดพื้นบ้านแล้วมีการกลายพันธุ์ไปจนได้ลักษณะที่ดี เป็นมะนาวพันธุ์ที่คนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเป็นมะนาวที่ให้ผลดกและออกผลตลอดทั้งปี ผลมีขนาดปานกลาง ทรงมนแป้น เปลือกบางใส มีสีเขียวอมเหลือง ไม่ค่อยมีเมล็ด

4. มะนาวโมพี ผลมีลักษณะกลมโต แต่ส่วนก้นผลมีลักษณะกลมแป้น ผิวเรียบ เปลือกหนาแข็ง เป็นพันธุ์ที่มีรสเปรี้ยวและไม่มีกลิ่น

5. มะนาวพม่า ผลอ่อนที่เกิดใหม่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวหัวและก้นผลแหลม เมื่อผลโตขึ้นตรงกลางโป่งออกเรื่อย ๆ หัวและก้นสั้นเข้า ผลจะค่อย ๆ กลมโตเกือบเท่าส้มเขียวหวาน เมื่อผลเจริญเต็มที่ก้นผลย้อยแหลม เปลือกหนาและแข็ง ผิวของผลเมื่อเล็ก ๆ มีความยาวและขรุขระ เมื่อโตขึ้นร่องค่อย ๆ หายไป และมองไม่เห็นเมื่อผลโตเต็มที่ ผิวหยาบและมักมีปุ่มมาก รสชาติเปรี้ยวแต่ไม่ค่อยมีกลิ่น จึงไม่นิยมปลูกกันมากนัก

6. มะนาวเตี้ย ผลมีลักษณะกลมมน มีหัวที่จุกส่วนก้นแป้น ตรงกลางมีจุกแหลม ๆ ยาวเล็ก ๆ ของเกสรตัวผู้ติดอยู่ ผิวของผลค่อนข้างหยาบ

7. มะนาวหวาน ผลขณะยังเล็กตรงกลางผลป่อง หัวท้ายเรือแหลม โตขึ้นจะยิ่งสั้นเมื่อเจริญเต็มที่ หัวและก้นจะแป้น กลมคล้ายผลส้มเขียวหวาน มักมีร่อง เปลือกมีสีเขียวคล้ำ เนื้อค่อนข้างแดง รสชาติหวานจืด

8. มะนาวพันธุ์ตาฮิติ เป็นพันธุ์ที่นำมาจากหมู่เกาะตาฮิติ เป็นมะนาวที่ไม่ตรงกับรสนิยมของคนไทย แต่มีข้อดีคือ ทนแล้งและติดผลได้ดีตลอดทั้งปี ผลโตเปลือกหนา เมื่อแก่จัดผลยังเป็นสีเขียวเข้ม มีน้ำมากเพราะในผลของมะนาวพันธุ์นี้ไม่มีเมล็ดอยู่เลย

9. มะนาวทราย นิยมปลูกกันมากที่สุด เป็นมะนาวที่ออกลูกดก ออกลูกตลอดปี มีทรงพุ่มสวย ใช้เป็นไม้ประดับ ไม่นิยมนำมาบริโภค เพราะน้ำไม่หอม มีรสขมเจือปน[3]

ทางด้านพฤกษศาสตร์ มะนาวอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี (phytochemical) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายที่สำคัญ ได้แก่ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (cellulose and hemicellulose) ที่ช่วยเพิ่มกากใยอาหารในลำไส้ส่งผลระบบการขับถ่ายและการทำงานของลำไส้ที่ดี[4] มะนาวมีเปลือกบางทำให้สะดวกต่อการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหารโดยใช้ส่วนของน้ำมะนาวและเนื้อมะนาว เปลือกมะนาวมักเป็นสิ่งที่เหลือทิ้งและใช้เป็นส่วนผสมของอาหารโคกระบือโดยการนำไปตากแห้ง

เปลือกมะนาวอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ[5] สามารถต้านมะเร็ง ต้านไวรัส ต้านแบคทีเรียและต้านการอักเสบ ลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง และลดไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้[6] สอดคล้องกับรายงานของ Yatao และคณะ[7] กล่าวว่า เฮสเพอริดิน (hesperidin) เป็นสารฟลาโวนอยด์ ที่พบในผลไม้ตระกูลซีตรัส เช่น ส้ม เลมอน และมะนาว และมีความสำคัญต่อต้านการอักเสบ ต้านความเครียด ช่วยการเจริญเติบโต ต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็งและเพิ่มภูมิคุ้มกัน คุณสมบัติของเฮสเพอริดิน ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกายและเยื่อเมือก โดยการเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาวในลำไส้ อวัยวะน้ำเหลือง (ไธมัส ม้าม และเบอร์ซ่า) และมีการสร้างแอนติบอดีในการป้องกันโรคไข้หวัดนกและโรคนิวคาสเซิล (Newcasstle disease) ในสัตว์ปีก เปลือกมะนาวมีฤทธิ์เป็นด่างในธรรมชาติ ทำให้ช่วยรักษาค่า pH ของร่างกาย และช่วยกระตุ้นการย่อยได้ดี ทั้งนี้ยังต่อต้านจุลินทรีย์อย่างเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และยังช่วยลดระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล[8] นอกจากนี้ยังพบใยอาหารของเปลือกมะนาวและสารต้านอนุมูลอิสระสูงจึงได้มีการนำเปลือกมะนาวผงไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ลูกอมเปลือกมะนาว (citrus candy)[9] บิสกิต[10] เพกตินที่ผลิตจากเปลือกมะนาว[11] แต่เนื่องจากเปลือกมะนาวมีรสขมจากสารลิโมนิน (limonene) จึงได้มีการลวกเปลือกมะนาวก่อนนำไปแปรรูปต่าง ๆ[12] การลวกเปลือกมะนาวนั้นนำไปลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที สามารถลดความขมของเปลือกมะนาวได้ ซึ่งมีงานวิจัยผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวกต่อปริมาณสารลิโมนินและวิตามินซีในมะนาวพันธุ์แป้นพบว่า เมื่อทำการลวกมะนาวที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณสารลิโมนินมีแนวโน้มที่จะลดลงตามระยะเวลาในการลวกที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ส่งผลให้ปริมาณสารลิโมนินในเปลือกลดลงร้อยละ 55.63 (เทียบกับปริมาณสารลิโมนินในเปลือกของมะนาวสด) และในน้ำมะนาวที่คั้นได้ด้วยที่คั้นน้ำมะนาว ปริมาณสารลิโมนินลดลงร้อยละ 43.21 (เทียบกับปริมาณสารลิโมนินในน้ำมะนาวที่คั้นน้ำมะนาวจาก

ผลมะนาวสด) ดังนั้นการลวกผลมะนาวเพื่อลดความขมจากสารลิโมนิน เป็นวิธีการที่สะดวก รวดเร็วและไม่ยุ่งยากเพราะการลวกเป็นกระบวนการหนึ่งในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบ โดยทำความสะอาดมะนาวหรือการปอกเปลือกก่อนที่จะนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการแปรรูปหลักของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต่อไปได้[13]

จากรายงานวิจัยของ Nabakht ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเปลือกมะนาวแห้งพบว่ามีโปรตีนร้อยละ 8.22 ไขมันร้อยละ 7.47 เยื่อใยร้อยละ 28.3 แคลเซียมร้อยละ 0.61 และฟอสฟอรัสร้อยละ 0.34 เปลือกมะนาวมีสารสำคัญ ได้แก่ สารดี-ลิโมนีน (d-limonenne) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เช่น นารินจิน (naringin) และนารินเจนิน (naringenin) สารนารินจินใช้แต่งกลิ่นของผลิตภัณฑ์เยลลี สามารถลดอาการไข้หวัดและลดอาการหายใจไม่สะดวก[14] นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณเปลือกมะนาวมีสารสำคัญมากกว่าน้ำมะนาว[15] ซึ่งเปลือกมะนาวอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์จากผลไม้และเนื้อไก่ ได้แก่ *Salamonella typi, Bacillus cereus* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น จึงมีการใช้สารสกัดจากเปลือกมะนาวมาเป็นบรรจุภัณฑ์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร[16] บริเวณเปลือกหรือชั้นฟลาวิโด (flavedo) จะมีคลอโรฟิลล์และสารสีอื่น ๆ ซึ่งสามารถใช้เป็นสีธรรมชาติ[17] Rao และ McClements ได้วิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันมะนาว (lemon oil) จากเปลือกของมะนาวซึ่งมีการนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการทำเครื่องดื่ม อาหาร และเครื่องสำอาง รวมทั้งของใช้ภายในบ้านต่าง ๆ เช่น ก้อนหอมดับกลิ่น โดยศึกษาการเตรียมอิมัลชันในรูปแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันมะนาว คือ โมโนเทอร์ปีน (monoterpenes) ร้อยละ 35 เซสควิเทอร์พีนส์ (sesquiterpenes) ร้อยละ 14 และออกซิเจนเนส (oxygenated) ร้อยละ 33 โดยเตรียมอิมัลชัน oil in water ด้วยเครื่อง high pressure homogenizer ประกอบด้วยน้ำมันมะนาวร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก tween 80 ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และสารละลายบัฟเฟอร์ (10 mM phosphate, pH 7) ร้อยละ 89 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้น้ำมันมะนาวร้อยละ 10 ในอิมัลชัน[18] นอกจากนี้ยังมีรายงานศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มเขียวหวานและเปลือกมะนาวสกัดโดยวิธีการแช่หมัก (maceration) ด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ที่ 30 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนของตัวถูกละลาย ได้แก่ เปลือกส้มเขียวหวานหรือเปลือกมะนาวต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:1 และ 1:3 ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดคือ 0, 30, 60 และ 90 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดของเปลือกส้มเขียวหวาน คือ อัตราส่วน 1:1 ระยะเวลาที่ใช้สกัด 60 นาที ที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 20.47 ± 0.05 µg GAE/ml ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากวิธี 2,2-dipheny-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azin-bis (3 ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) radical cation decolorization assay และ ferric ion reducing

antioxidant power (FRAP) assay ร้อยละ 89.30 ±0.05, 2.63±0.11 µg GAE/ml และ 0.95±0.07 µg Fe(II)/ml ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเปลือกมะนาว คือ อัตราส่วน 1:1 ระยะเวลาใช้ในการสกัด 90 นาที ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 17.41±0.06 µg GAE/ml มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH assay, ABTS assay และ FRAP assay ร้อยละ 82.75±0.061, 3.14±0.02 µg GAE/ml และ 0.73 ±0.01 µg Fe(II)/ml ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า เปลือกส้มและเปลือกมะนาวเป็นแหล่งที่ดีของสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ[19] รายงานศึกษาผลของการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) สารสกัดหยาบจากเปลือกมะนาว ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* ATCC 11778 และ *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358 พบว่าสารสกัดเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยสารละลายเมทานอลให้ปริมาณสารสกัดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 17.59±0.59 ของน้ำหนักเปลือกมะนาวแห้ง และให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 1,924.77±2.05 mg GAE/g เมื่อนำสารสกัดที่คัดเลือกได้มาพัฒนาด้วยวิธีการเอนแคปซูเลชันแล้วมาทดสอบฤทธิ์การต้านแบคทีเรียโดยใช้วิธี agar diffusion และวัดขนาดเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถต้าน *Bacillus cereus* ATCC 11778 *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358 เท่ากับ 25.83±0.41 และ 23.17±0.41 มิลลิเมตร ตามลำดับ[20] ยังมีรายงานกล่าวถึงวิเคราะห์ปริมาณของเฮสเพอริดินในน้ำและเปลือกของมะนาวด้วยเทคนิค Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) พบว่า เฮสเพอริดินเป็นฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในผิวเปลือก (เฉลี่ย 34.3 mg/100g) ซึ่งมากกว่าในน้ำ (1.8 mg/100ml) ถึง 18 เท่า ดังนั้นเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากการบริโภคมะนาว ควรใช้ประโยชน์จากเปลือกมะนาวเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากฟลาโวนอยด์ชนิดเฮสเพอริดิน ซึ่งอาจจะช่วยยับยั้งไวรัสไม่ให้เพิ่มจำนวนในร่างกายอีกด้วย[21] รายงานของ Yusuf และคณะได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่มีสารเฮสเพอริดินสูงอาจมีส่วนช่วยในการต้านทานการติดเชื้อไวรัส COVID-19 โดยมีหลักฐานการทดลองในหนูยืนยันว่า เฮสเพอริดินที่ได้จากส้มสามารถเข้าไปจับกับโปรตีนตัวรับ (Protein receptor) ACE2 (Aniotensin Converting Enzyme2) ของเซลล์ร่างกายได้อย่างจำเพาะ ซึ่งช่วยขัดขวางไม่ให้ spike โปรตีนของไวรัสสามารถเกาะกับเซลล์ร่างกาย จึงทำให้หลีกเลี่ยงการติดเชื้อไวรัสนี้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่เฮสเพอริดินมีค่าพลังงานในการจับตัว (binding energy) ต่ำ หมายความว่า เฮสเพอริดินสามารถจับกับ ACE2 ได้ดีกว่ายาต้านไวรัสหลายชนิด[22] ยังมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้นำเฮสเพอริดินไปศึกษาผลต่อสุขภาพ พบว่า ช่วยต่อต้านโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น เกี่ยวกับโรคหลอดเลือดหัวใจ ความผิดปกติในระบบประสาทและมะเร็งบางชนิด เป็นต้น จากคุณสมบัติที่สำคัญคือ ลดภาวะเครียดจากออกซิเดชันและลดการอักเสบที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ยังมีส่วนช่วยลดความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุในหลอดเลือดและลดระดับบ่งชี้ของการอักเสบในผู้ป่วยที่เป็น metabolic syndrome ที่ได้รับเฮสเพอริดิน ได้ระดับ 500 mg ต่อวัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ อีกทั้ง

ยังช่วยลดความดันโลหิตในอาสาสมัครที่มีภาวะน้ำหนักเกินได้[23]

จะเห็นได้ว่า สามารถนำน้ำมะนาวไปประกอบอาหารทั้งอาหารคาว หวาน เบเกอรี อาหารว่างได้หลากหลาย ประกอบกับมีเปลือกมะนาวเหลือทิ้งเป็นส่วนใหญ่ หากมีการนำส่วนเหลือทิ้งเหล่านี้นำมาใช้ประโยชน์โดยการสกัดเฮสเพอริดินในระดับอุตสาหกรรมซึ่งใช้เครื่องจักรที่สามารถสกัดเปลือกมะนาวได้ถึงครั้งละ 500 กิโลกรัม และสามารถผลิตเฮสเพอริดินได้หน่วยละ 1,000 มิลลิกรัม ถึง 36,000 หน่วยต่อวัน ดังนั้น การนำเปลือกมะนาวกลับมาใช้ อาจจะช่วยลดปัญหาขยะจากเปลือกมะนาวที่เหลือทิ้ง รวมทั้งช่วยส่งเสริมให้มูลค่าของมะนาวสูงขึ้น ตลอดจนได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในราคาที่ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ วิธีการบริโภคเปลือกมะนาวง่าย ๆ โดยนำเปลือกมะนาวไปแช่แข็ง 2-3 ชั่วโมง แล้วมาขูดและโรยลงในเครื่องดื่มและอาหาร หรืออบเปลือกมะนาวในเตาอบที่ใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นำไปเป็นส่วนผสมปรุงรสพร้อมกับพริกไทยป่น เกลือทะเล ส่วนเมนูอาหารไทยอื่น ๆ เช่น เครื่องดื่ม รวมทั้งอาหารจำพวกแกงเลียง ยำต้มยำ ต้มโคล้ง ส้มตำ และเมี่ยงคำ ควรใส่มะนาวหั่นพร้อมเปลือก นอกจากนั้นถ้าใส่หอมใหญ่ หอมแดง เห็ดชนิดต่าง ๆ จะให้ทั้งเคอร์ซีทิน เบต้ากลูแคน และวิตามินซี ซึ่งช่วยเสริมฤทธิ์ของเฮสเพอริดินและเสริมภูมิคุ้มกันได้ หรือหากจะทำมะนาวทรงเครื่อง ที่ปรุงโดยการใช้มะนาวออร์แกนิกที่หั่นพร้อมเปลือก โรยถั่วบด กุ้งแห้งบด มะพร้าวคั่วบด หอมซอย และกระเทียมซอยเป็นเครื่องเคียง เติมพริกหั่นและน้ำผึ้งตามชอบ คลุกเคล้าให้เข้ากัน เสิร์ฟให้รับประทานเป็นคำ จะได้เมนูจากเปลือกและน้ำมะนาวที่รับประทานง่าย ได้คุณค่าสูงจากสมุนไพรไทยที่ส่งเสริมให้มีสุขภาพดีอีกด้วย[21] ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับอาหารและสุขภาพที่ใช้เปลือกมะนาว เช่น นำเปลือกมะนาวมาสกัดเพกตินในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลีจากเปลือกมะนาว แยมเปลือกมะนาว เปลือกมะนาวแช่อิ่ม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานต่าง ๆ ของรัฐร่วมกับเอกชนสนับสนุนพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเปลือกมะนาวในเชิงพาณิชย์แล้ว เช่น น้ำหอมปรุงจากน้ำมันเปลือกมะนาว ผลิตภัณฑ์ยาดม และอาหารเสริม เป็นต้น นับได้ว่าเปลือกมะนาวมีประโยชน์มากสามารถนำประยุกต์เพื่อบริโภคได้ดี เพราะเปลือกมะนาวมีวิตามิน แร่ธาตุโดยเฉพาะแคลเซียม วิตามินซี ซึ่งช่วยในการปรับปรุงรักษาสุขภาพและกระดูก การป้องกันโรคข้อต่ออักเสบโรคกระดูกพรุน โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ โพแทสเซียมมีส่วนช่วยป้องกันโรคหัวใจ เช่น โรคหลอดเลือดสมองและหัวใจวาย ยังมีกรดซิตริกที่ช่วยยับยั้งเลือดออกตามไรฟัน โรคเหงือกอักเสบ มีสารเพกตินส่งเสริมการลดน้ำหนักรวมทั้งสารฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยรักษาระดับคอเลสเตอรอล

บทสรุป

มะนาวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เมื่อนำไปคั้นน้ำมะนาวจะมีเมล็ด เนื้อเยื่อหุ้มเปลือก และเปลือก เป็นวัสดุเศษเหลือเป็นจำนวนมาก ซึ่งน้ำมะนาวได้มีการนำไปใช้แปรรูปได้หลายอย่าง แต่เปลือกมะนาวกลับมีใช้น้อย จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเปลือกมะนาวพบว่า มีคุณสมบัติทางด้านโภชนาการและพฤกษเคมีสูงโดยเฉพาะสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งเป็นสารโพลีฟีนอลที่พบในเปลือกของผลไม้ตระกูลส้มและมะนาว (citrus) สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์โภชนเภสัชภัณฑ์ (nutraceutical) มีสรรพคุณทางยา คือ สารเฮสเพอริดิน ที่ช่วยป้องกันการติดเชื้อไวรัสต่าง ๆ ในระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการบริโภคมะนาว นอกจากจะรับประทานน้ำมะนาวแล้ว ควรรับประทานเปลือกมะนาวด้วย เพื่อได้รับสารที่เป็นประโยชน์จากสารฟลาโวนอยด์ชนิดเฮสเพอริดินดีต่อสุขภาพหลายด้าน สารฟลาโวนอยด์ชนิดนี้ช่วยต่อต้านโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น เกี่ยวกับโรคหลอดหัวใจ ความผิดปกติในระบบประสาท และมะเร็งบางชนิด รวมทั้งสามารถลดระดับความเครียดและลดความดันโลหิตในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินได้

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงพาณิชย์ [อินเตอร์เน็ต]. นนทบุรี : กระทรวงพาณิชย์ ; 2567 [เข้าถึงเมื่อ 14 ม.ค. 2567] เข้าถึงได้จาก https://www.moc.go.th/th/content/category/detail/id/4/iid/7269
2. สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2541. สวนมะนาว. พิมพ์ครั้งที่ 6 กรุงเทพมหานคร : ฐานเกษตรกรรม.
3. "สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน" เล่ม ๑๓ โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, หนังสือ "สมุนไพรสวนสิริรุกขชาติ" หน้า ๘๕ โดย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, เอกสาร "โรงน้ำผลไม้สวนจิตรลดา" โดย โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา จาก Thailand: The Royal Chitralada Projects Home Page (ku.ac.th)
4. Gul Z, Monga M. Medical and dietary therapy for kidney stone prevention. Korean J Urol. 2014;55(12):775-9.
5. Özcan MM, Ghafoor K, Al Juhaimi F, Uslu N, Babiker EE, Mohamed Ahmed IA, et al. Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. J Food Sci Technol. 2021;58(1):147-58.
6. Figuerola F, Hurtado ML, Estévez AM, Chiffelle I, Asenjo F. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. Food Chem. 2005;91(3):395-401.
7. Yatao X, Saeed M, Kamboh AA, Arain MA, Ahmad F, Suberyani I, et al. The potentially beneficial effect of supplementation with hesperidin in poultry diet. World's Poult Sci J. 2018;74(2):265-276.
8. สุนีย์ จันทร์สกาว และ ไชยวัฒน์ ไชยสุต. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชั่นจากเปลือกส้มและเปลือกมะนาวโดยกระบวนการหมักเชื้อรา. รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2550.
9. Kumar R, Bala KL, Kumar A. Study on development of value added product from citrus peel. The Allahabad Farmer Journal. 2015;70(2):39-44.
10. Roy J, Roy S, Ali MJ, Hossain MR, Sarker MSH. Effect of drying temperature on physiochemical properties of powder from blanched and unblanched lemon peel and sensory quality evaluation of the powder fortified biscuits. J Food Engr Technol. 2021;10(1):9-18.
11. Çilingir S, Goksu A, Sabanci S. Production of pectin from lemon peel powder using ohmic heating-assisted extraction process. Food Bioproc Tech. 2021;14(7):1349-60.

12. Peerajit P, Chiewchan N, Devahastin S. Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues. Food Chem. 2012;132(4):1891-8.
13. ธรรมรัตน์ รุ่งสังข์. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกต่อปริมาณลิโมนินและวิตามินซีในมะนาวพันธุ์แป้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551. 101 หน้า.
14. Nobakht A. Effects of different levels of dries lemon (*Citrus aurantifulia*) pulp on performance, carcass traits, blood biochemical and immunity parameters of broilers. Iran J Appl Anim Sci. 2013;3(1):145-51.
15. Ani PN, Abel HC. Nutrient, phytochemical, and antinutrient composition of *Citurs maxima* fruit juice and peel extract. Food Sci Nutr. 2018;6(3):653-8.
16. Al-Dalali S, Zheng F, Al-Farga A. Prolonged the shelf life of different foods using the *Citrus* by-product as antimicrobial: a review article. Annals of Agricultural and Crop Sciences. 2019;4(1):1039.
17. Rafiq S, Kaul R, Sofi SA, Bashir N, Nazir F, Nayik GA. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. J Saudi Soc Agric Sci. 2018;17(4):351-8.
18. Rao J, McClements DJ. Impact of lemon oil composition on formation and stability of model food and beverage emulsion. Food Chem. 2012;134(2):749-57.
19. วนิสา รุ่งพาณิชย์ และ ทานตะวัน พิรักษ์ 2560. การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มเขียวหวานและเปลือกมะนาว. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.
20. อดุลย์มาน สุขแก้ว, ดาริกา จาเอาะ, สุนิตย์ โรจนสุวรรณ และ อีลียะ สุนิโซ. ผลของการเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดหยาบจากเปลือกมะนาว (*Citrus aurantifolia* (christm)) ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* ATCC 11778 และ *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 6 เรื่อง สร้างสรรค์งานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนในยุค Thailand 4.0 (วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตรนวัตกรรม) มหาวิทยาลัยฟาฏอนีร่วมกับเครือข่ายความร่วมมือมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์และมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
21. ปิยะรัตน์ โตสุโขวงศ์, สุภาพร จิรไกรโกศล, วีรพัฒน์ อเนกกมล, พิสิฏฐ์ ประพันธ์วัฒนะ และ ฐสิรัส ดิษยบุตร. 2563. ประโยชน์ของสารเฮสเพอริดินในเปลือกมะนาวและความเป็นไปได้ในการศึกษาทางคลีนิกเพื่อป้องกันโรคโควิด-19 ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รายงานจากเอกสารออนไลน์ http://biochem.md.chula.ac.th
22. Haggag YA, El-Ashmawy NE, Okasha KM. Is hesperidin essential for prophylaxis and treatment of COVID-19 Infection? Med Hypotheses J. 2020;144:109957.
23. Yari Z, Movahedian M, Imani H, Alavian SM, Hedayati M, Hekmatdoost A. The effect of hesperidin supplementation on metabolic profiles in patients with metabolic syndrome: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. Eur J Nutr. 2020;59:2569-77.

ผู้บริโภคยุคใหม่ : กลุ่มวีแกนและผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช

กัษมาพร ปัญต๊ะบุตร

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrkpp@ku.ac.th
รับเมื่อ 22 เมษายน 2567 **แก้ไขเมื่อ** 9 กันยายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 กันยายน 2567

จุดเด่น

- ผู้บริโภคกลุ่มวีแกน : นิยาม คุณลักษณะ การบริโภค
- แนวโน้มตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีกลุ่มผู้บริโภคที่ละเว้นหรืองดการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้เน้นการบริโภคอาหารจำพวกพืชผัก ผลไม้ และธัญพืชเป็นหลัก สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มคนมังสวิรัติ (vegetarian) กลุ่มคนที่บริโภคอาหารเจ (buddhist vegetarians) และกลุ่มวีแกน (vegan) โดยที่กลุ่มวีแกนเป็นกลุ่มที่เคร่งคัดมากที่สุด นอกจากจะไม่บริโภคเนื้อสัตว์ ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ เช่น นม ไข่ ชีส เป็นต้น ทั้งนี้ในการเลี้ยงสัตว์เพื่อนำมาทำเป็นอาหารหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของอุตสาหกรรมสัตว์ค่อนข้างสูง ส่งผลต่อการตัดไม้ทำลายป่า และการก่อให้เกิดมลภาวะในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีสาเหตุที่สำคัญคือผู้บริโภคต้องการมีสุขภาพที่ดี โดยการไม่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ซึ่งทำให้สามารถลดความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการบริโภคเนื้อสัตว์ แต่สามารถทำให้ร่างกายขาดสารอาหารที่มาจากสัตว์ได้เช่นกัน ทั้งนี้สามารถทดแทนสารอาหารดังกล่าวได้จากพืชผัก ผลไม้ และธัญพืชต่าง ๆ ดังนั้นต้องมีการวางแผนการบริโภคอาหารที่ดีเพื่อให้ได้รับสารอาหารครบถ้วนจากการไม่บริโภคเนื้อสัตว์ กลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากขึ้น จึงก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากพืช (plant-based food) ซึ่งกำลังเป็นกระแสที่มีความนิยมและมีมูลค่าทางการตลาดที่สูง ทำให้การพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชจึงมีความสำคัญ เพราะกลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์นั้นต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายและคล้ายคลึงผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์มากขึ้น

คำสำคัญ : วีแกน ผู้บริโภค สารอาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช

Modern consumer : vegan and plant-based food product

Kassamaporn Puntaburt

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrkpp@ku.ac.th
Received 22 April 2024; **Revised** 9 September 2024; **Accepted** 18 September 2024

Highlights

- Vegan consumers : definition, characteristics, consumption
- Market trends of plant-based food products

Abstract

Currently, there is a rising trend of consumer groups abstaining from meat and animal derived products. These groups of people mainly focus on consuming foods such as vegetables, fruits, and grains. They are divided into 3 primary groups: vegetarians, Buddhist consume vegetarians, and vegans. The vegan group is the most stringent in their dietary restrictions. Additionally, they refrain from consuming meat and products derived from animals. However, raising animals for food or industries related to meat products and other animal derived good also impacts the environment. This is due to the greenhouse gas emissions from the animal industry, which contribute to deforestation and pollution of water sources. The final reason is that vegans want aim to maintain good health and reduce the risk of health problems caused by meat or animal products consumption. However, it can lead to nutrient deficiencies that typically come from animals. These nutrients can be replaced with vegetables, fruits, and various grains. Therefore, it is essential to plan meal carefully to ensure adequate nutrients intake without relying on meat. The number of people abstaining from meat consumption is on the rise. This has led to the creation of food products derived from plants, commonly known as plant-based food, which are currently experiencing a surge in popularity, driving significant market. This highlights the importance of developing and researching plant-based food products because individuals who do not consume meat seek options within this category that are both more diverse and closely animal deriver products.

Keywords : vegan, consumers, nutrients, plant-based food product

บทนำ

ปัจจุบันมีกลุ่มผู้บริโภคที่ละเว้นหรือไม่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์เพิ่มมากขึ้น กลุ่มคนเหล่านี้เรียกว่า กลุ่มผู้บริโภคอาหารวีแกน (vegan) ซึ่งไม่เพียงแค่หลีกเลี่ยงการบริโภคเนื้อสัตว์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ด้วย ปัจจุบันกลุ่มวีแกนมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยและผลสำรวจขององค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับด้านการตลาด ที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเติบโตโดยเฉพาะในกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่หันมาสนใจการบริโภคอาหารแบบวีแกนมากขึ้น การที่คนเลือกที่จะเป็นวีแกนมีหลากหลายเหตุผล บางคนต้องการลดการเบียดเบียนและการทรมานสัตว์ บางคนต้องการช่วยลดภาวะโลกร้อนจากอุตสาหกรรมปศุสัตว์ และบางคนมีเหตุผลด้านสุขภาพ เช่น ระบบการย่อยอาหารไม่สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารบางชนิดได้ นอกจากนี้ยังมีคนที่ต้องการควบคุมน้ำหนักด้วยการบริโภคอาหารจากพืชที่ให้พลังงานแคลอรีต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์

การบริโภคอาหารแบบวีแกนอาจทำให้ผู้บริโภคขาดสารอาหารสำคัญที่ปกติได้รับมาจากสัตว์ เช่น กรดไขมันโอเมก้า 3 ที่มีอยู่ในอาหารทะเล วิตามินบี 12 ที่มีอยู่ในเครื่องในสัตว์ ไข่ นม และน้ำปลา รวมทั้งกรดอะมิโนบางชนิดที่พบในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เพื่อป้องกันความเสี่ยงการขาดสารอาหาร ดังนั้นผู้ที่เป็นวีแกนต้องมีการวางแผนการบริโภคที่ดี โดยเลือกกินพืชผัก ผลไม้ และธัญพืชที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อทดแทนสารอาหารสำคัญที่ขาดไป ทั้งนี้จากการที่มีจำนวนกลุ่มคนวีแกนเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช (plant-based food) เช่น เนื้อสัตว์จากพืช นมจากพืช และชีสจากพืช มีบทบาทสำคัญในตลาดอาหารมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือ การให้ผู้อ่านได้ทราบถึงเหตุผลที่กลุ่มคนเลือกเป็นวีแกนมากขึ้น และบทบาทสำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชที่มีต่อกลุ่มคนวีแกน เพื่อเป็นแนวทางในการให้ความสำคัญกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช บทความนี้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับความหมายและลักษณะการบริโภคอาหารของกลุ่มคนวีแกน พร้อมทั้งนำเสนอแนวโน้มและความสำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ที่กำลังจะเป็นวีแกน และผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช

ลักษณะของผู้บริโภคอาหารวีแกน

เมื่อกล่าวถึงกลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ เน้นการบริโภคอาหารจำพวกพืชผัก ผลไม้ และธัญพืช สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. กลุ่มคนมังสวิรัติ (vegetarians) เป็นกลุ่มที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์เพียงอย่างเดียว แต่ยังคงบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ เช่น ไข่ ชีส นม เนย น้ำผึ้ง และเจลาตินได้ และบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี เป็นต้น

2. กลุ่มคนที่บริโภคอาหารเจ (buddhist vegetarians) เป็นกลุ่มที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ ไข่ ชีส นม เนย น้ำผึ้ง และเจลาตินซึ่งทำมาจากไขของกระดูกสัตว์ รวมทั้งผักฉุน 5 ชนิด ได้แก่ กระเทียม หัวหอม กระเทียมโทนจีน กุยช่าย และใบยาสูบ

เน้นการบริโภคอาหารที่ไม่ปรุงแต่งรสชาติมากเกินไปและยังต้องปฏิบัติตนดีและถือศีลตามประเพณีของชาวพุทธนิกายมหายานแบบลัทธิเต๋า ซึ่งเป็นลัทธิที่มาจากประเทศจีน

3. กลุ่มคนวีแกน (vegans) เป็นกลุ่มที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ เช่น ไข่ ชีส นม เนย น้ำผึ้ง และเจลาติน และไม่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์

จีระศักดิ์ และคณะ[1] รายงานว่า อาหารวีแกนเป็นส่วนหนึ่งของอาหารมังสวิรัติ เนื่องจากอาหารมังสวิรัติมีหลากหลายกลุ่ม ซึ่งบางกลุ่มมีขอบเขตการบริโภคอาหารที่หลากหลายชนิดมากกว่าอาหารวีแกน โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคมังสวิรัตินม ไข่ ที่สามารถบริโภคนม ผลิตภัณฑ์จากนม และไข่ได้ อาจเป็นไปได้ว่า กลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์มีความแตกต่างกันในแนวความคิด ซึ่งอาจมีคำจำกัดความและมุมมองของการไม่บริโภคเนื้อสัตว์แตกต่างกัน เนื่องจากประสบการณ์ส่วนตัวและความเชื่อที่แตกต่างกัน กลุ่มคนเหล่านี้มีทางเลือกทางด้านการบริโภคอาหารและการปฏิบัติตนในการดำเนินชีวิตที่มีรูปแบบเฉพาะ

จากบทความของ Gebhardt และ Hadwiger กล่าวไว้ว่า ผลิตภัณฑ์วีแกนไม่มีส่วนผสมจากสัตว์ เช่น เนื้อสัตว์ ปลา ผลิตภัณฑ์จากนม ไข่ และน้ำผึ้ง กระบวนการผลิตต้องไม่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ เช่น เจลาตินสำหรับทำน้ำผลไม้หรือไวน์ หรือกาวจากสัตว์สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ อาหารของกลุ่มคนวีแกนประกอบด้วยอาหารจากพืชและอาหารแปรรูปที่มีส่วนผสมจากพืชเท่านั้น[2]

กลุ่มวีแกน คือ กลุ่มคนที่มีวิถีการดำเนินชีวิตโดยไม่เบียดเบียนสัตว์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ใส่ใจสิ่งแวดล้อมและไม่มีความเชื่อทางศาสนาหรือลัทธิเข้ามาเกี่ยวข้อง พฤติกรรมหลักที่คนวีแกนแสดงออกจะสื่อสารออกมาในรูปแบบของการบริโภคอาหารและวิถีการดำเนินชีวิตเป็นหลัก โดยในด้านของการบริโภคอาหารนั้น คนวีแกนจัดเป็นมังสวิรัติแนวใหม่ที่มีข้อจำกัดมากกว่ามังสวิรัติทั่วไป คือ จะงดเว้นการบริโภคเนื้อสัตว์รวมถึงผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ในด้านวิถีการดำเนินชีวิตจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องอุปโภคที่ได้มาจากสัตว์ ไม่ใช้เครื่องแต่งกายที่ทำมาจากสัตว์ เช่น รองเท้าหนัง กระเป๋าหนัง เสื้อผ้าจากขนสัตว์ รวมถึงเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมจากส่วนใดส่วนหนึ่งของสัตว์ หรือแม้แต่การใช้สัตว์ในการทดลองก็ถือเป็นของต้องห้ามเช่นกัน

เหตุผลที่คนเข้าสู่การเป็นวีแกน

Janssen และคณะ[3] ได้ทำการวิจัยแรงจูงใจผู้บริโภคที่รับประทานอาหารวีแกนและทัศนคติที่มีต่อการทำฟาร์มสัตว์โดยพบว่า จำนวนผู้บริโภคที่รับประทานอาหารวีแกนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในอุตสาหกรรมหลายประเทศ และมีแนวโน้มว่าอิทธิพลของกลุ่มคนวีแกนที่มีต่อภาคธุรกิจอาหารจะยังคงเติบโตต่อไป แรงจูงใจของผู้บริโภคในการเป็นวีแกนประกอบด้วยแรงจูงใจหลัก 3 ประการ ได้แก่ แรงจูงใจที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ (ร้อยละ 89.7) แรงจูงใจที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพส่วนบุคคล (ร้อยละ 69.3) และแรงจูงใจที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 46.8) ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.8) กล่าวถึงแรงจูงใจมากกว่า 1 ข้อ แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคมีความสนใจมุ่งเน้นเรื่องจริยธรรมและเรื่องส่วนบุคคลเป็นหลัก อย่างไรก็ตามแรงจูงใจที่เกี่ยวข้องกับสัตว์มีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจ

บริโภคอาหารวีแกน มีเพียงกลุ่มเล็ก ๆ ของผู้ตอบแบบสอบถามที่ไม่ได้กล่าวถึงแรงจูงใจเกี่ยวกับสัตว์ กลุ่มนี้มีทัศนคติเชิงบวกต่อการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับสัตว์มากที่สุด ผู้บริโภคส่วนใหญ่คิดว่าสวัสดิภาพของสัตว์ไม่สามารถหาได้ในการเกษตรและฟาร์มสัตว์ และด้วยเหตุนี้จึงสนับสนุนว่า มนุษย์ไม่ควรบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ใด ๆ

ผู้ที่บริโภคอาหารวีแกนมีความกังวลเกี่ยวกับผลของการเลือกอาหารที่มีต่อสวัสดิภาพของสัตว์ สิ่งแวดล้อม และเรื่องทางการเมือง กลุ่มคนเหล่านี้แสดงออกถึงการสนับสนุนสิทธิสัตว์ ไม่เอาเปรียบสัตว์ และรังเกียจเนื้อสัตว์มากขึ้น มองว่าสัตว์มีจิตใจและอารมณ์คล้ายกับมนุษย์ และรู้สึกผิดเกี่ยวกับการให้อาหารสัตว์เพื่อเลี้ยงเป็นอาหารที่มากกว่าผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติ[4] ผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติและผู้ที่บริโภคอาหารวีแกนมีแนวทางในการสร้างแรงจูงใจที่แตกต่างกัน ผู้ที่หันมาบริโภคอาหารวีแกนมีแนวโน้มที่จะมีแรงจูงใจด้านสังคมและศีลธรรมที่สูงกว่าผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติ ยิ่งไปกว่านั้นผู้ที่บริโภคอาหารวีแกนเชื่อว่าการบริโภคอาหารที่ไม่มีเนื้อสัตว์จะมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าการบริโภคอาหารที่ไม่เลือกของผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติ[5]

ผู้ที่หันมาบริโภคอาหารแบบวีแกนส่วนใหญ่มักมีเหตุผลเป็นของตัวเอง และมีเหตุผลที่แตกต่างกันออกไป แต่เหตุผลส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การหลีกเลี่ยงการเบียดเบียนสัตว์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้ตระหนักกับตัวเองเสมอว่า สัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณค่าทางด้านชีวิตและจิตใจเทียบเท่ากับมนุษย์ การไปทำร้ายหรือเบียดเบียนสัตว์นับเป็นความผิดที่ร้ายแรง เราต้องอาศัยอยู่บนโลกนี้ร่วมกับสัตว์อย่างมีคุณธรรมมากที่สุด ต้องมีความเห็นอกเห็นใจสิ่งมีชีวิตด้วยกัน ดังนั้นกลุ่มคนวีแกนจึงเลือกที่จะดำเนินชีวิตโดยปราศจากการเกี่ยวข้องกับสัตว์ ทั้งนี้มีการสำรวจข้อมูลของกลุ่มประชากรออสเตรเลียพบว่า ผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติหรืออาหารวีแกน เนื่องจากเกิดความกังวลเรื่องสวัสดิภาพสัตว์แล้ว ยังเป็นการปกป้องสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นความเหมาะสมของมุมมองทางนวัตกรรมทางสังคม[6] การเลี้ยงสัตว์เพื่อนำมาทำเป็นอาหารหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ส่งผลร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมด้วย สำหรับอุตสาหกรรมปศุสัตว์ปล่อยแก๊สเรือนกระจกหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยที่มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 9 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลก สัดส่วนร้อยละ 37 ของการปล่อยก๊าซมีเทนทั่วโลก และร้อยละ 65 ของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทั่วโลก[7] รายงานวิจัยของ Fu และคณะ[8] อาหารที่มาจากพืชเป็นหลักเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าอาหารที่มาจากผลิตภัณฑ์จากสัตว์เพราะใช้ทรัพยากรธรรมชาติน้อยลงและส่งผลต่อความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า[9]

นอกจากนี้ผู้ที่หันมาบริโภคอาหารวีแกนบางส่วนอาจจะไม่ได้มีเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับการเบียดเบียนสัตว์และสิ่งแวดล้อม การบริโภคอาหารวีแกนส่งเสริมในเรื่องของการมีสุขภาพที่ดีรวมถึงการควบคุมน้ำหนัก การไม่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์จะทำให้สามารถลดความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์แบบไม่พอดี ซึ่งสอดคล้อง

กับงานวิจัยของ Tuso และคณะ[10] ได้รายงานไว้ว่า การบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพอาจทำได้ดีที่สุดด้วยการบริโภคอาหารที่มีพืชเป็นส่วนประกอบเป็นหลัก ส่งเสริมการบริโภคอาหารที่เน้นพืชทั้งหมดและไม่สนับสนุนการบริโภคเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์จากนมและไข่ ซึ่งประโยชน์ต่อสุขภาพที่ดีอาจเกิดขึ้นจากการบริโภคอาหารดังกล่าว การบริโภคอาหารจากพืชมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็นปัจจัยที่คุ้มค่าและมีความเสี่ยงต่ำต่อการเกิดโรค ซึ่งอาจส่งผลให้ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิต และระดับคอเลสเตอรอลลดลงได้ นอกจากนี้จำนวนยาที่จำเป็นในการรักษาโรคเรื้อรังยังลดลงด้วย รวมถึงอัตราการเสียชีวิตจากโรคหัวใจขาดเลือดมีปริมาณลดลง แพทย์ควรพิจารณาแนะนำอาหารที่เน้นพืชเป็นหลักให้กับผู้ป่วยทุกราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีความดันโลหิตสูง เบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด หรือโรคอ้วน ดังนั้นการเปลี่ยนการบริโภคอาหารประจำวันจากเนื้อสัตว์ไปเป็นอาหารจากพืชจะส่งผลให้ความเสี่ยงของโรคเรื้อรังและอัตราการเสียชีวิตโดยรวมลดลง

เนื้อสัตว์เทียมที่มาจากพืชเป็นทางเลือกใหม่ซึ่งเป็นอาหารที่คล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ โดยเนื้อเทียมในเบอร์เกอร์ มีพลังงานน้อยกว่าร้อยละ 58 ไขมันอิ่มตัวน้อยกว่าร้อยละ 96 โซเดียมน้อยกว่าร้อยละ 33 ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีเส้นใยมากกว่าเนื้อสัตว์ในเบอร์เกอร์ 2 เท่า สิ่งนี้แสดงถึงรูปแบบอาหารที่ดีต่อสุขภาพและมีความทันสมัย[11] Sutter และ Bender[12] ได้ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพ การเจริญเติบโตและสารอาหารในเด็กที่เป็นวีแกนพบว่า เด็กที่เป็นวีแกนมีการเจริญเติบโตตามปกติและมักเป็นโรคอ้วนน้อยกว่า แต่ทั้งนี้เด็กที่เป็นวีแกนอาจเกิดการขาดสารอาหารบางชนิด โดยเฉพาะสารโคบาลามินหรือวิตามินบี 12 ซึ่งมีบทบาทในการสร้างเม็ดเลือกแดง ช่วยในการทำงานของระบบประสาทและสมอง โดยส่วนใหญ่พบในอาหารจำพวก เนื้อ ปลา ไข่ นม ตับ เป็นต้น แคลเซียมและวิตามินดีที่มีส่วนสำคัญในการทำให้เด็กสูงสมวัยและเสริมสร้างความแข็งแรงของกระดูก ซึ่งเป็นความเสี่ยงอย่างมาก หากมีการวางแผนการรับประทานอาหารไว้ไม่ดี ดังนั้นต้องมีการวางแผนในการบริโภคอาหารเพื่อให้ได้สารอาหารที่ครบถ้วน อาหารวีแกนที่มีการวางแผนมาอย่างดีโดยใช้อาหารเสริมหรืออาหารที่มีสารอาหารครบถ้วน มีแนวโน้มที่จะให้สารอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่แนะนำในเด็กที่เป็นวีแกนเพื่อให้ส่วนสูงและน้ำหนักเป็นไปตามเกณฑ์ปกติ

ผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติและวีแกนมีความเสี่ยงต่อภาวะสุขภาพบางอย่างลดลง เช่น โรคหัวใจขาดเลือด เบาหวานชนิดที่ 2 โรคความดันโลหิตสูง มะเร็งบางชนิด และโรคอ้วน การรับประทานอาหารที่มีไขมันอิ่มตัวต่ำและการรับประทานผัก ผลไม้ ธัญพืชเต็มเมล็ด พืชตระกูลถั่ว ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง และเมล็ดพืช ซึ่งอุดมไปด้วยไฟเบอร์และสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ในปริมาณมาก เป็นลักษณะของอาหารมังสวิรัติและวีแกนที่ทำให้มีคอเลสเตอรอลไลโปโปรตีนที่มีลดลง และการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดดีขึ้น ปัจจัยเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังลดลง[13] สารอาหารที่ขาดไปจากการงดบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์สามารถชดเชยได้จากสารอาหารที่มาจากพืช เช่น วิตามินบี 12 จะพบมากในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เราสามารถวางแผน

การบริโภคโดยการรับประทานผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือทานเมล็ดธัญพืชชนิดต่าง ๆ เช่น เมล็ดอัลมอนด์ ถั่วเลนทิล น้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมข้าวกล้อง เทมเป เป็นต้น ทั้งนี้ในการวางแผนต้องบริโภคพืช ผัก ผลไม้ และธัญพืชที่มีความหลากหลายเพราะพืชแต่ละชนิดมีสารอาหารที่แตกต่างกันออกไป

การเริ่มต้นเป็นวีแกน

จากกระแสความนิยมงดการบริโภคเนื้อสัตว์หรือบริโภคอาหารแบบวีแกน และประโยชน์ที่จะได้รับจากการบริโภคอาหารแบบวีแกน ไม่ว่าจะเป็นประโยชน์ต่อตัวเอง สิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรือแม้แต่สิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้คนยุคใหม่ที่มีการเรียนรู้และเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ทั่วโลกได้ง่ายเริ่มบริโภคอาหารแบบวีแกนมากขึ้น การเริ่มต้นเป็นวีแกนสำหรับบุคคลที่เพิ่งเริ่มบริโภคอาหารแบบวีแกนนั้น ควรรู้เหตุผลและเป้าหมายในการบริโภคอาหารแบบวีแกนก่อน ซึ่งควรเป็นเหตุผลและเป้าหมายที่ควรจะมาจากความรู้สึกจริง ๆ จะส่งผลให้เกิดความตั้งใจและเปิดใจในการบริโภคอาหารวีแกนมากขึ้น ไม่ควรเริ่มแบบหักโหมหรือฝืนตัวเองและเริ่มแบบพลิกหันมาบริโภคอาหารแบบวีแกนเคร่งครัดโดยทันที เพราะจะทำให้ร่างกายและจิตใจปรับตัวไม่ทัน

การบริโภคพืช ผัก ผลไม้ รวมทั้งธัญพืชต่าง ๆ เช่น พืชตะกูลถั่ว ข้าวโอ๊ต เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นอาหารหลักที่ผู้บริโภคมังสวิรัติและวีแกนสามารถบริโภคได้ ซึ่งมีปริมาณใยอาหารสูงและมีคอเลสเตอรอลต่ำ ในการรับประทานอาหารมังสวิรัติและวีแกน ต้องได้รับสารอาหารที่สำคัญอย่างครบถ้วนและมีปริมาณเพียงพอตามที่ร่างกายต้องการ แม้ว่าสารอาหารที่สำคัญจะมีอยู่ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์เป็นหลัก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการเสริมสารอาหารสำคัญเหล่านั้นเพื่อชดเชยการขาดสารอาหารของร่างกายจากการงดบริโภคสัตว์ ส่งผลให้การบริโภคอาหารมังสวิรัติและอาหารวีแกนส่งเสริมการมีสุขภาพที่ดีมากขึ้น ซึ่งการมีสุขภาพที่ดีย่อมส่งผลดีต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน จากบทความของ Jeffrey Soble[14] ได้ให้ข้อสรุปเกี่ยวกับชนิดของสารอาหารที่กลุ่มคนที่บริโภคอาหารวีแกน มีโอกาสขาดสารอาหารและควรรับประทานอาหารประเภทใดเพิ่มเติมบ้าง

- โปรตีน (บุคคลทั่วไป ทั้งเพศหญิงและชาย) มีความต้องการโปรตีนที่ 0.8-1.0 กรัม ต่อน้ำหนักตัวที่ 1 กิโลกรัม) สัตว์ไม่ได้เป็นแหล่งโปรตีนเพียงแหล่งเดียว ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เช่น เต้าหู้และถั่วแระญี่ปุ่นมีโปรตีนเช่นกัน และแหล่งโปรตีนประเภทกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ ถั่วลูปิน เมล็ดเจีย เมล็ดโซบะ สาหร่ายเกลียวทอง ถั่วพิสตาชิโอ ถั่วชิกพี ยีสต์สกัด เป็นต้น

- วิตามินบี 12 การขาดวิตามินบี 12 จะทำให้ร่างกายเหนื่อย ไม่มีแรงและอ่อนเพลียได้ง่าย รวมทั้งการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ ซึ่งผู้บริโภคอาหารวีแกนอาจได้รับวิตามินบี 12 ไม่เพียงพอ เพราะวิตามินบี 12 จะไม่พบในพืช ดังนั้นต้องมีการดื่มเครื่องดื่มจากถั่วเหลืองที่เสริมวิตามินบี 12 หรือรับประทานอาหารเสริมตามปริมาณที่แนะนำต่อวัน โดยสำหรับผู้ใหญ่ปริมาณวิตามินบี 12 ที่ร่างกายควรได้รับจะอยู่ที่ 2.4 มิลลิกรัม

- กรดไขมันจำเป็น ชนิดกรดไขมันจำเป็นสำหรับร่างกาย คือ กรดไลโนเลอิก (linoleic acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง ในกลุ่มโอเมก้า 6 (omega 6) เป็นกรดไขมันจำเป็นที่ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี เพิ่มคอเลสเตอรอลชนิดดี ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเอง ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น พบมากในอาหารประเภทน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันงา น้ำมันอัลมอนด์ น้ำมันปลา และผักใบเขียว เช่น คะน้า ผักโขม และกะหล่ำปลี ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวันคือร้อยละ 5-10 ของพลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน

กรดไขมันที่จำเป็นสำหรับร่างกายอีกชนิดหนึ่ง คือ กรดอัลฟาไลโนเลนิก (alpha-linolenic acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัว ในกลุ่มโอเมก้า 3 (omega 3) เป็นกรดไขมันจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์สมองและจอประสาทตา มีส่วนช่วยลดความเสี่ยงของความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ หัวใจวาย เบาหวาน โรคปอดบวม ลดอาการซึมเศร้า ป้องกันโรคความจำและโรคสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ พบมากในอาหารประเภทน้ำมันจากเมล็ดธัญพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วแระ เมล็ดเชีย น้ำมันคาโนลา น้ำมันเมล็ดแฟล็กซ์ น้ำมันวอลนัท ถั่วเหลือง ใบงา เป็นต้น ซึ่งปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวันคือร้อยละ 0.6-1.2 ของพลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน

- ธาตุเหล็ก การขาดธาตุเหล็กจะส่งผลให้ร่างกายเกิดสภาวะโลหิตจางได้ ซึ่งเนื้อแดงและไข่แดงเป็นแหล่งที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด แต่ทั้งนี้ก็มีคอเลสเตอรอลสูงเช่นกัน แหล่งธาตุเหล็กที่ดีจากพืช ได้แก่ ถั่วสีดำ เต้าหู้ เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และผลไม้ทั้งสดและแห้ง รวมทั้งผักกาดหอม เมล็ดทานตะวัน น้ำมะเขือเทศ บรอกโคลี ข้าวโอ๊ต เป็นต้น ในวัยผู้ใหญ่ร่างกายของเราควรได้รับปริมาณธาตุเหล็กต่อวันอยู่ที่ปริมาณ 15 มิลลิกรัม

- วิตามินดี การได้รับแสงแดด 10-15 นาทีต่อวันสามารถเพิ่มวิตามินดีให้กับร่างกายได้เช่นเดียวกับการได้รับจากอาหาร แหล่งของวิตามินดีที่ผู้บริโภควีแกนบริโภคได้ในพืช เช่น เห็ดบางชนิด และนมถั่วเหลืองที่มีการเติมวิตามินดี โดยร่างกายมีความต้องการวิตามินดีวันละ 5 ไมโครกรัม

- แคลเซียม การขาดแคลเซียมจะส่งผลต่อปัญหาด้านกระดูกและฟัน แหล่งของแคลเซียมพบได้ในพืช เมล็ดถั่ว ผักใบเขียว เต้าหู้ งาดำ ถั่วเหลือง ถั่วแดงหลวง เม็ดบัว กระเจี๊ยบ มะเดื่อแห้ง อัลมอนด์ ถั่วแระ ผักโขม ผักคะน้า ผักชีฝรั่ง ผักชีลาว ใบชะพลู ใบยอ ยอดแค ยอดสะเดา ผักคะน้า ผักแพว เป็นต้น ซึ่งผู้ใหญ่อายุ 19-50 ปี ควรได้รับแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อวัน

ผู้ที่บริโภคอาหารวีแกนมีรูปแบบการรับประทานอาหารที่แตกต่างออกไปจากผู้ที่บริโภคเนื้อสัตว์ตามปกติ ซึ่งทักษะที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับวีแกนคือทักษะเตรียมอาหารหรือทำอาหารเอง ซึ่งอาหารวีแกนมักจะมีราคาสูงกว่าอาหารปกติ เพราะฉะนั้นทักษะการเตรียมอาหารเองจะทำให้เราสามารถกำหนดหรือวางแผนการรับประทานอาหารที่มีคุณค่าทางสารอาหารครบถ้วนและประหยัดค่าใช้จ่ายได้

แนวโน้มการเติบโตของกลุ่มวีแกนและตลาดผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช (plant-based food)

การเพิ่มความตระหนักเกี่ยวกับประโยชน์ของการบริโภคอาหารวีแกนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตลาดอาหารจากพืชและอาหารวีแกนเติบโต

โดยเฉพาะอย่างยิ่งอเมริกาเหนือ ยุโรป และเอเชีย-แปซิฟิก ที่มีประชากรที่เป็นวีแกนเป็นจำนวนมาก ความตระหนักเกี่ยวกับสุขภาพของสัตว์และการทารุณสัตว์ในอุตสาหกรรมอาหารที่เพิ่มขึ้น ได้กระตุ้นให้ผู้คนเปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช[15] มีการสำรวจชาวออสเตรียที่บริโภคอาหารมังสวิรัติและบริโภคอาหารวีแกนพบว่า มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง[16] จากการเพิ่มขึ้นของกลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ทำให้ตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชเพิ่มสูงขึ้นด้วย

นอกจากผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติและวีแกนแล้ว ความหลากหลายของอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช ทำให้เกิดกลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้น เช่น มังสวิรัติแบบไม่เต็มเวลา การลดการรับประทานอาหารไขมันสัตว์ และผู้เป็นมังสวิรัติแบบครั้งคราว โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ อย่างไรก็ตามหลายคนจำกัดการบริโภคเนื้อสัตว์โดยไม่เลิกรับประทานเนื้อสัตว์โดยสิ้นเชิงซึ่งเรียกกลุ่มคนเหล่านี้ว่า flexitarianism หรือผู้เป็นมังสวิรัติแบบครั้งคราวหรือแบบยืดหยุ่น โดยคนกลุ่มนี้จะรับประทานอาหารมังสวิรัติเป็นหลัก แต่ไม่เคร่งครัด และบางครั้งสามารถกินเนื้อสัตว์หรือปลาได้ ซึ่งเป็นรูปแบบอาหารของมังสวิรัติแบบยืดหยุ่น ซึ่งผู้บริโภคในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่หลีกเลี่ยงการรับประทานเนื้อสัตว์หรือลดการรับประทานเนื้อสัตว์ แต่จะมีการปรับให้บางมื้ออาหารมีเนื้อสัตว์มาเป็นส่วนประกอบของอาหารได้

Santaoja และ Jallinoja[17] ได้ศึกษาข้อมูลพบว่า กระแสความนิยมของวีแกนเห็นได้จากการเปิดตัวผลิตภัณฑ์วีแกนมากขึ้นในฟินแลนด์ และตลาดวีแกนก็เติบโตขึ้นจากตลาดเฉพาะกลุ่มเล็ก ๆ ไปสู่เทรนด์อาหารที่เติบโตเร็วที่สุดในปี ค.ศ. 2016 มีการเปิดตัวอาหารประเภทโปรตีนวีแกนใหม่ 2 ชนิด ได้แก่ “pulled oats” และ “härkis” ข้าวโอ๊ตและสารอาหารทดแทนเนื้อจากถั่วฟาวา ในปี ค.ศ. 2016 K-chain ซึ่งเป็นหนึ่งในสองของเครือข่ายค้าปลีกที่ใหญ่ที่สุดในฟินแลนด์รายงานว่า ยอดขายผลิตภัณฑ์วีแกนเติบโตร้อยละ 25 ต่อปี เช่น นมจากพืชเติบโตถึงร้อยละ 50 ระหว่างปี ค.ศ. 2016 ถึงปี ค.ศ. 2018 ยอดขายอาหารวีแกนและอาหารมังสวิรัติปรุงสำเร็จเพิ่มขึ้น 3 เท่าในกลุ่มของ K-chain เป็นต้น

จากผลการสำรวจและการรวบรวมข้อมูลของ The Vegan Society[18] พบว่า อุตสาหกรรมโปรตีนทางเลือกสามารถระดมทุนได้ 3.1 พันล้านดอลลาร์ ในปี ค.ศ. 2020 ซึ่งมากกว่าปีที่ผ่านมาถึง 3 เท่าทำสถิติในประวัติศาสตร์ของอุตสาหกรรม ในขณะที่บริษัทเนื้อ ไข่ และผลิตภัณฑ์นมจากพืชได้รับเงินลงทุน 2.1 พันล้านดอลลาร์ ในปี ค.ศ. 2020 ซึ่งเป็นเงินทุนสูงสุดในประวัติศาสตร์ของอุตสาหกรรมในปีเดียวกัน ซึ่งในปี ค.ศ. 2020 การเติบโตของการเปิดตัวผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มวีแกนและจากพืชทั่วโลกโดยเฉลี่ยต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 21 และร้อยละ 58 ระหว่างปี ค.ศ. 2015-2019 สหราชอาณาจักรเป็นกลุ่มประเทศที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการบริโภคอาหารวีแกนในปี ค.ศ. 2019 รองลงมาคือ ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ และในช่วงปี ค.ศ. 2012-2017 ความต้องการการบริโภคอาหารที่ปราศจากเนื้อสัตว์มีจำนวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.87 และ Grand view research[15] เป็นองค์กรที่ทำการวิจัยและสำรวจ

ตลาดอาหารวีแกนพบว่า ในปี ค.ศ. 2018 ขนาดตลาดอาหารวีแกนทั่วโลกมีมูลค่า 12.69 พันล้านดอลลาร์ และคาดว่าจากปี ค.ศ. 2019 เป็นปี ค.ศ. 2025 ตลาดจะขยายตัวร้อยละ 9.6 (Figure 1)

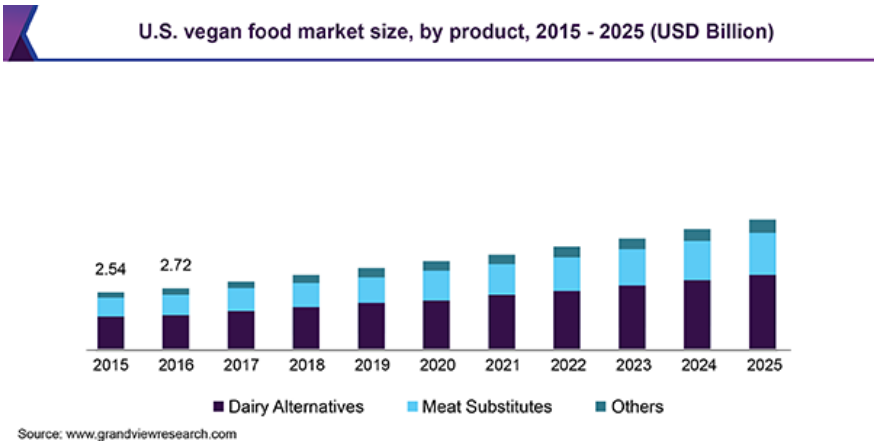


Figure 1 Vegan food market size trends 2015-2025[15]

ผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มที่มาจากพืชในปัจจุบันมีความหลากหลายและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตลาดอาหารกลุ่มที่มาจากพืชและอาหารวีแกนเติบโตอย่างรวดเร็ว ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มที่มาจากพืชและอาหารวีแกน นอกจากต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังต้องคำนึงถึงเรื่องรสชาติด้วย เพราะรสชาติเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกรับประทานอาหาร และต้องคำนึงถึงเนื้อสัมผัสที่ต้องมีลักษณะคล้ายกับอาหารที่มาจากเนื้อสัตว์ให้มากที่สุด จากรายงานการวิจัยของจีระศักดิ์ และคณะ[1] ได้รายงานกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารวีแกนที่สำคัญและมีความโดดเด่นในช่วง 5 ปี ที่ผ่านมา ดังนี้

1. สแน็คบาร์ ซีเรียลบาร์ และเอ็นเนอร์จีบาร์ (snack, cereal, energy bars) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกสูงที่สุดร้อยละ 5.7 ของจำนวนสินค้าอาหารวีแกนทั้งหมดในปี พ.ศ. 2561 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 30.6

2. ซอสและเครื่องปรุงอาหาร (sauce, seasonings) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 5.1 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 25.8 โดยเป็นกลุ่มที่พบเห็นสินค้าไทยปรากฏในตลาดมากที่สุด ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการไทยรับจ้างผลิตให้กับแบรนด์ต่างชาติ

3. วิตามินและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (vitamins & dietary supplements) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 4.5 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 42.5

4. เครื่องดื่มนมจากพืช (plant-based drinks, dairy alternatives) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 4.2 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 25.4

5. อาหารโปรตีนพืชทดแทนเนื้อสัตว์ (meat substitutes) หรือเนื้อสังเคราะห์ เป็นกลุ่มสินค้า

อาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 4.0 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 32.3

6. พาสต้า (pasta) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 2.9 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 41.4

7. น้ำผักผลไม้ (juice) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 2.8 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 44.7

8. ผลิตภัณฑ์ทดแทนมื้ออาหาร (meal replacement) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 2.7 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 57.1

9. ขนมขบเคี้ยวจากผลไม้ (fruit snacks) เป็นกลุ่มสินค้าอาหารวีแกนที่มีสัดส่วนสินค้าใหม่ที่ออกสู่ตลาดโลกร้อยละ 2.7 และมีอัตราขยายตัวเฉลี่ยในช่วง 5 ปี ที่ร้อยละ 34.0

ในภาพรวมมีสินค้าประเภทที่ใช้ทดแทนเนื้อสัตว์มากขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับความต้องการของผู้บริโภคผู้ผลิตกำลังทุ่มเทกับการพัฒนารสชาติและโครงสร้างอาหารเพื่อที่จะสามารถทดแทนเนื้อสัตว์ให้ดีเท่าที่จะสามารถทำได้ การใช้นวัตกรรมไม่ได้จบเพียงแค่การพัฒนาดังกล่าว แต่ยังขยายวงกว้างไปถึงวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น อาหารปลอดกลูเตนหรือการทำการตลาดที่มุ่งเน้นไปที่การลอกเลียนแบบเนื้อสัตว์ที่มีอยู่ เช่น การทำเนื้อไก่ฉีก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการทดลองที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น ๆ อีก เช่น การใส่ superfood (อาหารโภชนาการสูง) เช่น ผักใบเขียว ธัญพืช ผลไม้ตระกูลเบอร์รี เป็นต้น หรือสารที่ช่วยบำรุงสุขภาพในกลุ่มอาหารเสริมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารทดแทนเนื้อสัตว์และอาหารจากพืช เพื่อที่จะดึงดูดความสนใจของกลุ่มผู้บริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมังสวิรัติและผู้บริโภควีแกน นอกจากนี้กลุ่มผู้ผลิตยังให้ความสนใจการบริโภคเนื้อสัตว์แบบผสม เช่น การทำแฮมเบอร์เกอร์ที่มีส่วนผสมของเห็ด-นางรม หรือการทำลูกชิ้นที่ยัดไส้ด้วยข้าว เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะตรงกับกลุ่มลูกค้าที่เรียกว่า flexitarians หรือผู้เป็นมังสวิรัติแบบครั้งคราวซึ่งในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้น[19]

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากพืช จึงเป็นอาหารที่มีบทบาทสำคัญในกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้มากซึ่งในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมทั้งกลุ่มผู้บริโภคมังสวิรัติแบบครั้งคราวและกลุ่มผู้บริโภครักสุขภาพทำให้ตลาดผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากพืชกำลังเป็นกระแสที่มีความนิยมและขนาดของตลาดค่อนข้างเติบโต การพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชจึงมีความสำคัญ ข้อมูลจากศูนย์วิจัย Krungthai COMPASS[20] ได้กล่าวไว้ว่า รสชาติเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารที่มาจากพืชมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 52 และปัจจัยรองลงมาเรื่องสุขภาพอยู่ที่ร้อยละ 39 ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากพืชนอกจากการคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการที่ผู้บริโภคควรได้รับแล้ว ควรพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดี มีเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่คล้ายคลึงกับอาหารที่มาจากสัตว์มากที่สุดหรือเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อเจาะตลาดและตอบโจทย์ผู้บริโภคให้มากที่สุด

บทสรุป

ปัจจุบันผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะคนรุ่นใหม่ ซึ่งมีหลากหลายกลุ่ม ได้แก่ การเป็นมังสวิรัติ การเป็นมังสวิรัติแบบครั้งคราว และการเป็นวีแกน เหตุผลจูงใจของกลุ่มคนเหล่านี้มาจากความต้องการใช้ชีวิตแบบไม่เบียดเบียนสัตว์ การใส่ใจสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการมีสุขภาพที่ดี การบริโภคเนื้อสัตว์ไม่ได้เป็นเรื่องที่ผิด เช่นเดียวกับการเป็นวีแกนก็ไม่ได้เป็นเรื่องที่ทุกคนควรต้องทำหรือทำได้ เพราะมีผลดีและผลเสียที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเรื่องความต้องการมีสุขภาพดีที่กำลังเป็นกระแสในปัจจุบัน การไม่บริโภคเนื้อสัตว์ส่งผลให้ร่างกายขาดสารอาหารบางชนิดที่มีอยู่เฉพาะในสัตว์ ทั้งนี้สามารถหาวิธีเสริมสารอาหารเหล่านี้ด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การรับประทานอาหารเสริม การรับประทานอาหารที่หลากหลาย เป็นต้น ในขณะที่การบริโภคเนื้อสัตว์ที่มากเกินไปส่งผลเสียให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมากมาย เช่น โรคหัวใจ โรค-ความดันโลหิตสูง เป็นต้น แต่หากมีการเลือกรับประทานอาหารและบริโภคในปริมาณที่พอดีสามารถส่งผลดีต่อสุขภาพเช่นกัน จะเห็นได้ว่าการบริโภคหรือไม่บริโภคเนื้อสัตว์ต่างก็ส่งผลดีและผลเสียต่อร่างกาย การมีสุขภาพดีขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการเลือกบริโภคอาหารของแต่ละคน นอกจากนี้กระแสการไม่บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช ซึ่งการพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้จึงได้รับการพัฒนาให้มีความหลากหลายและคล้ายคลึงกับอาหารที่มาจากสัตว์มากที่สุดเพื่อเจาะตลาดและตอบโจทย์ผู้บริโภคกลุ่มนี้ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. จีระศักดิ์ คำสุริย์ เมธาวี ชุณหวุฒิยานนท์ และ ดุจเดือน บุญสม. (2562). รายงานการวิจัยเรื่อง “โครงการศึกษาตลาดอาหารวีแกนเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารของไทย”. อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร.
2. Gebhardt B, Hadwiger K. Plant-based foods for future. Results of consumer and professional expert interviews in five European countries - EIT-Food Project “The V-Place”. 2020.
3. Janssen M, Busch C, Rödiger M, Hamm U. Motives of consumers following a vegan diet and their attitudes towards animal agriculture. Appetite. 2016;105(1):643-51.
4. Rothgerber H. Underlying differences between conscientious omnivores and vegetarians in the evaluation of meat and animals. Appetite. 2015;87(1):251-8.
5. Ruby MB, Cheng TK, Heine SJ. [Cultural differences in food choices and attitudes towards animals]. Unpublished raw data. 2011.
6. Ploll U, Petritb H, Stern T. A social innovation perspective on dietary transitions: Diffusion of vegetarianism and veganism in Austria. Environ Innov Soci Transit. 2020;126:59-67.
7. Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, Rosales M, Haan C. de. Livestock's long shadow: Environmental issues and options, FAO publications. 2006
8. Fu Y, Chen T, Chen SHY, Liu B, Sun P, Sun H, Chen F. The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. Trends Food Sci Technol. 112: 188-200. Cited in Mottet, 2021;112:188-200.

9. Melina V, Craig W, Levin S. Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. J Acad Nutr Diet. 2016;116(12):1970-80.
10. Tuso PJ, Ismail MH, Ha BP, Bartolotto C. Nutritional update for physicians: plant-based diets. Perm J. 2013;17(2):61-6.
11. Fresan U, Mejia M, Jaceldo-Siegl K, Craig W, Sabate J. Looking for a nutritive and sustainable source of protein. Curr Dev Nutr. 2019;3:1083-93.
12. Suttera DO, Bender N. Nutrient status and growth in vegan children. Nutr Res. 2021;91:13-25.
13. Melina V, Craig W, Levin S. Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. J Acad Nutr Diet. 2016;116(12):1970-80.
14. Jeffrey Soble. Health benefits of a vegan diet. Rush Content Hub; 2019. [cited 2024 Apr 9]. Available from: https://www.rush.edu/news/health-benefits-vegan-diet
15. Grand view research. Vegan food market size, share & trends analysis report by product (Dairy alternative, meat substitute), By Distribution Channel (Online Offline), By Region (APAC, CSA, MEA, Europe, North America), And Segment Forecasts, 2019-2025; 2019 [cited 2024 Apr 3]. Available from: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/vegan-food-market
16. Ploll U, Petritb H, Stern T. A social innovation perspective on dietary transitions: diffusion of vegetarianism and veganism in Austria. Environ Innov Soci Transit. 2020;36:164-76.
17. Santaoja M, Jallinoja P. Food out of its usual rut. Carnivalesque online veganism as political consumerism. Geoforum. 2021;126:59-67.
18. The Vegan Society. Statistics about veganism 2021; [cited 2024 Apr 3]. Available from: https://www.vegansociety.com/news/media/statistics/worldwide
19. สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงเฮก. รายงานผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ ราชอาณาจักรเนเธอร์แลนด์ 2020; [เข้าถึงเมื่อ 1 เม.ย. 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://www.ditp.go.th/contents_attach/597176/597176.pdf
20. พชรพจน์ นันทรามาศ อภินันทร์ สู่ประเสริฐ และพิมฉัตร เอกฉันท์. (2563). ทำความรู้จัก Plant-based Food เมื่อเนื้อสัตว์จากพืชกลายเป็นเทรนด์อาหารโลก. นิติย2020; [เข้าถึงเมื่อ 1 เม.ย. 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://krungthai.com/Download/economyresources/EconomyResourcesDownload_452Plant_based_Food_10_11_63.pdf

สารเมตาบอไลต์จากกระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันและคุณสมบัติเชิงหน้าที่

เนตรดาว พิมพ์ทอง[1], วรรณลักษณ์ เสนะกูล[1], วริยา อนุอัน[1], มาริสา หงส์ชนะกิจ[1] และ วนิดา ปานอุทัย[2*]

[1]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th
รับเมื่อ 30 พฤษภาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 27 กันยายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 11 ตุลาคม 2567

จุดเด่น

- กระบวนการหมักร่วมส่งเสริมประสิทธิภาพในการสร้างสารเมตาบอไลต์ของจุลินทรีย์
- สารเมตาบอไลต์ที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหมักร่วมมีประโยชน์ที่หลากหลาย
- กระบวนการหมักร่วมส่งผลให้เกิดคุณสมบัติเชิงหน้าที่อันเป็นเอกลักษณ์

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงร่วม (co-culture) เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต วิธีนี้ช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการสังเคราะห์สารเมตาบอไลต์ต่าง ๆ ในระหว่างการหมัก สารเมตาบอไลต์เหล่านี้รวมถึงสารเมตาบอไลต์ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่เปลี่ยนแปลงขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประเภทของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมในการหมัก การหมักร่วมส่งผลให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่หลากหลาย รวมถึงสารที่ผลิตจากการหมักร่วมของยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ ประกอบด้วย ยีสต์ร่วมกับแบคทีเรีย และยีสต์ร่วมกับสาหร่าย กระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับวิถีเมตาบอลิซึมที่เสริมซึ่งกันและกัน ส่งผลให้สารเมตาบอไลต์มีคุณสมบัติการทำงานที่แตกต่างกันออกไป สารเหล่านี้ไม่เพียงแต่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงรสชาติและกลิ่นเท่านั้น แต่ยังยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอีกด้วย กระบวนการหมักร่วมของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการผลิตสารที่มีคุณค่าพร้อมการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อาหารเพื่อสุขภาพและยา กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมของจุลินทรีย์แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ด้วยการใช้ประโยชน์จากปฏิสัมพันธ์ที่เสริมฤทธิ์กันระหว่างจุลินทรีย์ต่าง ๆ การเพาะเลี้ยงร่วมจึงส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่หลากหลาย รวมถึงวิถีทางเมตาบอลิซึมที่เพิ่มขึ้น และการผลิตสารเมตาบอไลต์ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะเพื่อประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นสารเมตาบอไลต์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมถือเป็นกลยุทธ์ที่มีแนวโน้มในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตทางชีวภาพ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่ก้าวหน้า

คำสำคัญ : การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วม เมตาบอไลต์ คุณสมบัติเชิงหน้าที่

Metabolites from microbial co-cultures and their functional properties

Netdaow Pimthong[1], Wannalak Senagul[1], Wariya Anuan[1], Marisa Hongchanakit[1], and Wanida Pan-utai[2*]

[1]Department of Microbiology, Faculty of Science, Kasetsart University

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

*Corresponding author, e-mail : ifrwdp@ku.ac.th

Received 30 May 2024; **Revised** 27 September 2024; **Accepted** 11 October 2024

Highlights

- Potential of metabolites derived from microbial co-cultures
- Microbial co-cultures play a crucial role in enhancing the efficiency of bioproducts
- Functional properties derived from microbial co-cultures offer unique and diverse benefits

Abstract

Co-culture involves growing multiple strains of microorganisms together in the same environment to improve production efficiency. This method utilizes the complementary strengths of different microorganisms, producing various metabolites during fermentation. These metabolites, including primary and secondary metabolites, are affected by factors such as the types of microorganisms and the fermentation environment. Co-fermentation results in diverse metabolites, including those produced from the co-fermentation of different yeast strains, yeast and bacteria, and yeast and algae. These processes involve metabolic pathways that complement each other, resulting in metabolites with distinct functional properties. These metabolites not only increase nutritional value and improve taste and smell but also extend the final product's shelf life and enhance production efficiency. The microbial co-fermentation process is powerful for producing valuable metabolites with applications across industries such as health food and pharmaceuticals. The use of microbial co-cultures has shown significant potential in improving bioproduct efficiency. By taking advantage of the synergistic interactions between different microorganisms, co-cultures offer a wide range of functional properties, including enhanced metabolic pathways and the production of unique metabolites with valuable industrial

applications. Therefore, metabolites from microbial co-cultures represent a promising strategy for optimizing bioproduction processes and advancing bioproduct development.

Keywords : microbial co-cultures, metabolites, functional properties

บทนำ

กระบวนการหมักเป็นเทคนิคที่ใช้ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บได้นานยิ่งขึ้น รวมถึงช่วยในการเพิ่มคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ได้แก่ รสชาติ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของอาหาร โดยการหมักเป็นกระบวนการที่ช่วยย่อยสลายโมเลกุลอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ แบคทีเรีย รา และสาหร่าย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและได้เมตาบอไลต์ที่หลากหลาย

ยีสต์จัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มักถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร โดยบทความนี้มุ่งเน้นถึงสารเมตาบอไลต์ที่พบได้จากกระบวนการหมักยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น เมื่อนำยีสต์มาเพาะเลี้ยงร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น หรือที่เรียกว่า co-culture เป็นการเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างจุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตที่ได้จากการหมักหรือสารสำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการหมักในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยนำยีสต์เพาะเลี้ยงร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ 1) การเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างยีสต์กับยีสต์ โดยส่วนใหญ่แล้ว ยีสต์ที่นำมาใช้นั้นจะเป็นยีสต์ประเภท *Saccharomyces* และ *non-Saccharomyces* ซึ่งการหมักร่วมของยีสต์นี้สามารถช่วยลดปริมาณเอทานอลที่จะเกิดขึ้น และเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ทำให้มีกลิ่นรสที่ดียิ่งขึ้น 2) การเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างยีสต์และแบคทีเรีย ส่วนใหญ่มักจะพบได้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่ม ขนมปังซาวโดวจ์ (sourdough) ผลิตภัณฑ์จากนม และอาหารหมักดอง โดยการหมักร่วมของสองชนิดนี้จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร รสชาติ และยังสามารถช่วยในการยืดอายุอาหารเพื่อใช้ในการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้ เนื่องจากมีการผลิตกรดที่เพิ่มขึ้นจากการหมักร่วมนี้ และ 3) การเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างยีสต์และสาหร่าย ซึ่งถูกนำมาใช้ในอาหารและเครื่องดื่มหมักหลายชนิดเพื่อเพิ่มคุณภาพที่ได้จากการหมักให้มีรสชาติและกลิ่นที่ดียิ่งขึ้น และยังเพิ่มคุณค่าทางอาหารอีกด้วยเนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* เป็นแหล่งโปรตีนที่มีความสำคัญอย่างมากเพื่อใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นของเซลล์ยีสต์ เพื่อช่วยในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ โดยกระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วมกันมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของชีวผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเมตาบอไลต์ที่พบได้จากกระบวนการหมักจุลินทรีย์จากกระบวนการหมักร่วมมีเอกลักษณ์และประโยชน์ที่หลากหลาย

สารเมตาบอไลต์ (metabolite)

สารเมตาบอไลต์ (metabolite) คือสารเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาผลาญ (metabolism) ของสิ่งมีชีวิต เปรียบเสมือนผลิตภัณฑ์ขั้นกลางหรือขั้นสุดท้ายของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์[1] โดยสามารถแบ่งชนิดของสารเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1) สารเมตาบอไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) คือสารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก ประกอบด้วยกรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการหมัก เช่น เอทานอลและกรดอินทรีย์ โดยสารดังกล่าวมีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) สารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) คือสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะการหมักที่เหมาะสม ซึ่งไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของจุลินทรีย์ โดยสารดังกล่าวมีประโยชน์ทางการแพทย์ที่หลากหลาย เช่น ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ยาถ่ายพยาธิ ยารักษาโรคมะเร็ง ยายับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitors) และยาที่ใช้ลดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (immunosuppressive)

นอกจากนี้ในกระบวนการหมักสามารถจัดจำแนกชนิดของสารเมตาบอไลต์ตามความสามารถในการระเหยได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้[2-3]

1) สารประกอบที่ไม่ระเหย (non-volatile compounds) มีส่วนสำคัญต่อรสชาติและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เช่น น้ำตาลซึ่งยังเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ กรดอะมิโนเป็นสารอาหารและสารตั้งต้นของสารระเหยที่ส่งผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์

2) สารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) เช่น แอลกอฮอล์โมเลกุลใหญ่ (higher alcohols) เอสเทอร์ของกรดอะซิติก (acetate esters) เอสเทอร์ของเอทานอล (ethyl esters) และสารประกอบที่มีกำมะถัน (sulfur-containing compounds) สารระเหยที่สำคัญอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ได้แก่ 3-เมทิล-1-บิวทานอล (3-methyl-1-butanol), 2-ฟีนิลเอทานอล (2-phenylethanol), และ 3-เมทิลบิวทิลอะซิเทต (3-methylbutyl acetate)

กระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อผลิตภัณฑ์หรือสารประกอบสำคัญนั้น สามารถทำได้ด้วยระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เดี่ยว (monoculture) และการเพาะเลี้ยงร่วม (co-culture) โดยใช้จุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ ซึ่งการกระบวนหมักหรือเพาะเลี้ยงร่วมกันของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ส่งผลให้มีรูปแบบของสารเมตาบอไลต์ที่ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันด้วย

สารเมตาบอไลต์ที่พบได้จากกระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วม

กระบวนการหมักร่วม คือ กระบวนการหมักที่ใช้จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ร่วมกันในสภาวะเดียวกัน ซึ่งจุลินทรีย์ในกระบวนหมักร่วมมีปฏิสัมพันธ์หลายรูปแบบ ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์เชิงบวก (+, +) ปฏิสัมพันธ์เชิงกลาง (0, 0) ปฏิสัมพันธ์เชิงลบ (+, -) ปฏิสัมพันธ์เชิงปรสิต (-, 0) และปฏิสัมพันธ์เชิงแข่งขัน (-, -) โดยในบทความนี้สนใจเน้นปฏิสัมพันธ์เชิงบวก (+, +) เนื่องจากจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์มีการทำงานร่วมกันส่งผลให้ได้สารที่ประโยชน์หลากหลาย

สารเมตาบอไลต์ที่พบได้จากกระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วมกัน สามารถสรุปได้ตามระบบกระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วมกัน ดังนี้

1. สารเมตาบอไลต์จากกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างยีสต์ต่างสายพันธุ์

ในกระบวนหมักร่วมกันของยีสต์แต่ละสายพันธุ์ทำให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ ได้แก่ ซีอิ๊ว ไวน์ เบียร์ เป็นต้น จากการศึกษาของ Duarte และคณะ[4] พบว่า การผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ Cachaça โดยใช้กระบวนการหมักร่วมกันของใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* และ *Pichia caribbica* UFLA CAF733 ส่งผลให้ได้ปริมาณเอทานอลสูงถึง 75.37 กรัม/ลิตร และสารระเหยที่ให้กลิ่นรสเฉพาะตัวที่เป็นเอกลักษณ์ เช่น เอทิลเฮกซาโนเอท (ethyl hexanoate) 2-ฟีนิลเอธานอล (2-phenylethanol) ลินาลูล (linalool) เอทิลบิวทีเรต (ethyl butyrate) ฟีนิลเอทิลอะซีเทต (phenylethyl acetate) ไดเอทิลซักซิเนต (diethylsuccinate) และเจอรานิออล (geraniol) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเอทิลเอสเทอร์ (ethyl ester) 290.13 ไมโครกรัม/ลิตร อะซีเทต (acetates) 715.21 ไมโครกรัม/ลิตร และสามารถผลิตแอลกอฮอล์โมโนเทอร์พีน (monoterpenic alcohols) 195.56 ไมโครกรัม/ลิตร และการเพาะเลี้ยงร่วมนี้ยังสามารถผลิตกรดระเหยง่ายและแอลดีไฮด์ (aldehyde) เท่ากับ 1774.46 และ 121.10 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในกระบวนการหมักร่วมกันของยีสต์ *S. cerevisiae*, *P. barkeri* และ *Candida intermedia* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลโดยใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ พบว่า สามารถผลิตเอทานอลได้สูงถึง 150.33 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ[5] และผลการผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมักร่วมกันของยีสต์ *Zymomonas mobilis* แบบตรึงเซลล์ (immobilized) กับ *P. stipitis* แบบเซลล์อิสระ (free cells) โดยใช้น้ำตาลกลูโคสและไซโลสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าสามารถผลิตเอทานอลได้มากที่สุด 1.277 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และมีค่าผลได้ของเอทานอลต่อน้ำตาลเท่ากับ 0.49-0.50 กรัมต่อกรัม[6] ซึ่งกระบวนการหมักร่วมดังกล่าว ช่วยให้เกิดการย่อยสลายน้ำตาลกลูโคสและไซโลสได้พร้อมกัน และใช้ประโยชน์จากสารตั้งต้นได้อย่างสมบูรณ์ จึงส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตและอัตราการผลิตเอทานอลได้สูงขึ้น ดังนั้นกระบวนการหมักร่วมของยีสต์มักพบในกลุ่มผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ที่มีการใช้สายพันธุ์และวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อชนิดและปริมาณของสารเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวแตกต่างกันด้วย

2. สารเมตาบอไลต์จากกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างยีสต์กับแบคทีเรีย

ในกระบวนหมักร่วมกันของยีสต์และแบคทีเรียส่งผลให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่แตกต่างกัน เช่น แอลดีไฮด์ (aldehyde) กรด และเอทานอล มักพบในผลิตภัณฑ์หมักประเภทคีเฟอร์ ไวน์ กิมจิ ชีส กาแฟ และขนมปังซาวโดวจ์ จากรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการหมักร่วมระหว่างยีสต์ S. *cerevisiae* KLB3L และแบคทีเรีย *Lactobacillus rhamnosus* KLB38 ในผลิตภัณฑ์หมักคีเฟอร์ (kefir) พบว่า สามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นได้ (short-chain fatty acids, SCFAs) ยกเว้นกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดวาเลอริก (valeric acid) และสามารถผลิตกรดอินทรีย์ 2-เมทิลบิวทีริก (2- methylbutyric) และกรดไอโซวาลิริก (isovaleric acid) ได้ในปริมาณสูง ส่งผลต่อคุณสมบัติและประโยชน์ของผลิตภัณฑ์คีเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น[7] กระบวนการหมักกาแฟโดยใช้การจุลินทรีย์ร่วมกันระหว่างยีสต์ *S. boulardii* CNCM I-745 และแบคทีเรียโพรไบโอติก 4 สายพันธุ์ ประกอบด้วย *Loctipiantibacillus plantarum* 299v, *Lactobacillus acidophilus* NCFM, *Limosilactobacillus fermentum* PCC, *Lactobacillus gasseri* LAC-343 พบว่า มีสารเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้นหลายชนิด กรดโดเดคาโนอิก (dodecanoic acid) เอทานอล อนุพันธ์แอลกอฮอล์เมทิลบิวเทน (methylbutanol) สไตรีน (styrene) และกรดอินทรีย์ อัลฟาไพโรน-6-คาร์บอกซิลิก (α-pyrone-6-carboxylic acid) สารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการปรับเปลี่ยนกลิ่นรสของกาแฟ[8] และกระบวนการหมักร่วมระหว่างยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* แบคทีเรียกรดแล็กติกสายพันธุ์ *L. delbrueckii subsp. lactis* และ *L. plontonim* และแบคทีเรียกรดอะซิติกสายพันธุ์ *Acetobacter aceti* และ *Gluconobocter oxyland* ในกระบวนการหมักโกโก้พบว่า ยีสต์ช่วยในการย่อยสลายกลูโคสในเนื้อโกโก้ให้กลายเป็นสารเมตาบอไลต์กลุ่มแอลกอฮอล์และสร้างสารประกอบที่ให้กลิ่นรสได้หลายชนิด เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์ (3-methylbutanol, 2- phenylethanol) แอลดีไฮด์ กรดอินทรีย์ (organic acids) และเอสเทอร์ (esters) ขณะที่แบคทีเรียกรดแล็กติกสร้างสารประกอบที่มีส่วนช่วยในเรื่องรสชาติของโกโก้และช็อกโกแลต เช่น น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohols) กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์และแอลดีไฮด์ และแบคทีเรียกรดอะซิติกสามารถเปลี่ยนแอลกอฮอล์ที่ยีสต์สร้างขึ้นให้กลายเป็นกรดอะซิติก (acetic acid) ส่งผลต่อรสชาติและช่วยเพิ่มอายุการจัดผลิตภัณฑ์[6] นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยีสต์และแบคทีเรียในกระบวนการหมักร่วมกันเพื่อผลิตขนมปังซาวโดวจ์ (sourdough) โดยสายพันธุ์แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบประกอบด้วย *Fructilactobacillus, Lactiplantibacillus, Levilactobacillus* และ *Latilactobacillus* โดยที่ *F. sanfranciscensis, Levilactobacillus brevis, Limositactobacillus fermentum* และ *Levilactobacillus hommes* เป็นจุลินทรีย์กลุ่ม heterofermentative ขณะที่ *Latilactobacillus sakel, Companilactobacillus kimchi, Latilactobacillus curvotus* และ *Lactiplantibacillus plantarum* เป็นจุลินทรีย์กลุ่ม homofermentative โดยยีสต์ส่วนใหญ่ที่พบประกอบด้วย *S. cerevisiae, Kazachstania*

humilis, Kazachstania exigua, P. kudriavzevil, Wickerhanomyces anomalus และ *Torulaspora delbruecki* ซึ่งยีสต์ในขนมปังซาวโดวจ์นี้จะสามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเพื่อผลิตสารเมตาบอไลต์ในกลุ่มเอทานอล และเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อทำให้แป้งขนมปังฟู รวมทั้งยังมีการสร้างสารเมตาบอไลต์ชนิดอื่น ๆ ซึ่งเสริมรสชาติและกลิ่นรสให้แก่ขนมปัง เช่น กรดอินทรีย์ เป็นต้น ในระหว่างกระบวนการหมักแบคทีเรียกรดแล็กติกกลุ่ม homofermentation จะเปลี่ยนน้ำตาลเฮกโซส (hexoses) เป็นกรดแล็กติกเท่านั้น ในขณะที่แบคทีเรียกรดแล็กติกกลุ่ม heterofermentation จะเปลี่ยนน้ำตาลเฮกโซสเป็นกรดแล็กติก กรดอะซิติก เอทานอล และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการผลิตกรดนี้ส่งผลให้ขนมปังมีรสเปรี้ยวและยังช่วยในการยืดอายุของขนมปัง และเมื่อแบคทีเรียทำงานร่วมกับยีสต์จะส่งผลต่อการส่งเสริมการเจริญและกิจกรรมทางเมตาบอลิซึมร่วมกัน[9]

จากรายงานสารเมตาบอไลต์ที่พบในกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์โพรไบโอติก *L. plantarum* MTCC 5690 (LP) และยีสต์ *Kluyveromyces lactis* NCDC 257 (KL) ในการผลิตเครื่องดื่มเวย์ (whey drink)[10] สามารถระบุสารเมตาบอไลต์ได้ถึง 58 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ กรดไขมัน เอไมด์ เอมีน น้ำตาล กรดอะมิโน เป็นต้น ในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียและยีสต์ร่วมกัน (Whey fermented with both *L. plantarum* and *K. lactis* WLK) ส่งผลให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่แตกต่างไปจากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย (Whey fermented with *L. plantarum,* WLP) หรือยีสต์ (Whey fermented with *K. lactis,* WKL) สายพันธุ์เดียว โดยที่สารเมตาบอไลต์ที่ได้จากกระบวนการหมักเพื่อผลิตเครื่องดื่มเวย์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันดังนี้ แอลกอฮอล์ (alcohols) ส่งผลต่อการให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมัก เช่น กลิ่นผลไม้ กลิ่นหวาน เป็นต้น สารเมตาบอไลต์ที่พบ ได้แก่ โพรพาน-2-ออล (propan-2-ol) และ 1-(2,5-ไดเมทอกซีฟีนิล)-1-บิวทานอล (1-(2,5-Dimethoxyphenyl)-1-butanol) พบเฉพาะผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม WLK, คีโตน (ketones) น้ำเวย์ที่ไม่ได้ผ่านการหมักมี 2-เพนทานอล (2-pentanol) และ 2-บิวทาโนน (2-butenone) เป็นกลุ่มคีโตนหลัก ซึ่งสารเมตาบอไลต์เหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามระดับความร้อนที่ใช้ในกระบวนการหลังการหมัก กรด (acids) มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของเครื่องดื่มที่ผ่านการหมักและเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สารอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์กลุ่ม WLP เช่น เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ คีโตน และกรดบิวทาโนอิก (butanoic acid) ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกลุ่ม WLK พบกรดเฮกซาโนอิก (hexanoic acid) ส่งผลต่อกลิ่นหืนและเกิดรสเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์ เอสเทอร์ (esters) เกิดขึ้นจากกรดอินทรีย์กับแอลกอฮอล์ หรือจากสารเมตาบอไลต์กลุ่มกรดอะมิโน โดยโพรพิโอเนต (propionate) เป็นสารเมตาบอไลต์กลุ่มเอสเทอร์หลักที่พบหลังการหมักน้ำเวย์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเวย์ทุกกลุ่ม (WLP, WKL และ WLK) ส่งผลให้มีกลิ่นรสหอมหวานและกลิ่นดอกไม้ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) พบสารเมตาบอไลต์เตตระดีเคน (tetradecane) เฉพาะในผลิตภัณฑ์กลุ่ม WP ซึ่งอาจเกิดจากการที่นมสัมผัสกับแสงเป็นเวลานาน

โมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharides) หลังกระบวนการหมักพบว่า มีปริมาณของโมโนแซ็กคาไรด์ เช่น ไรโบส (ribose) แมนโนส (mannose) กาแล็กโตส (galactose) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับวิถีเมตาบอลิซึมที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์เวย์แต่ละกลุ่ม และโพลิออลส์ (polyols) ส่วนใหญ่พบสารอีริทริทอล (erythritol) เป็นหลักในผลิตภัณฑ์กลุ่ม WLK ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสหวานเล็กน้อยและให้พลังงานต่ำ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นที่จากกระบวนการหมักดังกล่าว เช่น สารอัลคาลอยด์และฟลาโวนอยด์พบได้ในปริมาณน้อย ซึ่งมีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มที่ผ่านการหมัก

นอกจากผลิตภัณฑ์อาหารแล้วการเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียยังมีประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม จากรายงานกระบวนการหมักร่วมกันของยีสต์ *S. cerevisiae* และแบคทีเรีย *L. amylovarus* โดยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบพบว่า มีการผลิตเอทานอลได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ยีสต์ในการหมักสายพันธุ์เดียว อีกทั้งยังได้สารเมตาบอไลต์กลุ่มอะซิทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ที่ผลิตโดย *L. amylovorus* ส่งผลให้ได้ชีวมวลเซลล์และเอทานอลเพิ่มขึ้น[11]

3. สารเมตาบอไลต์จากกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างยีสต์กับสาหร่าย

กระบวนการหมักร่วมของยีสต์และสาหร่ายส่งผลให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่แตกต่างกัน ดังรายงานการศึกษาการเพาะเลี้ยงยีสต์ *S. cerevisiae* DY1457 ร่วมกับสาหร่าย *Chlorella vulgaris* CCAP 211/118 และ *C. sorokiniana* CCAP 211/8 K พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมดภายในเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 2 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นและมีปริมาณไขมันทั้งหมดในเซลล์มีสูงกว่าการเพาะเลี้ยงสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ[12]

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้สาหร่ายเป็นสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบในกระบวนการหมักเพื่อผลิตชีวผลิตภัณฑ์และสารสำคัญ รวมทั้งพัฒนาไปถึงการประยุกต์ใช้ในกระบวนการหมักร่วมระหว่างจุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ จากรายงานการประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลโดยใช้ยีสต์ที่มีการตรึงเซลล์ (immobilized) พบว่า สาหร่ายไก *Rhizoclonium* sp. ประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมี คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งภายหลังกระบวนการหมักด้วยยีสต์ที่ผ่านการตรึงเซลล์ส่งผลให้ได้เอทานอลสูงกว่าการใช้เซลล์อิสระ (free cells)[13] นอกจากนี้ยังมีการพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันของยีสต์และสาหร่ายเพื่อผลิตชีวมวลเซลล์ที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ พบว่า ยีสต์ *Cryptococcus curvatus* และสาหร่ายขนาดเล็ก *Phaeodactylum tricornutum* สามารถสะสมไขมันภายในเซลล์ได้[14]

กระบวนการการเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างยีสต์ต่างสายพันธุ์ ยีสต์กับแบคทีเรีย และยีสต์กับสาหร่ายนั้น ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์สารเมตาบอไลต์ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีเอนไซม์หรือสารที่กระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์สารเมตาบอไลต์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อได้สารเมตาบอไลต์ในปริมาณที่ส่งผลช่วยในเพิ่มคุณค่าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยคุณค่าของ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนถัดไปของบทความ

คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกระบวนการเพาะเลี้ยงร่วม

กระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์หรือสารสำคัญที่ได้มีคุณสมบัติเชิงชีวภาพ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสารเมตาบอไลต์ ช่วยเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และช่วยในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถใช้งานได้หลากหลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ ในกรณีผลิตภัณฑ์อาหารหมักยีสต์เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงชีวภาพ และส่งเสริมจุลินทรีย์หลักที่จำเป็นต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหมักด้วย อีกทั้งยีสต์ยังมีหน้าที่ในการลดหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยที่ยีสต์สามารถผลิตสารประกอบชีวภาพหลายชนิด สามารถประยุกต์ใช้เป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของอุตสาหกรรมอาหารฟังก์ชัน รวมถึงกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (γ-aminobutyric acid) โฟเลต (folate) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมักด้วยยีสต์มีหลายรูปแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงสุขภาพที่หลายหลาก ดังรายละเอียดใน Table 1

Table 1 Functional properties from yeast co-cultures

Products	*Saccharomyces*	Non-*Saccharomyces*	Functional properties	Ref
Fermented pear beverages	*S. cerevisiae*	*Torulaspora delbrueckii*	Reducing the levels of hydroxybenzoic acids, procyanidins, and flavonol	(15)
Craft beer	*S. cerevisiae*	*Torulaspora delbrueckii, Lachancea thermotolerans, Kazachstania unispora* and *Saprochaete suaveolen*	β-glucosidase activity	(16)
Wine	*S. cerevisiae*	*Pichia fermentans* Z9Y-3	Regulate the content of aroma substances, reduce ethanol and increase acidity, thus improving wine quality	(17)
Loquat beer	*S.cerevisiae* MN113	*Hanseniaspora uvarum* YGA34	Intensify the aromatic characteristics of the beers	(18)
Maize based porridge	*S. cerevisiae* TY08	*C. glabrata* TY26	Enhancement of folate level	(19)
Fermented Garcinia beverage	*S. cerevisiae*	*Hanseniaspora sp*	Increase in antioxidant properties	(19)

Table 1 (continued)

Products	*Saccharomyces*	Non-*Saccharomyces*	Functional properties	Ref
Rye dough fermentation	*S. cerevisiae* ALKO 743, *S. cerevisiae* TS 14	*Candida milleri* CBS 8195, *Torulaspora delbrueckii* TS 20	Enhancement of folate level (15–23 μg/100 g)	(19)

ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักส่วนใหญ่ที่ใช้ยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียกรดแล็กติก ยีสต์มีบทบาทหลักในการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง เนื้อสัมผัส รสชาติ สี อายุการเก็บรักษา คุณค่าทางโภชนาการ และยีสต์มีความสำคัญต่อการเสริมสร้างสารชีวภาพที่ส่งผลต่อสุขภาพ จากการศึกษาการหมักแป้งข้าวด้วยแบคทีเรียกรดแล็กติก *L. plantarum* CCMA 0743 ร่วมกับยีสต์ *Torulaspora delbrueckii* CCMA 0235 พบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งข้าวที่ได้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่เพิ่มขึ้นเกิดจากสารเบต้า-กลูแคน (β-glucan) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) กลูตาไธโอน (glutathione) ไบโอแอคทีฟ เปปไทด์ (bioactive peptides) กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (γ-aminobutyric acid) ซีลีเนียมอินทรีย์ (organic selenium) พรีไบโอติก โอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ (prebiotic oligosaccharides) และโพลีฟีนอลอิสระ (free polyphenols) ยีสต์ช่วยในการย่อยแป้งในผลิตภัณฑ์ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและช่วยกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกรดแล็กติกระหว่างการหมัก[19] ผลิตภัณฑ์นมหมักที่ได้จากการหมักร่วมของยีสต์ *Pichia kudriavzevii* KL84A ร่วมกับแบคทีเรีย *L. plantarum* LAT3 และ *Enterococcus faecslis* KL06 พบว่า มีเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ angiotensin-converting enzyme (ACE) ในผลิตภัณฑ์นมหมักและไม่มีรสขม[20] ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองหมักโดยใช้ยีสต์ *S. boulardii* ร่วมกับแล็กติกแอซิดแบคทีเรียหลายสายพันธุ์ สามารถเปลี่ยนสารสำคัญไอโซฟลาโวนกลูโคไซด์ (isoflavone glucosides) ที่ประกอบด้วย เดดซีน (daidzin) และเจนิสติน (genistin) เป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive aglycones) ที่ประกอบด้วย daidzein และ genistein ในระหว่างกระบวนการหมัก รวมทั้งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์[21] ผลิตภัณฑ์อาหารหมัก idli ที่ได้จากกระบวนการหมักแป้งด้วยแบคทีเรีย *L. lactis* N8 และยีสต์ *S. boulardii* SAA655 สามารถผลิตวิตามินบีที่ประกอบด้วยไรโบฟลาวิน (riboflavin) และโฟเลต (folate) ได้จากกระบวนการหมัก สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่และเสริมสร้างสุขภาพของผู้บริโภค[22]

ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่ได้จากกกระบวนการหมักร่วมของยีสต์ *S. cerevisiae* และแบคทีเรีย *L. helviticus* พบว่า ได้ไตรเปปไทด์สองชนิด คือ Val-Pro-Pro (ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ วาลีน valine (val) โพรลีน proline (pro) และโพรลีน proline (pro)) และ Ile-Pro-Pro (ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด คือไอโซลิวซีน isoleucine (ile) โพรลีน proline (pro) และโพรลีน proline (pro) ที่มีฤทธิ์ในการลดความดันโลหิตและมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ACE[23] ในผลิตภัณฑ์ข้าวบาร์เลย์หมักที่ได้จากกระบวนการหมักร่วมของยีสต์ *S. cerevisiae*

และแบคทีเรีย *L. plantarum* ทำให้โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น[24] ขนมปังซาวโดวจ์ที่ผ่านกระบวนการหมักร่วมของยีสต์ *S. cerevisiae* และแบคทีเรียกรดแล็กติกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดเฟอรูลิก (ferulic acid, FA) โดยกรดเฟอรูลิกจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไดไฮโดรเฟอรูลิก (dihydroferulic acid, DHFA) ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง และสามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการหมักร่วมเท่านั้น[9] นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักคอมบูชาที่เกิดจากกระบวนการหมักร่วมของยีสต์ *Zygosaccharomyces* sp. กับแบคทีเรีย *Acetobacter* sp. พบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักสามารถผลิตสารประกอบที่มีประโยชน์ ได้แก่ กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (γ-aminobutyric acid) ซีลีเนียม (selenium) โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) และโพลีฟีนอล (polyphenols) ซึ่งทำให้เครื่องดื่มคอมบูชามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง[25] รายละเอียดดังแสดงใน Table 2

Table 2 Functional properties from yeast-bacteria co-cultures

Products	Yeast species	Bacteria species	Functional properties	Ref
Cassava and rice-based beverage	*Torulaspora delbrueckiid* CCMA 0235	*L. plantarum* CCMA 0743	Antioxidant activity	(19)
Fermented milk	*P. kudriavzevii* KL84A	*L. plantarum* LAT3, *Enterococcus faecslis* KL06	ACE-inhibitory properties	(20)
Fermented soya milk	*S. boulardii*	LAB	Increase in isoflavones aglycones and antioxidant properties	(21)
Idli batter	*S. boulardii* SAA655	*L. lactis* N8	Increased riboflavin and folate levels	(19)
Sour milk	*S. cerevisiae*	*L. helviticus*	ACE-inhibitory properties	(19)
Fermented sourdough	*S. cerevisiae* *K. humilisy* Kh17	*LAB* *F. sanfranciscensis* bFs17	Transformation of FA to DHFA	(26)
Fermented barley	*S. cerevisiae*	*Lactiplantibacillus plantaru*	Multi-scale structure and physicochemical properties	(24)
Kombucha beverage	*Zygosaccharomyces* sp.	*Acetobacter* sp.	Antioxidant properties	(19)

บทสรุป

สารเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักทั้งสารเมตาบอไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolites) สารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่แตกต่างกันกัน ชนิดของจุลินทรีย์และสภาวะแวดล้อมในการหมัก โดยสารเมตาบอไลต์ที่พบได้จากกระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วม ได้แก่ การหมักร่วมกันของยีสต์ต่างสายพันธุ์ การหมักร่วมกันของ

ยีสต์และแบคทีเรีย และการหมักร่วมกันยีสต์และสาหร่าย จะมีวิถีเมตาบอลิซึมที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างสารเมตาบอไลต์ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ปรับปรุงรสชาติและกลิ่น ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พัฒนาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ กระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วมกันนี้ยังเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสารเมตาบอไลต์ที่มีคุณค่าหลากหลายประเภท โดยสารเมตาบอไลต์เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Singh R, Kumar M, Mittal A, Mehta PK. Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture. 3 Biotech. 2017;7(1):15.
2. Son EY, Lee SM, Kim M, Seo J-A, Kim Y-S. Comparison of volatile and non-volatile metabolites in rice wine fermented by Koji inoculated with *Saccharomycopsis fibuligera* and *Aspergillus oryzae*. Food Res Int. 2018;109:596-605.
3. Schulz-Bohm K, Martín-Sánchez L, Garbeva P. Microbial volatiles: small molecules with an important role in intra- and inter-kingdom interactions. Front Microbiol. 2017;8:2484.
4. Duarte WF, Amorim JC, Schwan RF. The effects of co-culturing non-*Saccharomyces* yeasts with *S. cerevisiae* on the sugar cane spirit (cachaça) fermentation process. Antonie van Leeuwenhoek. 2013;103(1):175-94.
5. Hashem M, Alamri SA, Asseri TAY, Mostafa YS, Lyberatos G, Ntaikou I. On the optimization of fermentation conditions for enhanced bioethanol yields from starchy biowaste via yeast co-cultures. Sustainability. 2021;13(4):1890.
6. Chen Y. Development and application of co-culture for ethanol production by co-fermentation of glucose and xylose: a systematic review. J Ind Microbiol Biotechnol. 2011;38(5):581-97.
7. Nenciarini S, Reis-Costa A, Pallecchi M, Renzi S, D'Alessandro A, Gori A, et al. Investigating yeast–Lactobacilli interactions through co-culture growth and metabolite analysis. Fermentation. 2023;9(11):933.
8. Chan MZA, Tan LT, Heng SWQ, Liu SQ. Effect of co-fermentation of *Saccharomyces boulardii* CNCM-I7 4 5 with four different probiotic *Lactobacilli* in coffee brews on cell viabilities and metabolic activities. Fermentation. 2023;9(3):219.
9. Boudaoud S, Aouf C, Devillers H, Sicard D, Segond D. Sourdough yeast-bacteria interactions can change ferulic acid metabolism during fermentation. Food Microbiol. 2021;98:103790.
10. Kadyan S, Rashmi HM, Pradhan D, Kumari A, Chaudhari A, Deshwal GK. Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink. LWT. 2021;142:111059.
11. Senne de Oliveira Lino F, Bajic D, Vila JCC, Sánchez A, Sommer MOA. Complex yeast–bacteria interactions affect the yield of industrial ethanol fermentation. Nature Communications. 2021;12(1):1498.
12. Xu Z, Theodoropoulos C, Pittman JK. Optimization of a *Chlorella–Saccharomyces* co–culture system for enhanced metabolite productivity. Algal Res. 2024;79:103455.
13. Khammee P, Ramaraj R, Whangchai N, Bhuyar P, Unpaprom Y. The immobilization of yeast for fermentation of macroalgae *Rhizoclonium* sp. for efficient conversion into bioethanol. Biomass Conversion and Biorefinery. 2021;11(3):827-35.

14. Dillschneider R, Schulze I, Neumann A, Posten C, Syldatk C. Combination of algae and yeast fermentation for an integrated process to produce single cell oils. Appl Microbiol Biotechnol. 2014;98(18):7793-802.
15. He W, Tian Y, Liu S, Vaateri L, Ma X, Haikonen T, et al. Comparison of phenolic composition and sensory quality among pear beverages made using *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii*. Food Chem. 2023;422:136184.
16. Han X, Qin Q, Li C, Zhao X, Song F, An M, et al. Application of non-*Saccharomyces* yeasts with high β-glucosidase activity to enhance terpene-related floral flavor in craft beer. Food Chem. 2023;404:134726.
17. Fan T, Qu J, Wang L, Zhang J, Yang X, Zhang H, et al. Genome sequencing, assembly, and characterization of *Pichia fermentans* Z9Y-3 as a non-*Saccharomyces* yeast with aroma enhancing potential. Food Biosci. 2023;53:102701.
18. Pirrone A, Prestianni R, Naselli V, Todaro A, Farina V, Tinebra I, et al. Influence of indigenous *Hanseniaspora uvarum* and *Saccharomyces cerevisiae* from sugar-rich substrates on the aromatic composition of loquat beer. Int J Food Microbiol. 2022;379:109868.
19. Rai AK, Pandey A, Sahoo D. Biotechnological potential of yeasts in functional food industry. Trends Food Sci Technol. 2019;83:129-37.
20. Chaves-López C, Serio A, Paparella A, Martuscelli M, Corsetti A, Tofalo R, et al. Impact of microbial cultures on proteolysis and release of bioactive peptides in fermented milk. Food Microbiol. 2014;42:117-21.
21. Rekha CR, Vijayalakshmi G. Biomolecules and nutritional quality of soymilk fermented with probiotic yeast and bacteria. Appl Microbiol Biotechnol. 2008;151(2):452-63.
22. Chandrasekar Rajendran SC, Chamlagain B, Kariluoto S, Piironen V, Saris PEJ. Biofortification of riboflavin and folate in idli batter, based on fermented cereal and pulse, by *Lactococcus lactis* N8 and *Saccharomyces boulardii* SAA655. J Appl Microbiol. 2017;122(6):1663-71.
23. Nakamura Y, Yamamoto N, Sakai K, Takano T. Antihypertensive effect of sour milk and peptides isolated from it that are inhibitors to Angiotensin I-Converting Enzyme. J Dairy Sci. 1995;78(6):1253-7.
24. Xie X, zheng M, Bai Y, Zhang Z, Zhang M, Chen Z, et al. Effect of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the multi-scale structure and physicochemical properties of highland barley starch. Food Biosci. 2023;52:102419.
25. Malbaša RV, Lončar ES, Vitas JS, Čanadanović-Brunet JM. Influence of starter cultures on the antioxidant activity of kombucha beverage. Food Chem. 2011;127(4):1727-31.
26. Carbonetto B, Nidelet T, Guezenec S, Perez M, Segond D, Sicard D. Interactions between *Kazachstania humilis* yeast species and lactic acid bacteria in Sourdough. Microorganisms. 2020;8(2).

การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีมูลค่า

วรรณลักษณ์ เสนะกูล[1], เนตรดาว พิมพ์ทอง[1], วริยา อนุอัน[1], มาริสา หงส์ชนะกิจ[1] และ วนิดา ปานอุทัย[2*]

[1]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th
รับเมื่อ 30 พฤษภาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 27 กันยายน 2567 **ตอบรับเมื่อ** 11 ตุลาคม 2567

จุดเด่น

- ระบบการเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นมีศักยภาพสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง
- ปลดล็อกศักยภาพของชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมเป็นสารประกอบที่มีมูลค่าสูง
- กระบวนการหมักจุลินทรีย์ร่วมส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าสารสำคัญ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันยีสต์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มหมักเป็นหลัก การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่น ๆ สามารถผลิตสารประกอบหรือมีมูลค่าสำหรับการผลิตอาหารได้ บทความนี้กล่าวถึงประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่น การปรับปรุงกิจกรรมทางชีวภาพสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงกว่าการเพาะเลี้ยงยีสต์สายพันธุ์เดี่ยว การเพาะเลี้ยงยีสต์หลายสายพันธุ์ร่วมกันมักจะใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มหมักเพื่อเพิ่มรสชาติและมีคุณสมบัติเฉพาะตัว และมีประโยชน์ในการส่งเสริมสุขภาพ เช่น การหมักโกโก้และการผลิตซอสถั่วเหลือง การเพาะเลี้ยงร่วมของยีสต์และแบคทีเรียมักพบในการผลิตน้ำผลไม้ ผลิตภัณฑ์นม กิมจิ และขนมปังซาวโดวจ์ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่ได้จากการหมักยีสต์และแบคทีเรียกรดแล็กติก (LAB) ส่งผลให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสดีขึ้น และเพิ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นเนื่องจากการหมักแบคทีเรียกรดแล็กติก ร่วมกับยีสต์ในการหมักอาหาร จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย เพราะแบคทีเรียเหล่านี้ผลิตกรดแล็กติกและสารต้านจุลชีพ (เช่น แบคทีริโอซิน) ที่สามารถสร้างสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสีย นอกจากนี้ยังพบว่า สาหร่ายซึ่งอุดมไปด้วยโพลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นประโยชน์มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักร่วมกับยีสต์ โดยเป็นทั้งแหล่งพลังงาน สารตั้งต้นในการสร้างสารสำคัญ และมีส่วนช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและสุขภาพของผลิตภัณฑ์และแร่ธาตุที่จำเป็น เพิ่มกลิ่นต่าง ๆ เช่น เอสเทอร์ ที่ยีสต์ผลิตขึ้นมักจะเป็นตัวที่เพิ่มความหอมหวานให้กับผลิตภัณฑ์ และแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณโปรตีนในกระบวนการหมักจากการเพิ่มจำนวนเซลล์ยีสต์ การใช้ประโยชน์จากโปรตีนที่อยู่ในสาหร่ายโดยตรง หรือการสังเคราะห์โปรตีนใหม่จากสารอาหารที่ย่อยสลายในกระบวนการ ดังนั้นการ

เพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นจึงมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมที่มีมูลค่าสูง และปรับปรุงประสิทธิภาพและคุณภาพในด้านการเพิ่มกลิ่นและรสชาติ เนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น รวมไปถึงการยืดอายุการเก็บรักษาในอุตสาหกรรมอาหารได้ ระบบเหล่านี้สามารถควบคุมด้วยระบบชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อผลิตสารประกอบที่มีมูลค่าสูง ส่งผลต่อการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

คำสำคัญ : ยีสต์ จุลินทรีย์ การเพาะเลี้ยงร่วมกัน ผลิตภัณฑ์ร่วม ผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง

Yeast and other microbial co-cultures for the production of valuable co-products

Wannalak Senagul[1], Netdaow Pimthong[1], Wariya Anuan[1], Marisa Hongchanakit[1], and Wanida Pan-utai[2*]

[1]Department of Microbiology, Faculty of Science, Kasetsart University

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

*Corresponding author, e-mail : ifrwdp@ku.ac.th

Received 30 May 2024; **Revised** 27 September 2024; **Accepted** 11 October 2024

Highlights

- Yeast co-culture systems with other microorganisms have the potential for the production of high-value products
- Unlock the potential of synthetic biology to produce co-products as high-value compounds
- Microbial co-cultures influence high values of bioactive substances

Abstract

Currently yeasts are primarily utilized in the food and fermented beverage industry. Co-culturing yeast with microorganisms can potentially produce valuable compounds for food production. This article highlights the benefits of co-culturing yeast with microorganisms. When multiple yeast strains are grown together, they are commonly used in fermented food and beverage products to enhance flavor. This co-cultivation enhances biological activity, increasing the potential for producing higher-value products compared to single-strain cultures, and it also provides unique and beneficial health-promoting properties, as seen in cocoa fermentation and soy sauce production. Co-cultivation of yeast and bacteria is commonly used in the production of fruit juices, dairy products, kimchi, and sourdough bread. These products are primarily derived from the fermentation activities of yeast and lactic acid bacteria (LAB), resulting in high nutritional value, improved sensory properties, extended shelf life, and the addition of biologically active substances. This method also acts as a preservative. Additionally, growing yeast together with algae yields beneficial

polysaccharides and essential minerals. Co-cultures promote growth, increase aroma, and enhance protein content during fermentation, thereby increasing the potential to produce high-value co-products. Co-culturing yeast with microorganisms is beneficial for enhancing the production of high-value co-products and improving performance and quality, particularly in the food industry. These systems can be controlled with synthetic biology systems to produce high-value compounds and microbial co-cultures have been shown to influence the production of high-value bioactive substances.

Keywords : yeast, microorganism, co-cultures, co-products, high-value compounds

บทนำ

ยีสต์ (yeast) จัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มักถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหรรมอาหาร ทั้งการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักจากน้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์นม หรือการนำยีสต์มาใช้ทำอาหารหมักต่าง ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพอาหาร เมื่อนำยีสต์มาเพาะเลี้ยงร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นหรือที่เรียกว่า co-culture เป็นการเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างจุลินทรีย์สองสายพันธุ์ขึ้นไปนั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตหรือสารสำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการหมักเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยสามารถแบ่งระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันได้หลายประเภท ได้แก่ 1) กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันระหว่างยีสต์ต่างสายพันธุ์ 2) กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันระหว่างยีสต์และแบคทีเรีย และ 3) กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันระหว่างยีสต์และสาหร่าย ระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมนี้พบว่า สามารถเพิ่มมูลค่าของสารสำคัญที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักที่แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการพัฒนาผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้การเพาะเลี้ยงร่วมของจุลินทรีย์จึงนับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการนำมาเพื่อผลิตสารประกอบทางชีวภาพหรือผลิตชีวโมเลกุลที่ต้องการในมูลค่าที่สูงขึ้นและหลากหลาย เช่น กรดแล็กติก (lactic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดซิตริก (citric acid) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นต้น โดยกระบวนการหมักร่วมยังสามารถช่วยในการปรับปรุงกลิ่นรสและสีของผลิตภัณฑ์ของอาหารที่ต้องการ เช่น ชีส เครื่องดื่มหมัก นม ไส้กรอก และซอสบางชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ยีสต์ (yeast)

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ยูคาริโอตเซลล์เดียวและอยู่ในอาณาจักรเชื้อรา ที่สามารถมีอยู่ในน้ำ ดิน อากาศ พื้นผิวผลไม้ และสื่ออื่น ๆ ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม รี และรูปไข่ ยีสต์ชนิดแรกมีต้นกำเนิดเมื่อหลายร้อยล้านปีก่อน และปัจจุบันมีอย่างน้อย 1,500 สายพันธุ์ ที่ได้รับการยอมรับทางด้านอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ยีสต์เป็นสิ่งมีชีวิต

เซลล์เดียวที่มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษหลายเซลล์ โดยบางสายพันธุ์มีความสามารถในการพัฒนาลักษณะหลายเซลล์โดยการสร้างสายของเซลล์ที่กำลังเติบโตที่เชื่อมต่อกันที่เรียกว่า pseudohyphae หรือ false hyphae โดยที่ขนาดของยีสต์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 ไมโครเมตร ยีสต์ส่วนใหญ่ขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ (budding) แต่ยีสต์บางสายพันธุ์สามารถขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ เรียกว่า แอสโคสปอร์ (ascospore) หรือ เบสิดิโอสปอร์ (basidiospore)[1-3] ยีสต์และอนุพันธ์ของยีสต์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกามีการรับรองให้ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus* และ *Candida utilis* สามารถนำมาใช้เพื่อการบริโภคได้และได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่ามีความปลอดภัย (Generally Recognized as Safe, GRAS) ปัจจุบันยีสต์ที่สามารถพบได้และมีการศึกษาอย่างแพร่หลาย คือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Saccharomyces uvarum* ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มหมัก เช่น เบียร์ และยังใช้ในการผลิตขนมปัง รวมทั้งในอุตสาหกรรมยา[4] นอกจากจะใช้ยีสต์ในการผลิตอาหารและเครื่องดื่มแล้ว ยังนิยมใช้ผลิตขนมปัง เบียร์ และไวน์ผ่านกระบวนการหมักด้วย *Saccharomyces cerevisiae* นอกจากยีสต์สกุล *Saccharomyces* แล้ว ยีสต์สกุลอื่น ๆ เช่น *Candida, Debaryomyces, Hanseniaspora, Issatchenkia, Kluyveromyces, Metschnikowia, Pichia* และ *Schizosaccharomyces* ยังมีส่วนในการผลิตอาหารอื่น ๆ ด้วย เช่น อาหารหมักดอง นม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ซีเรียล กาแฟ และซอส เป็นต้น[5]

ประเภทของยีสต์

ยีสต์จัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในกระบวนการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมไวน์ โดยทั่วไปสามารถจำแนกยีสต์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ *Saccharomyces* และ non-*Saccharomyces* ซึ่ง *S. cerevisiae* เป็นสายพันธุ์ยีสต์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและเป็นที่รู้จักกัน เนื่องจากมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงและการผลิตได้ดี มีความสามารถในการหมักที่ดี สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีความทนต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้สูง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักด้วย *S. cerevisiae* มักมีกลิ่นรสไม่ซับซ้อน ในปัจจุบันมีการศึกษายีสต์ประเภท non-*Saccharomyces* มากขึ้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยข้อดีของการใช้ non-*Saccharomyces* ในกระบวนการหมัก พบว่า สามารถลดปริมาณเอทานอล ขณะที่ปริมาณกลีเซอรอล ความซับซ้อนของสารประกอบอะโรเมติก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น[6] ยีสต์สายพันธุ์ *Torulaspora delbrueckii* เป็นหนึ่งในยีสต์ประเภท non-*Saccharomyces* การศึกษาในการผลิตไวน์ ด้วย *T. delbrueckii* พบว่า สามารถผลิตเอทานอลได้ในปริมาณต่ำและสามารถสร้างกลีเซอรอลได้มาก จึงช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากองุ่นที่มีปริมาณ

น้ำตาลสูง เนื่องจากต้องเพาะปลูกภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้น นอกจากนี้ *Pichia kluyveri* ซึ่งเป็นยีสต์ประเภท non-*Saccharomyces* ที่ได้รับความนิยมอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี เนื่องจากสามารถผลิตเครื่องดื่มหมักที่มีคุณลักษณะที่ดี ได้แก่ สามารถผลิตเอทานอลได้ในปริมาณต่ำแต่การผลิตอะซิเตตเอสเทอร์ได้สูง ดังนั้น *P. kluyveri* สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพกลิ่นรสของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทต่าง ๆ รวมทั้งผลไม้ และผลพลอยได้จากอาหาร เช่น เวย์ถั่วเหลือง นอกจากนี้สามารถเพิ่มกลิ่นรสช็อกโกแลตในกระบวนการหมักโกโก้ และกลิ่นรสของกาแฟในกระบวนการหมักเมล็ดกาแฟ[6]

ผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มหมักที่ได้จากการใช้ยีสต์ เช่น เบียร์ ไวน์ และไซเดอร์ เป็นที่ทราบกันดีว่า มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยีสต์ยังมีบทบาทสำคัญในการผลิตชีส โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ *Debayromyces hansenii, Yarrowia lipolytica, Kluyveromyces marxianus* และ *S. cerevisiae* สายพันธุ์เหล่านี้ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชีสมีรสชาติและเนื้อสัมผัสเฉพาะ เนื่องจากกระบวนการการสลายไขมัน (lipolysis) การย่อยโปรตีน (proteolysis) รวมถึงกระบวนการการหมักแล็กโทส[7] แม้ว่า *S. cerevisiae* เป็นสายพันธุ์ยีสต์ที่โดดเด่นและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย แต่ยังมียีสต์สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีความสำคัญ ได้แก่ *Saccharomyces exiguus, Candida milleri, Candida humilis, Candida krusei* (*Issatchenkia orientalis*), *Pichia anomala, Pichia membranifaciens* และ *Yarrowia lipolyitica* ซึ่งยีสต์เหล่านี้สามารถช่วยสร้างรสชาติในผลิตภัณฑ์ให้มีความโดดเด่นได้อีกด้วย[8]

กลุ่มจุลินทรีย์สัมพันธ์ (microbial consortium)

กลุ่มจุลินทรีย์สัมพันธ์ (microbial consortium) มักเรียกว่า กลุ่มประชากรจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ที่มีความสามารถในการทำงานร่วมกัน[9] ในกรณีของการเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดหรือสายพันธุ์อื่น สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตสารสำคัญที่มีมูลค่าสูงได้ ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ในกระบวนการเพาะเลี้ยง โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การเพาะเลี้ยงยีสต์หลายสายพันธุ์ร่วมกัน

ยีสต์สายพันธุ์ *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces marxianus* และ *S. cerevisiae* ถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มหมักหลายชนิด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หมักที่ได้มีกลิ่นรสและมีคุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพที่ดีและเป็นเอกลักษณ์ ยีสต์เหล่านี้มักใช้สำหรับการผลิตอาหารหมักดองและผลิตภัณฑ์ชีวภาพ *S. cerevisiae* เป็นยีสต์สายพันธุ์ที่มีการใช้มากที่สุดในส่วนผสมของการเพาะเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น และพบว่าเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดโกโก้ที่บ่มแล้ว อย่างไรก็ตามความหลากหลายของยีสต์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติระหว่างกระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ *Hanseniaspora* เช่น *Hanseniaspora opuntiae*, *H. uvarum*, *H. guilliermondii*, และ *H. thailandica* มักพบในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักโกโก้ ตามมาด้วยยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae*

และ *Pichia kudriavzevii* ซึ่งส่งผลดีต่อผลิตภัณฑ์[10] นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วสามารถพบยีสต์ *Zygosaccharomyces rouxii* และ *Candida versatilis* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีความโดดเด่นและพบมากที่สุดในการหมักซีอิ๊วธรรมชาติ ในการผลิตซีอิ๊วจะมีการใช้กล้าเชื้อบริสุทธิ์จากยีสต์สายพันธุ์ *Z. rouxii* และ *C. versatilis* ในกระบวนการหมักซอสถั่วเหลือง ซึ่งพบว่า ยีสต์ทั้งสองสายพันธุ์สามารถสร้างกลิ่นและรสชาติที่คล้ายซอสถั่วเหลืองระหว่างการหมักได้ นอกจากนี้ ยีสต์ประเภท non-Saccharomyces สายพันธุ์ *T. delbrueckii* และยีสต์ที่ใช้ในการผลิต *Z. rouxii* ก็อาจมีบทบาทคล้ายกันในการหมักซอสถั่วเหลืองอีกด้วย[11]

2) การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับแบคทีเรีย

ยีสต์เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความโดดเด่น ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ยีสต์มีบทบาทสำคัญในการผลิตน้ำผลไม้ ผลิตภัณฑ์นม และเครื่องดื่มนมหมัก เช่น เครื่องดื่มโยเกิร์ต โดยสามารถเกิดผลพลอยได้จากการเผาผลาญ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนี้ในบริบทของผลิตภัณฑ์นมหมักในปัจจุบันแบคทีเรียกรดแล็กติก (lactic acid bacteria, LAB) ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากสามารถผลิตกรดแล็กติกและยังใช้เป็นสารกันเสียทางชีวภาพได้ โดย LAB ที่มีคุณสมบัติโพรไบโอติกเป็นที่ต้องการอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารแบคทีเรียสายพันธุ์ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ซึ่งเป็นทั้งโพรไบโอติกและสามารถผลิตสารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราแบคทีเรียเหล่านี้พบว่า มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์หมัก และถูกจัดอยู่ในจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีความปลอดภัยในอาหาร (GRAS) โดยองค์การอาหารและยา และหน่วยงานตรวจสอบความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (European Food Safety Authority, EFSA) ซึ่ง LAB มีความสามารถในการผลิตสารต้านเชื้อราและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหาร อีกทั้งยังเป็นสารกันเสียตามธรรมชาติที่สามารถแทนที่สารกันเสียทางเคมีในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งยังให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ[12] ในกระบวนการหมักตามธรรมชาติสามารถพบยีสต์และ LAB ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักต่าง ๆ ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตร่วมกันได้ โดยมีสารเมตาบอไลต์ (metabolite) ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักของ LAB ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ โพรไพโอเนต และซัคซิเนต สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของยีสต์ และวิตามินหรือกรดอะมิโนที่ผลิตโดยยีสต์สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ LAB ได้[13] จากการศึกษากระบวนการหมักร่วมกันของยีสต์และแบคทีเรีย ผลิตภัณฑ์กิมจิเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักโดยใช้ผักเป็นวัตถุดิบ ที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือรวมถึงจีนและเกาหลี โดยเกิดกระบวนการหมักโดย LAB เป็นหลักในช่วงแรก หลังจากนั้นกิจกรรมของ LAB จะลดลง ในขณะที่กิจกรรมของยีสต์บนพื้นผิวของกิมจิจะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังของกระบวนการหมัก สายพันธุ์ยีสต์ที่มักพบได้ในผลิตภัณฑ์กิมจิ ได้แก่ *Lodderomyces* sp., *Trichosporon* sp., *Candida* sp., *Saccharomyces* sp., *Pichia* sp., *Sporisorium* sp., และ *Kluyveromyces* sp. เป็นต้น[14] นอกจากนี้การผลิตแป้งหมักหรือขนมปังซาวโดวจ์ (sourdough)

เกิดจากกระบวนการหมักแป้งสาลีด้วยยีสต์และ LAB กระบวนการหมักดังกล่าวส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสและคุณสมบัติเชิงสุขภาพที่ดี เช่น เพิ่มปริมาณกรดอะมิโน ปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของแป้งและรสชาติขนมปัง ยืดอายุการเก็บรักษา เพิ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เป็นต้น[15]

3) การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับสาหร่าย

สาหร่ายได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและมีคุณค่าทางโภชนาการ การบริโภคสาหร่ายอาจส่งผลให้ความดันโลหิตลดลงและเกี่ยวข้องกับการป้องกันโรคเมตาบอลิซึม สาหร่ายยังเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยพอลิ-แซ็กคาไรด์ที่เป็นประโยชน์ วิตามิน (A, B1, B2, B9, B12, C, D, E และ K) แร่ธาตุที่จำเป็น (แคลเซียม เหล็ก ไอโอดีน แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (โอเมก้า 3 และ 6) และโปรตีน[16] ในปัจจุบันมีรายงานการศึกษาการใช้ยีสต์ร่วมกับสาหร่ายเพื่อประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ดังเช่น การใช้ยีสต์ในกระบวนการหมักสาหร่าย *Spirulina* sp. พบว่า สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของยีสต์สายพันธุ์ *D. hansenii*, *Kluyveromyces marxianus* และ *Saccharomyces cerevisiae* ได้[17] นอกจากนี้ยังพบว่า แบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus subtilis* และ *Lactobacillus plantarum* ช่วยเพิ่มกลิ่นปริมาณโปรตีนในน้ำหมักที่ใช้สาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมัก และการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ *K. marxianus* ส่งผลให้สาหร่ายสไปรูลิน่ามีรสชาติที่ดีขึ้น[18]

อย่างไรก็ตามกระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันเป็นที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ เนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงสารเคมีที่ซับซ้อนสูงและให้ผลผลิตที่มีมูลค่าในปริมาณมากขึ้นดังตัวอย่างใน Table 1 พบว่า การใช้ระบบการเพาะเลี้ยงร่วม (co-culture) ส่งผลให้ได้ผลผลิตของสารสำคัญเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงด้วยจุลินทรีย์สายพันธุ์เดี่ยว (monoculture)[19]

Table 1 High-value compounds from co-culture cultivation[19]

Strains	Medium	Bioproducts	
		Monoculture	Co-culture
Chlorella sp. & *Beijerinckia*	Vinegar wastewater	Chlorophyll a (1.5 mg/L) Chlorophyll b (1 mg/L) Carotenoids (1.2 mg/L)	Chlorophyll a (2.5 mg/L) Chlorophyll b (1.5 mg/L) Carotenoids (2 mg/L)
Chlorella sorokiniana L3 & *Chryseobacterium scophthalmus*	Fermentation effluent	Total chlorophyll (40 mg/L)	Total chlorophyll (55 mg/L)
Aureobasidium pullulans & *Saccharomyces cerevisiae*	Characteristic medium	Fructooligosaccharides (100 g/L)	Fructooligosaccharides (119 g/L)

Table 1 (continued)

Strains	Medium	Bioproducts	
		Monoculture	Co-culture
Ralstonia eutropha MTCC 2487,*Pseudomonas putida* MTCC 2475, *Azotobacter vinelandii* MTCC 2459	Characteristic medium	Poly-3-hydroxybutyrate (7.5 g/L)	Poly-3-hydroxybutyrate (8.3 g/L)
Synechococcus elongatus PCC 7942 & *Halomonas boliviensis*	BG11		Poly-3-hydroxybutyrate (20 mg/L)
Saccharomyces cerevisae MK 175 & *Candida tropicalis* MK-118	Sugarcane bagasse		Endoglucanase (9.12 IU m/L) β-glucosidase (7.61 IU m/L) Xylanase (7.47 IU m/L)
Wickerhamomyces anomalus & *Saccharomyces cerevisae*	Sorghum hydrolysate		Ethyl acetate (6.41 g/L)

ระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วม (microbial co-culture systems)

กระบวนการหมัก (fermentation process) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนให้กลายเป็นสารประกอบที่ง่ายกว่าโดยอาศัยเอนไซม์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินทรีย์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรีย กระบวนการหมักนอกจากจะได้โมเลกุลแบบพลังงาน เช่น ATP แล้ว กระบวนการหมักยังสามารถผลิตเอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแล็กติก เมทานอล ไฮโดรเจน มีเทน กรดบิว-ทิริก อะซิโตน และกรดอะซิติก ได้อีกด้วย นอกจากนี้กระบวนการหมักสามารถพบได้ในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น โยเกิร์ต ชีส น้ำส้มสายชู เนย ผักดอง แหนม และเครื่องดื่มหมัก เป็นต้น ในปัจจุบันกระบวนการหมักหรือการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์สามารถทำได้หลายระบบ โดยที่การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันเข้ามามีบทบาทมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากขึ้น[20]

การเพาะเลี้ยงร่วม (co-culture) หรือที่เรียกว่า การหมักแบบผสม (mixed-fermentation) เป็นการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์สองสายพันธุ์ขึ้นไปร่วมกันเพื่อจำลองหรือเลียนแบบแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของจุลินทรีย์ที่มีการอาศัยร่วมกัน (symbiotic) หรือแข่งขันกัน (competing) ซึ่งในธรรมชาติ จุลินทรีย์มักใช้ทรัพยากรและสารอาหารได้อย่างจำกัดเช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนสารเมตา-บอไลต์ ระหว่างสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่และขนาดเล็ก รวมทั้งการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ร่วมกันยังช่วยกระตุ้นการผลิตสารเมตาบอไลต์ชนิดใหม่อีกด้วย[21] ในทาง

เทคโนโลยีชีวภาพการเพาะเลี้ยงร่วม ถูกมองว่ามีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมากขึ้น และสามารถเกิดกิจกรรมที่ซับซ้อนมากขึ้นผ่านการผสมผสานตามประสิทธิภาพและศักยภาพการเผาผลาญจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการทำความเข้าใจระบบชีววิทยาสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ การสื่อสารระหว่างสายพันธุ์ หรือต่างอาณาจักร (ยูคาริโอต-โพรคาริโอต) และค้นพบสารชีวภาพชนิดใหม่[22]

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นสามารถแบ่งได้ 3 ระบบ คือ กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันระหว่างยีสต์ต่างสายพันธุ์ กระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมกันระหว่างยีสต์และแบคทีเรีย และกระบวนการเพาะเลี้ยงร่วมระหว่างยีสต์และสาหร่าย ทั้งนี้พบว่า สามารถเพิ่มมูลค่าของสารสำคัญที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 2[23]

Table 2 High-value compounds from yeast or other microbial co-cultures under various systems

High-value compounds	Substrates	Yeast or microbial co-culture	Fermentation Process	Reference
Single cell protein	Sweet potato, banana skin, orange peel, mango waste and pineapple peel; dairy waste	*Saccharomyces* sp., *S. cerevisiae*, *Candida tropicalis*, *Lactobacillus acidophilus*	Solid state fermentation; Liquid fermentation	(24)
Bioethanol	pineapple waste, banana waste	*S. cerevisiae*	Solid state fermentation	(25)
Protease production	Rice bran, brewery waste (brewer's spent grain, hottrub and residual brewer's yeast); soybean meal; wheat bran, cotton seed meal and orange peel	*L. delbrueckii* ssp., *Bacillus licheniformis*, *Aspergillus niger*	Liquid fermentation; Solid state fermentation	(26)
Lactic acid production	Dairy waste; rice bran, wheat bran, ragi bran, rice starch water, tea waste, sugar cane bagasse, groundnut and coconut oil cakes	*Lactobacillus* sp., *R. oryzae* MTCC 8784	Fed batch fermentation	(27)
Ergosterol	Dairy waste (whey)	*Cryptococcus albidus* sp. Aerius	Liquid fermentation	(28)

Table 2 (continued)

High-value compounds	Substrates	Yeast or microbial co-culture	Fermentation Process	Reference
Xanthan	Potato peel	*Xanthomonas citri*	Solid state fermentation	(29)
Protein	Orange peel	*Chaetomium* spp. (KC-06) and *Aspergillus niger*	Solid state fermentation	(30)
Phenolic content	Guava and pineapple waste; peanut waste (peanut press cake); rice bran; plum pomaces and brandy distillery wastes; pomegranate wastes	*R. oligosporus*; *A. awamori, R. oryzae*, *A. niger* and *R. oligosporus*; *Punica granatum*	Solid state fermentation	(31)
Phenolic antioxidants	Peanut waste (peanut press cake); apricot pomace; apple pomace	*A. awamori*; *A. niger* (ATCC-6275) and *R. oligosporus* (ATCC-22959), *Phanerocheate chrysosporium*	Solid state fermentation	(32)
Neomycin	Apple pomace, cotton seed meal, soy bean powder and wheat bran	*Streptomyces fradiae* NCIM 2418	Solid state fermentation	(33)
Oxytetracycline	Groundnut shell, sweet potato residues, cassava peels, cocoyam peels	*Streptomyces rimosus*, *S. vendagensis*, *S. speibonae*	Solid state fermentation	(34)
Rifamycin	Coconut oil cake, groundnut oil cake, ground nut shell and rice husk	*Amycolatopsis* Mediterranean	Solid state fermentation	(35)
Meroparamycin	Rice, wheat bran, quaker, bread, and ground corn	*Streptomyces* sp. strain MAR01	Solid state fermentation	(36)
Bleomycin	Date syrup	*Streptomyces mobaraensis*	Fermentation	(37)
Poly (3-Hyrdroxybutyric Acid)	Orange peel	*Bacillus subtilis*	Batch fermentation	(38)

Table 2 (continued)

High-value compounds	Substrates	Yeast or microbial co-culture	Fermentation Process	Reference
Laccase	Peels of citrus fruits, soybean meal, tofu dreg, Brewer's spent grain	*Rheinheimera* sp., *Lysinibacillus* sp., *Trametes versicolor*	Submerged fermentation, Solid state fermentation	(39)
Bioherbicide	Soybean bran, bagasse and corn steep liquor	*Phoma* sp.	Solid state fermentation	(40)
Biosorbents	Apple pomace	*A. niger*	Solid state fermentation	(41)
Astaxanthin (pigment)	Wheat waste; olive pomace; bakery waste	*Yamadazyma guilliermondii, Yarrowia lipolytica*; *Xantophylomyces dendrorhous*, *Sporidiobolus salmonicolor*; *Monascus purpureus*	Solid state fermentation	(42)
Bioactive phenolic compounds	Wheat straw, rice straw, corn cob, Pea pod, sugarcane baggase	*A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. wentii, Penicillium citrinum*, *P. granulatum, P. expansum*	Solid state fermentation	(43)
Fibrinolytic enzyme	Banana peel, black gram husk, paddy straw, rice bran, and wheat bran	*Bacillus halodurans* IND18	Solid state fermentation	(44)
Pectin lyase	Corn steep liquor and orange pee	*A. brasiliensis*	Submerged fermentation	(45)
Citric acid	Apple pomace, brewer's spent grain, citrus waste, sphagnum peat moss; peanut shell	*A. niger* NRRL 2001; *A. ornatus* and *Alternaria alternata*	Solid state fermentation	(46)
Fumaric acid	Apple pomace; pulp and paper solid waste	*R. oryzae* 1526	Solid state fermentation; Sub merged fermentation	(47)
Biosurfactant	Potato peels, orange peels, banana peels, and bagasse	*B. subtilis* ANR 88	Solid state fermentation	(48)
Wine (antioxidant-rich)	Potato, pumpkin and carrot peels	*S. cerevisiae* (NCIM 3206)	Submerged fermentation	(49)

Table 2 (continued)

High-value compounds	Substrates	Yeast or microbial co-culture	Fermentation Process	Reference
Pectineasterase, polygalacturonase	Wheat bran, coffee pulp	*A. niger*	Submerged, solid state fermentation	(50)
Lycopene	Tomato waste	*A. niger* GH1	Solid state fermentation	(51)
Vanillic acid and vanillin	Pineapple canary waste	*A. niger* I-1472 and *Pycnoporus cinnabarinus* MUCL 39533	Submerged fermentation	(52)
Ferulic, p-coumaric, sinapic and syringic	Rice bran	*A. oryzae* and *R. oryzae*	Solid state fermentation	(53)
Lipase	Castor bean waste; *jatropha curcas* seed cake; sugarcane bagasse, sunflower seed and olive oil	*Penicillium simplicissimum*; *Pseudomonas aeruginosa*; *Burkholderia cenocepacia*; *Thermomucor indicaeseudaticae*	Solid state fermentation	(54)

บทสรุป

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญอย่างมาก และสามารถใช้ร่วมกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ทำให้กระบวนการหมักมีความหลากหลายและมีประสิทธิภาพในการผลิตอาหารและเครื่องดื่มที่มีคุณภาพสูงต่อกระบวนการหมักทั้งในด้านอุตสาหกรรมอาหารหรือเกษตรกรรม จึงนำมาสู่การเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก และตอบสนองต่อความต้องการทางด้านอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ ที่มีความต้องการสารทางชีวโมเลกุลในมูลค่าที่สูงขึ้นและมากยิ่งขึ้น การเพาะเลี้ยงร่วมกันของจุลินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงร่วมกันของยีสต์ต่างสายพันธุ์ แบคทีเรีย หรือสาหร่าย ล้วนแต่ต้องการเพิ่มสารผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่สูงและมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการผลิตสารจำพวกเอทานอล กรดแล็กติก เมทานอล ไฮโดรเจน มีเทน กรดบิวทิริก อะซิโตน และกรดอะซิติก ทั้งหมดล้วนเป็นผลิตผลที่ได้จากการหมักที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสายพันธุ์จุลินทรีย์ ซึ่งมีความสามารถในการช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านอุตสาหกรรมได้หลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมัก นม กาแฟ หรือซอสต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยปรับเปลี่ยนรสชาติ กลิ่น หรือสีให้ตรงต่อความต้องการและมีคุณภาพที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงร่วมกันของจุลินทรีย์นับเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคอาหารที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ได้มาจากธรรมชาตินั่นเอง

เอกสารอ้างอิง

1. Onyema VO, Amadi OC, Moneke AN, Agu RC. A brief review: *Saccharomyces cerevisiae* biodiversity potential and promising cell factories for exploitation in biotechnology and industry processes-west african natural yeasts contribution. Food Chem Adv. 2023;2:100162.
2. Kurtzman CP, Piškur J. Taxonomy and phylogenetic diversity among the yeasts. In: Sunnerhagen P, Piskur J, editors. Comparative Genomics: Using Fungi as Models. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006. p. 29-46.
3. Patterson R, Rogiewicz A, Kiarie EG, Slominski BA. Yeast derivatives as a source of bioactive components in animal nutrition: a brief review. Frontiers in Veterinary Science. 2023;9.
4. Ma J, Sun Y, Meng D, Zhou Z, Zhang Y, Yang R. Yeast proteins: the novel and sustainable alternative protein in food applications. Trends Food Sci Technol. 2023;135:190-201.
5. Healy LE, Zhu X, Kakagianni M, Poojary MM, Sullivan C, Tiwari U, et al. Fermentation of brown seaweeds *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* for new product development using *Lactiplantbacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae* and kombucha SCOBY. Algal Res. 2023;76:103322.
6. Liu Y, Lu Y, Liu SQ. The potential of spent coffee grounds hydrolysates fermented with *Torulaspora delbrueckii* and *Pichia kluyveri* for developing an alcoholic beverage: the yeasts growth and chemical compounds modulation by yeast extracts. Curr Res Food Sci. 2021;4:489-98.
7. Fröhlich‐Wyder MT, Arias‐Roth E, Jakob E. Cheese yeasts. Yeast. 2019;36(3):129-41.
8. Riesute R, Salomskiene J, Moreno DS, Gustiene S. Effect of yeasts on food quality and safety and possibilities of their inhibition. Trends Food Sci Technol. 2021;108:1-10.
9. Ram RM, Debnath A, Negi S, Singh HB. Chapter 22 - Use of microbial consortia for broad spectrum protection of plant pathogens: regulatory hurdles, present status and future prospects. In: Rakshit A, Meena VS, Abhilash PC, Sarma BK, Singh HB, Fraceto L, et al., editors. Biopesticides: Woodhead Publishing; 2022. p. 319-35.
10. Díaz-Muñoz C, Van de Voorde D, Tuenter E, Lemarcq V, Van de Walle D, Soares Maio JP, et al. An in-depth multiphasic analysis of the chocolate production chain, from bean to bar, demonstrates the superiority of *Saccharomyces cerevisiae* over *Hanseniaspora opuntiae* as functional starter culture during cocoa fermentation. Food Microbiol. 2023;109:104115.
11. Zhou RY, Chua J-Y, Liu S-Q. Exploring the feasibility of biotransforming salted soy whey into a soy sauce-like condiment using wine yeast *Torulaspora delbrueckii* and soy sauce yeasts *Zygosaccharomyces rouxii* and *Candida versatilis* as single starter cultures. Food Res Int. 2022;156:111350.
12. Alizadeh Behbahani B, Jooyandeh H, Vasiee A, Zeraatpisheh F. Evaluation of anti-yeast metabolites produced by Lactobacillus strains and their potential application as bio-preservatives in traditional yogurt drink. LWT. 2023;188:115428.
13. Chen C, Xiong Y, Xie Y, Zhang H, Jiang K, Pang X-N, et al. Metabolic characteristics of lactic acid bacteria and interaction with yeast isolated from light-flavor *Baijiu* fermentation. Food Biosci. 2022;50:102102.
14. Delali KI, Chen O, Wang W, Yi L, Deng L, Zeng K. Evaluation of yeast isolates from kimchi with antagonistic activity against green mold in citrus and elucidating the action mechanisms of three yeast: *P. kudriavzevii*, *K. marxianus*, and *Y. lipolytica*. Postharvest Biol Technol. 2021;176:111495.
15. Fang L, Wang W, Dou Z, Chen J, Meng Y, Cai L, et al. Effects of mixed fermentation of different lactic acid bacteria and yeast on phytic acid degradation and flavor compounds in sourdough. LWT. 2023;174:114438.
16. Urlass S, Wu Y, Nguyen TTL, Winberg P, Turner MS, Smyth H. Unravelling the aroma and flavour of algae for future food applications. Trends Food Sci Technol. 2023;138:370-81.
17. Sahin B, Hosoglu MI, Guneser O, Karagul-Yuceer Y. Fermented *Spirulina* products with *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts: special reference to their microbial, physico-chemical and sensory characterizations. Food Biosci. 2022;47:101691.
18. Bao J, Zhang X, Zheng JH, Ren DF, Lu J. Mixed fermentation of *Spirulina platensis* with *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* by random-centroid optimization. Food Chem. 2018;264:64-72.

19. Rosero-Chasoy G, Rodríguez-Jasso RM, Aguilar CN, Buitrón G, Chairez I, Ruiz HA. Microbial co-culturing strategies for the production high value compounds, a reliable framework towards sustainable biorefinery implementation – an overview. Bioresource Technology. 2021;321:124458.
20. El Youssef C, Bonnarme P, Fraud S, Péron A-C, Helinck S, Landaud S. Sensory improvement of a pea protein-based product using microbial co-cultures of lactic acid bacteria and yeasts. Foods. 2020;9(3):349.
21. Caudal F, Tapissier-Bontemps N, Edrada-Ebel RA. Impact of co-culture on the metabolism of marine microorganisms. Marine Drugs. 2022;20(2):153.
22. Bertsch A, Roy D, LaPointe G. Enhanced exopolysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* in co-Culture with *Saccharomyces cerevisiae*. Appl Sci. 2019;9(19):4026.
23. Sadh PK, Kumar S, Chawla P, Duhan JS. Fermentation: a boon for production of bioactive compounds by processing of food industries wastes (by-products). Molecules. 2018;23(10):2560.
24. Yang SS, Jang HD, Liew CM, du Preez JC. Protein enrichment of sweet potato residue by solid-state cultivation with mono- and co-cultures of amylolytic fungi. World J Microbiol Biotechnol. 1993;9(2):258-64.
25. Hossain A, Fazliny AR. Creation of alternative energy by bio-ethanol production from pineapple waste and the usage of its properties for engine. Afr J Microbiol Res. 2010;4(9):813-9.
26. Chutmanop J, Chuichulcherm S, Chisti Y, Srinophakun P. Protease production by Aspergillus oryzae in solid-state fermentation using agroindustrial substrates. J Chem Technol Biot. 2008;83(7):1012-8.
27. Hitha C, Hima C, Yogesh B, Bharathi S, Sekar K. Microbial utilization of dairy waste for lactic acid production by immobilized bacterial isolates on sodium alginate beads. Int J Pure Appl Biosci. 2014;2(4):55-60.
28. Németh Á, Kaleta Z. Complex utilization of dairy waste (whey) in biorefinery. WSEAS Trans Environ Dev. 2015;11:80-8.
29. Vidhyalakshmi R, Vallinachiyar C, Radhika R. Production of xanthan from agro-industrial waste. J Adv Sci Res. 2012;3(02):56-9.
30. Yalemtesfa B, Alemu T, Santhanam A. Solid substrate fermentation and conversion of orange waste in to fungal biomass using *Aspergillus niger* KA-06 and *Chaetomium* Spp KC-06. Afr J Microbiol Res. 2010;4(12):1275-81.
31. Sadh PK, Chawla P, Duhan JS. Fermentation approach on phenolic, antioxidants and functional properties of peanut press cake. Food Biosci. 2018;22:113-20.
32. Ajila CM, Brar SK, Verma M, Tyagi RD, Valéro JR. Solid-state fermentation of apple pomace using *Phanerocheate chrysosporium* – Liberation and extraction of phenolic antioxidants. Food Chem. 2011;126(3):1071-80.
33. Vastrad B, Neelagund S. Optimization and production of neomycin from different agro industrial wastes in solid state fermentation. Int J Pharm Sci Drug Res. 2011;3(2):104-11.
34. Yang SS, Yuan SS. Oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in solid state fermentation of sweet potato residue. World J Microbiol Biotechnol. 1990;6(3):236-44.
35. Vastrad B, Neelagund S. Optimization of process parameters for rifamycin b production under solid state fermentation from Amycolatopsis mediterranean MTCC14. Int J Curr Pharm Res. 2012;4(2):101-8.
36. El-Naggar MY, El-Assar SA, Abdul-Gawad SM. Solid-state fermentation for the production of meroparamycin by *Streptomyces* sp. strain MAR01. J Microbiol Biotechnol. 2009;19(5):468-73.
37. Radwan HH, Alanazi FK, Taha EI, Dardir HA, Moussa IM, Alsarra IA. Development of a new medium containing date syrup for production of bleomycin by *Streptomyces mobaraensis* ATCC 15003 using response surface methodology. Afr J Biot. 2010;9(33).
38. Sukan A, Roy I, Keshavarz T. Agro-industrial waste materials as substrates for the production of poly(3-Hydroxybutyric Acid). J Biomater Nanobiotechnol. 2014;5:229-40.
39. Sharma A, Gupta V, Khan M, Balda S, Gupta N, Capalash N, et al. Flavonoid-rich agro-industrial residues for enhanced bacterial laccase production by submerged and solid-state fermentation. 3 Biotech. 2017;7(3):200.
40. Klaic R, Sallet D, Foletto E, Jacques R, Guedes J, Kuhn R, et al. Optimization of solid-state fermentation for bioherbicide production by *Phoma* sp. Braz J Chem Eng. 2017;34:377-84.

41. Dhillon GS, Lea Rosine GM, Kaur S, Hegde K, Brar SK, Drogui P, et al. Novel biomaterials from citric acid fermentation as biosorbents for removal of metals from waste chromated copper arsenate wood leachates. Int Biodeter Biodegr. 2017;119:147-54.
42. Dursun D, Dalgıç AC. Optimization of astaxanthin pigment bioprocessing by four different yeast species using wheat wastes. Biocatal Agric Biotechnol. 2016;7:1-6.
43. Chandra P, Arora DS. Production of antioxidant bioactive phenolic compounds by solid-state fermentation on agro-residues using various fungi isolated from soil. Asian J Biotechnol. 2016;8:8-15.
44. Vijayaraghavan P, Prakash Vincent SG, Valan Arasu M, Al-Dhabi NA. Bioconversion of agro-industrial wastes for the production of fibrinolytic enzyme from *Bacillus halodurans* IND18: purification and biochemical characterization. Electron J Biotechnol. 2016;20:1-8.
45. Pili J, Danielli A, Nyari NL, Zeni J, Cansian RL, Backes GT, et al. Biotechnological potential of agro-industrial waste in the synthesis of pectin lyase from *Aspergillus brasiliensis*. Food Sci Technol Int. 2018;24(2):97-109.
46. Ali SS, Vidhale N. Protease production by Fusarium oxysporum in solid-state fermentation using rice bran. Am J Microbiol Res. 2013;1(3):45-7.
47. Das RK, Brar SK, Verma M. A fermentative approach towards optimizing directed biosynthesis of fumaric acid by *Rhizopus oryzae* 1526 utilizing apple industry waste biomass. Fungal Biol. 2015;119(12):1279-90.
48. Rane AN, Baikar VV, Ravi Kumar V, Deopurkar RL. Agro-industrial wastes for production of biosurfactant by *Bacillus subtilis* ANR 88 and its application in synthesis of silver and gold nanoparticles. Front Microbiol. 2017;8.
49. Chakraborty K, Raychaudhuri U, Chakraborty R. Optimization of bioprocess parameters for wine from household vegetable waste production by employing response surface methodology. Int Food Res J. 2017;24(1).
50. Maldonado MC, Strasser de Saad AM. Production of pectinesterase and polygalacturonase by *Aspergillus niger* in submerged and solid state systems. J Ind Microbiol Biotechnol. 1998;20(1):34-8.
51. Mendez-Carmona JY, Ramírez-Guzman KN, Ascacio-Valdes JA, Sepulveda L, Aguilar CN. Solid-state fermentation for recovery of carotenoids from tomato waste. Innov Food Sci Emerg Technol. 2022;80:103108.
52. Ong KL, W T, L L. Pineapple cannery waste as a potential substrate for microbial biotransformation to produce vanillic acid and vanillin. Int Food Res J. 2014;21:953-8.
53. Colombo R, Moretto G, Barberis M, Frosi I, Papetti A. Rice byproduct compounds: from green extraction to antioxidant properties. Antioxidants (Basel). 2023;13(1).
54. Godoy MG, Gutarra ML, Castro AM, Machado OL, Freire DM. Adding value to a toxic residue from the biodiesel industry: production of two distinct pool of lipases from *Penicillium simplicissimum* in castor bean waste. J Ind Microbiol Biotechnol. 2011;38(8):945-53.

เห็ดหัวลิง : การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และฤทธิ์เชิงชีวภาพ

ทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrtdk@ku.ac.th
รับเมื่อ 15 กรกฎาคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 8 ตุลาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 11 ตุลาคม 2567

จุดเด่น

- เห็ดหัวลิงรับประทานได้มีสรรพคุณทางการแพทย์
- พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารสำคัญที่พบมากในเห็ดหัวลิงมีฤทธิ์เชิงชีวภาพที่ดีต่อสุขภาพ
- วิธีการสกัดส่งผลต่อปริมาณและฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้จากสารสกัดแตกต่างกัน

บทคัดย่อ

เห็ดหัวลิงเป็นเห็ดที่สามารถรับประทานได้และมีสรรพคุณทางการแพทย์ ซึ่งมีประวัติการบริโภคมาอย่างยาวนานทั้งในประเทศจีนและประเทศอื่น ๆ สารประกอบที่สำคัญที่สุดในเห็ดหัวลิงคือ พอลิแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีฤทธิ์เชิงชีวภาพ เช่น เพิ่มภูมิคุ้มกัน ต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยปกป้องระบบทางเดินอาหารและลำไส้ ช่วยป้องกันระบบประสาท ป้องกันโรคตับ ช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด กระบวนการสกัดสารเมตาบอไลต์จากเห็ดส่งผลโดยตรงต่อผลผลิต ปริมาณและฤทธิ์ของสารสำคัญ กระบวนการสกัดที่ดีควรมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง คงคุณภาพของสารและฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณมาก แต่การใช้เทคโนโลยีขั้นสูงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงเกินไป การเลือกกระบวนการสกัดจึงมีความสำคัญเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ บทความนี้รวบรวมกระบวนการสกัด ได้แก่ สกัดด้วยตัวทำละลาย สกัดด้วยเอนไซม์ สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แบบวิกฤตยิ่งยวด และสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัด ชนิดและฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความบริสุทธิ์ที่ได้จากสารสกัดเห็ดหัวลิง

คำสำคัญ : เห็ดหัวลิง ฤทธิ์ทางชีวภาพ พอลิแซ็กคาไรด์ เบต้ากลูแคน การสกัด

Lion's Mane mushroom (*Hericium erinaceus*) : extraction, purification and biological activity

Thipthida Kaewtathip

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrtdk@ku.ac.th
Received 15 July 2024; **Revised** 8 October 2024; **Accepted** 11 October 2024

Highlights

- *Hericium erinaceus* is edible and has medicinal properties
- Polysaccharides are important compounds found in *Hericium erinaceus* that have beneficial bioactive properties for health
- The extraction method affects the quantity and bioactivity of the compounds obtained from the extract

Abstract

Hericium erinaceus, an edible mushroom with medicinal value, has a long history of use in China and other oriental countries. Polysaccharides are considered to be one of the major bioactive compounds in *H. erinaceus*, which possesses immunomodulating, anti-cancer, antioxidant, gastroprotection and intestinal health promotion, neuroprotective, hepatoprotective, antihyperglycemic and hypolipidemic activities. The extraction process directly impacts the yield, quantity, and bioactivity of mushroom metabolites. Effective methods should maximize efficiency and maintain compound quality, though advanced technology can increase costs. Therefore, selecting an appropriate extraction process is crucial to align with the intended application. This article reviews various extraction methods, including solvent extraction, enzymatic extraction, supercritical carbon dioxide extraction, and ultrasonic extraction. The aim is to compare the extraction efficiency, types, and bioactivity of active compounds, as well as the purity of the extracts obtained from Lion's Mane mushroom *(Hericium erinaceus)*.

Keywords : Lion's Mane mushroom, biological activities, polysaccharides, beta-glucan, extraction

บทนำ

อาณาจักรเห็ดรา (Kingdom of Fungi) คือ สิ่งมีชีวิตชนิดยูคาริโอตที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ สร้างอาหารเองไม่ได้ มีทั้งที่เป็นเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ได้แก่ ยีสต์ รา รวมทั้งเห็ด ซึ่งเป็นแหล่งของการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเทคโนโลยีชีวภาพได้ เช่น เห็ดมีหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางอาหารและยา จากการสำรวจพบว่า มีเห็ดมากกว่า 2,000 ชนิด ที่สามารถนำมารับประทานได้ แต่จะมีเพียง 200 ชนิด เท่านั้นที่นำมารับประทานเป็นอาหารหรือสกัดเป็นยารักษาโรค[1] เห็ดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น สารทุติยภูมิ (secondary metabolite) หรือสารที่เกิดจากขบวนการชีวสังเคราะห์ และพอลิแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติป้องกันและรักษาโรค เช่น ลดการเกิดเนื้องอก สารสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย สารป้องกันแบคทีเรีย และสารป้องกันไวรัส[12] เป็นต้น

เห็ดหัวลิง (เห็ดปุยฝ้าย) (Figure 1) หรือรู้จักกันในชื่อ Lion's Mane mushroom หรือ Hedgehog mushroom มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Hericium erinaceus* อยู่ในตระกูล (family) *Hydnaceae* และสกุล (genus) *Hericium* หรือรู้จักในชื่อ Yamabushitake, Monkey's mushroom, Bear's Head, Hog's Head fungus, White Beard, Old Man's Beard, Pom Pom, Bearded Tooth, Houtou เห็ดหัวลิงเป็นเห็ดที่สามารถบริโภคได้และมีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียตะวันออก เช่น จีน เกาหลี และญี่ปุ่น และมีการแพร่กระจายทั่วประเทศในยุโรปและรัฐทางตอนใต้ของอเมริกาเป็นส่วนใหญ่ เห็ดหัวลิงจัดเป็นผู้ย่อยสลายหรือปรสิตอย่างอ่อน (saprotroph) ส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นบนซากไม้ที่ตายแล้ว และบางครั้งอาจเกิดบนตาไม้หรือรอยแยกของต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ ดอกเห็ดที่เจริญเต็มที่แล้วมีลักษณะเป็นเนื้อเห็ดครึ่งทรงกลม มีสีขาว ซึ่งจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองถึงน้ำตาลตามอายุที่มากขึ้น เห็ดหัวลิงไม่มีลักษณะเป็นร่มหรือหมวกคลุม และไม่มีลำต้นของเห็ด จากรายงานโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ดหัวลิงในส่วนดอกเห็ดและเส้นใยไมซีเลียม พบว่า ส่วนใหญ่พอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่าหนึ่งชนิด มีแกนหลักคือพันธะ (1⟶6)-linked α-D-galactopyranose[1] นอกจากนี้ยังมีเบต้ากลูแคน อัลฟ่ากลูแคน กลูแคนโปรตีน ฯลฯ

Figure 1 Lion's Mane mushroom (*Hericium erinaceus*)

สารอาหารและองค์ประกอบของเห็ดหัวลิง

สารอาหารในเห็ดหัวลิงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และทำการบดเป็นผงพบว่า มีค่าสารอาหารดัง Table 1

Table 1 Nutrients of *Hericium erinaceus*[3]

Nutrients	Quantity		Unit
	Parts of a flower	Parts of mycelium	
Free amino acids	14.3	30.6	Milligrams per gram of dry weight
Protein	20.8	42.5	Percent
Carbohydrates	61.1	42.9	Percent
Fat	5.1	6.3	Percent
Ash	6.8	4.4	Percent
Humidity	6.2	3.9	Percent
Energy value	374	398	Kilocalories per 100 grams

ในส่วนของดอกเห็ดหัวลิงมีน้ำตาลซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และโอลิโกแซ็กคาไรด์ ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีน้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น อะราบิโนส แมนนิทอล และทรีฮาโลส เห็ดหัวลิงมีโปรตีนปริมาณสูงซึ่งอยู่ในรูปของกรดอะมิโนทั้งหมด 16 ชนิด ซึ่งรวมถึงกรดอะมิโนจำเป็น 7 ชนิด กรดอะมิโนที่มีในปริมาณสูง ได้แก่ กรดกลูตามิก กรดแอสพาติก และกรดอาร์จีนีน และยังมีอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่อยู่ในส่วนของดอกและเส้นใยไมซีเลียมตามลำดับ ได้แก่ สารกาบา (GABA) ในปริมาณ 42.9 และ 56 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง สารเออโกไธโอนีอีน 630 และ 149.2 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ส่วนสารโลวาสแตตินจะพบแค่ในส่วนดอกเห็ด คือ 14.4 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง แต่ในส่วนเส้นใยไมซีเลียมไม่พบสารชนิดนี้ นอกจากนี้ในเห็ดหัวลิงยังมีไขมันและกรดไขมัน เช่น กรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิกในปริมาณสูงซึ่งกรดลิโนเลอิกช่วยยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็งช่องอก ต่อมลูกหมาก และลำไส้ใหญ่ได้ รวมทั้งสามารถลดการเกิดเนื้องอกที่ถูกเร่งโดยเมตาบอไลต์ของเอนไซม์ 5-lipoxygenase และ 5-lipoxygenase-activating protein (FLAP) และกรด hydroxyl-eicosatetraenoic (5-HETE) ได้อย่างชัดเจน อีกทั้งกรดลิโนเลอิกยังเป็นสารตั้งต้นของ 1-octen-3-ol (กลุ่มของแอลกอฮอล์) เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในเห็ดหัวลิง ในส่วนองค์ประกอบของไขมันพบวิตามินอีซึ่งมีผลโดยตรงต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งในส่วนของดอกและเส้นใยไมซีเลียมมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส โมลิบดีนัม เซลิเนียม โซเดียม ซัลเฟอร์ และสังกะสี แต่อย่างไรก็ตามพบแร่ธาตุเป็นพิษแต่พบปริมาณน้อยมาก ได้แก่ อะลูมินัม อาร์เซนิค แบเรียม แคดเมียม นิเกล เงิน สตรอนเทียม ตะกั่ว ไทเทเนียม และวาเนเดียม[2] สำหรับกลิ่นเฉพาะของเห็ดหัวลิงเกิดจากโครงสร้างกลิ่นทางเคมีเป็นสารประกอบเชิงซ้อนส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติในขณะบริโภค

เห็ดหัวลิง สารให้กลิ่นประกอบด้วย 5´-nucleotides, hexadecanoic acid, linoleic acid, phenylacetaldehyde, 2-methyl-3-furanthiol, 2-ethylpyrazine และ 2,6-diethylpyrazine[4]

การสกัด

การสกัดสารสำคัญโดยทั่วไป มีเป้าหมายคือการผลิตสารสำคัญให้ได้ในปริมาณสูงและมีต้นทุนในการสกัดน้อยที่สุด โดยการสกัดนิยมใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และอะซิโตน อย่างไรก็ตามสารพวกนี้อาจตกค้างและเป็นอันตรายต่อร่างกายผู้บริโภคได้รวมถึงไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม[5] ในส่วนของการสกัดสารสำคัญจากเห็ดหัวลิงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำร้อน การใช้สารละลายด่าง ย่อยโดยเอนไซม์ การใช้อัลตร้าโซนิค และไมโครเวฟ โดยอัตราการสกัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการควบคุมระยะเวลา อุณหภูมิ ปริมาณเอนไซม์และอัตราส่วนตัวทำละลายในการสกัด[2] การสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณและชนิดของพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในเห็ดหัวลิงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ส่วนต่าง ๆ ของเห็ดหัวลิง (ดอก เส้นใยไมซีเลียม และในอาหารเพาะเลี้ยง) ระยะเวลาในการเจริญเติบโต สายพันธุ์ และแหล่งปลูก เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะในการสกัด เช่น วิธีการ ชนิดตัวทำละลาย ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ความเข้มข้น และอัตราส่วนของตัวทำละลายล้วนส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้สารสำคัญและฤทธิ์เชิงชีวภาพที่แตกต่างกัน[6-7]

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากส่วนต่าง ๆ ของเห็ดหัวลิง ได้แก่ ดอกเห็ด เส้นใยไมซีเลียม และในอาหารเพาะเลี้ยง ให้ฤทธิ์เชิงชีวภาพที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะใช้วิธีการสกัดวิธีเดียวกัน ซึ่งมีผลมาจากการที่ได้พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล ชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในโครงสร้าง และชนิดของพันธะไกลโคไซด์แตกต่างกัน วิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะส่งผลให้โครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์แตกต่างกัน ในปัจจุบันการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากส่วนของดอกเห็ดหัวลิงส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำและด่าง แต่ใช้ระยะเวลานานและอุณหภูมิสูง อีกทั้งยังต้องมีการใช้ปริมาณน้ำในการสกัดเห็ดหัวลิงในอัตราส่วนที่สูงมาก เพื่อจะทำให้ได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์มากขึ้น ส่งผลทำให้ต้นทุนการสกัดสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรหาสภาวะในการสกัดที่เหมาะสม[6]

1. การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

โดยปกติแล้วการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ในเห็ดนิยมใช้ระบบน้ำเดือดเนื่องจากให้ผลผลิตสูง จัดการระบบง่าย สารสกัดมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่มีข้อเสียคือ ใช้พลังงานสูงและระยะเวลานาน จึงมีการวิจัยเพื่อหาตัวทำละลายชนิดอื่นเพื่อลดข้อด้อยของการสกัดด้วยน้ำร้อนโดยพบว่า ตัวทำละลายด่าง (อัลคาไลน์) สามารถสกัดสารในกลุ่มกลูแคนที่อยู่ในพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ดหัวลิงได้ โดยจะสกัดสารทั้งแอลฟ่ากลูแคนและเบต้ากลูแคนออกมาในปริมาณสูง แต่อย่างไรก็ตามภายหลังการสกัดด้วยน้ำสารพอลิแซ็กคาไรด์อีกหลายชนิดโดยเฉพาะเบต้ากลูแคนยังคงเหลืออยู่กับกากที่ไม่ละลายน้ำในชั้นผนังเซลล์ของส่วนดอกเห็ด การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้สกัดออกมาให้ได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วการใช้เอนไซม์และคลื่นไมโครเวฟในระหว่างการสกัดด้วยน้ำร้อนสามารถสกัดเบต้า-

กลูแคนที่ยังคงหลงเหลือในชั้นผนังเซลล์ออกมาได้มากยิ่งขึ้น และมีงานวิจัยพบว่า การเติมกรดซิตริกในระหว่างการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จะช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและลดน้ำตาลในเลือดได้มากขึ้น[6]

Yan และคณะ (2018)[8] รายงานว่า การเปรียบเทียบการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ในเห็ดหัวลิงด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ น้ำเดือด เกลือ กรดซิตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Table 2) โดยการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตโปรตีนเบต้า-1, 3-กลูแคน น้ำตาลดี-อะราบิโนส น้ำตาลดี-กลูโคส และน้ำตาลดี-กาแล็กโตสสูงที่สุด ส่วนการสกัดด้วยน้ำเดือดให้ปริมาณพอลิฟีนอลและน้ำตาลแอล-แรมโนสสูงที่สุด การสกัดด้วยเกลือให้ปริมาณกรดยูโรนิคสูงที่สุด และการสกัดด้วยกรดซิตริกให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด โดยปกติการละลายได้ของสารให้กลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์จะเกี่ยวข้องกับการที่ผนังเซลล์ถูกทำลายของพันธะไฮโดรเจนระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส การสกัดด้วยตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาได้สูงสุด ในขณะที่กรดซิตริกสามารถสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาได้ผลผลิตออกมาน้อยที่สุดสาเหตุเกิดจากสารพอลิแซ็กคาไรด์บางส่วนถูกย่อยสลายไปด้วยกรด อีกทั้งในกระบวนการสกัดด้วยกรดซิตริก มีการสกัดที่ใช้ร่วมกับอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกิดการย่อยสลายของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโมเลกุลสายโซ่ยาวกลายเป็นโมเลกุลสายโซ่ที่สั้นลง ส่งผลให้น้ำตาลอิสระที่ได้มาไม่สามารถตกตะกอนด้วยเอทานอลและทำให้บริสุทธิ์ได้ จึงเป็นสาเหตุให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้น้อยลง นอกจากนี้การสกัดด้วยน้ำเดือดได้ผลผลิตน้อยที่สุดเนื่องจากน้ำเดือดสกัดได้เฉพาะสารพอลิแซ็กคาไรด์โมเลกุลสายโซ่ยาวเท่านั้นไม่มีโมเลกุลสายโซ่สั้นละลายออกมาทำให้ได้ผลผลิตน้อยที่สุด การสกัดที่ให้ปริมาณน้ำตาลออกมาสูงเกิดจากตัวทำละลายไปทำลายพันธะไกลโคซิดิกจึงเกิดเป็นน้ำตาลละลายออกมา[8] การสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเนื่องจากตัวทำละลายด่างไปทำลายพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดการปลดปล่อยโปรตีนออกจากโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างสารพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีน ส่วนกรดยูโรนิคได้ในปริมาณใกล้เคียงกันจากตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด แสดงให้เห็นว่า พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดออกมามีคุณสมบัติเป็นกรด ในส่วนของพอลิฟีนอลที่สกัดได้จากตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด พบว่า มีปริมาณค่อนข้างน้อย ส่วนตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สกัดได้ปริมาณเบต้า-1, 3-กลูแคนสูงที่สุดเนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ผนังเซลล์ของเห็ด ตัวทำละลายแอลคาไลน์ทำลายพันธะไฮโดรเจนที่ผนังเซลล์ของเห็ดทำให้มีการปลดปล่อยเบต้า-1, 3-กลูแคนออกมา นอกจากนี้ Table 3 แสดงการใช้ชนิดตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลให้ได้ฤทธิ์ที่เป็นสรรพคุณทางยาแตกต่างกัน

Table 2 The comparison of extracting polysaccharides from *Hericium erinaceus* using four different solvents[8]

Polysaccharides	Extracted with boiling water	Extracted with salt	Extracted with citric acid	Extracted with sodium hydroxide
Yield (percentage)	8.10±0.23	9.66±0.81	8.84±0.14	11.76±0.31
Carbohydrates (percentage by mass)	72.30±1.70	73.97±2.30	81.51±2.56	79.17±2.76
Protein (percentage by mass)	2.81±0.18	1.90±0.04	1.97±0.32	8.31±0.13
Uronic acid (percentage by mass)	13.98±1.51	16.96±2.83	14.99±1.04	12.14±1.47
Polyphenols (percentage by mass)	0.77±0.02	0.62±0.02	0.64±0.03	0.54±0.02
Beta-1,3-glucan (milligrams per gram of sample)	0.23±0.05	0.38±0.05	1.26±0.08	23.21±0.75
L-rhamnose (percentage by mass)	9.9	1.7	9.0	3.3
D-arabinose (percentage by mass)	1.6	1.0	2.0	2.4
D-mannose (percentage by mass)	1.0	1.0	1.0	1.0
D-glucose (percentage by mass)	35.5	30.7	40.7	66.5
D-galactose (percentage by mass)	6.1	4.6	7.5	9.5

Table 3 The properties of *Hericium erinaceus* extracts obtained using different solvents[7,9-10]

Extract	Properties	Testing method	Application
Ethanol	- Antioxidant activity	- DPPH	Extend shelf life or reduce the occurrence of oxidation reactions in corn oil emulsions, lard emulsions, and linoleic acid emulsions
Methanol	- Antioxidant activity - Hypoglycemic activity	- DPPH - ABTS - Nitrite assay	The compounds hericerin and hericenones extracted with methanol help reduce neurodegeneration and inhibit blood clot formation

Table 3 (continued)

Extract	Properties	Testing method	Application
Boiling water	- Antioxidant activity	- DPPH - B-carotene bleaching - Inhibition of lipid peroxidation - Reducing power - in vitro angiotensin converting enzyme inhibitor protected from ulcer in rats by preventing the depletion of antioxidant enzymes	
Boiling water and ethanol	- Reduce the formation of tumors in the intestines of mice	- DPPH - Superoxide anion radical	
Ethanol and distilled water	- Antioxidant activity	- High levels of phenolics - DPPH (high activities) - Reducing power (high activities)	Used in the food industry and pharmaceutical industry
Polar solvent	- Antioxidant activity - Antimicrobial activity		
Anhydrous ether	- Antioxidant activity	- DPPH (low activities) - Superoxide anion radical (low activities) - Reducing power (middle-level activitt)	Used in the food industry and pharmaceutical industry
Xylene	- Antioxidant activity	- Reducing power (high activities) - Superoxide anion radical scavenging activity (high activities)	

2. การสกัดโดยใช้เอนไซม์ (enzyme-assisted extraction)

ในปัจจุบันมีการใช้เอนไซม์ช่วยในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ในเห็ดมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีคือปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการสกัดได้ ในส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์ในเห็ดจะพบได้ในบริเวณผนังเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของเส้นใยแข็ง ซึ่งประกอบด้วยไคตินหรือเซลลูโลส และกลุ่มของเบต้ากลูแคน แอลฟากลูแคน และไกลโคโปรตีน ที่มีการรวมตัวกันภายในโครงสร้าง โดยเอนไซม์ที่นำมาใช้ในการสกัดจะทำลายผนังเซลล์ของเห็ดจึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพออกมาได้ จึงสามารถนำเอนไซม์มาประยุกต์ในการสกัดเห็ดเพื่อลดข้อด้อยของวิธีการสกัดอื่น ๆ ได้

การใช้เอนไซม์ร่วมกับรังสีจากเครื่องไมโครเวฟจะช่วยปรับปรุงกระบวนการสกัดให้มีประสิทธิภาพดีมากขึ้นโดยมีรายงานพบว่า การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสกัดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที จะได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับการใช้น้ำร้อนสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ดังนั้นการใช้รังสีจากเครื่องไมโครเวฟจึงช่วยประหยัดเวลาและพลังงานได้มาก และหากมีการใช้เอนไซม์ในการสกัดร่วมด้วยก็จะช่วยเพิ่มปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ได้ถึงร้อยละ 67.72 นอกจากนี้การสกัดโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเบต้ากลูแคน[6]

Wang และคณะ (2019)[6] รายงานว่า การใช้เอนไซม์ผสมกันหลายชนิดจะช่วยสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้อัตราส่วนเอนไซม์ เซลลูโลส:เพกติเนส:ปาเปน เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 79 นาที ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH 5.7 ช่วงอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 33.4 มิลลิลิตรต่อกรัม

Zhu และคณะ (2014)[11] รายงานว่า มีการใช้เอนไซม์ผสมรวมกัน 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส เพกติเนส และทริปซิน ในอัตราส่วน 2:2:1 ในการสกัดเห็ดหัวลิงพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่า pH เท่ากับ 5.71 อุณหภูมิ 52.03 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัดที่ 33.79 นาที โดยจะทำให้ได้ผลผลิตของพอลิแซ็กคาไรด์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 13.46 ± 0.37 ซึ่งผลผลิตที่ได้สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อนถึงร้อยละ 67.72 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิค circular dichroism (CD) เทคนิค atomic force microscopy (AFM) และเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) พบว่า ประกอบไปด้วยน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ดังนี้ แมนโนส กลูโคส ไซโลส และกาแล็กโตส ในอัตราส่วน 15.16:5.55:4.21:1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้เอนไซม์ในการสกัดเห็ดหัวลิงจะช่วยให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้น[11]

3. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แบบวิกฤตยิ่งยวด (SCFE-CO_2)

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันจากธรรมชาติและโอลีโอเรซินหรือสารสกัดจากเครื่องเทศ ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดของก๊าซ-

คาร์บอนไดออกไซด์คือ อุณหภูมิ 31.1 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 72.8 บาร์ ซึ่งสภาวะนี้สามารถคงคุณค่าและเก็บรักษาสารสำคัญที่ไวต่อความร้อนและทำให้สารสกัดมีคุณภาพสูง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อย ไม่มีพิษ ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไม่ติดไฟ และสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้[5] การสกัดด้วย SCFE-CO_2 ถือเป็นเทคโนโลยีสีเขียวที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม มีผลการทดลองนำเห็ดหัวลิงไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้มีปริมาณความชื้นเหลือร้อยละ 8.08 จากนั้นนำไปสกัดด้วย SCFE-CO_2 ที่ระดับความดัน 20 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สภาวะการสกัดนี้สามารถนำไปใช้ในการสกัดเห็ดชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้ตัวทำละลายแบบมีขั้ว เช่น เอทานอล เพิ่มลงไปในระหว่างการสกัดที่ 30 นาทีแรก จะทำให้ได้สารให้กลุ่มฟีนอลิกออกมาภายใต้ที่ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน และหากมีการใช้เอทานอลร่วมในการสกัดจะช่วยเพิ่มปริมาณสารที่สกัดได้อีก 4 เท่า แต่ระดับการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ค่า TEAC) จะลดลง การสกัดด้วย SCFE-CO_2 จะให้ผลผลิตในปริมาณสูงและมีฤทธิ์ในการจับอนุมูลอิสระ[9]

4. การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

การสกัดเห็ดหัวลิงโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคในการสกัดร่วมกับตัวทำละลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาการสกัดและยังช่วยให้ผลผลิตออกมาได้มากขึ้นพบว่า การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคในการช่วยสกัดเห็ดหัวลิงให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay จะพบสารที่เกี่ยวข้องในกลุ่มไดเทอร์ปีนอยด์ คือ erinacine ชนิด A รวมทั้งพบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้น ส่วนการมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี reducing power จะพบสารที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มรีดักโตนซึ่งจะไปทำลายสายโซ่ของอนุมูลอิสระโดยวิธีการให้ไฮโดรเจนอะตอม จึงส่งผลให้เพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบสาร erinacine ชนิด A ในปริมาณค่อนข้างสูง คือ 4 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างเห็ดหัวลิง 1 กิโลกรัม[6] ปัจจุบันมีวิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์เห็ดหัวลิงทั้งในห้องปฏิบัติการและในอุตสาหกรรมโดยอัลตร้าโซนิคร่วมกับไมโครเวฟ ซึ่งมีข้อดีคือ ไม่ยุ่งยาก ประหยัดเวลาและพลังงาน มีประสิทธิภาพและได้สารสกัดในปริมาณสูง ซึ่งหากมีการควบคุมสภาวะการสกัดที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัดได้สูงขึ้น[6]

การทำให้บริสุทธิ์

การทำให้บริสุทธิ์ทั้งการสกัดโปรตีนและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารเริ่มต้นที่ได้จะมีสีเหลืองซีดแต่เมื่อสกัดเสร็จสิ้นสารสกัดนั้นจะกลายเป็นสีเข้มขึ้นเนื่องจากเกิดการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกและเกิดออกซิไดส์ของสารชนิดอื่น ๆ แต่สามารถถูกยับยั้งได้ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวเห็ดเอง อย่างไรก็ตามการออกซิไดส์ของสารประกอบอะโรมาติกในสารสกัดเห็ดสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งก็เหมือนกับในพืชทั่วไป ชนิดของสารประกอบอะโรมาติก เช่น hericines, erinacines, alkalonides, lactones และสารอนุพันธ์ต่าง ๆ สาเหตุอาจเกิดการเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบโมเลกุล

ของสารให้สีชนิดต่าง ๆ เป็นต้น โดยสารเมตาบอไลต์ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่มีอยู่ในเห็ดหัวลิงได้ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดจากเอนไซม์ในเห็ดหัวลิงที่ชัดเจน[12]

การแยกและทำให้พอลิแซ็กคาไรด์บริสุทธิ์ภายหลังการสกัดสามารถทำได้โดยใช้สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์หยาบที่ได้ประกอบด้วยโปรตีน เม็ดสี และโมเลกุลขนาดเล็กอื่น ๆ จึงจำเป็นต้องแยกสารเหล่านี้ออกมาและเพื่อทำให้พอลิแซ็กคาไรด์บริสุทธิ์มากขึ้น การแยกและทำให้พอลิแซ็กคาไรด์บริสุทธิ์มีวิธีสรุปดังนี้ เริ่มต้นจากการตกตะกอนสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์แบบหยาบด้วยเอทานอลจากนั้นนำมาผ่านการกรองด้วยแผ่นกรองชนิดอัลตราฟิลเตรชัน และนำไปทำการแยกสารผ่านเยื่อเมมเบรน (dialysis) เพื่อสกัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กออก จากนั้นเติมกรดไตรคลอโรอะซิติกเพื่อให้โปรตีนลอยตัวออกมา (floating protein) ด้วยวิธี sevag method ทำการสกัดสีออกโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 หลังจากกำจัดโปรตีนและฟอกสีออกแล้วจึงทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ให้บริสุทธิ์ด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออนชนิด DEAE-cellulose, DEAE-Sephadex, DEAE-Sepharose fast flow, DEAE-Sepharose CL-6B และ Toyopearl DEAE-650 ตามด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบเจลชนิด Sephadex, Superdex, Sephacryl และ Sepharose ตามด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบแอฟฟินิตี้ชนิด Con A-AF-Toyopearl 650 โดยในระหว่างกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีโครมาโทกราฟี มีการใช้วิธีฟีนอลซัลฟูริกเพื่อตรวจสอบสารที่ชะล้างออกมาจากคอลัมน์[5] การตรวจสอบพอลิแซ็กคาไรด์สามารถวิเคราะห์จากโครงสร้าง ขนาดน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างสายโซ่หลัก โมเลกุลมีกิ่งก้าน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และพันธะไกลโคซิดิก เนื่องจากความแตกต่างของแหล่งวัตถุดิบและการสกัดเห็ดหัวลิงมีผลทำให้ความจำเพาะเจาะจงของน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวของสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์แตกต่างกันไป การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์พบว่า อยู่ในช่วง 13-1,000 กิโลดาลตัน การวิเคราะห์องค์ประกอบและอัตราส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวนิยมใช้เครื่องโครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) เทคนิคแก๊ส-ของเหลวโครมาโทกราฟี (GLC) เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) แก๊ส-โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) ไอออนโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPAEC) พอลิแซ็กคาไรด์โดยส่วนใหญ่แล้ว ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป เป็นชนิดน้ำตาลที่มาประกอบกัน เช่น กลูโคส ไซโลส แรมโนส แมนโนส ฟรุกโตส กาแล็กโตส และอะราบิโนส[2]

ฤทธิ์เชิงชีวภาพ

ในทวีปเอเชียตะวันออกเห็ดหัวลิงมีมูลค่าสูง เนื่องจากฤทธิ์ทางยาโดยเฉพาะตลาดยาในประเทศจีน เห็ดหัวลิงเป็นที่รู้จักและได้รับความสนใจกันมากขึ้นเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูงและยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีสำคัญที่มีฤทธิ์เชิงชีวภาพดีต่อสุขภาพอย่างมากรวมถึงมีสรรพคุณทางยา ในช่วง 20-30 ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยออกมาจำนวนมากที่

เกี่ยวข้องกับเห็ดหัวลิงซึ่งเป็นฤทธิ์ทางการแพทย์ เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ต้านพิษในเซลล์ ลดการเสื่อมของเซลล์ ต้านการเกิดเนื้องอก ลดการติดเชื้อ ยับยั้งแบคทีเรีย ช่วยและป้องกันระบบการย่อยอาหาร ลดไขมันในเลือด ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน ป้องกันการอักเสบของตับ ต้านระบบประสาทเสื่อม เช่น โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease)[2,9,12] กลุ่มสารออกฤทธิ์เชิงชีวภาพที่พบในเห็ดหัวลิง ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ ฟีนอลิก สารประกอบพอลิคีไทด์ เทอร์พินอยด์ โทโคเฟอรอล กรดแอสคอร์บิก แคโรทีนอยด์ เลคติน โปรตีน เปปไทด์ ไขมัน เทอร์ปีน เทอร์ปีนอยด์ สเตอรอล hericenone, hericerins, erinacine, erinacol สเตียรอยด์ อัลคาลอยด์ และแลคโตน เป็นต้น[4] ดัง Table 4 แสดงถึงสารประกอบที่ให้ฤทธิ์เชิงชีวภาพของเห็ดหัวลิงที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

ปริมาณรวมพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ดหัวลิงส่วนใหญ่มักพบในส่วนของดอกมากกว่าในส่วนของไมซีเลียม โดยในบริเวณผนังเซลล์ของเห็ดมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 20 มีพอลิแซ็กคาไรด์กว่า 35 ชนิด ถูกสกัดออกมาจากเห็ดหัวลิง ส่วนใหญ่คือ เบต้ากลูแคน แอลฟากลูแคน และคอมเพลกซ์กลูแคน-โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์อย่างน้อย 5 ชนิด มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเนื้องอกซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับสาร basidiomes ได้แก่ ไซแลน กลูโคไซแลน เฮทเทอโรไซโลกลูแคน และกาแลคโตไซโลกลูแคน สารพอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้จึงถูกสกัดด้วยน้ำ ซึ่งโครงสร้างจะอยู่ในรูปของ β-1,3-branched β-1,6-glucan with a laminarin-like triple helix และมีมวลโมเลกุลประมาณ 13 กิโลดาลตัน ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถช่วยกระตุ้นเม็ดเลือดขาวเพื่อช่วยในระบบภูมิคุ้มกันได้ นอกจากนี้ยังมีสารเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.8×10^4 ดาลตัน ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น แรมโนส กาแลคโตส และกลูโคส พบว่าเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1.9×10^4 ดาลตัน ซึ่งประกอบไปด้วย ฟรุกโตส กาแล็กโตส กลูโคส และพบ 3-O-methyl rhamnose แต่มีในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังมีส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์อื่น ๆ ได้จากการสกัดด้วยด่าง เช่น β-(1–3)-linked D-glucopyranosyl residues with single galactose branches[4] ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพอลิแซ็กคาไรด์เห็ดหัวลิงมีสรรพคุณในการช่วยป้องกัน บรรเทาหรือรักษาโรคร้ายแรง เช่น โรคมะเร็ง แผลในกระเพาะอาหาร เบาหวาน ไขมันในเลือดสูง การบาดเจ็บที่ตับ และโรคเกี่ยวกับระบบประสาทเสื่อมถอย ดังนั้นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในเห็ดหัวลิงจึงเป็นวัตถุดิบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรยาได้ จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งประเทศจีน (CFDA) ได้อนุมัติสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพและยารักษาโรคจำนวนมากซึ่งทั้งหมดใช้เพียงเห็ดหัวลิงเป็นส่วนประกอบทางยา[13] ผลิตภัณฑ์สิทธิบัตรอื่น ๆ บางรายการได้มีการรายงานมาจากสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ และประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถบำรุงกระเพาะอาหาร จึงสามารถนำมาใช้ในการรักษาอาการปวดท้องที่เกิดจากโรคกระเพาะอักเสบเรื้อรังที่ชั้นผิว แผลในกระเพาะอาหารหรือโรคกระเพาะอักเสบแบบกระเพาะบางได้[13]

จากการใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) และเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) ตรวจวิเคราะห์เห็ดหัวลิงพบสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์หลากหลายชนิดที่ส่งผลให้มีสรรพคุณที่ดีทางการแพทย์[13] ดังแสดงใน Table 4 ซึ่งสารหลักสำคัญที่พบในสารสกัดเห็ดหัวลิง ได้แก่

1. สารเบต้ากลูแคน (beta-glucan) สารชนิดนี้ พบมากในเห็ดหัวลิง โดยในเห็ดหัวลิงแห้งจำนวน 100 กรัม สามารถพบปริมาณเบต้ากลูเคนที่เป็นใยอาหารที่สามารละลายน้ำได้ 1.01 กรัม ในช่วงแรกที่มีการค้นพบนั้นได้ถูกนำมาใช้เป็นยากระตุ้นภูมิคุ้มกัน จากการวิจัยของหลายสถาบันทั่วโลกยืนยันว่า สารเบต้ากลูแคนช่วยเสริมฤทธิ์และปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและผิวหนัง ช่วยให้คอเลสเตอรอลในเลือดลดลง ป้องกันการติดเชื้อได้ ต่อต้านมะเร็งและต้านอนุมูลอิสระ ช่วยให้ภาวะไขมันในเลือดต่ำ และป้องกันระบบประสาท [12,14]

2. สารอีรีนาซิน (erinacine) เป็นสารสำคัญกลุ่มหลักในเห็ดหัวลิงได้จากเส้นใยไมซีเลียม อยู่ในกลุ่ม NGSF (Nerve Growth Stimulation Factor) คือสารที่สามารถกระตุ้นทำให้เซลล์สมองงอกและซ่อมแซมใหม่ให้เป็นอย่างเดิม รวมถึงมีคุณสมบัติในการป้องกันโรคอัลไซเมอร์

3. สารเลนติแนน (lentinan) ช่วยทำหน้าที่กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันต่อสู้กับการติดเชื้อ และชะลอการแพร่กระจายของเซลล์ ซึ่งในการทดลองให้สารเลนติแนนกับผู้ป่วยมะเร็งร่วมกับการทำเคมีบำบัดพบว่า ชิ้นเนื้อเซลล์มะเร็งมีขนาดเล็กลง และอาการข้างเคียงจากการทำเคมีบำบัดก็เกิดขึ้นน้อยลงด้วย นอกจากนี้นักวิจัยญี่ปุ่นยังพบว่าเห็ดหัวลิงสามารถซ่อมและบำรุงเซลล์กระเพาะ-อาหารได้และยังมีสารกระตุ้นการเจริญหรือการงอกใหม่ของเซลล์ประสาทได้ด้วย[15]

4. สารอื่น ๆ เช่น

- ฟลาโวนอยด์และพอลีฟีนอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

- สาร hericenons (ได้จากส่วนดอกเห็ดเท่านั้น) โดย hericenone ชนิด L ช่วยลดกิจกรรมที่เป็นพิษในเซลล์ ส่วน hericenones ชนิด C, D และ E ช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญของระบบประสาทได้

- สาร hericene A มีฤทธิ์ยับยั้งอัลฟา-กลูโคซิเดสเพื่อลดการดูดซึมกลูโคสช่วยลดน้ำตาลในเลือดลงได้

- สาร ergosterol ประมาณ 4.5 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ

นอกจากนี้เห็ดหัวลิงยังมีสาร isohericenone, ferulic acid, lectins สารประกอบ geranylated aromatic และเอนไซม์ (herinase, laccase, amylase และ trypsin-like proteinases) เป็นต้น[4,7]

Table 4 Bioactive compounds of lion's mane mushroom that are beneficial to health[14]

Compounds	Beneficial bioactive effects
Beta-glucan (polysaccharide) (including β-1,3-branched beta-1,6-glucan with laminarin-like triple helix conformation)	- Cancer prevention - Immune stimulation - Nourish brain cells - Antioxidant activity
HEP1 (a hetero-polysaccharide, with (1>6)-linked α-D-galactopyranosyl backbone)	- Cancer prevention - Immune stimulation
HEPF3 (a hetero-polysaccharide, with a branched penta-saccharide repeating unit)	- Cancer prevention - Immune stimulation
Endopolysaccharides	- Hepatoprotective activity - Antioxidant activity
Other types of polysaccharides : 6-methyl-2,5-dihydroxymethyl-γ -pyranone, 2-hydroxymethyl-5-α-hydroxy ethyl-γ -pyranone, 4-chloro-3,5-dimethoxybenzoic-O-arabitol ester, 4-chloro-3,5- dimethoxybenzoic methyl ester, 4-chloro-3,5-dimethoxybenzoic acid	- Multiple beneficial effects on the body - Cancer prevention - Immune stimulation
Lipid compounds : - a mixture of palmitic acid and stearic acid - a mixture of behenic acid and tetracosanoic acid - 5-α-ergostan-3-one - 5-α-stigmasten-22-en-3-one - 5-α-stigmastan-3-one	- Multiple beneficial effects on the body
Hericenone B (a phenolic compound)	- Reduces platelet aggregation - Assist prevent clotting in blood vessels or the heart (preventing myocardial infarction and stroke, etc.)

สรรพคุณทางยา

จากการศึกษาสรรพคุณทางยาของสารสกัดจากเห็ดหัวลิงในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าการรับประทานดอก เส้นใย หรือสารสกัดจากเห็ดหัวลิงสามารถรักษาโรคได้หลายชนิดและมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อการบำรุงสุขภาพ เช่น เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีคุณสมบัติช่วยลดไขมันในกระแสเลือด มีลักษณะคล้ายสารฮีแมกกลูตินินซึ่งทำหน้าที่ในการจับกับที่รับ (receptor site) บนผิวเซลล์ ทำให้ไวรัสสามารถเข้าสู่เซลล์ได้ ที่รับนี้ซึ่งมักพบได้ในบริเวณที่มีเมือกที่ปกคลุมทางเดินหายใจและพบบนผิวเม็ดเลือดแดง โดยฮีแมกกลูตินินมีคุณสมบัติในการทำให้เม็ดเลือดแดงของมนุษย์หมู่เลือดโอและสัตว์บางชนิด เช่น ไก่และหนูตะเภาเกิดปฏิกิริยาเกาะกลุ่ม (agglutination) ดังนั้น

คุณสมบัติเหล่านี้นำมาใช้ในการตรวจหาไวรัสได้ ลบล้างฤทธิ์ (neutralizing antibody) และมีผลในการคุ้มกันโรค (protective antibody) ด้วย ซึ่งสามารถจำแนกสรรพคุณของเห็ดหัวลิงได้ดังนี้

1. ป้องกันการเป็นมะเร็งและเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย (anti-cancerous and immuno-modulating activities) สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จาก *Hericium erinaceus* (เห็ดหัวลิง) และ *H. laciniatum* ที่เลี้ยงในอาหารเหลวต่อการป้องกันโรคมะเร็งและเพิ่มภูมิคุ้มกันในหนูทดลองเพศผู้สายพันธุ์ ICR (imprinting control region) จากผลการทดลองพบว่า สารพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดทั้ง 2 ชนิด มีผลในการต่อต้านการแพร่กระจายของเนื้องอกในปอดของสัตว์ทดลองได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่า สารพอลิแซ็กคาไรด์จาก *Hericium erinaceus* จะให้ผลในการต่อต้านการแพร่กระจายของเนื้องอกมากกว่าสารจากเห็ด *H. laciniatum*

2. ป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนในหัวใจและหลอดเลือด (cardio-vascular complication protecting activities) เห็ดหัวลิงมีประโยชน์ต่อการป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนในหัวใจและหลอดเลือดอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีการนำเห็ดหัวลิงมารับประทานเป็นยาเพื่อรักษาระบบการเผาผลาญไขมันในร่างกายที่ผิดปกติให้เกิดสมดุล ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างมากในการรักษาโรคที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้มีการใช้ exo-biopolymer ที่ผลิตจากเส้นใยของเห็ดหัวลิงที่เลี้ยงในอาหารเหลวพบว่า การให้สาร exo-biopolymer ทางปากกับหนูทดลอง ช่วยลดไขมันในกระแสเลือดและช่วยลดเพิ่มมากขึ้นหากมีการเพิ่มความเข้มข้นของสาร exo-biopolymer การให้สาร exo-biopolymer ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักร่างกาย สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมดลงได้ร้อยละ 32.9 คอเลสเตอรอลชนิด LDL ร้อยละ 45.4 ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 34.3 ฟอสโฟไลปิดร้อยละ 18.9 atherogenic index ร้อยละ 58.7 และลดกิจกรรมของเอนไซม์ hepatic HMG-CoA reductase ร้อยละ 20.2 และสามารถเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลชนิด HDL ในพลาสมาได้ถึงร้อยละ 31.1 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

3. ลดการตายของเซลล์สมอง (neuro-protective activities) สารจำพวกนิวโรโทรฟิกแฟกเตอร์มีความจำเป็นอย่างมากต่อการหล่อเลี้ยงเซลล์ประสาทและทำให้สมองทำหน้าที่ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพเกี่ยวข้องกับความจำและการเรียนรู้ ดังนั้นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารนิวโรโทรฟิกแฟกเตอร์หรือสารที่กระตุ้นการทำงานของนิวโรโทรฟิกแฟกเตอร์ได้ จึงเป็นเรื่องที่น่านำมาทดลองเพื่อรักษาโรคเกิดจากการเสื่อมของเซลล์ประสาทเป็นอย่างมาก สารที่สกัดได้จากเห็ดหัวลิงกระตุ้นการแสดงออกของ mRNA ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์ประสาท โดยให้สารที่ความเข้มข้นเหมาะสมทาง JNK pathway นอกจากนี้ยังพบว่า เห็ดหัวลิงมีประโยชน์ในด้านป้องกันการเกิดโรคสมองเสื่อมได้[15]

4. ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ในสภาวะความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้สารอนุมูลอิสระเข้าไปทำลายระบบต่าง ๆ ภายในเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิต เช่น รวมตัวกับสารพันธุกรรม คือ ดีเอ็นเอ ทำให้โมเลกุลของดีเอ็นเอ

เปลี่ยนแปลงไปหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดที่เป็นองค์ประกอบในเมมเบรนของเซลล์ได้เป็นสารเพอร์ออกไซด์ ส่งผลให้เซลล์เมมเบรนเสียสภาพ และไม่สามารถทำหน้าที่ได้เหมือนปกติ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคและอาการผิดปกติของร่างกายในด้านต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดอุดตัน และโรคสมองเสื่อม เป็นต้น การรับประทานอาหารเสริมหรือสมุนไพรจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเป็นเรื่องที่นักวิชาการได้ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยจากการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเส้นใยของเห็ดหัวลิงอุดมไปด้วยสารฟีนอลิกซึ่งมีศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกรดเฟอริค รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากฟลาโวนอยด์และพอลีฟีนอล นอกจากนี้สารที่สกัดได้จากดอกเห็ดหัวลิงสดมีส่วนประกอบของสารที่สามารถทำลายอนุมูลอิสระ (radical scavenging) 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl สารสกัดจากดอกเห็ดหัวลิงอบแห้งมีคุณสมบัติที่ดีในการลดการสลายตัวของแคโรทีนซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้พบว่าปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมด และสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากดอกเห็ดหัวลิงอบแห้งจะมีมากกว่าดอกที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งหรือดอกสด เนื่องจากฤทธิ์ของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้สกัด เนื่องจากเกิดกลไกการยับยั้งที่แตกต่างกัน เช่น การยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ การให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระและการกำจัดเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น นอกจากนี้หากสารสกัดที่ได้มีโครงสร้างซับซ้อนมากหรือมีการผสมรวมกันของสารหลายชนิดที่ถูกสกัดออกมาจะช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ซึ่งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้มีการพิสูจน์แล้วว่าจะช่วยลดการเกิดโรคต่าง ๆ ลงได้มาก ดังนั้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงการช่วยในเรื่องสุขภาพของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี[7,10,16]

5. ฤทธิ์ในการรักษาโรคต่าง ๆ ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ฤทธิ์ของเห็ดหัวลิงในการรักษาโรคเรื้อรัง รักษาการเสื่อมของอวัยวะต่าง ๆ และรักษาโรคกระเพาะอาหารอักเสบมีการศึกษาสารที่ได้จากการสกัดเห็ดหัวลิงด้วยเมทานอลเพื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ในการป้องกันตับถูกทำลายจากการเหนี่ยวนำด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในหนูทดลอง ผลการทดลองพบว่า สารสกัดมีฤทธิ์ในการป้องกันการถูกทำลายของตับสูง และมีรายงานถึงคุณสมบัติในการสมานบาดแผลของเห็ดหัวลิงซึ่งพบว่า การทาบาดแผลด้วยสารสกัดเหลวที่ได้จากดอกเห็ดหัวลิงจะช่วยทำให้บาดแผลของหนูทดลองตัวผู้มีการสมานตัวเร็วขึ้น[16]

บทสรุป

ปัจจุบันมีการนำเห็ดเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารทดแทนเนื้อสัตว์โดยใช้พืชมากขึ้น เห็ดหัวลิงได้รับการยอมรับว่า เป็นแหล่งโปรตีนแร่ธาตุ และที่สำคัญทำให้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้ป่วยบางกลุ่มหรือผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงการบริโภคเนื้อสัตว์แต่ยังคงได้รับสารอาหารที่จำเป็นสำหรับร่างกายได้ เห็ดหัวลิงมีศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งสารอาหารที่มีประโยชน์และออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต่อร่างกายทั้งในรูปแบบของอาหารและสรรพคุณทางยา ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมียาหลายชนิดเพื่อรักษาโรคแต่ยังพบว่า ยาหลายชนิดนั้น

ก่อให้เกิดผลข้างเคียง ดังนั้นการใช้เห็ดหัวลิงในทางการแพทย์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยคำนึงถึงวิธีการสกัดและฤทธิ์เชิงชีวภาพที่ได้ เห็ดหัวลิงมีสรรพคุณในการต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคมะเร็ง ป้องกันโรคเบาหวาน ป้องกันการติดเชื้อ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ลดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด และช่วยลดไขมันในเลือด รวมถึงบรรเทาอาการของโรคพาร์กินสัน และโรคอัลไซเมอร์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดได้จากเห็ดหัวลิงมีผลดีต่อระบบประสาท ช่วยกระตุ้นให้ระบบประสาททำงานได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไลการทำงานและโครงสร้างของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการป้องกันโรคในเชิงลึกมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการป้องกันโรคและให้ข้อมูลชัดเจนต่อผู้บริโภคและผู้ป่วย

เอกสารอ้างอิง

1. Rathore H, Prasad S, Sharma S. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. Pharma Nutrition. 2017;5:35–46.
2. Liu J, Wang W, Hu Q, Wu X, Xu H, Su A, Xie M, Yang W. Bioactivities and molecular mechanisms of Bioactivities and molecular mechanisms of polysaccharides from *Hericium erinaceus*. J. Future Foods 2022;(2-2):103–111.
3. Friedman M. Chemistry, Nutrition, and Health-Promoting Properties of *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia and Their Bioactive Compounds. J. Agric. Food Chem. 2015;63(32):7108-23.
4. Thongbai B, Rapior S, Kevin DH, Wittstein K, Stadler M. *Hericium erinaceus*, an amazing medicinal mushroom Mycol. Prog. 2015;14(10):91.
5. Joradon P, Rungsardthong V, Ruktanonchai U, Suttisintong K, Lempridee T, Thumthanaruk B, Vatanyoopaisarn S, Uttapap D. A comparative study of conventional and supercritical carbon dioxide extraction methods for the recovery of bioactive compound from Lion's Mane mushroom (*Hericium erinaceus*). E3S Web of Conferences 2022;355:02015.
6. Wang XY, Zhang DD, Yin JY, Nie SP, Xie MY. Recent developments in *Hericium erinaceus* polysaccharides: extraction, purification, structural characteristics and biologicalactivities. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2019;59(S1):S96-S115.
7. Valu M, Valu M-V, Soare LC, Sutan NA, Ducu C, Moga S, Hritcu L, et al. Optimization of Ultrasonic Extraction to Obtain Erinacine A and Polyphenols with Antioxidant Activity from the Fungal Biomass of *Hericium erinaceus*. Foods 2020; 9(12).
8. Yan J-K, Ding Z-C, Gao X, Wang Y-Y, Yang Y, Wu D, et al. Comparative study of physicochemical properties and bioactivity of *Hericium erinaceus* polysaccharides at different solvent extractions. Carbohydr. Polym. 2018;193:373-82.
9. Parada M, Rodríguez-Blanco Arturo, Fernández de Ana Magán F, Domínguez H. Sequential extraction of *Hericium erinaceus* using green solvents. LWT - Food Sci. Technol. 2015;64:397-404.
10. Jiang S, Wang Y, Zhang X. Comparative studies on extracts from *Hericium erinaceus* by different polarity reagents to gain higher antioxidant activities.Exp. Ther. Med. 2016; 12(1):513-7.
11. Zhu Y, Li Q, Mao G, Zou Y, Feng W, Zheng D, et al. Optimization of enzyme-assisted extraction and characterization of polysaccharides from *Hericium erinaceus*. Carbohydr. Polym. 2014;101:606-13.
12. Kim S. Antioxidant Compounds for the Inhibition of Enzymatic Browning by Polyphenol Oxidases in the Fruiting Body Extract of the Edible Mushroom *Hericium erinaceus.* Foods. 2020;9:951.
13. He X, Wang X, Fang J, Chang Y, Ning N, Guo H, et al. Structures, biological activities, and industrial applications of the polysaccharide from *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) Mushroom: A review. Int. J. Biol. Macromol. 2017;97:228–237.

14. Khan MA, Tania M, Liu R, Rahman MM. *Hericium erinaceus*: an edible mushroom with medicinal values.J Complement Integr Med. 2013;10(1): 253–258.
15. พีรบูรณ์ จังรุ่งโรจน์. “ผลของเมล็ดธัญพืชและความเข้มข้นของเกลือต่อการเจริญเติบโตและการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสันใยไมซีเลียมเห็ดหัวลิง (*Hericium erinaceus*)” [โครงการปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2562.
16. อัจฉรา บุญโรจน์, จิรพร สวัสดิการ และ วัชรวิทย์ รัศมี. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง โครงการวิจัยและพัฒนาการเพาะเห็ดหัวลิงในภาคตะวันออกของประเทศไทย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี; 2558.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นวารสารของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 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 สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่หน้าเว็บไซต์วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 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 รวมถึงการวิเคราะห์ สังเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอออภิปรายผลการทบทวนวรรณกรรม

การเตรียมบทความต้นฉบับเพื่อลงพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

1. บทความวิจัย (Research article)

1.1 บทความต้นฉบับ ควรพิมพ์บนกระดาษขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียวความยาวประมาณ 25 บรรทัดต่อหน้า 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 อาจรวมการตรวจเอกสาร (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) เป็นการสรุปสาระสำคัญและแนวทางที่จะนำผลไปใช้ประโยชน์ 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) โดยใช้การอ้างอิงระบบลำดับหมายเลขดูหัวข้อ **การเขียนเอกสารอ้างอิง** ประกอบ

1.8 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ที่ช่วยเหลือ แต่มิได้เป็นผู้ร่วมงานด้วย

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

1.10 บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิลม์ 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 บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิลม์ 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. ระบุหมายเลขเรียงลำดับกันไปที่ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่ใช้อ้างอิงเริ่มจากหมายเลข 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 ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสำคัญที่มีคุณประโยชน์เชิงหน้าที่ เช่น สารไอโซฟลาโวน[1-2] สารซาโปนิน[3] และสารโทโคฟีรอล[4] เป็นต้น

การประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี รวมถึง hydrophilic-oxygen radical absorbance capacity (H-ORAC) assay ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระอย่าง peroxyl radical[5]

การอ้างอิงท้ายบทความ

การอ้างอิงที่อยู่ท้ายบทความหรือที่เรียกว่า เอกสารอ้างอิง (References) มีหลักการอ้างอิงดังนี้

1. พิมพ์ตามลำดับการอ้างอิงตามหมายเลขที่ได้กาหนดไว้ภายในวงเล็บที่ได้อ้างถึงในเนื้อหา โดยไม่ต้องแยกภาษาและประเภทของเอกสารอ้างอิง
2. พิมพ์หมายเลขลำดับการอ้างอิงไว้ชิดขอบกระดาษด้านซ้าย 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 βg 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 วรรค

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพุทธกุล. รชฏ ขำบุญ.

1.2 กรณีเป็นผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใช้ชื่อสกุลขึ้นก่อน เว้น 1 วรรค ตามด้วยอักษรย่อของชื่อตัวและชื่อกลางโดยไม่ต้องเว้นวรรคหรือมีเครื่องหมายใดใดคั่น

ตัวอย่าง Chin YL. Guth LM.

1.3 กรณีที่ผู้แต่งมีจำนวนมากกว่า 1 คน

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

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพุทธกุล, รชฏ ขำบุญ, วิลาศิณี เกิดสมบุญ.

Rüfer CE, Kulling SE, Guth LM.

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

ตัวอย่าง เปมิกา สิทธิพุทธกุล, รชฏ ขำบุญ, วิลาศิณี เกิดสมบุญ, อรวรรยา พันธุลาภ, วราภรณ์ ประเสิรฐ, ระวิน สืบค้า, และคณะ.

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

1.4 ผู้แต่งที่เป็นกลุ่ม เป็นคณะ หรือสถาบัน ให้ใช้ชื่อกลุ่ม คณะ หรือสถาบันนั้นเป็นผู้แต่ง กรณีมีทั้งหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) หลังชื่อหน่วยงานใหญ่ เว้น 1 วรรค ตามด้วยชื่อหน่วยงานย่อย และเครื่องหมายมหัพภาค (.)

ตัวอย่าง คณะกรรมการอาหารและยา

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

1.5 ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง ให้ใช้ชื่อหนังสือหรือชื่อบทความแทนตำแหน่งชื่อผู้แต่ง

ตัวอย่าง 84 เมนู อาหารผู้สูงอายุเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร;2555.

21st century heart solution may have a sting in the tail. BMJ. 2002;325(7357):184.

2. ชื่อหนังสือ/ ชื่อวารสาร/ ชื่อบทความ

2.1 ชื่อหนังสือ/ 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 ให้ใส่จำนวนเล่มทั้งหมดไว้ท้ายรายการอ้างอิง 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) ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.) 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: สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง; 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 ตามด้วยเครื่องหมายทวิภาค (:)

5.2 กรณีที่ชื่อเมืองไม่เป็นที่รู้จัก ให้ใส่ชื่อรัฐหรือประเทศไว้ในวงเล็บกลมตามหลังชื่อเมือง

5.3 กรณีที่ไม่สามารถระบุเมืองที่พิมพ์ได้ ให้ระบุไว้ในวงเล็บเหลี่ยมโดยใช้คำว่า [ม.ป.ท.] (สำหรับภาษาไทย) 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 ยกเว้น สำนักพิมพ์ที่มีชื่อเดียวกับหน่วยงาน ต้องระบุคำว่า “สำนักพิมพ์” ด้วย

กรณีสำนักพิมพ์เป็นหน่วยงานที่มีทั้งหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) หลังชื่อหน่วยงานใหญ่ เว้น 1 วรรค 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 สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง;

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 และใส่ไว้ในวงเล็บเหลี่ยมตามด้วยเครื่องหมายปรัศนี (?) 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* วันที่พิมพ์ (ถ้ามี) หากเป็นวารสารภาษาไทย ให้ใส่วัน (ถ้ามี) เดือน* ปีที่พิมพ์ จากนั้นตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) เล่มที่ (Volume) และถ้ามีฉบับที่ (Issue/Number) ให้พิมพ์ไว้ในวงเล็บกลม โดยไม่มีการเว้นวรรค

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

ตัวอย่าง สุรเกียรติ อาชานานุภาพ. เจ็บคอขออย่ากินยาฆ่าเชื้อ/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 คั่นด้วยเครื่องหมายยัติภังค์ (-) ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.) หลังเลขหน้าสุดท้าย โดยเลขหน้าสุดท้ายให้ใส่เฉพาะเลขที่ไม่ซ้ากับเลขหน้าแรก ยกเว้นเลขโรมัน หรือเลขหน้าที่มีตัวอักษรต่อท้าย ให้ระบุเลขโดยไม่ต้องตัดเลขหน้าออก กรณีเลขหน้าไม่ต่อเนื่องกัน ให้คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,)

ตัวอย่าง หน้า 7-29 ให้ใส่ 7-29.
หน้า 980-983 ให้ใส่ 980-3.
หน้า 325A-329A ให้ใส่ 325A-329A.
หน้า 20-29 ให้ใส่ 20-9.
หน้า xi-xii ให้ใส่ xi-xii.
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 ตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) 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. ผลิตภัณฑ์คีโตเจนิก. 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 วัฒนสุชาติ. เมนูอร่อย...อาหารลดโซเดียม เพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง; 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

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, เขมิสรา ชีวพฤกษ์. ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช...แนวโน้มในการบริโภคยุคปัจจุบัน. พิมพ์ครั้งที่ 2 ปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม. วนิดา ชิติสรรค์กุล, บรรณาธิการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2565.

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

หนังสือที่มีเฉพาะบรรณาธิการ

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

ตัวอย่าง

สมใจ วิชัยดิษฐ, บรรณาธิการ. ใครกิน...ใครได้. กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์พริ้นท์ติ้ง; 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. ใยอาหารคืออะไร. ใน: เพลินใจ ตังคณะกุล, บรรณาธิการ. โภชนาการเจ๋ง สุขภาพแจ๋ว. 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

Figueroa JV, Chieves LP, Johnson GS, Buening GM. Multiplex polymerase chain reaction based assay for erection of Babesia bigemina, Babesis 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) ท้ายรายการอ้างอิง 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.

ปริญญานิพนธ์

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

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

ตัวอย่าง

กุลกัญญา ศศะภูมิ. การผลิตแป้งเค้กทุเรียนสำเร็จรูปเพื่อการอบด้วยไมโครเวฟ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. 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 ฤชุตระกูล. Coagulopathy in liver diseases. ใน: ปิยะวัฒน์ โกมลมิศร์, ทวีศักดิ์ แทนวันดี, อนุชิต จูฑะพุทธิ, บรรณาธิการ. Vascular diseases of the liver. การประชุมวิชาการประจาปี 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

มัณฑนา เอื้อวิทยา, ผู้ประดิษฐ์; บริษัทมัทนาพาณิชย์เชียงใหม่จำกัด, ผู้ขอรับสิทธิบัตร. องค์ประกอบสมุนไพรจากวาวเครือ. 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. Sounders; 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 โดยย้ายเครื่องหมายมหัพภาค (.) หลังชื่อเรื่องไปไว้หลังวงเล็บเหลี่ยมแทน

2. วันที่เข้าถึง: เนื่องจากข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์อาจมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้เสมอ จึงต้องระบุวันที่เข้าถึงไว้ด้วย โดยหลังปีพิมพ์ของรายการอ้างอิงให้ระบุในวงเล็บเหลี่ยมไว้ว่า [เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี] สำหรับภาษาไทย หรือ [cited ปี เดือน วัน] สำหรับภาษาอังกฤษ กรณีที่แหล่งข้อมูลมีการแจ้งวันที่ปรับปรุงข้อมูลล่าสุด สามารถเพิ่มข้อมูลดังกล่าวไว้ในวงเล็บเหลี่ยมข้างต้น โดยให้ระบุเพิ่มไว้ด้านหน้า ตามด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;) เว้น 1 วรรค 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 ของแหล่งข้อมูลไม่ต้องตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.)

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/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. แนวทางการพัฒนาเนื้อจากพืชของไทย. 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. การพัฒนาน้ำสลัดจากคีเฟอร์น้ำนมถั่วเหลือง [อินเทอร์เน็ต] [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. 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 หากไม่พบข้อมูลให้ใส่ [ม.ป.พ.] หรือ [publisher unknown]

ปีพิมพ์ หมายถึง ปีที่เริ่มเผยแพร่เว็บไซต์ หากมีทั้งปีพิมพ์และปีลิขสิทธิ์ ให้ใช้ปีพิมพ์ หากไม่พบข้อมูล ให้ใช้ปีที่ปรับปรุง 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. ชื่อเรื่องที่นำมาอ้าง; ปีพิมพ์ของเรื่อง ที่นำมาอ้าง [ปรับปรุงเมื่อ/updated ปี เดือน วัน; เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วัน]; [ประมาณ ... น./about ...screens/p.]. เข้าถึงได้จาก/Available from: http://...

การระบุเลขหน้า

1. กรณีเป็นเอกสารในรูป 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 ฐานข้อมูลที่ยังมีการปรับเพิ่มข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

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 ฐานข้อมูลที่ไม่มีการปรับเพิ่มข้อมูลใดใดแล้ว

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

การอ้างอิงแต่ละส่วน ใช้หลักเดียวกับฐานข้อมูลแบบเปิด ยกเว้นปีพิมพ์ ให้ใส่ปีเริ่มต้นและปีสุดท้ายที่มีการปรับเพิ่มข้อมูลของฐานข้อมูล

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 วรรค ตามด้วยเครื่องหมายยัติภังค์ (-) และเว้น 3 วรรค
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

ชื่อผู้แต่งเรื่องที่นำมาอ้าง. ชื่อเรื่องที่นำมาอ้าง. ปีพิมพ์ของเรื่องที่นำมาอ้าง. 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 รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

บทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์

1. บทความของผู้นิพนธ์ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน 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 ทรรศนะ 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) [อินเทอร์เนต]. [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