ISSN : 2821-9813 (Online)
ปีที่ 54 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567
Vol. 54 No. 1 January - June 2024

# วารสาร
# วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
# Journal of Food Research and Product Development
# JFRPD

## บทความวิจัย

- การศึกษาเบื้องต้น **การเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า** ด้วยวิธีทางเอนไซม์

## บทความวิชาการ

- **ไซโคไบโอติก :** ทางเลือกสำหรับการควบคุมสุขภาพจิตและอารมณ์
- **ศักยภาพของสาหร่าย** เพื่อการเป็น **พรีไบโอติก** และการประยุกต์ใช้
- **เนื้อเทียมจากพืช** ทางเลือกเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม
- เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนา **ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช**
- **อาหารนวัตกรรมใหม่** จากผลิตผลทางการเกษตร
- **มันเทศ :** แหล่งแป้งทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพ

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 1 ประจำเดือน มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2567 ซึ่งประกอบด้วยบทความวิจัย 1 เรื่อง ที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า และบทความวิชาการ 6 เรื่อง ซึ่งให้ความรู้ทางด้านอาหารฟังก์ชันอย่างไซโคไบโอติก พรีไบโอติก โปรตีนทางเลือก และนวัตกรรมอาหารที่กำลังได้รับความสนใจ รวมถึงเนื้อหาสาระเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การอาหารอื่นด้วย

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการประเมินและเสนอแนะแก้ไขจนได้บทความที่มีความสมบูรณ์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้เชิงวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์อาหารที่มีความน่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการต่อยอดพัฒนาองค์ความรู้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งงานวิจัยและการต่อยอดในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

**แบบสอบถาม**

*ข้อมูล ทรรศนะ และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร*
*เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิมโดยเฉพาะ*
*สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย*

ISSN : 2821-9813 (Online)

ปีที่ 54 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567
Vol. 54 No. 1 January - June 2024

# วารสาร วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
# Journal of Food Research and Product Development
# JFRPD

## สารบัญ

### บทความวิจัย


- **การศึกษาเบื้องต้นการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์** ..... 7
  Preliminary study on protein hydrolysates from *Spirulina* using enzymatic hydrolysis
  สุพรรณี เบเชกู่ และ วนิดา ปานอุทัย (Supannee Bachaku, and Wanida Pan-utai)


### บทความวิชาการ


- **ไซโคไบโอติก : ทางเลือกสำหรับการควบคุมสุขภาพจิตและอารมณ์** ..... 18
  Psychobiotics : alternative approach for controlling mental health and mood
  จุฑามาศ กลิ่นโซดา (Jutamat Klinsoda)
- **ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อการเป็นพรีไบโอติกและการประยุกต์ใช้** ..... 28
  The potential of algae as a prebiotic and application
  เนตรดาว พิมพ์ทอง ศรายุทธ สายแสง ชนิปรียา เปี่ยมงาม และ วนิดา ปานอุทัย
  (Netdaow Pimthong, Sarayut Saisaeng, Chanipreeya Peimngam, and Wanida Pan-utai)
- **เนื้อเทียมจากพืช ทางเลือกเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม** ..... 41
  Plant-based meat : A new option for health and the environment
  อัญชลี อุษณาสุวรรณกุล และ กัญญ์วรา ทองกระจ่าง (Aunchalee Aussanasuwannakul, and Kanwara Tongkrajang)
- **เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช** ..... 53
  Neo technology for research and development of meat analogue from plant-based protein
  นิพัฒน์ ลิ้มสงวน (Nipat Limsangouan)
- **อาหารนวัตกรรมใหม่จากผลิตผลทางการเกษตร** ..... 69
  Novel innovative food from agricultural products
  วีรวิชญ์ ภัทรยิ่งสกุล (Werawich Pattaratingsakul)
- **มันเทศ : แหล่งแป้งทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพ** ..... 82
  Sweet potato : alternative carbohydrate source for the health conscious consumers
  ประจงเวท สาตมาลี (Prajongwate Satmalee)

**คำแนะนำสำหรับผู้เขียน** ..... 88

# การศึกษาเบื้องต้นการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์

**สุพรรณี เบเชกู่**[1]
**วนิดา ปานอุทัย**[2*]

[1]สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
[2]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 22 กุมภาพันธ์ 2567 **แก้ไขเมื่อ** 20 พฤษภาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 24 พฤษภาคม 2567

**จุดเด่น**

- กระบวนการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์
- ผลผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่าขึ้นอยู่กับสภาวะการย่อยด้วยเอนไซม์
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสามารถพบได้ในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า

**บทคัดย่อ**

สาหร่ายสไปรูลิน่าจัดเป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่อุดมไปด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและเปปไทด์ รวมถึงสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก จึงมีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นแหล่งของเปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้หลากหลาย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการเลี้ยงชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์ โดยแปรผันชนิดและอัตราส่วนของเอนไซม์ที่ใช้ จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส (alkaline protease) มีค่าสูงถึง 6.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่การใช้เอนไซม์อัลคาเลส (Acalase®) ให้ค่าความเข้มข้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตสูงสุดเท่ากับ 0.58 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในโปรตีนไฮโดรไลเสตพบว่า การย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการใช้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส โดยการแปรผันชนิดของเอนไซม์แตกต่างกันส่งผลให้ได้ผลผลิตที่แตกต่างกัน แต่ความเข้มข้นเอนไซม์และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกัน ยังคงได้ผลผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตใกล้เคียงกัน

**คำสำคัญ :** สาหร่ายสไปรูลิน่า โปรตีนไฮโดรไลเสต การย่อยด้วยวิธีทางเอนไซม์ สารประกอบฟีนอลิก

# Preliminary study on protein hydrolysates from *Spirulina* using enzymatic hydrolysis

**Supannee Bachaku[1], and**
**Wanida Pan-utai[2*]**

[1]Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science, Naresuan University
[2]Department of Applied Microbiology,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
*Corresponding author, e-mail : ifrwdp@ku.ac.th
**Received** 22 February 2024; **Revised** 20 May 2024; **Accepted** 24 May 2024

## Highlights

- Protein hydrolysates-process from *Spirulina* using enzymatic hydrolysis methodology
- The yield of protein hydrolysates from *Spirulina* depends on the enzymatic conditions
- The total phenolic content was found in the protein hydrolysates

## Abstract

*Spirulina* is classified as microalgae and is composed of high quality protein. It contains trace amounts of essential amino acids and bioactive peptides, including important biological active substances such as phenolic compounds. Therefore, it helps to promote the consumer's health. Protein hydrolysates are a source of a variety of bioactive peptides. Protein hydrolysates were obtained from *Spirulina* biomass using various conditions of enzymatic hydrolysis. The results found that the concentration of protein hydrolyses with alkaline protease was 6.33 mg/ml. However, hydrolysis with alcalase enzyme (Alcalase®) resulted in the highest protein concentration of 0.58 mg/ml. Total phenolic contents obtained from alcalase hydrolysis were greater than that of alkaline protease enzyme. Although different types of enzymes showed an effect on hydrolysis yield, protein yields were similar when the enzyme concentration and the hydrolysis time were varied.

**Keywords :** *Spirulina*, protein hydrolysates, enzymatic hydrolysis, phenolic compounds

**บทนำ**

องค์กร Functional Food Center (FFC) ได้ให้คำจำกัดความของอาหารเพื่อสุขภาพว่าเป็น “อาหารธรรมชาติหรืออาหารแปรรูป ประกอบไปด้วยสารที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณที่เพียงพอและมีประโยชน์แก่สุขภาพ สามารถป้องกันและรักษาโรคที่สำคัญ ไม่เกิดพิษต่อร่างกาย” ในปัจจุบันผู้บริโภคมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการรับประทานโดยคำนึงถึงการดูแลสุขภาพมากขึ้น เพื่อลดอาการของโรคเรื้อรังที่เกิดจากพฤติกรรมการรับประทานอาหาร[1-2] ดังนั้นในด้านของอุตสาหกรรมอาหาร จึงได้มีการเสริมสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพลงในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด สารออกฤทธิ์ที่สำคัญ เช่น ชีวมวลที่ผ่านการย่อย (ไฮโดรไลเสต) และเปปไทด์[3]

สาหร่ายสไปรูลิน่า *(Spirulina)* เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรียขนาดเล็ก มีคุณประโยชน์ทางโภชนาการที่อุดมไปด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพสูงร้อยละ 60-70 ของน้ำหนักแห้ง มีกรดอะมิโนจำเป็น วิตามิน แร่ธาตุ กรดไขมันจำเป็น โพรวิตามินเอ (เบต้าแคโรทีน) เป็นต้น[4] แม้ว่าไซยาโนแบคทีเรียหลายชนิดมีสารพิษที่เรียกว่าไมโครซิสติน ทำให้ไซยาโนแบคทีเรียสร้างปัญหาทางด้านสาธารณสุขในหลายพื้นที่ จึงต้องมีการควบคุมสารพิษเหล่านี้อย่างเข้มงวด[4] อย่างไรก็ตามสาหร่ายสไปรูลิน่าไม่สร้างสารพิษชนิดนี้ และยังไม่มีการรายงานถึงสารพิษอื่น ๆ อีกทั้งยังได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่า มีความปลอดภัย (GRAS : Generally Recognized as Safe) จากองค์การอาหารและยา (FDA : Food and Drug Administration) และยังเป็นอาหารที่ได้รับการยอมรับตามกฎระเบียบข้อกำหนดสำหรับอาหารใหม่ของสหภาพยุโรป (EU-2015/2283)[5-6]

โปรตีนไฮโดรไลเสต สามารถทำได้โดยวิธีทางเคมี วิธีทางเอนไซม์ หรือการหมักด้วยจุลชีพ องค์ประกอบที่ถูกย่อยจะมีศักยภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่ามีการศึกษากิจกรรมทางชีวภาพอย่างแพร่หลายทั้งในระดับหลอดทดลองหรือในสัตว์ทดลอง[4] ฤทธิ์ทางชีวภาพจากการศึกษาที่ผ่านมา เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ[4] ลดความดันโลหิตโดยยับยั้งเอนไซม์ ACE (Angiotensin-Converting Enzyme)[7] ฤทธิ์ต้านการอักเสบและสร้างเยื่อบุลำไส้ในหนูได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาที่ทดลอง[8] ต้านเซลล์มะเร็งทั้ง 5 ชนิด (HepG-2, MCF-7, SGC-7901, A549 และ HT-29) โดยเฉพาะเซลล์ A549 ซึ่งเป็นเซลล์มะเร็งปอด[9] ต้านเชื้อก่อโรคทั้งแกรมบวกและแกรมลบ เช่น *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus*[10] และยังช่วยในการต้านโรคอ้วน โดยเพิ่มการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมไขมันในหนู[11] นอกจากนี้การทดลองรักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อในหลอดทดลองโดยใช้เซลล์ C2C12 พบว่า โปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่ามีผลกับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับโรคกล้ามเนื้อฝ่อที่เกิดจากการกระตุ้นของเดกซาเมทาโซน (Dexamethasone : DEX)[12]

กระบวนการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยวิธีทางเอนไซม์ เป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ผลิตเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพได้ เนื่องจากสามารถควบคุมได้ง่าย ใช้ระยะเวลาไม่นานในการได้มาซึ่งโปรตีนที่มีระดับ

การย่อยที่สูง ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และอุณหภูมิมีความเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมกระบวนการย่อยเพื่อให้ได้เปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลหรือกรดอะมิโนเฉพาะและองค์ประกอบอะมิโนมีปริมาณใกล้เคียงโปรตีนเริ่มต้น ที่สำคัญคือ การย่อยโดยใช้เอนไซม์ไม่รุนแรงและไม่มีการตกค้างของสารพิษ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมอาหารและยา[13-14] การใช้เอนไซม์อัลคาเลสและอัลคาไลน์โปรตีเอส (มีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมภายใต้ค่าความเป็นกรดด่างเป็นกลางและเป็นด่างตามลำดับ) ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดจัดอยู่ในกลุ่มเอนโดเปปติเดส สามารถตัดพันธะเปปไทด์ภายในโครงสร้างอย่างอิสระ ทำให้ได้เปปไทด์สายสั้น ๆ ที่มีหลายขนาด แตกต่างจากเอกซ์โซเปปติเดสที่ย่อยจากปลาย N หรือปลาย C ของสายโซ่เปปไทด์ จะได้กรดอะมิโนอิสระมากกว่าเอนโดเปปติเดส[15] เอนโดเปปติเดสแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ซีรีนโปรตีเอส แอสปาร์ติก-โปรตีเอส ซีสเทอีนโปรตีเอส และเมทัลโลโปรตีเอส[16] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตเบื้องต้นจากสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์ โดยแปรผันชนิดของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย เพื่อให้ได้ผลได้ของโปรตีนไฮโดรไลเสตสูง รวมถึงการติดตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมชีวมวลสาหร่าย

สาหร่ายขนาดเล็ก *Spirulina platensis* IFRPD 1182 ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการเพาะเลี้ยงและเตรียมชีวมวลเซลล์ตามวิธีการของ Pan-utai และ Iamtham[17] โดยเพาะเลี้ยงกล้าเชื้อสาหร่ายสไปรูลิน่าในอาหารเหลว Zarrouk ภายในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-14 วัน ก่อนการเพาะเลี้ยงระบบเปิดในอ่างขนาด 500 ลิตร โดยใช้กล้าเชื้อสไปรูลิน่าปริมาตรร้อยละ 10 ในอาหารเหลว Zarrouk ที่มีปริมาตรทำงานที่ 200 ลิตร เป็นเวลา 15-20 วัน สาหร่ายจะเจริญเข้าสู่ระยะ exponential ทำการเก็บเกี่ยวด้วยผ้ากรองไนลอนขนาด 60 ไมโครเมตร ล้างเซลล์ด้วยน้ำสะอาด จากนั้นอบแห้งสไปรูลิน่าในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง นำชีวมวลสไปรูลิน่าที่ถูกอบแห้งแล้วบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตร (ZM-1, Retsch, Haan, Germany) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 2. การศึกษาเบื้องต้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยวิธีทางเอนไซม์

ทำการศึกษาการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยแปรผันชนิดของเอนไซม์ทางการค้า ได้แก่ 1) เอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase®, Novozyme, Switzerland) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และ 2) เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส (alkaline protease, iKnowZyme, Reach Biotechnology, Thailand) ในสารละลาย Tris-HCl บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

เท่ากับ 9 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ภายใต้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารละลายบัฟเฟอร์ (มวล/ปริมาตร) เท่ากับร้อยละ 2.4 และ 4.8 ทำการเก็บตัวอย่างในระยะเวลา 0, 30 และ 60 นาที จากนั้นหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และทำให้เย็นลง เก็บส่วนสารละลายเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสลงในหลอดใหม่ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ต่อไป

**3. การวิเคราะห์โปรตีน**

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากตัวอย่างโดยใช้วิธีการแบรดฟอร์ด (Bradford method)[18] โดยผสมตัวอย่างหรือสารมาตรฐานปริมาตร 40 ไมโครลิตรกับสารละลาย Bradford (Bio-Rad Protein Assay Dye Reagent Concentrate, Bio-Rad Laboratories Ltd., Thailand) ปริมาตร 160 ไมโครลิตร ทำการบ่มส่วนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (M965+, Microplate reader, Metertech, Taiwan) โดยใช้ Bovine serum albumin (BSA) เป็นโปรตีนมาตรฐาน

**4. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด**

ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยการผสมตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานปริมาตร 20 ไมโครลิตรกับสารละลาย Folin-Ciocalteu (ความเข้มข้น 0.2 นอร์มัล) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (ความเข้มข้น 0.7 โมลาร์) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ทำการบ่มส่วนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (M965+, Microplate reader, Metertech, Taiwan) ใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่างแห้ง (mg GAE/g DW)

**5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics (Version 25.0) แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ผลการทดลอง**

จากการย่อยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยการใช้เอนไซม์ในกลุ่มเอนโดเปปติเดส คือ อัลคาเลสและอัลคาไลน์-โปรตีเอสที่อัตราส่วนน้ำหนักเอนไซม์ต่อปริมาตรบัฟเฟอร์เท่ากับร้อยละ 2.4 และร้อยละ 4.8 โดยอัลคาเลสย่อยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ส่วนอัลคาไลน์โปรตีเอสย่อยที่อุณหภูมิ 45 องศา-

เซลเซียส เก็บตัวอย่างในนาทีที่ 0, 30 และ 60 ตามลำดับ เพื่อติดตามพารามิเตอร์ของโปรตีนไฮโดรไลเสตระยะการย่อย ได้แก่ ความเข้มข้นโปรตีน ผลผลิตโปรตีนที่ได้ รวมถึงสารประกอบฟินอลิกรวมในโปรตีนไฮโดรไลเสต ผลของโปรตีนที่ได้พบว่า การย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ใช้อัตราส่วนร้อยละ 2.4 มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง โดยมีความเข้มข้นโปรตีนเท่ากับ 0.49, 0.47 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ และการเพิ่มอัตราส่วนเอนไซม์เป็นร้อยละ 4.8 มีโปรตีน 0.58, 0.49 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ (Figure 1) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนจากการย่อยโดยใช้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการย่อยโดยใช้เอนไซม์อัลคาเลส ในการย่อยโดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 2.4 พบความเข้มข้นของโปรตีนในนาทีที่ 0 เท่ากับ 5.59 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และลดลงเป็น 4.92 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในนาทีที่ 30 และมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อย่อยนาน 60 นาที (6.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ในการใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.8 ความเข้มข้นโปรตีนที่ได้ในนาทีที่ 0 และ 30 มีค่าเท่ากันคือ 6.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 ย่อยนาน 60 นาที อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนลดลงเหลือเพียง 5.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อย่อยนาน 60 นาที (Figure 1) ถึงแม้ว่าการแปรผันชนิดของเอนไซม์แตกต่างกันจะส่งผลต่อผลผลิตที่ได้แตกต่างกัน แต่ความเข้มข้นเอนไซม์และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ได้ใกล้เคียงกัน

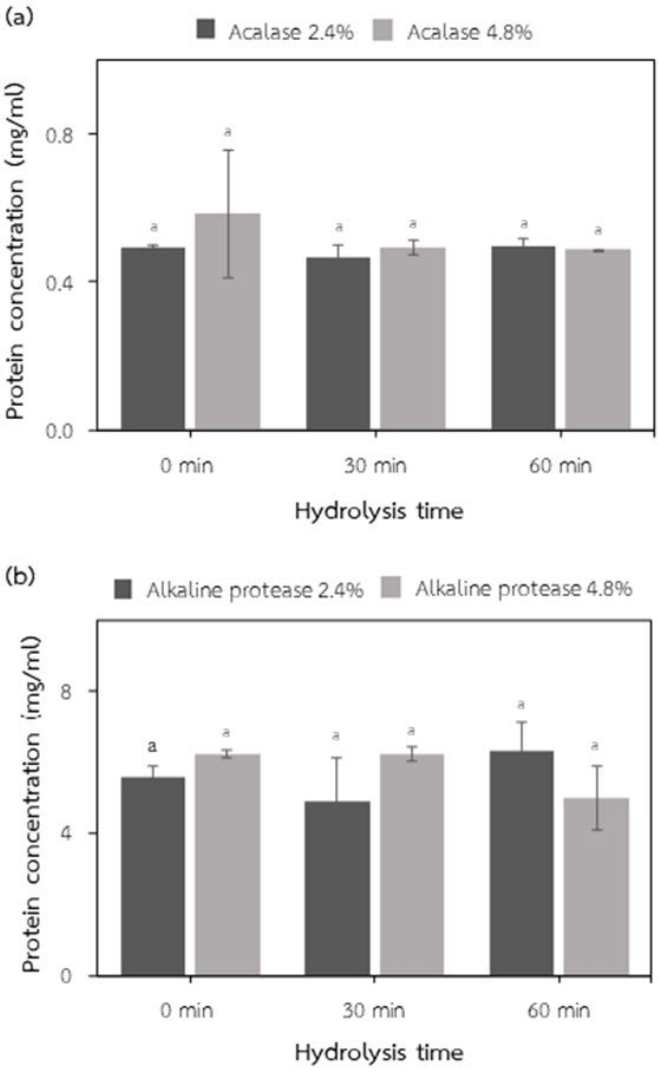


**Figure 1** Protein hydrolysates from *S. platensis* IFRPD 1182 under various conditions, including Acalase® (a) and alkaline protease (b)

เมื่อคำนวณผลผลิตโปรตีนจากแต่ละตัวอย่างการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสความเข้มข้นร้อยละ 2.4 ได้ผลผลิตโปรตีน 9.97, 9.30 และ 9.96 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ใกล้เคียงกับการใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 4.8 ซึ่งผลผลิตของโปรตีนสูงสุดพบในนาทีที่ 0 โดยมีความเข้มข้นโปรตีนเท่ากับ 11.68 มิลลิกรัมต่อกรัม และลดลงเป็น 9.85 และ 9.72 มิลลิกรัมต่อกรัม ของการ

เก็บตัวอย่างในนาทีที่ 30 และ 60 ตามลำดับ (Figure 2) แต่ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่ได้จากการย่อยโดยใช้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสมีผลผลิตโปรตีนที่สูงกว่า โดยการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 จะเห็นได้ว่าจากการย่อยในนาทีที่ 0 และ 30 ได้ผลผลิตทางโปรตีนเท่ากับ 111.86 และลดลงเป็น 98.37 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ส่วนผลผลิตที่ได้จากนาทีที่ 60 (126.58 มิลลิกรัมต่อกรัม) มีค่าไม่แตกต่างจากการย่อยโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 4.8 ในนาทีที่ 0 และ 30 (124.90 มิลลิกรัมต่อกรัม) อย่างไรก็ตามผลผลิตโปรตีนลดลงเป็น 99.96 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อย่อยนาน 60 นาที (Figure 2)

ผลของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของการย่อยด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือ การใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อย ส่วนในการใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ร้อยละ 4.8 มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับในนาทีที่ 0 และ 30 แต่ลดลงในนาทีที่ 60 อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของเอนไซม์สองชนิดมีความแตกต่างกัน โดยการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของเอนไซม์อัลคาเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 มีการเพิ่มขึ้นในนาทีที่ 0, 30 และ 60 เป็น 20.13, 32.29 และ 38.91 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ และการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 4.8 พบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเป็น 26.80 และ 33.06 จากนั้นลดลงเป็น 30.90 มิลลิกรัมต่อกรัม (Figure 3) จะเห็นได้ว่า การย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสความเข้มข้นร้อยละ 2.4 นาน 60 นาที มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด (38.91 มิลลิกรัมต่อกรัม) ในขณะที่การย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสความเข้มข้นร้อยละ 2.4 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อย่อยนานขึ้น (10.62, 13.82 และ 15.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) แต่การใช้เอนไซม์ด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 2.4 และ ร้อยละ 4.8) ให้ปริมาณฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน (Figure 3)

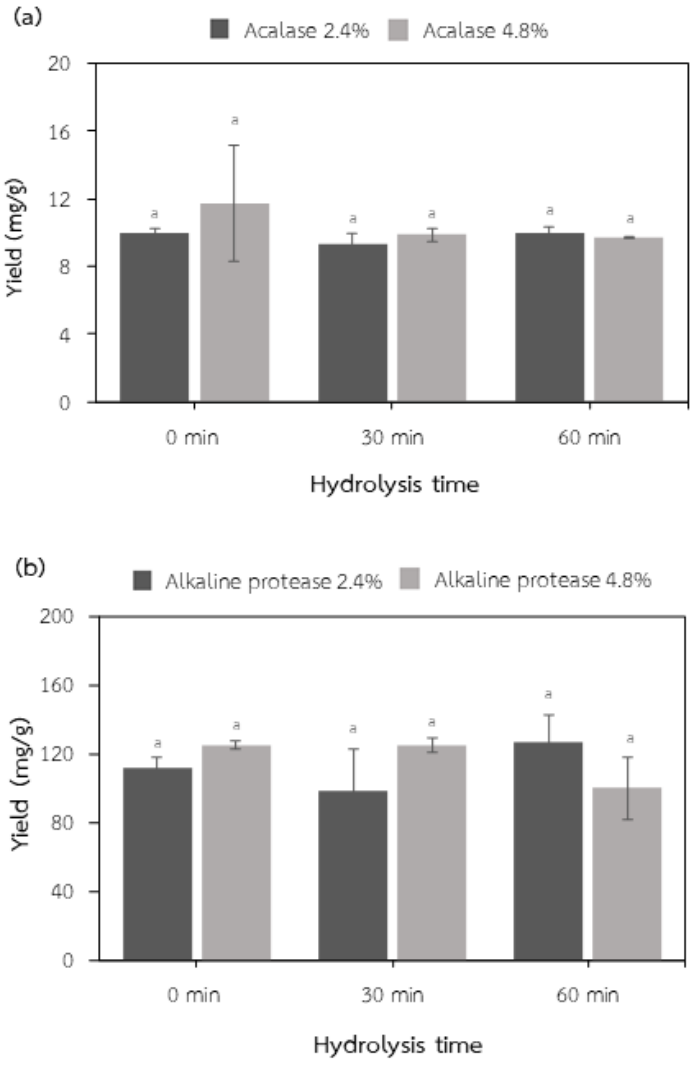


**Figure 2** Yield of protein hydrolysates from *S. platensis* IFRPD 1182 under various conditions, including Acalase® (a) and alkaline protease (b)

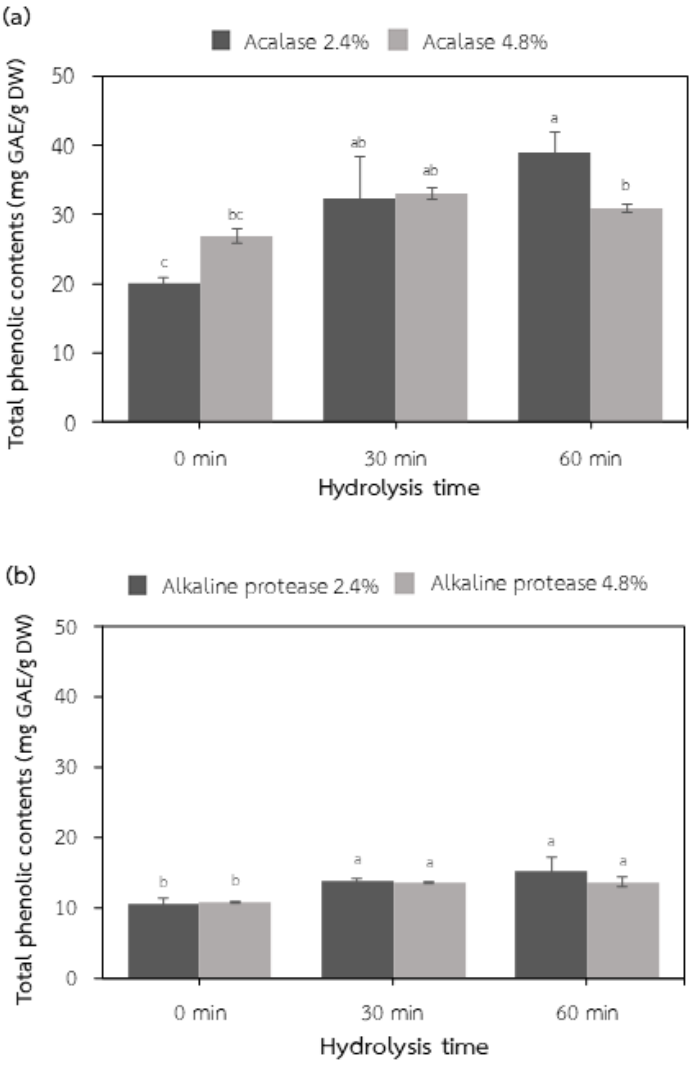


**Figure 3** Total phenolic contents of protein hydrolysates from *S. platensis* IFRPD 1182 under various conditions, including Acalase® (a) and alkaline protease (b)

## อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การควบคุมสภาวะระหว่างกระบวนการย่อย สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันของโปรตีนได้[19] ในการศึกษาครั้งนี้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยวิธีทางเอนไซม์ โดยมีการผันแปรชนิดเอนไซม์ 2 ชนิด และความเข้มข้นเอนไซม์ 2 ระดับ คือ อัลคาเลสและอัลคาไลน์โปรตีเอสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 และ 4.8 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบพบว่า ปริมาณโปรตีนที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสมีปริมาณสูงสุดถึง 6.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่การย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 0.58 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเท่านั้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่เอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผงซักฟอกหรือเครื่องหนัง แต่ยังไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหาร[20] อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอัลคาไลน์โปรตีเอสสามารถย่อยให้ผลผลิตโปรตีนที่สูง มีการศึกษาที่เปรียบเทียบเปปไทด์ที่ได้จากการย่อยสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยเอนไซม์โปรตีเอสกับเอนไซม์ชนิดอื่น พบว่า มีความเข้มข้นของเปปไทด์ 1.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูงกว่าเปปไทด์จากปาเปนและเปปซินที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.92 และ 0.94 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ[21] นอกจากนี้อัลคาไลน์โปรตีเอสมีความสามารถในการย่อยได้ดีกว่าเอนไซม์ทริปซินและเปปซิน โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับเอนไซม์ปาเปน โดยย่อยด้วยอัลคาไลน์โปรตีเอสก่อนและตามด้วยปาเปน จะช่วยส่งเสริมให้การย่อยประสิทธิภาพยิ่งขึ้น[10] เอนไซม์อัลคาเลสถือเป็นเอนไซม์ที่มีการยอมรับถึงประสิทธิภาพสำหรับการย่อยเพื่อสกัดโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยมีระดับการย่อยที่เหมาะสมและได้เปปไทด์ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ[3,22] จากผลผลิตปริมาณโปรตีนที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสต่ำกว่าเอนไซม์

อัลคาไลน์โปรตีเอสสอดคล้องกับการศึกษาของ Fan และ Cui[23] โดยการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำกว่าเอนไซม์ปาเปน เอนไซม์เปปซิน และเอนไซม์ทริปซิน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาดัง Table 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณโปรตีนจากโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลส ส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสชนิดต่าง ๆ

**Table 1** Yield of protein hydrolysates in various conditions

| Microalgae | Enzyme | pH / Temperature | Protein hydrolysates | References |
|---|---|---|---|---|
| *S. platensis* IFRPD 1182 | Alcalase<br>Alkaline protease | 7 / 70<br>9 / 45 | 0.58 mg/g<br>6.33 mg/g | This study |
| *S. platensis* | Alkaline protease | 8 / 55 | 65% | (24) |
| *S. platensis* | Alcalase | 6.5 / 30 | 50.96% | (25) |
| *S. platensis* | Alcalase | 6.5 / 30 | 36.5% | (26) |
| *Spirulina sp.* LEB 18 | Protemax 580L | 9.5 / 60 | 55.46% | (27) |
| *S. platensis* | Promod 184 MDP | 7 / 55 | 64.71% | (28) |
| *S. platensis* | Alcalase | 8 / 45 | 108 mg/g | (29) |
| *S. platensis* | Protease from bactertia | 7 / 37 | (soluble peptide) 1.10 mg/g | (21) |
| *S. platensis* | Alcalase<br>Protamex | 8.5 / 50<br>8 / 40 | 30.62%<br>34.45% | (23) |

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า โปรตีนที่ย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณสูงกว่าเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส โดยมีปริมาณสูงสุดคือ 38.91 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 15.12 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากการย่อยด้วยเอนไซม์ทริปซินเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 35.57 มิลลิกรัมต่อกรัม[30] ซึ่งในการศึกษานี้การย่อยด้วยอัลคาเลสใช้เวลาในการย่อยเพียง 60 นาที และได้ปริมาณฟีนอลิกสูงกว่า จากผลการศึกษานี้อาจกล่าวได้ว่า เอนไซม์อัลคาเลสอาจมีศักยภาพในการย่อยดีกว่าเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส เนื่องจากการย่อยที่มีระดับการย่อยสูงกว่าสามารถปลดปล่อยปริมาณฟีนอลิกได้สูงกว่า[31] ทั้งนี้ปริมาณของฟีนอลิกขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของสาหร่ายและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะการสกัดและการแปรรูป[31]

## บทสรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้เอนไซม์อาหารทางการค้าในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยแปรผันชนิดและความเข้มข้นเอนไซม์พบว่า ส่งผลต่อโปรตีนไฮโดรไลเสตจากสาหร่ายสไปรูลิน่าที่แตกต่างกัน ความเข้มข้น

และผลผลิตของโปรตีนแตกต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามผลของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าผลผลิตทางโปรตีนที่สูงไม่สัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิก สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนไฮโดรเสตด้วยวิธีทางเอนไซม์ทั้งสองชนิดคือ เอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.4 ใช้ระยะเวลาในการย่อยนาน 60 นาที ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดและได้ปริมาณฟีนอลิกสูงสุดในแต่ละเอนไซม์ นอกจากนี้การนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติของโปรตีนไฮโดรไลเสตต่อไป เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม

**เอกสารอ้างอิง**

1. Bortolini DG, Maciel GM, Fernandes IdAA, Pedro AC, Rubio FTV, Branco IG, et al. Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends. Food Chem: Mol Sci. 2022;5:100134.
2. Gur J, Mawuntu M, Martirosyan D. FFC's advancement of functional food definition. Funct Foods Health Dis. 2018;8(7):385-97.
3. Akbarbaglu Z, Ayaseh A, Ghanbarzadeh B, Sarabandi K. Techno-functional, biological and structural properties of *Spirulina platensis* peptides from different proteases. Algal Res. 2022;66:102755.
4. Jie Y, Yuanliang H, Mingxiong X, Yaohao D, Shenao L, Nan P, et al. Purification and identification of antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of *Spirulina platensis*. J Microbiol Biotechn. 2016;26(7):1216-23.
5. Akbarbaglu Z, Ayaseh A, Ghanbarzadeh B, Sarabandi K. Biological stabilization of Arthrospira bioactive-peptides within biopolymers: Functional food formulation; bitterness-masking and nutritional aspects. LWT. 2024;191:115653.
6. Vo T-S, Ngo D-H, Kim S-K. Chapter 19 - Nutritional and pharmaceutical properties of microalgal *Spirulina*. In: Kim S-K, editor. Handbook of Marine Microalgae. Boston: Academic Press; 2015. p. 299-308.
7. Zhang N, Li F, Zhang T, Li C-Y, Zhu L, Yan S. Isolation, identification, and molecular docking analysis of novel ACE inhibitory peptides from *Spirulina platensis*. Eur Food Res Technol. 2022;248(4):1107-15.
8. Moghadamzadegan S, Emtyazjoo M, Sadeghi M, Rabbani M. Evaluation of Anti-inflammatory Effects of bioactive peptides of *Spirulina platensis* extracted by animal cysteine protease enzyme in Mice Balb/C. J Anim Biol. 2021;13(4):119-32.
9. Wang Z, Zhang X. Inhibitory effects of small molecular peptides from *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* on cancer cell growth. Food Funct. 2016;7(2):781-8.
10. Sun Y, Chang R, Li Q, Li B. Isolation and characterization of an antibacterial peptide from protein hydrolysates of *Spirulina platensis*. Eur Food Res Technol. 2016;242(5):685-92.
11. Bingli Z, Cui Y, Xiaodan F, Qi P, Liu C, Zhou X, et al. Anti-obesity effects of *Spirulina platensis* protein hydrolysate by modulating brain-liver axis in high-fat diet fed mice. PLOS ONE. 2019;14:e0218543.
12. Lee C-W, Chang YB, Park CW, Han SH, Suh HJ, Ahn Y. Protein hydrolysate from *Spirulina platensis* prevents dexamethasone-induced muscle atrophy via Akt/Foxo3 signaling in C2C12 myotubes. Marine Drugs [Internet]. 2022; 20(6).
13. Akbarian M, Khani A, Eghbalpour S, Uversky VN. Bioactive Peptides: Synthesis, Sources, Applications, and Proposed Mechanisms of Action. Int J Mol Sci. 2022;23(3).
14. Nasri M. Chapter Four - Protein hydrolysates and biopeptides: production, biological activities, and applications in foods and health benefits. a review. In: Toldrá F, editor. Advances in Food and Nutrition Research. 81: Academic Press; 2017. p. 109-59.
15. Noreen S, Siddiqa A, Fatima R, Anwar F, Adnan M, Raza D-A. Protease production and purification from agro industrial waste by utilizing *Penicillium digitatum*. Int J Appl Biol Forensic. 2017;1(4):119-29.

16. Rao MB, Tanksale AM, Ghatge MS, Deshpande VV. Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. Microbiol Mol Biol Rev. 1998;62(3):597-635.
17. Pan-utai W, Iamtham S, Boonbumrung S, Mookdasanit J. Improvement in the sequential extraction of phycobiliproteins from *Arthrospira platensis* using green technologies. Life [Internet]. 2022; 12(11).
18. Pan-utai W, Pantoa T, Roytrakul S, Praiboon J, Kosawatpat P, Tamtin M, et al. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant potential of valuable protein from *Ulva rigida* macroalgae. Life. 2023; 13(1).
19. Forutan M, Hasani M, Hasani S, Salehi N. Antioxidative activity and functional properties of enzymatic protein hydrolysate of *Spirulina platensis*. J Food Biosci Technol. 2023;13(1):75-89.
20. Sharma M, Gat Y, Arya S, Kumar V, Panghal A, Kumar A. A review on microbial slkaline protease: an essential tool for various industrial approaches. Ind Biotechnol. 2019;15:69-78.
21. Niknam H, Fathi F, Mahboubi A, Tabarzad M. Antioxidant activity of peptides derived from enzymatic digestion of *Spirulina platensis* protein extract by different proteases : antioxidant activity of protein digests of *S. platensis*. Trends Pept Protein Sci. 2022;7:1-7 (e6).
22. Shishavan MM, Mirdamadi S, Ofoghi H. Antioxidant activity of alcalase hydrolysates of *Spirulina proteins*. Microbiol Metab Biotechnol. 2019;2(2):109-18.
23. Fan X, Cui Y, Zhang R, Zhang X. Purification and identification of anti-obesity peptides derived from *Spirulina platensis*. J Funct Foods. 2018;47:350-60.
24. Ouyang K, Chen Q, Xie H, Zhang Q, Tao L, Xiong H, et al. *Arthrospira* cell residue valorization: a study on protein hydrolysate production by limited enzymatic hydrolysis. Food Biosci. 2023;56:103264.
25. Verni M, Dingeo C, Rizzello CG, Pontonio E. Lactic acid bacteria fermentation and endopeptidase treatment improve the functional and nutritional features of *Arthrospira platensis*. Front Microbiol. 2021;12.
26. Verdasco-Martín CM, Echevarrieta L, Otero C. Advantageous preparation of digested proteic extracts from *Spirulina platensis* biomass. Catalysts. 2019; 9(2).
27. Silva PCd, Toledo T, Brião V, Bertolin TE, Costa JAV. Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga *Spirulina* sp. LEB 18. Food Biosci. 2021;42:101031.
28. Maag P, Dirr S, Özmutlu Karslioglu Ö. Investigation of bioavailability and food-processing properties of *Arthrospira platensis* by enzymatic treatment and micro-encapsulation by spray drying. Foods. 2022; 11(13).
29. Forutan M, Hasani M, Hasani S, Salehi N, Sabbagh F. Liposome system for encapsulation of *Spirulina platensis* protein hydrolysates: controlled-release in simulated gastrointestinal conditions, structural and functional properties. Materials. 2022; 15(23).
30. Yücetepe A, Kasapoğlu K, Ozcelik B. Angiotensis-I-converting enzyme inhibitory and antioxidant activity of tryptic *Spirulina platensis* protein hydrolysates: effect of hydrolysis and in vitro gastrointestinal digestion. Ecol Life Sci (NWSAELS). 2018;13(3):151-62.
31. Guldas M, Ziyanok S, Sahan Y, Yıldız E, Gurbuz O. Antioxidant and anti-diabetic properties of *Spirulina platensis* produced in Turkey. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2021;41:615-25.

# ไซโคไบโอติก : ทางเลือกสำหรับการควบคุมสุขภาพจิตและอารมณ์

**จุฑามาศ กลิ่นโซดา**

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrjmk@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 27 ธันวาคม 2566 **แก้ไขเมื่อ** 14 มีนาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- ไซโคไบโอติก หมายถึง จุลินทรีย์ลำไส้ที่มีปฏิสัมพันธ์กันก่อให้เกิดคุณประโยชน์ต่อสุขภาพจิต
- ไซโคไบโอติก สร้างสารสื่อประสาทและฮอร์โมนในการส่งสัญญาณระหว่างลำไส้กับสมองผ่านกลไกทางภูมิคุ้มกันวิทยา ต่อมไร้ท่อ และระบบประสาทส่วนกลาง จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการตอบสนองด้านอารมณ์
- ไซโคไบโอติก รวมถึง โพรไบโอติกและพรีไบโอติก ที่มีผลต่อการสื่อสารของจุลินทรีย์ลำไส้และสมอง ซึ่งมีผลดีต่อด้านอารมณ์ การรับรู้ และการวิตกกังวล

**บทคัดย่อ**

ไซโคไบโอติก เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมการส่งสัญญาณประสาทระหว่างจุลินทรีย์ลำไส้และสมอง แบบสองทิศทางระหว่างระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS) กับระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนสุขภาพจิตของมนุษย์เชิงบวกทั้งอารมณ์ ความวิตกกังวลและการรับรู้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมดุลไมโครไบโอมในลำไส้จึงเกี่ยวข้องกับสุขภาพสมองและมีผลกระทบต่อสุขภาพจิต การบริโภคไซโคไบโอติกในรูปของโพรไบโอติก เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli ส่งผลต่อสารสื่อประสาท (neurotransmitters) ในสมอง มีหลักฐานว่า ไซโคไบโอติกให้ผลดีต่อการรักษาสุขภาพจิต ทำให้ไซโคไบโอติกถูกใช้ในการบำบัดรักษาอาการทางจิตเวช เช่น ภาวะโรคซึมเศร้า ลดความเครียด ลดความวิตกกังวล บำบัดอาการนอนไม่หลับ เป็นต้น ประสิทธิผลของไซโคไบโอติกต่อสุขภาพจิตอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์หรือการรวมกันของสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ใช้ ตลอดจนปัจจัยส่วนบุคคล เช่น องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นพื้นฐานของบุคคล และสุขภาพโดยรวม

**คำสำคัญ :** ไซโคไบโอติก โพรไบโอติก สุขภาพจิต ผลกระทบต่ออารมณ์

# Psychobiotics : alternative approach for controlling mental health and mood

## Jutamat Klinsoda

Department of Applied Microbiology,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrjmk@ku.ac.th
**Received** 27 December 2023; **Revised** 14 March 2024; **Accepted** 18 March 2024

### Highlights

- Psychobiotics refer to gut microbes used to benefit mental health through interactions with commensal gut bacteria
- Psychobiotics fit into the gut-brain axis producing neurotransmitters or neuro-hormones transmission via immune, hormones, and central nervous system (CNS), which plays a key role in mood regulation
- Psychobiotics include probiotics and prebiotics that can manipulate microbiota-gut-brain signals and have positive effects on mood, cognition, and anxiety

### Abstract

Psychobiotics refer to gut microbes producing neurotransmitters between microbiota-gut-brain axis to central nervous system (CNS) which plays a key role in positive effects on mood, and anxiety and cognition. Change in gut symbiosis reflects the brain and mental health. Consumption of psychobiotics through probiotic supplements or foods (e.g. Bifidobacteria and Lactobacilli) results in change in neurotransmitters in the brain. Psychobiotics potentially improve mental health; therefore, supplementing with a probiotic may be worth considering as one part of a comprehensive mental health treatment plan for depression, stress reduction, anxiety reduction and good sleep. The efficiency of signaling on mental health from psychobiotics is strain-dependent whether single strain or mixed strain is used. Also, these results depend on personal response, which differ in the link between their gut microbiome and health.

**Keywords :** psychobiotics, probiotics, mental health, mood effect

## บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์ใช้เวลาส่วนใหญ่หมดไปกับการทำงาน ด้วยวิถีชีวิตการทำงานที่ต้องรีบเร่ง นั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน มากกว่าวันละ 7 ชั่วโมง ภายในพื้นที่และสภาพแวดล้อมที่จำกัด ก่อให้เกิดโรคอื่น ๆ ตามมาได้ เช่น โรคอ้วน โรคเครียด โรคซึมเศร้า เป็นต้น เมื่อเราหลีกเลี่ยงวิถีชีวิตดังกล่าวไม่ได้ การเลือกรับประทานอาหารหรืออาหารเสริมที่มีประโยชน์ ที่มีคุณสมบัติปรับสุขภาพจิตของมนุษย์ได้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะการเลือกรับประทานอาหารหรืออาหารเสริมที่มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ เรียกว่า โพรไบโอติก (probiotics) และ พรีไบโอติก (prebiotics) ซึ่งโพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสม ขณะที่พรีไบโอติกส่งเสริมการเจริญของโพรไบโอติก ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนและสร้างสารเมตาบอไลท์ต่าง ๆ จากกระบวนการหมักในลำไส้ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน การป้องกันโรคต่าง ๆ เป็นต้น จากการค้นพบคุณสมบัติของโพรไบโอติกที่สามารถปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารซึ่งเชื่อมโยงกับการทำงานของสมอง ปัจจุบันได้มีงานวิจัยเชิงลึกเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในลำไส้ที่มีผลต่อสมองและระบบประสาท จึงได้รับความนิยมและนำไปสู่การค้นพบ “ไซโคไบโอติก” (psychobiotics) เป็นจุลินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการคิด พฤติกรรม และอารมณ์[1] จึงมีการนำมาใช้ปรับสุขภาพจิตและอารมณ์ของมนุษย์โดยเริ่มจากปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้จากการรับประทานอาหารหรืออาหารเสริม

## นิยาม

ไซโคไบโอติก หมายถึง จุลินทรีย์ลำไส้ที่มีปฏิสัมพันธ์กันก่อให้เกิดคุณประโยชน์ต่อสุขภาพจิต[2] ซึ่งไซโคไบโอติกครอบคลุมกลุ่มของจุลินทรีย์โพรไบโอติก และจุลินทรีย์ลำไส้ที่มีความสามารถในการควบคุมการส่งสัญญาณระหว่างจุลินทรีย์ลำไส้ และสมอง[1] มีการสื่อสารแบบสองทิศทางระหว่างระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system, CNS) กับระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนสุขภาพจิตของมนุษย์เชิงบวกทั้งอารมณ์ความวิตกกังวล และการรับรู้[3-4] ในการสื่อสารมีความเชื่อมโยงกับความสมดุลของลำไส้ (gut symbiosis) ไซโคไบโอติกเป็นประเด็นใหม่ที่ยังต้องการศึกษาและทำความเข้าใจถึงกระบวนการการส่งสัญญาณต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ ลำไส้ ประสาท และสมอง ซึ่งเป็นเรื่องซับซ้อนมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการศึกษาเรื่องสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติต่อสุขภาพจิตและอารมณ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอาหาร อาหารเสริม และการรักษาโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับสภาวะทางจิตใจ

**ไซโคไบโอติกและการสื่อสารแบบสองทางระหว่างลำไส้และสมอง (Gut–Brain Axis)**

จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารมีจำนวนกว่า 30,000 สายพันธุ์ ทำหน้าที่ปล่อยโมเลกุลสารสื่อประสาทจำนวนมาก[5] โดยจุลินทรีย์ในลำไส้กลุ่มที่เป็นไซโคไบโอติกสามารถสื่อสารกับสมองผ่านกลไกทางภูมิคุ้มกันวิทยา ต่อมไร้ท่อ และระบบประสาทส่วนกลาง จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น การย่อยอาหาร การดูดซึม และการกำจัดสิ่งแปลกปลอม ตลอดจนส่งผลต่อการตอบสนองด้านอารมณ์ พฤติกรรม และการทำงานของการรับรู้[3] การรักษาสภาวะสมดุลในระบบทางเดินอาหารมีความเกี่ยวข้องกับสุขภาพสมองและการทำงานร่วมกันที่ซับซ้อนระหว่างจุลินทรีย์ในลำไส้และระบบประสาทส่วนกลางมีผลต่อสัญญาณต่าง ๆ ที่กระทบต่อสุขภาพจิต กลไกสำคัญที่จุลินทรีย์ในลำไส้มีอิทธิพลต่อสุขภาพจิตคือ[1]

**1. การผลิตและการควบคุมสารสื่อประสาท**

ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ในลำไส้เกี่ยวข้องกับการผลิตเซโรโทนิน (serotonin) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมอารมณ์ โดยเซโรโทนินในร่างกายส่วนใหญ่ผลิตขึ้นในลำไส้ และระดับของเซโรโทนินนั้นได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ นอกจากนี้จุลินทรีย์ในลำไส้ยังเกี่ยวข้องกับการผลิตสารสื่อประสาทอื่น ๆ เช่น โดปามีน (dopamine) และกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (gamma aminobutyric acid, GABA) ซึ่งมีต่ออารมณ์และการควบคุมความเครียดของมนุษย์ ความไม่สมดุลของสารสื่อประสาทเหล่านี้เชื่อมโยงกับสภาวะต่าง ๆ เช่น ความวิตกกังวลและภาวะซึมเศร้า เป็นต้น

**2. อิทธิพลต่อการตอบสนองต่อความเครียด**

การวิจัยชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถส่งผลต่อการตอบสนองของร่างกายต่อความเครียดได้ นำไปสู่การเกิดความวิตกกังวล อาการซึมเศร้า และสภาวะสุขภาพจิตอื่น ๆ ได้

**3. การปรับระบบภูมิคุ้มกัน**

จุลินทรีย์ในลำไส้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระบบภูมิคุ้มกันสมดุลจุลินทรีย์ที่เรียกว่า Symbiosis ถ้าเกิดสภาวะไม่สมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Dysbiosis) สามารถนำไปสู่การอักเสบทั่วร่างกาย ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาความผิดปกติทางอารมณ์และความบกพร่องทางสติปัญญา

**4. บทบาทในการอักเสบของระบบประสาท**

ความไม่สมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้มีความเกี่ยวข้องกับการอักเสบของระบบประสาท ภาวะไม่สมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถเปลี่ยนการทำงานของแกน HPA (hypothalamic pituitary adrenal axis) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทต่อมไร้ท่อ นำไปสู่การตอบสนองต่อความเครียดที่เกินจริง และมีส่วนทำให้เกิดความวิตกกังวลและความผิดปกติทางอารมณ์ ซึ่งมีรายงานการเชื่อมโยงกับความผิดปกติทางระบบประสาทและจิตเวชต่าง ๆ

**5. ผลต่อการพัฒนาสมอง**

หลักฐานที่เกิดขึ้นใหม่บ่งชี้ว่าจุลินทรีย์ในลำไส้มีอิทธิพลต่อการพัฒนาและการทำงานของสมอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวิกฤตของการพัฒนาทางระบบประสาทในวัยเด็ก ประสิทธิผลของการใช้ไซโคไบโอติกต่อสุขภาพจิตอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์หรือการรวมกันของสายพันธุ์จุลินทรีย์ ตลอดจนปัจจัยส่วนบุคคล เช่น องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นพื้นฐานของบุคคล และสุขภาพโดยรวม เป็นต้น แม้จะมีการค้นพบแนวโน้มที่ดีในการรักษาอาการทางจิตหรือการบรรเทาความผิดปกติทางอารมณ์ ความวิตกกังวล และความเครียด ในการปรับสมดุลจุลินทรีย์โดยไซโคไบโอติก[6-7] ยังต้องทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของไมโครไบโอม ลำไส้ และสมอง ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้ไซโคไบโอติก โพรไบโอติก พรีไบโอติกอย่างเหมาะสมต่อการทำงานของลำไส้และการทำงานด้านการรับรู้ของสมอง เพื่อให้มีผลดีต่อการรักษาด้านการควบคุมอารมณ์และสุขภาพจิต[8] นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าในอนาคตการใช้ไซโคไบโอติกจะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการรักษาแบบใหม่ในผู้ป่วยที่มีสภาวะที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพสมอง สุขภาพจิต และการทำงานของระบบทางเดินอาหาร[9]

**ประโยชน์ของไซโคไบโอติก**

จากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์มีรายงานว่าระบบลำไส้และระบบสมองมีความเชื่อมโยงกัน งานวิจัยทางการแพทย์พบว่า ผู้ป่วยที่เป็นโรคลำไส้แปรปรวน (Inflammatory bowel disease) มีความเชื่อมโยงกับปัญหาทางจิตใจ ซึ่งแพทย์มักจะทำการรักษาทั้งทางด้านจิตใจและด้านสภาพการเจ็บป่วยทางร่างกายไปพร้อมกัน เพื่อช่วยรักษาระบบย่อยอาหาร อารมณ์ และจิตใจ ปัจจุบันไซโคไบโอติกเป็นโพรไบโอติกที่มีคุณสมบัติในการบำบัดรักษาอาการทางจิตเวช เช่น ภาวะโรคซึมเศร้า ลดความเครียด ลดความวิตกกังวล บำบัดอาการนอนไม่หลับ[1] เป็นต้น ตัวอย่างการทดสอบในสัตว์ทดลอง *Bifidobacterium infantis* ช่วยปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกัน แสดงความสัมพันธ์กับเชื้อโพรไบโอติก สามารถลดความเศร้าได้ในหนูทดลอง[1] นอกจากนี้การศึกษาในหนูทดลองที่ได้รับประทาน *Lactobacillus rhamnosus* พบว่า หนูมีความเครียดและวิตกกังวลน้อยกว่ากลุ่มหนูที่ไม่ได้รับประทานเชื้อ โดยงานวิจัยสรุปว่า เชื้อ *L. rhamnosus* ส่งผลต่อการผลิตกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (GABA)[1] ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของสารสื่อประสาท neurotransmitters ในสมอง เพื่อการควบคุมสุขภาพจิตและอารมณ์ นอกจากนี้ทางการแพทย์ยังใช้ไซโคไบโอติกในรูปแบบของอาหารหรืออาหารเสริมเพื่อเพิ่มประโยชน์ต่อร่างกายดังนี้[1]

1. ปรับการย่อยอาหาร
2. ลดความเสี่ยงต่อการเสียความทรงจำ
3. ลดความเสี่ยงโรคหัวใจ
4. เพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

ตัวอย่างการทดลองไซโคไบโอติกในมนุษย์แสดงใน Table 1 เช่น *B. longum* 1714 ลดความเครียดและช่วยเรื่องความทรงจำในการทดลองในมนุษย์ จะเห็นว่า การบริโภคไซโคไบโอติกในรูปของโพรไบโอติก เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli ส่งผลต่อดีต่อสมองและสุขภาพจิต

**Table 1** The list of psychobiotics and their positive psycho effects[1]

| Psychobiotics | Observation psycho effect | Study model |
|---|---|---|
| *B. longum* 1714 | Decreased stress and enhanced memory | Clinical/N = 22 healthy male volunteers |
| *L. rhamnosus* (JB-1) | Decreased stress-related behaviors, corticosterone release, and altered expression of central GABA receptors | Clinical N = 29 healthy male volunteers |
| *L. gasseri* CP2305 | Improved the sleep quality | Clinical N = 21 male and N = 11 female healthy students |
| *L. plantarum* PS 128 | Improve opposition/defiance behaviors in Autism Spectrum Disorder (ASD) children | Clinical N = 80 children (7–15 age) with ASD |
| Multi-strain probiotics *(Bacillus coagulans Unique* IS2*, L. rhamnosus* UBLR58*, B. lactic* UBBLa70*, L. plantarum* UBLP40*, B. breve* UBBr01*, B. infantis* UBBI01*)* | Reduction in depression anxiety stress | Clinical N = 80 student (63 female and 17 male) |
| *L. casei* W56, *L.acidophilus* W22, *L. casei* W20, *B. lactis* W52, *L. plantarum* W62, *B. bifidum* W23 | Normalized the gut-microbiome composition, reduced inflammation and gastrointestinal discomfort | Clinical N = 60 patients with anorexia nervosa (13–19 years) |

**การปรับสมดุลไซโคไบโอติกด้วยอาหาร**

ปัจจัยด้านอาหารที่บริโภคมีผลกระทบต่อสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความเป็นอยู่ที่ดีทางจิต รูปแบบการบริโภคอาหารบางอย่าง เช่น อาหารที่มีเส้นใยสูงและอาหารจากพืชที่หลากหลาย ช่วยให้จุลินทรีย์ในลำไส้มีสุขภาพดีและอาจส่งผลดีต่อสุขภาพจิต ซึ่งจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถผลิตสารสื่อประสาทที่มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางผ่านการย่อยอาหาร[9] โดยเฉพาะกลุ่มเส้นใยอาหารได้ดังนี้

- *Bacillus* ผลิตโดปามีนและนอร์อะดรีนาลีน (Noradrenalin)
- Bifidobacteria ผลิตกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก
- *Enterococcus* และ *Streptococcus* ผลิตซีโรโทนิน

- *Escherichia* ผลิตนอร์อะดรีนาลีนและซีโรโทนิน
- Lactobacilli ผลิตกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริกและอะซีทิลคอลีน (acetylcholine)

ปัจจุบันแม้จะมีการศึกษาและการรับประทานอาหารที่มีไซโคไบโอติกซึ่งมีผลต่อสุขภาพจิตและอารมณ์ยังมีงานวิจัยรองรับไม่มาก เรื่องการแยกหน้าที่ของสารอาหารและจุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพจิตออกจากกันทำได้ยาก ทำให้การพิจารณาว่า การปรับสมดุลทางอารมณ์จากอาหารเป็นผลมาจากแร่ธาตุหรือจุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหารนั้น หรือจุลินทรีย์ไพรไบโอติกที่อยู่ในร่างกายของมนุษย์เป็นเรื่องซับซ้อน แต่ก็มีความเชื่อว่าการรับประทานอาหารที่มีจุลินทรีย์โพรไบโอติกหรือพรีไบโอติกจะช่วยปรับสุขภาพจิต ตัวอย่างอาหารบรรเทาความเครียด เช่น ผักและผลไม้ กลุ่มตระกูลกะหล่ำ ผลไม้สีเหลือง สีส้ม สีแดง อาหารหมักดอง[10] เช่น กิมจิ โยเกิร์ต ที่มีโพรไบโอติกหรือไซโคไบโอติก เป็นแหล่งอาหารที่มีส่วนช่วยในการบรรเทาความเครียดได้ เหมาะอย่างยิ่งกับคนที่พักผ่อนน้อย อ่อนเพลีย ทำงานหนัก ที่ส่งผลให้ร่างกายทำงานผิดปกติ การเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์เป็นทางเลือกหนึ่งในการบรรเทาความเครียดลงได้ โดยการปรับสมดุลไซโคไบโอติกอาหารที่สามารถบรรเทาความเครียดได้มีดังแสดงใน Table 2

**Table 2** Examples of foods containing psychobiotics with psychobiotic properties

| Foods | Psychobiotic properties | Psychobiotics found in foods |
|---|---|---|
| Fruits and vegetables (e.g., bananas, oranges, spinach, broccoli, guava, rice, and peanuts) | Cruciferous vegetables, red fruits, yellow/orange fruits, and legumes in substantial quantities, are associated with decreased stress levels.[11]<br><br>The concentration of magnesium in vegetables correlates with stress levels and adequate magnesium has been shown to effectively mitigate stress and induce muscle relaxation.[12]<br><br>Vegetables and fruits rich in vitamin C play a role in combating oxidative stress by scavenging free radicals and mitigating cortisol secretion, which is a hormone associated with stress.[11] | *Bacillus* |
| Gimchi | Gimchi contains amino acids that may have positive effects on mood and stress. Fermented vegetables products also have benefits for gut and brain function.[12] | Lactobacilli |

**Table 2** (continued)

| Foods | Psychobiotic properties | Psychobiotics found in foods |
|---|---|---|
| Fermented milk (e.g., Fermented milk and Yoghurt) | Fermented milk containing probiotics or prebiotics can alter brain function and modulate behaviors of anxiety and depression.[10] | Bifidobacteria<br>Lactobacilli<br>*Enterococcus*<br>*Streptococcus* |
| Dark chocolate | Polyphenols in cocoa have demonstrated efficacy in reducing stress levels in human experiencing high stress and those with normal health conditions.[13] | Support the growth of probiotics |
| Whole grains | Vitamin B functions in mood regulation through its facilitation of neurotransmitter synthesis, specifically serotonin, dopamine, and gamma-aminobutyric acid.[14] | *Bacillus*<br>Lactobacilli<br>*Enterococcus*<br>*Streptococcus* |

**โอกาสและอนาคตของไซโคไบโอติกทางการตลาด**

แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกให้มีคุณสมบัติไซโคไบโอติก สิ่งแรกที่ต้องคำนึงคือเป็นจุลินทรีย์ที่มีผลเชิงบวกต่อระบบย่อยอาหาร ส่วนเรื่องการมีผลต่อสุขภาพจิตหรืออารมณ์เป็นผลพลอยได้ เช่น การรักษาสุขภาพทางจิตโดยใช้ Bifidobacteria ผลิตภัณฑ์จึงควรมี Bifidobacteria และพรีไบโอติก เช่น อินูลิน ฟรุกโตโอลิโก-แซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharides, FOS) หรือ กาแล็กโทโอลิโกแซคคาไรด์ (galacto-oligosaccharides, GOS) เป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ที่ดีในร่างกายเรา เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของ Bifidobacteria ซึ่งให้ร่างกายได้รับประโยชน์สูงสุดจากการเติม Bifidobacteria

**Figure 1** Global Psychobiotics market from 2022 to 2033[15]

จาก Figure 1 เมื่อพิจารณาโอกาสทางการตลาดไซโคไบโอติกยังสามารถเติบโตได้ ในปี ค.ศ. 2022 จากมูลค่าทางการตลาด 138.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ สู่ 209.2 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายใน 10 ปี[15] เนื่องจากสังคมการทำงานของประชากรโลกที่เคร่งเครียด ประชากรจำนวนมากจึงสนใจสิ่งที่ช่วยลดสภาวะทางจิต ข้อมูลจาก google พบว่าการสืบค้นคำว่า “probiotic and mood” มีจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลมาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เรื่อง Bifidobacteria ต่อผลการรักษาสุขภาพจิต ที่มีออกมาเรื่อย ๆ จึงเป็นที่สนใจของประชากรทั่วโลก อีกทั้งการบริโภคอาหารที่มีไซโคไบโอติกในกลุ่มคนที่มีสภาวะซึมเศร้า วิตกกังวล สามารถรับประทานได้ทุกวัน เพื่อปรับสมดุลไมโครไบโอม หรือสามารถรับประทานเป็นยาภายใต้คำแนะนำของจิตแพทย์

## บทสรุป

ไซโคไบโอติกเป็นอีกทางเลือกในการนำมาใช้บำบัดและช่วยดูแลสุขภาพจิต และมีแนวโน้มที่ดีในการรักษาอาการทางจิตหรือการบรรเทาความผิดปกติทางอารมณ์ ความวิตกกังวล และความเครียด แต่การปรับสมดุลจุลินทรีย์โดยการใช้ไซโคไบโอติก โพรไบโอติก พรีไบโอติก ต่อการทำงานของลำไส้และการทำงานของการรับรู้ของสมอง เพื่อให้มีผลดีต่อการรักษาด้านการควบคุมอารมณ์และสุขภาพจิต ยังต้องมีการศึกษาอีกมาก เพราะการรบกวนสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความผิดปกติทางระบบประสาทและจิตเวช เช่น ความวิตกกังวล ภาวะซึมเศร้า และออทิสติก เป็นต้น คุณประโยชน์ของอาหารที่มีไซโคไบโอติกต่อสุขภาพจิตยังต้องมีการศึกษาต่อไป

**เอกสารอ้างอิง**

1. Oroojzadeh P, Bostanabad SY, Lotfi H. Psychobiotics: the influence of gut microbiota on the gut-brain axis in neurological disorders. J Molecular Neurosci. 2022;72(9):1952–64.
2. Naidoo U. This is your brain on food: an indispensable guide to the surprising foods that fight depression, anxiety, PTSD, OCD, ADHD, and more (an indispensible anxiety, PTSD, OCD, ADHD, and more). Little, Brown Spark; 2020.
3. Dinan TG, Stanton C, Cryan JF. Psychobiotics: a novel class of psychotropic. Biological Psychiatry. 2013;74: 720-6.
4. Evrensel A, Ünsalver BÖ, Ceylan ME Psychobiotics. In: Frontiers in psychiatry. Springer; 2019. p565-81.
5. หนังสือพิมพ์ประชาชาติ. ทำความรู้จัก “ไซโคไบโอติกส์” (Psychobiotics) ผู้กำกับ อารมณ์ และ สุขภาพจิต เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะซึมเศร้า (วันที่ 14 กันยายน 2565) เข้าถึงได้จาก https://www.prachachat.net/public-relations/news-1048622
6. Parracho HMRT, Bingham MO, Gibson GR, McCartney AL. Differences between the gut microflora of children with autistic spectrum disorders and that of healthy children. J Med Microbiol. 2005; 54:987-91.
7. Bercik P, Collins SM, Verdu EF. Microbes and the gut-brain axis. Neurogastroenterol Motil. 2012; 24:405-413
8. Zmora N, Soffer E, Elinav E. Transforming medicine with the microbiome. Sci Transl Med. 2019; 11(477):eaaw1815.
9. Sarkar A, Lehto SM, Harty S, Dinan TG, Cryan JF, Burnet PWJ. Psychobiotics and the manipulation of bacteria–gut–brain signals. Trends Neurosci. 2016; 39(11):763-81.
10. Sengun IY, Kirmizigul A. 2020. Probiotic potential of kombucha. J Funct Foods. 2020; 104284.

11. Radavelli-Bagatini S, Sim M, Blekkenhorst LC, Bondonno NP, Bondonno CP, Woodman R, et al. Associations of specific types of fruit and vegetables with perceived stress in adults: The ausdiab study. Eur J Nutr. 2022;61(6):2929–38.
12. Pickering G, Mazur A, Trousselard M, Bienkowski P, Yaltsewa N, Amessou M, et al. Magnesium status and stress: the vicious circle concept revisited. Nutr. 2020;12(12):3672.
13. Al Sunni A, Latif R. Effects of chocolate intake on perceived stress; a controlled clinical study. Int J Health Sci (Qassim). 2014;8(4):393-401.
14. Majeed M, Nagabhushanam K, Arumugam S, Majeed S, Ali F. *Bacillus coagulans* MTCC 5856 for the management of major depression with irritable bowel syndrome: a randomized, double-blind, placebo controlled, multi-centre, pilot clinical study. Food Nutr Res. 2018;62(0).
15. ResearchAndMarkets.com The "psychobiotics market by psychotropic agent, by form, by application, and by region - global forecast to 2023-2033" offering. (Oct. 11, 2023)

# ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อการเป็นพรีไบโอติกและการประยุกต์ใช้

**เนตรดาว พิมพ์ทอง**[1]
**ศรายุทธ สายแสง**[1]
**ชนิปรียา เปี่ยมงาม**[1]
**วนิดา ปานอุทัย**[2*]

[1]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 22 มกราคม 2567 **แก้ไขเมื่อ** 13 มีนาคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 25 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- สาหร่ายอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ
- สาหร่ายเป็นแหล่งพรีไบโอติกชนิดใหม่
- ศักยภาพของพรีไบโอติกและคุณสมบัติเชิงสุขภาพจากสาหร่าย

**บทคัดย่อ**

ประชากรโลกมีความสนใจในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ มีคุณค่าทางอาหาร และเป็นแหล่งของพรีไบโอติก สาหร่ายอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีศักยภาพการเป็นพรีไบโอติก และสามารถประยุกต์ใช้สำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง ลดความดันโลหิต และคุณสมบัติเชิงสุขภาพหลากหลาย บทความนี้กล่าวถึงสาหร่ายทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่และขนาดเล็ก คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อเป็นสารพรีไบโอติกและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และการทำงานของพรีไบโอติกจากสาหร่ายร่วมกับโพรไบโอติกรวมทั้งผลต่อการส่งเสริมสุขภาพ

**คำสำคัญ :** สาหร่าย พรีไบโอติก พอลิแซ็กคาไรด์ สมบัติเชิงหน้าที่

# The potential of algae as a prebiotic and application

**Netdaow Pimthong[1],**
**Sarayut Saisaeng[1],**
**Chanipreeya Peimngam[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** 22 January 2024; **Revised** 13 March 2024; **Accepted** 25 March 2024

## Highlights

- Algae are rich in nutrients
- Algae as a novel source of prebiotics
- Algae exhibit prebiotic properties and possess various biological benefits

## Abstract

The global population is interested in healthy food consumption, nutritional trends, and sources of prebiotics. Algae are rich in nutritional composition, including carbohydrates, protein, and unsaturated fatty acids, and they have high biological properties. Polysaccharide from algae has prebiotic potential and can be applied to health food product corporations. There are antioxidants, anticancer, lower blood pressure, and biological activities. This review provides an overview of algae, including macro- and micro-algae, as well as nutrition, prebiotic, and food applications. The interaction of algae prebiotic and probiotic are combined, and their health benefits.

**Keywords :** algae, prebiotic, polysaccharide, functionality

**บทนำ**

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจในสุขภาพเพิ่มมากขึ้น โดยที่ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสิ่งสำคัญต่อการเลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ รวมถึงศักยภาพของพรีไบโอติกของอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สาหร่ายจึงเป็นที่สนใจและได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งชีวมวลของสาหร่ายยังอุดมไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน แคโรทีนอยด์ วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์หรืออนุพันธ์ซึ่งไม่ได้ถูกหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ทั้งหมด จึงมีศักยภาพเป็นพรีไบโอติก โดยทั่วไปมีการประยุกต์ใช้สาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีน และเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ของหวาน ผลิตภัณฑ์นม อนุพันธ์ของน้ำมัน พาสต้า เป็นต้น หรืออาหารสำหรับสัตว์ปีก วัว และปลา นอกจากสาหร่ายจะเป็นแหล่งพรีไบโอติกและกรดอะมิโนที่สมดุลแล้ว สารประกอบที่พบในสาหร่ายยังมีคุณสมบัติสำคัญ ประกอบด้วย คุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน การต้านอนุมูลอิสระ การต้านมะเร็ง การแข็งตัวของเลือด ฤทธิ์ป้องกันตับ และการลดความดันโลหิต[1]

ศักยภาพของพรีไบโอติกเป็นลักษณะเฉพาะของอาหารบางชนิดซึ่งแทบจะไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารหรือหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ จึงช่วยเพิ่มการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพที่เรียกว่า โพรไบโอติกในระบบทางเดินอาหารส่วนล่างหรือลำไส้ใหญ่ ส่งผลดีต่อสุขภาพในการป้องกันโรคต่าง ๆ ร่วมด้วย นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันอาการท้องผูก แผลในกระเพาะอาหาร เบาหวาน โรคโลหิตจาง และความดันโลหิตสูง โพรไบโอติกจำนวนมากพบอยู่ในผลิตภัณฑ์นมหลายชนิดเพื่อปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ เช่น โยเกิร์ต นมเปรี้ยว ชีส และไอศกรีม ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ส่งเสริมสุขภาพที่หลากหลาย ซึ่งบางชนิดมีอาศัยอยู่ในลำไส้ตามปกติและบางชนิดเป็นแบคทีเรียที่เกิดจากการหมัก

พรีไบโอติก เป็นสารอาหารประเภทพอลิ-แซ็กคาไรด์ (polysaccharide) และโอลิโก-แซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้และไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก แต่จะถูกหมักหรือผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่น (natural microflora) และจุลินทรีย์โพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ส่วนกลาง (colon) ซึ่งเมื่อถูกหมักย่อยแล้วจะได้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids) สามารถพบพรีไบโอติกได้ในกระเทียม หัวหอม หน่อไม้ฝรั่ง กะหล่ำปลี สาหร่ายทะเล กล้วย แตงโม แอปเปิล และข้าวบาร์เลย์ พรีไบโอติกมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ส่วนกลางและมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *Salmonella* sp. และ *Escherichia coli* เป็นต้น โดยขัดขวางการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ใหญ่ส่วนกลาง นอกจากนี้การนำโพรไบโอติกที่เป็นจุลินทรีย์ที่ดีต่อลำไส้ และพรีไบโอติกที่เป็นแหล่งสารอาหารของโพรไบโอติกผสานเข้าด้วยกัน ทำให้การทำงานของโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อรวมโพรไบโอติกและพรีไบโอติกไว้ในผลิตภัณฑ์อาหารเดียวกัน เรียกว่า “ซินไบโอติก

(synbiotics) ซึ่งเป็นการเสริมฤทธิ์ให้การทำงานของจุลินทรีย์โพรไบโอติกดีขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการไปเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ทำให้ลำไส้แข็งแรงและเป็นการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่ดีให้แก่ร่างกาย[2]

สาหร่ายจึงเป็นแหล่งของพรีไบโอติกทางเลือกใหม่ เนื่องจากสาหร่ายมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ซึ่งประกอบด้วย เส้นใยที่ละลายน้ำที่มีซัลเฟต (fucoidan, agar, carrageenan และ ulvan) และไม่มีซัลเฟต (laminaran และ alginate) และมีพอลิแซ็กคาไรด์ปริมาณมาก ซึ่งเป็นแหล่งของพรีไบโอติกที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ[3]

**สาหร่าย**

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสง ประกอบด้วยเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ที่มีคลอโรฟิลล์และสารให้สี หรือรงควัตถุต่าง ๆ ซึ่งสาหร่ายเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่สำคัญของวงจรในระบบนิเวศทางธรรมชาติ สาหร่ายถูกจัดกลุ่มตามประเภทของรงควัตถุที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์แสง โครงสร้างของผนังเซลล์ และประเภทของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่เก็บไว้เพื่อใช้เป็นพลังงาน โดยทั่วไปสาหร่ายแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ตามขนาดสาหร่าย คือ สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) สาหร่ายขนาดใหญ่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า สามารถจัดประเภทตามรงควัตถุให้สี สามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ สาหร่ายสีน้ำตาล (*Phaeophyceae*) สาหร่ายสีแดง (*Rhodophyceae*) และสาหร่ายสีเขียว (*Chlorophyceae*)[4] ส่วนสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องศึกษาผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ เช่น ไซยาโนแบคทีเรีย เป็นต้น[5-6]

ในปัจจุบันมีจำนวนสาหร่ายมากกว่าสิบล้านสายพันธุ์ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งประมาณร้อยละ 70 อาศัยอยู่ในน้ำ ทั้งในน้ำทะเล ทะเลสาบ หรือแม่น้ำ และยังสามารถพบได้ในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ดังเช่น บริเวณพื้นดิน ต้นไม้ และหิน เป็นต้น โดยทั่วไปสาหร่ายอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส แต่มีบางสายพันธุ์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือ ในพื้นที่ที่เต็มไปด้วยน้ำแข็ง หรือที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ดังเช่น ในน้ำแร่ สภาพแวดล้อมที่เค็ม ทะเลสาบ และทะเลที่มีระดับความเข้มแสงต่ำและระดับความกดอากาศสูง เป็นต้น โดยที่ปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลต่อการเจริญของสาหร่าย เช่น สารอาหาร อุณหภูมิ แสง ความขุ่น ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของเกลือและวิตามิน ซึ่งทำให้ได้สาหร่ายที่เป็นแหล่งของสารอาหารหลักและสารอาหารรอง ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ วิตามิน กรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารต้านอนุมูลอิสระหลากหลายชนิด[7]

สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเลที่นิยมรับประทาน แบ่งได้เป็นสามกลุ่ม[8-9] ดังนี้ **กลุ่มที่ 1** สาหร่ายสีแดง ได้แก่ สาหร่ายสาย (*Porphyra* sp.) สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria* sp.) สาหร่ายฝอย (*Hypnea* sp.) สาหร่ายแดง (*Laurencia* sp.) และ สาหร่ายหางม้า (*Acanthophora* sp.) **กลุ่มที่ 2** สาหร่ายสีน้ำตาล

ได้แก่ สาหร่ายทุ่น (*Sargassum* sp.) สาหร่ายใบพาย หรือคอมบุ (*Laminaria* sp.) สาหร่ายวากาเมะ (*Undaria* sp.) สาหร่ายเขากวาง (*Dictyota* sp.) และ สาหร่ายจอก (*Turbinaria* sp.) และ **กลุ่มที่ 3** สาหร่ายสีเขียว ได้แก่ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva* sp.) สาหร่ายพวงองุ่นหรือสาหร่ายขนนก (*Caulerpa* sp.) สาหร่ายเตาหรือเทา (*Spirogyra* sp.) และ สาหร่ายไก (*Microspora* sp.) สาหร่ายขนาดเล็กที่นิยมรับประทาน ได้แก่ สาหร่ายขนาดเล็กคลอเรลล่า (*Chlorella* sp.) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อย่างเช่น *Arthrospira* หรือ *Spirulina* sp. นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารเสริม[10]

**คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย**

สาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมี หรือ คุณค่าทางอาหาร ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ และมีปริมาณแตกต่างกันตามสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยง โดยมีรายละเอียดดังนี้

*โปรตีน* โดยทั่วไปโปรตีนจากสาหร่ายทะเลอุดมไปด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ ไกลซีน อาร์จินีน อะลานีน กรดกลูตามิก และกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน สาหร่ายขนาดใหญ่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 5-47 ของชีวมวลสาหร่ายแห้ง โดยสาหร่ายขนาดใหญ่ที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ สาหร่ายสีแดง รองลงมาสาหร่ายสีเขียว และปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด คือ สาหร่ายสีน้ำตาล ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายยังแตกต่างกันตามฤดูกาล[11-12] ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดมีปริมาณโปรตีนสูง ได้แก่ สาหร่าย *Spirulina* sp. มีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 42 ถึงมากกว่าร้อยละ 70 และสาหร่าย *Chlorella vulgaris* มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 58 ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด นอกจากนี้กรดอะมิโนที่พบยังมีความสมดุลและคล้ายกับโปรตีนคุณภาพสูงที่ได้จากแหล่งอื่น เช่น แลคโตโกลบูลิน อัลบูมินที่พบในไข่และถั่วเหลือง เป็นต้น[13]

*พอลิแซ็กคาไรด์* เป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เป็นสายยาว[14] ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดของสาหร่ายขนาดใหญ่ เพื่อกักเก็บพลังงานและเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถย่อยได้ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของสาหร่ายขนาดใหญ่หลายชนิด มีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 2-10 ของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด โดยโครงสร้างที่มีอยู่ในผนังเซลล์สาหร่ายประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ไซแลน และแมนแนน และพอลิ-แซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ เช่น วุ้น คาราจีแนน อัลจิเนต และฟูคอยแดน เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสาหร่าย[15] พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบได้ในสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันไป ดังเช่น อัลจิเนต และฟูคอยแดน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบได้ในสาหร่ายสีน้ำตาล[16] คาราจีแนนและอะการ์ (agar) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบในสาหร่ายสีแดง และอุลแวน (ulvan) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบในสาหร่ายสีเขียว[17] พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

ขนาดใหญ่ที่พบส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของเส้นใย (fiber) และไม่มีแป้ง ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปรับสมดุลระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ และยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกได้อีกด้วย[18] พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในสาหร่ายขนาดเล็ก มักพบในกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรีย โดยมีการสะสมไกลโคเจนภายในเซลล์ บางสายพันธุ์สามารถสังเคราะห์เซมิอะมิโลเพกทิน (semi-amylopectin) ได้ สาหร่ายขนาดเล็กไฟลัมคลอโรไฟตา (Chlorophyta) สามารถสังเคราะห์แป้งในรูปของกลูโคสพอลิเมอร์สองชนิด ได้แก่ อะมิโลเพกทินและอะมิโลส ในขณะสาหร่ายขนาดใหญ่ไฟลัมโรโดไฟตา (Rhodophyta) มีการผลิตคาร์โบไฮเดรตที่เรียกว่า แป้งฟลอริเดียน (floridean starch)[19] นอกจากนี้ยังมีไดอะตอม (Bacillariophyceae และ Heterokontophyta) มีการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ chrysolaminarin ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยพันธะ β(1,3) และ β(1,6) ไดอะตอมบางสายพันธุ์สามารถกักเก็บพอลิแซ็กคาไรด์ในรูปของ (1,3)-β-D-กลูแคนในระหว่างการเจริญระยะเอ็กซ์โปเนนเชียล ได้มากถึงร้อยละ 30 น้ำหนักแห้ง[19]

*ไขมัน* ปริมาณไขมันรวมของสาหร่ายขนาดใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.60-4.14 ไขมันที่พบในสาหร่ายส่วนใหญ่เป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยกรดไขมัน (ω -3 หรือโอเมก้า 3) เช่น docosahexaenoic และ eicosapentaenoic acid เป็นต้น ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัว (ω -6 หรือโอเมก้า-6) ที่พบมากที่สุด เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ กรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid) เป็นต้น กรดไขมันอิ่มตัวชนิดหลักที่พบได้แก่ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) และกรดไมริสติก (myristic acid) ในการบริโภคอาหารควรได้รับกรดไขมันจำเป็นอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 และโอเมก้า 3 ที่เหมาะสม[20] ส่วนไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็ก สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามโครงสร้าง ประกอบด้วย ไขมันที่มีขั้ว เช่น ฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglycerides) ไกลโคซิล-กลีเซอไรด์ (glycosylglyceride) และสฟิงโกลิปิด (sphingolipids) เป็นต้น และไขมันไม่มีขั้ว เช่น เอซิลกลีเซอรอล (acylglycerols) เสตอรอล (sterols) กรดไขมันอิสระ (free fatty acids) แว็กซ์ (waxes) และสเตียริล เอสเทอร์ (stearyl esters) เป็นต้น สาหร่ายขนาดเล็กมีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีความยาวสายโซ่ตั้งแต่ 14 ถึง 18 และไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงกว่าโอเมก้า 6 ประมาณ 1.9 เท่า กรดไขมันที่พบได้ในสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น palmitoleic oleic palmitic cis-5 ,8 ,1 1 ,1 4 ,1 7 -eicosapentaenoic acid arachidonic และ g-linolenic acid[21]

*แร่ธาตุ* สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเลมักพบปริมาณแร่ธาตุสูง เนื่องจากเจริญได้ในทะเล โดยมีแร่ธาตุที่จำเป็น เช่น แคลเซียม เหล็ก ไอโอดีน แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซีลีเนียม และฟลูออไรด์ เป็นต้น[22] ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กอุดมไปด้วยแร่ธาตุในกลุ่มไอโอดีน โพแทสเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม[3]

*วิตามิน* สาหร่ายทะเล มีส่วนประกอบของวิตามินที่ละลายได้ในน้ำและไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ

วิตามินดี วิตามินอี วิตามินเค วิตามินซี วิตามินดี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 9 และวิตามินบี 12 และในสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 8 วิตามินบี 12 วิตามินอี และวิตามินเค[22-23]

**ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อเป็นสารพรีไบโอติก**

พรีไบโอติก เป็นสารที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มโพรไบโอติกที่สามารถส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ โดย Lactobacilli และ Bifidobacteria เป็นโพรไบโอติกสายพันธุ์ที่พบการทำงานในร่างกายมนุษย์ การบริโภคโพรไบโอติกได้แก่ ช่วยการทำงานของลำไส้ให้ดีขึ้น ลดการแพ้แล็กโตส และความเสี่ยงของโรคอื่น ๆ สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด เช่น *Arthrospira platensis* สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei* และ *L. acidophilus* ดังนั้นสาหร่ายหลายชนิดมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา[24] โดยทั่วไปมีการใช้สาหร่ายเป็นพรีไบโอติกในอุสาหกรรมอาหารจำกัดแค่ผลิตภัณฑ์นมเท่านั้น แต่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเปิดโอกาสในการพัฒนาพรีไบโอติกจากสาหร่ายสำหรับใช้กับอาหารที่หมักด้วยจุลินทรีย์ผลิตกรดแล็กติกนอกเหนือจากโยเกิร์ตหรือชีส พอลิแซ็กคาไรด์และโอลิโกแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายเป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้เป็นพรีไบโอติก สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ประกอบด้วยคุณลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์ที่แตกต่างกัน เช่น มีซัลเฟตเป็นส่วนประกอบ และอุดมไปด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) ทำให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ เป็นต้น[25]

พอลิแซ็กคาไรด์ เช่น ไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (XOS) กาแล็กโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (GOS) อะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ (agaro-oligosaccharides, AGAROS) นีโออะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ (neoagaro-oligosaccharides, NAOS) กาแล็กแทน (galactan) อะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) เบต้ากลูแคน β-glucans เป็นต้น โดยที่องค์ประกอบดังกล่าวไม่ถูกย่อยในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในลำไส้ สารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติก สาหร่ายที่พบ ได้แก่ *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Dunaliella* sp., *Spirulina* sp., *Hematococcus pluvialis*, *Phaeodactylum tricornutum, Tetraselmis suecica*, *Chlore* sp., *Schizochytrium* sp., *Thraustochytrium* sp., *Ulva, Porphyra, Laminaria/saccharina*, *Rhodella, Fucus, Ascophyllum, Sargassum, Gracilaria, Cladosiphob, Monostroma, Capsosiphon, Kappaphycus, Furcellaria, Soliera, Chlorella, Phaedactlylum, Gyrodinium, Hawmatococcus pluvialis, Arthrospira platensis* และ *Dunaliella salina* นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และรงควัตถุต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งมีผลในการป้องกันและแก้ไขปัญหาสุขภาพ เช่น ต้านมะเร็ง ลดแผลในกระเพาะอาหาร ป้องกันโรคประสาท ความดันโลหิตสูง ท้องผูก เบาหวาน ลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมัน กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ลดการเกิด

โรคโลหิตจาง ป้องกันโรคเบาหวานและโรคอ้วน ป้องกันรังสียูวี ปรับภูมิคุ้มกัน ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด ต้านจุลชีพและไวรัส และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายละเอียดดัง Table 1

**Table 1** Health effects from algae and their incorporation into food products[2]

| Algae | Commercial biomass form | Products | Bioactive compounds | Positive health effects |
|---|---|---|---|---|
| *Chlorella vulgaris* *Arthrospira platensis* | Powder | Cheese | Carbohydrate, protein, **ω**-3 fatty acid | Anticancer; lowering gadtric ulcets, neurosis, hypertension, anemia, constipation, diabetes, infant malnutrition |
| *Dunaliella* sp *Spirulina* sp | Powder | Miso | Protein, vitamins, minerals | Antioxidative response |
| *Spirulina* sp | Powder and extract | Non-alcohol beverage | Protein, chlorophylls, phycocyanin | Protein, chlorophylls, phycocyanin |
| *Hematococcus pluvialis* *Phaeodactylum tricornutum* | Powder or flour | Biscuits | Protein, **ω**-3 fatty acid,DHA, EPA, astaxanthin | Antioxidative response |
| *Arthrospira plantensis* *Chlorella* sp | Powder or flour | Bread and cookies | Protein, vitamin, mineral | Reduction in cholesterol and fat levels, satiety induction |
| *Chlorella* sp *Spirulina* sp | Powder and extract | Milk | Protein, **ω**-3 fatty acid,DHA, EPA, | Reduced onset of anemia |
| *Tetraselmis suecica* | Food supplement | Extract | - | Prevention from diabetes and obesity |
| *Chlorella* sp *Schizochytrium* sp *Thraustochytrium* sp | Food supplement | Powder, flour, tablet or liquid | Protein, **ω**-3 fatty acid | Prevent from constipation, satiety induction |
| *Ulva, Porphyra, Laminaria/saccharina, Rhodella, Fucus, Ascophyllum, Sargassum* | Food supplement | Powder | Polysaccharide | Immunomodulatory, Antilipidaemic and hypocholesterolaemic |
| *Gracilaria, Cladosiphob, Monostroma, Capsosiphon, Kappaphycus, Furcellaria, Soliera* | Food supplement | Powder | Polysaccharide | Immunomodulatory |

**Table 1** (continued)

| Algae | Commercial biomass form | Products | Bioactive compounds | Positive health effects |
|---|---|---|---|---|
| *Chlorella, Phaedactylum, Gyrodinium* | Food supplement | Powder | Polysaccharide | Immunomodulatory |
| *Haematococcus pluvialis* | Food supplement | Capsules | Astaxans, **ω**-3 fatty acid, DHA, EPA, | UV protection, anticoagu-latory & anti-inflamma-tory effects, immunity modulation, improve cardiovascular health |
| *Arthrospira platensis* | Oil | - | Carotenoids | Antimicrobial and antiviral properties |
| *Dunaliella salina* | Culinary condiment with sea salt | Powder | Carotenoids | Antioxidative response |

สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางชีววิทยา และมีสารสกัดพรีไบโอติกที่ได้จากสาหร่ายแตกต่างกัน ซึ่งผลของสารสกัดพรีไบโอติกแต่ละชนิดส่งผลดีต่อสุขภาพแตกต่างกันด้วย ได้แก่ สาหร่าย *Phaeophyta* (brown algae) มีอะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยในเรื่องภูมิคุ้มกัน (ลด cytokines ที่ทำให้เกิดการอักเสบ) จึงมีผลต่อต้านการอักเสบ ป้องกันตับและยับยั้ง α-glucosidase สาหร่าย *Gracilaria* sp., *Monostroma* sp. มีนีโออะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยกำจัด ROS สารต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ Lactobacilli และ Bifidobacteria สาหร่าย *Kappaphycus* sp., *Porphyria* sp และ *Gracilaria* sp. มี COS (carrageenan-oligosaccharides) ช่วยในการปรับภูมิคุ้มกัน ทำให้ผิวขาวและชุ่มชื้น ช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ Bifidobacteria และช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดภายในลำไส้ สาหร่าย *Ascophyllum* sp., *Fucus* sp., *Undaria* sp., *Sargassum* sp., *Laminaria* sp. และ *Macrocystis* sp. มีอะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยกำจัด ROS ส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระและการปรับภูมิคุ้มกัน ช่วยในการควบคุมน้ำหนัก ช่วยลดคอเลสเตอรอล ช่วยควบคุมโรคเบาหวาน มีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดและภาวะไขมันในเลือดต่ำ ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในลำไส้ ส่งผลให้เกิดการผลิตกรดไขมันสายสั้นโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ สาหร่าย *Cladosiphon* (aka Okinawa), *Ascophyllum* (nodosm), *Fucus* sp. *Sargassum* sp., *Fucus evanescens* และ *Fucus vesiculosus* มี fucoidans (FUCOS) ช่วยในเรื่องภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำ ช่วยปรับภูมิคุ้มกัน ป้องกันโรคอ้วน ป้องกันไขมันในเลือดสูง ลดภาวะไขมันพอกตับ ป้องกันโรคเบาหวาน (ลดการดื้อต่ออินซูลิน) และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสาหร่าย *Undaria pinnatifida, Dictyota menstrualis, Lobophora variegate* และ *Adenocystis utricularis* มีสาร galactofucans ช่วยในการต้านไขมัน เพิ่ม HDL ต้านไวรัส ต้านเนื้องอก ช่วยในเรื่องภูมิคุ้มกัน

ต้านสารอนุมูลอิสระ ปกป้องระบบประสาท ต้านไวรัส สารป้องกันเลือดแข็ง ต้านการอักเสบ สาหร่าย *Spatoglossum schroëderi* มีไซโล-กาแล็กโตฟูแคน (xylo-galactofucan) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สาหร่าย *Ascophyllum* มีสารอะราบิโนไซแลน (arabinoxylans) ช่วยในการปรับจุลินทรีย์ในลำไส้ สาหร่าย *Chlorella vulgaris, Ascophyllum* sp. และ *Fucus* sp. มี glucans ช่วยในการยับยั้งการเจริญของเนื้องอก ป้องกันการติดเชื้อ และสาหร่าย *Laminaria* sp., *Saccharina* sp., *Undaria,* และ *Enteromorpha* sp. มีสารลามินาริน (laminarin) ช่วยในการลดไขมันในเลือด และระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างรวดเร็ว รายละเอียดดังแสดงใน Table 2

**Table 2** Prebiotic potential from algae[2]

| Prebiotic | Algae | Health beneficial effects |
|---|---|---|
| AGAROS (agaro-oligosaccharides) | Pheophyta (brown algae) | Immunomodulatory (decrease of proinflammatory cytokines) antiinflammatory, carcinostatic, antioxidant, hepatoprotective, and α-glucosidase inhibitory activities |
| NAOS (neoagaro-oligosaccharides) | *Gracilaria* sp., *Monostroma* sp. | ROS scavenging, antioxidant and immunomodulatory effects, stimulation of lactobacilli and bifidobacteria populations |
| COS (carrageenan-oligosaccharides) | *Kappaphycus* sp., *Porphyria* sp., *Gracilaria* sp. | Immunomodulation, skin whitening, and moisturizing, stimulation of lactobacilli and bifidobacteria populations, repair of intestinal damage |
| ALGOS (alginate-oligosaccharides) | *Ascophyllum* sp., *Fucus* sp., *Undaria* sp., *Sargassum* sp., *Laminaria* sp., *Macrocystis* sp. | Reactive oxygen species (ROS) scavenging, antioxidant and immunomodulatory effects, weight control, reduction of cholesterol, diabetes control (hypoglycemic and hypolipidemic properties), promotion of fecal microbiota metabolism, production of short chain fatty acids by the gut microbiota; decrease of putrefactive compounds and microorganisms, decrease of metabolic syndrome risk |
| Fucoidans (FUCOS) | *Cladosiphon* (aka Okinawa) *Ascophyllum* (nodosm), *Fucus* sp. *Sargassum* sp., *Fucus evanesens, Fucus vesciculosus* | Hypocholesterolaemic, immunomodulatory, anti-obesity, anti-hyperlipidemia, attenuation of hepatic steatosis, anti-diabetes (reduction of insulin resistance), anti-hypertensive, antioxidant, anticoagulant, anticancer, antimetastatic plant antioxidant |

**Table 2** (continued)

| Prebiotic | Algae | Health beneficial effects |
|---|---|---|
| Galactofucans | *Undaria pinnatifida, Dictyota menstrualis, Lobophora variegate, Adenocystis utricularis* | Anti-lipidaemic, increases HDL, antiviral, antitumor, immunomodulator, antioxidant, neuroprotective, antiviral, anticoagulant, antitumor, anti-proliferative, immunomodulatory, anti-inflammatory induced osteoblastic differentiation, peripheral anti-nociceptive, anti-inflammatory, antioxidant, anticoagulant, anti-proliferative, antiviral, anti-thrombotic |
| Xylo-galactofucans | *Spatoglossum schroëderi* | Peripheral anti-nociceptive, anti-proliferative, anti-adhesive, antioxidant |
| Arabinoxylans | *Ascophyllum* | Modulation of intestinal microbiota |
| Glucans | *Chlorella vulgaris Ascophyllum* sp., *Fucus* sp. | Antitumor, infection preventive agent |
| Laminarin | *Laminaria* sp., *Saccharina* sp., *Undaria, Enteromorpha* sp. | Antilipidemic, hypocholesterolaemic, fast decrease of blood glucose |

จากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สาหร่ายร่วมกับโพรไบโอติก สามารถช่วยสนับสนุนการเจริญของโพรไบโอติก และต่อต้านจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดได้ ได้แก่ *Chlorella vulgaris* ส่งเสริมการเจริญของ *Lactobacillus brevis* และช่วยทำให้ระยะ log phase สั้นลง *Spirulina platensis* และ *Chlorella vulgaris* ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียแล็กติก และเพิ่มอัตราการอยู่รอดของโพรไบโอติก *Dunaliella tertiolecta* ส่งเสริมการเจริญของ *Bacillus* sp. ช่วยปรับปรุงภูมิคุ้มกัน *Navicula* sp. ส่งเสริมการเจริญของ *Lactobacillus sakei* ช่วยในปรับปรุงภูมิคุ้มกันและต้านอนุมูลอิสระ *Euglena gracilis* ส่งเสริมการเจริญของ *Bacillus licheniformis* หรือ *Bacillus subtilis* ช่วยปรับปรุงคุณภาพและระบบภูมิคุ้มกัน และ *Pavlova pinguis* ส่งเสริมการเจริญของ *Pharobacter inhibens* ลดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค *Vibrio* sp. พบว่า ลดการตายของตัวอ่อนหอย รายละเอียดดังตาราง Table 3

**Table 3** Prebiotic properties from algae on probiotic growth and health benefits[2]

| Algae | Probiotic | Activities | Health benefits |
|---|---|---|---|
| *Chlorella vulgaris* | *Lactobacillus brevis* | Improving the probiotic growth, health, product yield and other desirable properties | Algae shortening the log phase, improving lactic acid yield, enzyme properties activity and acidifying activity of probiotics |
| *Chlorella vulgaris, Spirulina platensis* | Lactic acid bacteria | Supplementing microalgae in milk products for improving its storage and shelf-life | Increasing the viability of probiotics in final product but also the sensory attributes |
| *Spirulina platensis* | *Lactococcus lactis* sp. | Supplementing microalgae in yogurt to improve health benefits due to probiotic enrichment | Increasing the viability of probiotics and lactic acid bacteria |

## บทสรุป

สาหร่ายอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่หลากหลายมากขึ้น ในฐานะการเป็นแหล่งของพรีไบโอติกที่มีคุณค่าทางโภชนาการทางเลือก ศักยภาพในการนำไปใช้ในด้านพรีไบโอติกที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในด้านเภสัชกรรม อาหารเพื่อสุขภาพ และสาขาวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ความก้าวหน้าเหล่านี้เป็นแนวทางที่สำคัญในการพัฒนางานทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ สาหร่ายของสารประกอบเชิงฟังก์ชันเหล่านี้ โดยสาหร่ายไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มขอบเขตทางโภชนาการของผู้บริโภคเท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลในการป้องกันโรคด้วย คุณประโยชน์ในการใช้พรีไบโอติกจากสาหร่ายทะเลและสาหร่ายขนาดเล็กไม่จำกัดเพียงการใช้สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงสารสำคัญอื่น ๆ เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids, PUFA) โมโนแซ็กคาไรด์ พอลิฟีนอล และกรดอะมิโนที่พบได้ในสาหร่าย มีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพและมีศักยภาพเป็นพรีไบโอติก ช่วยในการปรับเปลี่ยนไมโครไบโอม และส่งผลเชิงบวกต่อสุขภาพ

**เอกสารอ้างอิง**

1. Terpou A, Papadaki A, Lappa IK, Kachrimanidou V, Bosnea LA, Kopsahelis N. Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. Nutr. 2019;11(7):1591.
2. Patel AK, Singhania RR, Awasthi MK, Varjani S, Bhatia SK, Tsai M-L, et al. Emerging prospects of macro- and microalgae as prebiotic. Microb Cell Fact. 2021;20(1):112.
3. Gotteland M, Riveros K, Gasaly N, Carcamo C, Magne F, Liabeuf G, et al. The pros and cons of using algal polysaccharides as prebiotics. Front Nutr. 2020;7.

4. Dawczynski C, Schubert R, Jahreis G. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. Food Chem. 2007;103(3):891-9.
5. Vassilev SV, Vassileva CG. Composition, properties and challenges of algae biomass for biofuel application: An overview. Fuel. 2016;181:1-33.
6. Babich O, Ivanova S, Michaud P, Budenkova E, Kashirskikh E, Anokhova V, et al. Fermentation of micro- and macroalgae as a way to produce value-added products. Biotechnol Rep. 2024;41:e00827.
7. YalÇIn D, Ilikkan Ö, BaĞDat E. Evaluation of prebiotic, probiotic, and synbiotic potentials of microalgae. Food Health. 2022;8(2):161-71.
8. Ilknur B, Birsen K, Hamideh M. Major Natural Vegetation in Coastal and Marine Wetlands: Edible Seaweeds. In: Manuel TO, Feyza C, Anabela F-S, editors. Plant Communities and Their Environment. Rijeka: IntechOpen; 2019. p. Ch. 9.
9. Lewmanomont K. Some Edible Algae of Thailand. Agr Nat Resour. 1978;12(2):119-33.
10. Andrade L, De Andrade CJ, Dias M, Nascimento C, Mendes M. Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview. MOJ Food Process Technol. 2018;6:00144.
11. Rajapakse N, Kim S-K. Chapter 2 - Nutritional and Digestive Health Benefits of Seaweed. In: Kim S-K, editor. Advances in Food and Nutrition Research. 64: Academic Press; 2011. p. 17-28.
12. Thiviya P, Gamage A, Gama-Arachchige NS, Merah O, Madhujith T. Seaweeds as a source of functional proteins. Phycol. 2022;2(2):216-43.
13. Wang Y, Tibbetts SM, McGinn PJ. Microalgae as sources of high-quality protein for human food and protein supplements. Foods. 2021;10(12).
14. Duttaroy AK. Chapter 8 - Polysaccharide on diabetes, obesity, and other cardiovascular disease risk factors. In: Duttaroy AK, editor. Evidence-Based Nutrition and Clinical Evidence of Bioactive Foods in Human Health and Disease: Academic Press; 2021. p. 115-28.
15. Babich O, Sukhikh S, Larina V, Kalashnikova O, Kashirskikh E, Prosekov A, et al. Algae: study of edible and biologically active fractions, their properties and applications. Plants [Internet]. 2022; 11(6).
16. Rodrigues D, Freitas AC, Pereira L, Rocha-Santos TA, Vasconcelos MW, Roriz M, et al. Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. Food Chem. 2015;183:197-207.
17. Cindana Mo'o FR, Wilar G, Devkota HP, Wathoni N. Ulvan, a polysaccharide from macroalga *Ulva* sp.: a review of chemistry, biological activities and potential for food and biomedical applications. Appl Sci. 2020;10(16):5488.
18. Lopez-Santamarina A, Miranda JM, Mondragon ADC, Lamas A, Cardelle-Cobas A, Franco CM, et al. Potential use of marine seaweeds as prebiotics: a review. Mol. 2020;25(4).
19. Moreira JB, Vaz BdS, Cardias BB, Cruz CG, Almeida ACAd, Costa JAV, et al. Microalgae polysaccharides: an alternative source for food production and sustainable agriculture. Polysaccharides. 2022;3(2):441-57.
20. Shannon E, Abu-Ghannam N. Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. Phycologia. 2019;58(5):563-77.
21. Paola Scodelaro B, Gabriela AS, Patricia IL. Fatty acids from microalgae: targeting the accumulation of triacylglycerides. in: angel C, editor. Fatty Acids. Rijeka: IntechOpen; 2017. p. Ch. 7.
22. Rondevaldova J, Quiao MA, Drabek O, Dajcl J, Dela Pena-Galanida GD, Leopardas VE, et al. Mineral composition of seaweeds and seagrasses of the Philippines. Phycologia. 2023;62(3):217-24.
23. Škrovánková S. Seaweed vitamins as nutraceuticals. Adv Food Nutr Res. 2011;64:357-69.
24. Gentscheva G, Nikolova K, Panayotova V, Peycheva K, Makedonski L, Slavov P, et al. Application of *Arthrospira platensis* for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature. Life (Basel). 2023;13(3).
25. Sonchaeng U, Wongphan P, Pan-utai W, Paopun Y, Kansandee W, Satmalee P, et al. Preparation and characterization of novel green seaweed films from *Ulva* rigida. Polymers. 2023;15(16):3342.

# เนื้อเทียมจากพืช ทางเลือกเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

**อัญชลี อุษณาสุวรรณกุล**[1*]
**กัญญ์วรา ทองกระจ่าง**[1]

[1]ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrala@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 27 กันยายน 2566 **แก้ไขเมื่อ** 23 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- กระบวนการผลิตเนื้อเทียม
- คุณภาพทางกายภาพและโภชนาการของเนื้อเทียม
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันมีความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทั่วโลกจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ซึ่งการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จำเป็นต้องเพิ่มการผลิตให้ตอบสนองต่อตลาด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สวัสดิภาพของสัตว์ และสุขภาพของมนุษย์ ตั้งแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การตัดไม้ และภาวะขาดแคลนน้ำจากการปศุสัตว์ เพื่อจัดการกับปัญหานี้ แนวคิดเกี่ยวกับอาหารทดแทนเนื้อสัตว์จึงเกิดขึ้นเพื่อเพิ่มทางเลือกที่เหมาะสมและยังคงตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยการจำลองเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์คาดหวังว่า จะสามารถตอบสนองความต้องการบริโภคและแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการปศุสัตว์ได้ เนื้อเทียมสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลาย ทั้งสาหร่าย แมลงที่สามารถกินได้ และถั่วต่าง ๆ เพื่อให้ได้รับประสบการณ์ที่เหมือนกับการบริโภคเนื้อสัตว์จริง โปรตีนที่นำมาผลิตเนื้อเทียมจึงถูกผสมกับไขมันและส่วนผสมอื่น ๆ ผ่านกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง (high-moisture extrusion) ถือเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการผลิตเนื้อเทียมด้วยวิธีการอื่น ๆ และกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์

**คำสำคัญ :** เนื้อเทียม อาหารจากพืช มังสวิรัติ อาหารที่ยั่งยืน

# Plant-based meat : A new option for health and the environment

**Aunchalee Aussanasuwannakul[1*], and**
**Kanwara Tongkrajang[1]**

[1]Department of Food Chemical and Physical,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
[*]Corresponding author, e-mail : ifrala@ku.ac.th
**Received** 27 September 2023; **Revised** 23 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

## Highlights

- Meat analogue production process
- Physical and nutrition of meat analogue
- Environmental impact

## Abstract

Growth in meat consumption is projected to increase in developing regions due to high population levels and growth rates. This has led to increased production to meet market demand, which causes environmental damage, animal welfare, and human health. To solve this problem, the concept of meat analogue has to emerge as a more sustainable and satisfying consumer. The process of making meat analogue entails a variety of ingredients, including algae, edible insects, and legumes, to imitate the texture and taste of meat. In meat analogue production, the proteins are mixed with fat and other ingredients through an extrusion. High-moisture extrusion is the most environmentally friendly process for producing meat analogue, and it is also more efficient than other meat analogue manufacturing processes. Meat analogue has the potential to reduce the environmental impact of the food system, improve animal welfare, and promote human health. However, it is still a relatively new product, and more research is needed to optimize its production and nutritional value.

**Keywords :** meat analogue, plant-based food, vegetarian, sustainable food

## บทนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการเนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทั่วโลก มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีจำนวน 8.5 พันล้านคน ในปี ค.ศ. 2030 และเป็น 1 หมื่นล้านคน ในปี ค.ศ. 2050[1] ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรที่มีรายได้สูงขึ้น และรูปแบบการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สวัสดิภาพของสัตว์ และสุขภาพของมนุษย์อย่างมาก ดังนั้นแนวคิดเกี่ยวกับการผลิตอาหารทดแทนเนื้อสัตว์อย่างเนื้อเทียมจึงเป็นวิธีการจัดการปัญหาที่ดีและเป็นทางเลือกที่ยั่งยืน

เนื้อเทียม คือ ผลิตภัณฑ์จากพืชที่ถูกสร้างขึ้นโดยเฉพาะเพื่อจำลองรสชาติ เนื้อสัมผัส และโภชนาการของเนื้อสัตว์โดยที่ไม่มีส่วนประกอบที่มาจากสัตว์เลย ส่วนใหญ่ผลิตด้วยโปรตีนที่มาจากธัญพืช ถั่วเหลือง ถั่วอื่น ๆ และผัก ในช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 ที่ผ่านมา ตลาดเนื้อเทียมได้ขยายตัวทั่วโลกมีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามที่แสดงในงานวิจัยของ Kyriakopoulou และคณะ (2019)[2] ตลาดเนื้อเทียมในยุโรปและอเมริกาเหนือไม่ได้มีกลุ่มผู้บริโภคเพียงแค่กลุ่มมังสวิรัติเท่านั้น แต่ได้ขยายไปถึงผู้บริโภคที่รับประทานเนื้อสัตว์และชอบกินเนื้อสัตว์ด้วย ตามผลการวิจัยของ Zion Market Report (2019)[3] คาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมอาหารเนื้อเทียมจากพืชจะมีมูลค่าเป็น 21.23 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี ค.ศ. 2025 และมีอัตราการเติบโตประมาณร้อยละ 8.6 ระหว่างปี ค.ศ. 2019 และปี ค.ศ. 2025

เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับประสบการณ์ที่เหมือนกับการบริโภคเนื้อสัตว์จริง โปรตีนที่นำมาผลิตเนื้อเทียมจึงถูกผสมกับไขมันและส่วนผสมอื่น ๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อจำลองเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ โดยคาดหวังว่า จะสามารถตอบสนองความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มมากขึ้น และแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการปศุสัตว์อย่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและการถางที่เพื่อเลี้ยงสัตว์ได้ นอกจากนี้เนื้อเทียมยังมีประโยชน์ทางสุขภาพอีกด้วยเพราะเนื้อเทียมจากพืชนั้นมีไขมันอิ่มตัว และแคลอรีที่น้อยกว่าเนื้อสัตว์ โดยที่สารอาหารสำคัญอย่างใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่า นอกจากนี้การบริโภคเนื้อสัตว์มากจนเกินไปยังส่งผลต่อปัญหาสุขภาพต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง (immunodeficiency) เป็นต้น

## 1. วัตถุดิบหลักของการผลิตเนื้อเทียม

ในปัจจุบันการผลิตเนื้อเทียมสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายทั้งสาหร่าย แมลงที่สามารถกินได้ และพืชอย่างถั่วเหลืองหรือโปรตีนที่เกิดจากการหมักเชื้อรา (mycoproteins) โปรตีนที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียมเป็นสิ่งสำคัญในการบอกความแตกต่างของเนื้อเทียมแต่ละประเภท โปรตีนที่ใช้ผลิตเนื้อเทียมนั้นมีบทบาทที่สำคัญในด้านต่าง ๆ เช่น การเติมน้ำ (hydration) การละลายน้ำ (solubility) ความสามารถในการเป็นตัวผสาน (emulsification) การเกิดโฟม (foaming) ความหนืด (viscosity) ความเป็นเจล (gelation) เนื้อสัมผัสและโครงสร้างการก่อตัวเส้นใยของแป้ง[4] ซึ่ง

โดยส่วนมากแล้วมักจะใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการวิจัยและการผลิตเนื้อเทียม

แหล่งโปรตีนที่แตกต่างกัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และข้าวสาลี มีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมจากพืช[5-7] เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมจะถูกกำหนดโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบ (โปรตีน แป้ง ไขมัน สารเพิ่มปริมาณอาหาร) และกระบวนการแปรรูป[5] เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีน เช่น ค่า sedimentation coefficients องค์ประกอบของกรดอะมิโน ความเข้มข้นในการเกิดเจลที่น้อยที่สุด อุณหภูมิที่ทำให้เสียสภาพ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความหนืด การทำงานของโปรตีนอาจแตกต่างกันจากชนิดของวัตถุดิบ เช่น คุณสมบัติในการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองและถั่วลันเตา การจับกับน้ำมันทำให้เกิดอิมัลชัน การสร้างเส้นใย โปรตีนจากข้าวสาลีที่มีที่มีคุณสมบัติของเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นและขยายตัวสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาลักษณะและชนิดของวัตถุดิบก่อนการแปรรูป[6] นอกจากนี้ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำ ไขมัน สารแต่งรส สารช่วยยึดเกาะ สี วิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ ยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมอีกด้วย[8] โดยรวมแล้วการเลือกแหล่งโปรตีนและการกำหนดสูตรในการผลิตเนื้อเทียมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเนื้อสัมผัสที่เลียนแบบเนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม[9]

ไขมันเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายและยังเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เนื้อสัตว์มีรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชุ่มฉ่ำ[10] ดังนั้นสิ่งสำคัญในการผลิตเนื้อเทียมจากพืช คือ การเติมไขมันและน้ำมันเพื่อปรับปรุงสี ความนุ่ม เนื้อสัมผัส และโครงสร้าง การเติมไขมันจะส่งผลต่อปฏิกิริยาของโมเลกุลโปรตีนในผลิตภัณฑ์ แต่การเพิ่มไขมันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มและเกินไปและลดคุณค่าทางโภชนาการ ในขณะที่การเพิ่มไขมันในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแห้งและเหนียว ทำให้ต้องมีการศึกษาปริมาณไขมันที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียม ซึ่งปริมาณไขมันที่เหมาะสมในการเติมลงในการผลิตเนื้อเทียม คือ ประมาณร้อยละ 2-10 นอกจากนี้ประเภทของไขมันที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์ การเติมไขมันในรูปของแข็งที่สกัดได้จากมะพร้าวและเมล็ดโกโก้ผสมกับน้ำมันทานตะวันและคาโนล่าจะให้รสชาติและเนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อสัตว์ที่สุด และสามารถผสมไขมันสีขาวในรูปของแข็งลงในผลิตภัณฑ์เพื่อให้รูปลักษณ์ภายนอกของเนื้อเทียมมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อสัตว์มากขึ้น[11]

สารเติมแต่งอาหารเป็นองค์ประกอบที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีลักษณะและเนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อสัตว์ มักมีการเติมสารเติมแต่งอาหารลงในวัตถุดิบ สารให้ความคงตัว เช่น กัวร์กัม เมทิล เซลลูโลส คาราจีแนน และแซนแทนกัม มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม[12] สารเหล่านี้ทำงานโดยการจับน้ำและโปรตีนเข้าด้วยกัน ช่วยสร้างโครงสร้างเส้นใยที่คล้ายกับเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความแน่นเนื้อและความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อเทียม นอกจากสารให้ความคงตัวแล้วยังมีสารเติมแต่งอาหารอื่น ๆ เช่น สาร calcium alginate สาร titanium dioxide กลูตามีนจากจุลินทรีย์ และสารสกัดจากแอปเปิล ที่

สามารถเพิ่มแรงยึดเกาะกับโปรตีนจากพืชและเชื่อมพันธะกรดอะมิโนภายในได้ ปรับปรุงความแข็งและยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสโดยรวมของเนื้อเทียม

ตัวอย่างการใช้สารเติมแต่งอาหารอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เช่น การใช้สตาร์ชข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง แป้งดัดแปร สารแซนแทนกัม สารกัวร์กัม เพื่อเพิ่มความข้นหนืด คุณสมบัติในการตรึงน้ำ การจับตัวกับไขมันและความคงตัวของอิมัลชัน การเพิ่มปริมาณสารคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันความชื้นสูงสามารถเพิ่มค่าความหนืด ความดัน และแรงบิดในกระบวนการได้[13] การเติมสาร calcium alginate ลงในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมสามารถเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างกรดอะมิโน ปรับปรุงคุณสมบัติการยึดเกาะ ความแข็งหรือความยืดหยุ่นของเนื้อเทียมได้[14] อย่างไรก็ตามควรใช้อย่างพอประมาณและเลือกสารเติมแต่งที่ปลอดภัยและได้รับมาตรฐานสำหรับใช้ในอาหารเท่านั้น

**2. กระบวนการผลิตเนื้อเทียม**

การเลือกกระบวนการแปรรูปเนื้อเทียมเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมสุดท้ายที่เราต้องการ กระบวนการผลิตนั้นส่งผลอย่างมากต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีและเทคนิคมากมายที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) การอบแห้ง การเลี้ยงเนื้อเยื่อ เทคโนโลยีเหล่านี้ส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมเปลี่ยนไป เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะช่วยทำให้เนื้อเทียมมีโครงสร้างที่แน่นและเหนียวขึ้น

งานวิจัยของ Dekkers และคณะ[15] ได้สรุปประเภทของกระบวนการผลิตเนื้อเทียมออกเป็น 2 ประเภท (Table 1) ประเภทแรกเรียกว่า "bottom-up" เป็นการผลิตที่สร้างเส้นใยแต่ละเส้นจากแหล่งโปรตีนแล้วประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้าง ประเภทที่สองเรียกว่า "top-down" เป็นการผลิตที่มุ่งเน้นไปที่โครงสร้างขนาดใหญ่เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กโดยการบังคับให้ส่วนประกอบยืดขยายออก

**Table 1** Artificial meat production process : bottom-up and top-down

| Type | Process | Material |
|---|---|---|
| Bottom–up | Cultured meat | Precursor skeletal muscle cells |
| | Mycoprotein | Precursor skeletal muscle cells |
| | Wet spinning | Protein isolate |
| | Electrospinning | Protein isolate |
| Top-down | Extrusion | Defatted soy flour/ Protein concentrates/ Protein isolates |
| | Mixing proteins and hydro-colloids | Protein isolate, Hydrolloid |
| | Freeze structuring | Protein isolate |
| | Shear cell | Protein isolate |

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการผลิตที่นำวัตถุดิบไปใส่ในถังต่อกับสกรู วัตถุดิบจะถูกอัดผ่านอุณหภูมิและความดันสูง ทำให้เกิดการเสียสภาพ โครงสร้างเปลี่ยนแปลงจนเกิดโครงสร้างใหม่ และถูกบีบอัดผ่านแม่พิมพ์พร้อมทำรูปร่างตามแม่พิมพ์ที่กำหนดโดยผ่านสกรู คุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการไหล รูปทรงของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ และความดันของระบบ การควบคุมปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปในระบบ สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต่างกันแม้จะใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกันได้ โดยเมื่อสูตรของวัตถุดิบที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบถูกอัดขึ้นรูปโดยมีความชื้นสูงและมีแม่พิมพ์ที่หล่อเย็นจนอุณหภูมิต่ำกว่า จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างของเส้นใยคล้ายกับเนื้อสัตว์ วัตถุดิบโปรตีนที่มักใช้ เช่น ถั่วเหลือง ข้าวสาลี ถั่วลิสง จะถูกผสมกับสารที่มีหน้าที่ช่วยประสานหรือทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารให้ปรุงแต่งรส เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะและรสชาติที่เหมาะสม เมื่อสารผสมของโปรตีนและน้ำไหลผ่านแม่พิมพ์และถูกทำให้เย็นลง จะส่งผลให้ชั้นของโมเลกุลโปรตีนเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ การผสมผสาน และการเรียงตัวใหม่เพื่อสร้างโครงสร้างเส้นใยที่มีลักษณะเฉพาะ โครงสร้างที่ได้ของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ ลักษณะการไหลภายในแม่พิมพ์ ดีไซน์ของแม่พิมพ์ และการถ่ายโอนความร้อน กระบวนการการอัดขึ้นรูปแบบความชื้นสูง (high-moisture extrusion: HME) โดยทั่วไปมักจะมีปริมาณน้ำเกินร้อยละ 50 เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักและมีลักษณะคล้ายกับเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอัดขึ้นรูปอย่างการอัดขึ้นรูปแบบความชื้นต่ำ (texturized low moisture extrusion) มีความสามารถในการผลิตเนื้อเทียมที่มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ได้[16] กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันถือเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเนื้อเทียม เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและมีศักยภาพในการผลิตเนื้อเทียมในปริมาณมากเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการบริโภคเนื้อเทียมที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

นอกจากการผลิตเนื้อเทียมด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันซึ่งเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ใช้ศึกษาการผลิตเนื้อเทียมในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น การเพาะเลี้ยงเซลล์เนื้อสัตว์ (cultured meat) เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อที่สามารถทำในหลอดทดลอง เพาะเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์จนเกิดเป็นเนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีชีวภาพอย่างการเพาะเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตโปรตีนทางเลือกจากจุลินทรีย์ (mycoprotein) โดยเส้นใยที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอย่างการขึ้นรูปหรือการนึ่งไอน้ำ[15]

### 3. องค์ประกอบและสารอาหาร

โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหารแบบทดแทนเนื้อสัตว์ มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับประโยชน์เชิงสุขภาพของโปรตีนจากถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นการช่วยสลายไขมันและบำรุงหัวใจ[17] ปัจจุบันโปรตีนจากถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วลันเตา ถั่วลูพิน ถั่วลูกไก่ และอื่น ๆ ได้เพิ่มความนิยมเพิ่มขึ้นในการผลิตเนื้อเทียม

หรือผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ งานวิจัยของ Kyriakopoulou[2] และคณะ ได้รายงานถึงการใช้โปรตีนถั่วในการผลิตเนื้อเทียมผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง ในเชิงโครงสร้างและเชิงโภชนาการว่า โปรตีนจากถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนบางชนิด เช่น เมทิโอนีนที่ส่งผลต่อการการย่อยและดูดซึมสารอาหาร[18]

เนื้อเทียมและผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์มักมีคาร์โบไฮเดรตอย่างแป้ง เส้นใยอาหาร และน้ำตาล ซึ่งมาจากวัตถุดิบต่าง ๆ คาร์โบไฮเดรตสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของส่วนผสมอย่างความหนืด ความคงตัว และการขึ้นรูป คาร์โบไฮเดรตช่วยเพิ่มความสัมพันธ์หรือพันธะระหว่างโปรตีน ไขมัน และน้ำ ทำให้เป็นความท้าทายในการกำหนดโภชนาการและสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตในอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม[2,19-20] วัตถุดิบที่น่าสนใจ คือ เมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมและอาหารทดแทนเนื้อสัตว์จำนวนมาก และยังใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแล้วหลากหลายชนิด เมทิลเซลลูโลสเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปลง เมื่อใช้ประกอบในการผลิตอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดเกาะ ช่วยให้อิมัลชันในระบบคงตัวที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก[21]

โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากธัญพืช (เช่น โปรตีนกลูเตนจากข้าวสาลี) อาจผสมโปรตีนจากน้ำนมเพื่อให้มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ มีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำและไม่มีคอเลสเตอรอล ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีคุณค่าทางโภชนาการที่มีปริมาณโปรตีนสูงเทียบเท่าเนื้อสัตว์จริง มีปริมาณไขมันที่ดีต่อสุขภาพคือ กรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีใยอาหาร ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์

อาหารทดแทนเนื้อสัตว์หรือเนื้อเทียมในเริ่มแรกมักมีปริมาณไขมันต่ำ[19] แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้เนื้อเทียมมีปริมาณไขมันมากขึ้นและมีปริมาณเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์จริง เนื้อเทียมในปัจจุบันมีส่วนประกอบของไขมันหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันจากอะโวคาโด น้ำมันมะพร้าว น้ำมันทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันงา และน้ำมันพืชอื่น ๆ ไขมันเหล่านี้มีส่วนช่วยในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำ นุ่ม และให้เนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อจริง ปริมาณน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ประกอบการผลิตเนื้อเทียมเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุม เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เช่น การใส่น้ำมันในปริมาณมากเกินไปจนส่วนผสมข้นหนืดจนไม่สามารถผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้ และการผสมน้ำมันหลากหลายชนิดเพื่อผลิตเนื้อเทียมยังมีส่วนเสริมปริมาณกรดอะมิโนได้อีกด้วย เนื่องจากกรดอะมิโนและวิตามินในไขมันสัตว์และพืชมีความแตกต่างกัน วิตามินที่ละลายในไขมันและสารประกอบที่เป็นประโยชน์บางชนิดที่พบในเนื้อสัตว์จึงไม่พบในไขมันพืช นอกจากนี้ไขมันพืชยังไม่มีคอเลสเตอรอลเหมือนไขมันจากสัตว์อีกด้วย งานวิจัยในปัจจุบันเกี่ยวกับผลกระทบของไขมันต่อผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชมุ่งเน้นไปที่ปริมาณไขมันที่เหมาะสมที่ต้องเติมเพื่อให้ได้สมดุลที่ดีที่สุดระหว่างสุขภาพและเนื้อสัมผัส จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อทำความเข้าใจว่าประเภทไขมันที่แตกต่างกันส่งผลต่อผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชอย่างไร

สารปรุงแต่งรสในอาหารทดแทนเนื้อสัตว์มักถูกเพิ่มเข้าไปในรูปแบบของเครื่องปรุงและเครื่องเทศ วิธีการมากมายได้รับการศึกษาเพื่อให้สามารถทำเนื้อเทียมให้มีกลิ่นรสเหมือนเนื้อสัตว์จริงมากที่สุด จากการค้นคว้าของ Kyriakopoulou และคณะ[2] ศึกษาการแยกสารระเหยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติด้วยการให้ความร้อนเป็นวิธีการหลักที่สามารถกักเก็บกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้สีของเนื้อเทียมก็เป็นสิ่งสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค เนื้อเทียมมีเป้าหมายในการเลียนแบบสีของอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนเหมือนเนื้อสัตว์จริง โดยใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น สารสกัดจากบีทรูทและมะเขือเทศบด เพื่อให้ได้สีธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีซาร์โคปลาสมิกโปรตีน (sarcoplasmic proteins) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุให้สีของเนื้อสัตว์ เนื้อเทียมบางประเภทก็มีการใช้ธาตุเหล็กหรือเลกฮีโมโกลบิน (leghemoglobin) จากถั่วเหลือง

**4. การพัฒนาเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางกายภาพ**

เนื้อสัมผัสที่เหมือนจริงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อเทียมสามารถเทียบเคียงเนื้อสัตว์ และตอบสนองความต้องการต่อผู้บริโภค การจะเลียนแบบเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์นั้นสามารถทำได้ด้วยการเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมและวัตถุดิบที่มีหน้าที่แตกต่างกันให้พอเหมาะพอดี เช่น งานวิจัยของ Lei Sha และ Youling L. Xiong[11] ที่ได้รวบรวมงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้วัตถุดิบหลักจากพืชต่างชนิดที่มีคุณสมบัติและหน้าที่แตกต่างกันมาผลิตเนื้อเทียม โดยได้รายงานว่า โปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนจากถั่วนั้นมีส่วนช่วยในเรื่องของการจับตัวกัน (aggregation) ความเป็นเจล (gelation) โครงสร้างของเส้นใยเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน ความสามารถในการจับตัวกับน้ำมัน และเพิ่มความเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่โปรตีนจากแป้งสาลีและมันฝรั่งมีส่วนช่วยในเรื่องของการเพิ่มเนื้อสัมผัสความยืดหยุ่น (elasticity) และความสามารถในการยืดขยาย (extensibility) นอกจากนี้โปรตีนจากถั่วเขียวและโปรตีนจากข้าวมีคุณสมบัติในการเป็นเจลที่ดีเพื่อเพิ่มพันธะการเชื่อมระหว่างอนุภาค (bonding) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding)

โดยจากการศึกษาของ Bohrer[22] ที่เปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมกับเนื้อเบอร์เกอร์ของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่ปริมาณ 100 กรัม พบว่า เนื้อเทียมมีโปรตีน 17.70 กรัม ไขมัน 15.63 กรัม คาร์โบไฮเดรต 2.65 กรัม ใยอาหาร 1.77 กรัม และไม่มีคอเลสเตอรอลในขณะที่เนื้อเบอร์เกอร์จากเนื้อสัตว์ มีโปรตีน 23.33 กรัม ไขมัน 20 กรัม ไม่มีคาร์โบไฮเดรตและใยอาหาร แต่มีคอเลสเตอรอลถึง 83.33 มิลลิกรัม แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโปรตีนของเนื้อเทียมสามารถเทียบเคียงกับเนื้อสัตว์ได้โดยมีใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น และสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลรวมถึงความเสี่ยงการเกิดโรคได้

**5. รสสัมผัสและการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส**

เนื่องจากความแตกต่างตามธรรมชาติระหว่างเนื้อสัตว์และพืช เช่น โครงสร้างและขนาดของโมเลกุลโปรตีน องค์ประกอบของกรดอะมิโน

ทำให้เป็นการยากที่จะสร้างรสสัมผัสและเนื้อสัมผัสให้เหมือนผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความท้าทายในการสร้างเนื้อสัมผัสและความสามารถในการดูดซับน้ำของเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามเพื่อชดเชยความแตกต่างเหล่านี้ จึงมีการเติมสารเพิ่มความข้นหนืด สารดูดซับน้ำ และสารเสริมเนื้อสัมผัสต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์จากพืช อีกหนึ่งอุปสรรคสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากพืช คือ การขาดรสชาติของเนื้อสัตว์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยและคาดหวัง งานวิจัยของ Graça, Godinho และ Truninger[23] มีการเติมเครื่องเทศและสมุนไพรจำนวนมากเพื่อเลียนแบบรสชาติของเนื้อสัตว์ แต่ผลของการทดลองพบว่า ยังคงมีกลิ่นของถั่วเหลืองที่เป็นลักษณะเฉพาะ และรสขมฝาดอันเนื่องมาจากการมีไอโซฟลาโวนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตเนื้อเทียม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิจัยเพื่อลดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้ต่อไป นอกจากนี้สีและภาพลักษณ์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค สีแดงสดของเนื้อสัตว์หรือสีชมพูของเนื้อสัตว์แปรรูปเป็นข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม จึงมีการเติมเลกฮีโมโกลบินร่วมกับไนไตรต์เข้าไปในเนื้อเทียมเพื่อให้มีสีเหมือนเลือด[11]

**6. อายุการเก็บรักษา**

อายุการเก็บรักษา คือ ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่เน่าเสีย มีปัจจัยหลายประการที่อาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม องค์ประกอบ ประเภทของแหล่งโปรตีนที่ใช้ ปริมาณไขมันความชื้นในผลิตภัณฑ์ การใช้สารคงตัว อุณหภูมิและความชื้นที่เก็บรักษา นอกจากนี้ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ยังส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาได้ ในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการในการยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อเทียม ศึกษาผลกระทบของส่วนผสมและวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันต่ออายุการเก็บรักษา พัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาใหม่ที่สามารถขนส่งและจัดเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งช่วยลดการสูญเสียอาหารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื้อเทียมจากพืชมีแนวโน้มที่จะเน่าเสียมากกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม มีเทคนิคการถนอมอาหารหลายวิธีที่สามารถนำมาใช้กับเนื้อเทียมจากพืช เทคนิคที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่

1. การบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere packaging : MAP) ทำได้โดยการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ที่มีการปรับสัดส่วนบรรยากาศภายในให้มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ โดยสัดส่วนของก๊าซที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ อัตราส่วนของก๊าซเริ่มต้นและสภาวะการเก็บรักษา เพื่อชะลอการออกซิเดชันและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ วิธีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อเทียมจากพืชได้หลายวันหรือหลายสัปดาห์

2. การแปรรูปด้วยแรงดันสูง (high pressure processing : HPP) เป็นวิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่ความดันสูงแบบไม่ใช้ความร้อนในการฆ่าแบคทีเรียที่เป็นอันตราย วิธีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของ

เนื้อเทียมจากพืชโดยไม่กระทบต่อคุณภาพ ไม่ทำลายสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารอาหารต่าง ๆ

## 7. การบริโภคเนื้อเทียมลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร

อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากตั้งแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การตัดไม้ และภาวะขาดแคลนน้ำจากการปศุสัตว์ ในปัจจุบันมีกระแสความตระหนักรู้เกี่ยวกับการรักษาและดูแลสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องตรวจสอบผลกระทบที่มีอยู่ของอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ และสำรวจทางเลือกที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในอุตสาหกรรมนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และการเลี้ยงสัตว์เป็นหนึ่งในประเด็นที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเลี้ยงวัวปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีเทนเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการปลูกพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์และการถางป่าเพื่อพื้นที่ทำปศุสัตว์ทำให้เกิดเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมหาศาล ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ทำลายระบบนิเวศ และใช้ทรัพยากรน้ำจำนวนมาก นอกจากนี้การปล่อยของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ ไม่ว่าจะยาหรือฮอร์โมนที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ก็ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและเกิดความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ หากสามารถเปลี่ยนแนวทางของอุตสาหกรรมอาหารให้ยั่งยืนขึ้น โดยทดแทนความต้องการเนื้อสัตว์ด้วยเนื้อเทียมได้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอาหารจึงจะลดลง

จากงานวิจัยของ Wiebe Saerens และคณะ[6] ได้มีการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมระหว่างเบอร์เกอร์เนื้อสัตว์และเบอร์เกอร์เนื้อเทียมพบว่า เบอร์เกอร์เนื้อวัวมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงถึงร้อยละ 95 ในทุกหมวดหมู่เมื่อเปรียบเทียบกับเบอร์เกอร์เนื้อเทียมที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นสูง และประเภทความชื้นต่ำที่แตกต่างกันด้วยปริมาณความชื้นที่ใช้ในกระบวนการ และพบว่า เบอร์เกอร์เนื้อสัตว์มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าเบอร์เกอร์เนื้อเทียมอย่างน้อย 5 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นต่ำมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการประเภทความชื้นสูง ทำให้สามารถยืนยันได้ว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นสูง เป็นกระบวนการในการผลิตเนื้อเทียมที่เป็นมิตรมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

## บทสรุป

ตลาดอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ได้เจริญเติบโตอย่างมากในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะเติบโตยิ่งขึ้นในอนาคต ไม่เพียงแต่ผู้ที่รับประทานอาหารมังสวิรัติและผู้ที่รับประทานอาหารเจเท่านั้นที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคแต่ยังรวมถึงผู้ที่ต้องการลดปริมาณเนื้อสัตว์ในอาหารของตนเองด้วย เป็นแรงผลักดันให้มีนวัตกรรมและการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้มีบริษัทหลายรายลงทุนในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ อาหารทดแทนเนื้อสัตว์หรือเนื้อเทียมเป็นอาหารทางเลือกที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

จริยธรรม และสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการบริโภคเนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม มุ่งสู่การใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยยังตอบสนองต่อความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ด้วยกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อสัตว์จริง เป็นทางเลือกสู่อนาคตที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรมากยิ่งขึ้น

**เอกสารอ้างอิง**

1. Nations UNIES. World population prospects 2019: highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.Nosworthy, M. G., & House, J. D. (2017).Factors influencing the quality of dietary proteins: Implications for pulses. Cereal Chemistry. 2019;94(1):49-57.
2. Kyriakopoulou K, Dekkers B, van der Goot AJ. Plant-based meat analogues. Sustainable meat production and processing: Elsevier; 2019. p. 103-26.
3. ZionMarketReport. Global Plant Based Meat Market Will Reach USD 21.23Billion by 2025: Zion Market Research. 2019. p. https://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/28/1781303/0/en/Global-Plant-Based-Meat-Market-Will-Reach-USD-21-23-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html
4. Meade SJ, Reid EA, Gerrard JA. The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. J AOAC Int. 2005;88(3):904-22.
5. Xia Y, Qian J, Zhao Y, Zheng B, Wei K, Peng B, et al. Effects of food components and processing parameters on plant-based meat texture formation and evaluation methods. J Texture Stud. 2023;54(3):394-409.
6. Webb D, Li Y, Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat. Trends Food Sci Technol. 2022.
7. Baune M-C, Terjung N, Tülbek MÇ, Boukid F. Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives. Future Foods. 2022:100181.
8. Nowacka M, Trusinska M, Chraniuk P, Drudi F, Lukasiewicz J, Nguyen NP, et al. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. Molecules. 2023;28(7):2966.
9. Imran M, Liyan Z. Production of plant-based meat: functionality, limitations and future prospects. European Food Res Technol. 2023:1-25.
10. Calkins CR, Hodgen JM. A fresh look at meat flavor. Meat Sci. 2007;77(1):63-80.
11. Sha L, Xiong YL. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. Trends Food Sci Technol. 2020;102:51-61.
12. Yang D, Gao S, Yang H. Effects of sucrose addition on the rheology and structure of iota-carrageenan. Food Hydrocoll. 2020;99:105317.
13. Palanisamy M, Töpfl S, Aganovic K, Berger RG. Influence of iota carrageenan addition on the properties of soya protein meat analogues. LWT. 2018;87:546-52.
14. Wang Z, Tian B, Boom R, van der Goot AJ. Air bubbles in calcium caseinate fibrous material enhances anisotropy. Food Hydrocoll. 2019;87:497-505.
15. Dekkers BL, Boom RM, van der Goot AJ. Structuring processes for meat analogues. Trends Food Sci Technol. 2018;81:25-36.
16. Saerens W, Smetana S, Van Campenhout L, Lammers V, Heinz V. Life cycle assessment of burger patties produced with extruded meat substitutes. J Clean Prod. 2021;306:127177.
17. Hughes GJ, Ryan DJ, Mukherjea R, Schasteen CS. Protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS) for soy protein isolates and concentrate: Criteria for evaluation. J Agric Food Chem. 2011;59(23):12707-12.

18. Nosworthy MG, House JD. Factors influencing the quality of dietary proteins: Implications for pulses. Cereal Chem. 2017;94(1):49-57.
19. Kumar P, Chatli M, Mehta N, Singh P, Malav O, Verma AK. Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. Critical reviews in food science and nutrition. 2017;57(5):923-32.
20. Tarté R. Ingredients in meat products: properties, functionality and applications: Springer; 2009.
21. Schuh V, Allard K, Herrmann K, Gibis M, Kohlus R, Weiss J. Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages. Meat Sci. 2013;93(2):240-7.
22. Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. Food Sci Hum Wellness. 2019;8(4):320-9.
23. Graça J, Godinho CA, Truninger M. Reducing meat consumption and following plant-based diets: Current evidence and future directions to inform integrated transitions. Trends Food Sci Technol. 2019;91:380-90.

# เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช

**นิพัฒน์ ลิ้มสงวน**

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrnpl@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 9 ตุลาคม 2566 **แก้ไขเมื่อ** 16 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช
- เทคโนโลยีใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม
- คุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมด้วยการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบันกระแสของการทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ด้วยโปรตีนพืชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภคที่มีความห่วงใยในสุขภาพรวมทั้งสภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งสัมพันธ์กับประเด็นความมั่นคงทางอาหารในอนาคต เนื่องด้วยโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีต้นทุนต่ำ กอปรกับคุณค่าเชิงสุขภาพจากสารพฤกษเคมีและใยอาหารสูง แหล่งของโปรตีนจากพืชหลัก ๆ ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลืองซึ่งมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเนื้อเทียม ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นต่ำและความชื้นสูง โดยเนื้อเทียมชนิดความชื้นต่ำมีการผลิตจำหน่ายอย่างแพร่หลายมากว่า 40 ปี ในขณะที่เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงจะให้คุณลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริง เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยในประเทศไทยมาไม่นาน ทำให้ในท้องตลาดยังมีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้อยู่น้อยมาก กระบวนการดั้งเดิมของการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน ยังมีข้อจำกัดในการพัฒนาคุณลักษณะและคุณภาพของเนื้อเทียมให้ตรงตามความต้องการของตลาด จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น การใช้ความดันสูง การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา การพิมพ์อาหารสามมิติ เป็นต้น ร่วมกับการวิจัยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความปลอดภัยในการรับประทาน เป็นต้น

**คำสำคัญ :** เทคโนโลยีใหม่ โปรตีนจากพืช ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์

# Neo technology for research and development of meat analogue from plant-based protein

## Nipat Limsangouan

Department of Food Processing and Preservation,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrnpl@ku.ac.th
**Received** 9 October 2023; **Revised** 16 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

### Highlights

- Meat analogue from plant-based protein
- Neo technology related to research and development of meat analogue
- Characteristics and quality of meat analogue using different technologies

### Abstract

Nowadays, there is a growing trend to replace animal proteins in food products with plant-based ones, which is mainly driven by consumers' health concerns and environmental concerns associate with food sustainability issues due to its low-cost source of protein. In addition to the health benefit from phytochemical substances and high dietary fiber. The main sources of plant-based protein are legumes. Especially soybeans, which have a relatively high protein content and been used as the main raw material in the production of meat analogue. There are two types of meat analogue, low and high moisture products. The low moisture type has been widely produced and sold for more than 40 years, while the high moisture type that gave the characteristics similar to real meat has been done in Thailand recently. Then, there are few products of this type on the market. By the traditional process of producing meat analogue, such as the extrusion process. There are limitations in the texture and quality requirement for the market. There is a need for neo technology applications such as high pressure, electrostatic spinning, cold plasma, 3-D printing, etc. for research and development to reach the best characteristics, high nutrition and safe for consumption.

**Keywords :** neo technology, plant-based protein, meat analogue, product research and development

**บทนำ**

ในปัจจุบันกระแสรักสุขภาพและตลาดอาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ผู้คนจำนวนไม่น้อยหันมาเลือกรับประทานอาหารมังสวิรัติ ลดการบริโภคเนื้อสัตว์ และเลือกรับประทานอาหารที่มีไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ แต่เพื่อให้ร่างกายได้ปริมาณโปรตีนตามความต้องการในแต่ละวัน การรับประทานโปรตีนจากพืชโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วจึงมีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องด้วยเป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหารสูงที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย รวมถึงสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะในถั่วที่มีสี ที่ช่วยส่งเสริมคุณค่าเชิงสุขภาพ อีกทั้งตลาดผลิตภัณฑ์โปรตีนทดแทนเนื้อสัตว์กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุผลทางด้านสุขภาพและเหตุผลทางด้านสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์โปรตีนทดแทนเนื้อสัตว์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ เต้าหู้ ถั่วหมัก และเนื้อเทียม

โปรตีนเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน ซึ่งมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูง ผลิตโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้นำทางด้านการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากถั่วเหลืองที่มีองค์ความรู้ในด้านกระบวนการผลิตและมีนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญในด้านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน และการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์คล้ายเนื้อสัตว์ที่มีการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยในปัจจุบันยังค่อนข้างมีข้อจำกัดในแง่ของการออกแบบลักษณะเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงเนื้อสัตว์จริง เช่น เนื้อวัว เนื้อปลา เนื้อไก่ หรือผลิตภัณฑ์ เบคอน แฮม ประกอบกับผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตร (Figure 1a) หรือ textured vegetable protein นั้นมีความชื้นต่ำ ส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะของแห้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ซึ่งต้องนำมาดูดน้ำกลับก่อนนำไปใช้ประกอบอาหารเพื่อบริโภค และยังค่อนข้างจำกัดในแง่ของลักษณะเนื้อสัมผัสและรูปร่างที่มีการออกแบบหรือพัฒนาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่นี้ให้เป็นโปรตีนคล้ายเนื้อจากถั่วด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง[1] จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อที่เรียกว่า high moisture meat analogue (Figure 1b) มีลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริงมากขึ้น โครงสร้างของเส้นใยมีความเหนียวแน่นหนึบมากขึ้นเมื่อเทียบกับโปรตีนเกษตรรูปแบบเดิม สามารถนำมาประกอบอาหารได้ทันทีโดยไม่ต้องนำไปแช่น้ำ และควรเก็บรักษาในตู้เย็นหรือแช่แข็ง จากการสำรวจเอกสารในช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่า การใช้เทคโนโลยีการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันชนิดความชื้นสูงสามารถเปลี่ยนรูปโมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายเนื้อสัตว์ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างคล้ายมัดกล้ามเนื้อเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่นี้ได้เกิดขึ้นจากการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อจากถั่วชนิดอื่น ๆ ให้อยู่ในรูปแบบหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (meat analogue) ก็ย่อมจะเป็นผลดีต่อผู้บริโภคด้วย[2]

(a) (b)

**Figure 1** Extrudate soy-based meat analogue[1]: a) texture vegetable protein, and b) high moisture meat analogue

เดิมการรับประทานผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จากพืชเป็นที่แพร่หลายในช่วงเทศกาลถือศีลกินเจในประเทศไทยอยู่แล้ว อีกทั้งหลังจากทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยต้องเจอกับสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) มีการให้ความสำคัญกับการใส่ใจสุขภาพจากการเลือกรับประทานอาหารมากขึ้น คุณประโยชน์จากการเลือกรับประทานโปรตีนจากพืช จากงานวิจัยได้แนะนำว่า อาหารที่เน้นพืชเป็นหลักจะมีเส้นใยอาหารที่อาจมีบทบาทในการป้องกันโรคอ้วน มะเร็งลำไส้ เบาหวาน ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ[3] ซึ่งเนื้อเทียมจากพืชนั้นให้พลังงาน ไขมันรวม และไขมันอิ่มตัว ต่ำกว่าเนื้อสัตว์ แต่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์[4] การรับประทานโปรตีนจากพืชจะช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันร่างกายให้แข็งแรงมากขึ้น เพราะโปรตีนจากพืชบางชนิดมีส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณกลูตาไธโอนให้กับร่างกายเปรียบเสมือนเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ[5] ในขณะที่ เรไร[6] ชี้ให้เห็นถึงการบริโภคโปรตีนจากพืชยังช่วยในเรื่องของการสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร ซึ่งเป็นวาระเร่งด่วนของโลกในปัจจุบัน โดยเฉพาะสภาวการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส Covid-19 การดำเนินชีวิตวิถีปกติใหม่ (new normal) ยิ่งทำให้คนตื่นตัวและตระหนักถึงความสำคัญมากขึ้น[7]

**กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากโปรตีนพืช**

กระบวนการในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากโปรตีนพืชนั้น มีการค้นคว้าและวิจัยอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ซึ่งมีการใช้เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย โดยแบ่งได้ 2 เทคนิคหลัก คือ top-down เป็นการขึ้นรูปจากส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ได้เป็นโครงสร้างคล้ายเนื้อสัตว์ และ bottom-up เป็นการสังเคราะห์สร้างเนื้อเยื่อจากขนาดเล็ก ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นชิ้นอาหารที่สามารถรับประทานได้ โดยทั้ง 2 เทคนิคนี้มีทั้งเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการและเทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์[8]

ผลิตภัณฑ์โปรตีนพืชในลักษณะของเนื้อเทียมชนิดความชื้นสูง (high moisture meat

analogue: HMMA) ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งแต่เดิมใช้กระบวนการผลิตแบบ fiber spinning process มีข้อด้อยในแง่ของกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน มีการใช้สารเคมี เช่น กรดด่าง เข้ามาเกี่ยวข้อง และผลิตได้น้อยเนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นแบบชุดไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งยังใช้โปรตีนถั่วเหลืองบริสุทธิ์ที่มีราคาแพงเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่มีการออกแบบหน้าแปลนเป็นพิเศษในรูปแบบของ long cooling die (Figure 2) โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน (defatted soy flour) และ/หรือ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (isolated soy protein) ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์แต่ใช้วัตถุดิบจากพืช ใช้บริโภคทดแทนเนื้อสัตว์ มีลักษณะเนื้อแน่น มีความเป็นเส้นใยสูง โครงสร้างเส้นใยเป็นชั้น ๆ ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม คงความเป็นเส้นใยเมื่อผ่านความร้อนในการประกอบอาหารและมีความน่าเคี้ยว แต่เนื่องด้วยเนื้อสัมผัสที่มีความชุ่มฉ่ำและมีความชื้นสูง ผลิตภัณฑ์นี้จึงยังคงต้องเก็บรักษาในสภาวะที่เย็นหรือแช่แข็ง เพื่อให้คงอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลาที่นานยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารเพื่อบริโภคหลากหลายรูปแบบได้มากขึ้น[2] สอดคล้องกับการรายงานผลการวิจัยของ Sman และ Goot[9] ซึ่งได้อธิบายถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนพืชในกระบวนการผลิตเนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นใยในระหว่างกระบวนการแปรรูปจนได้ลักษณะคล้ายเนื้อ รวมถึงผลของการหมักเนื้อเทียม และการแช่แข็งที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

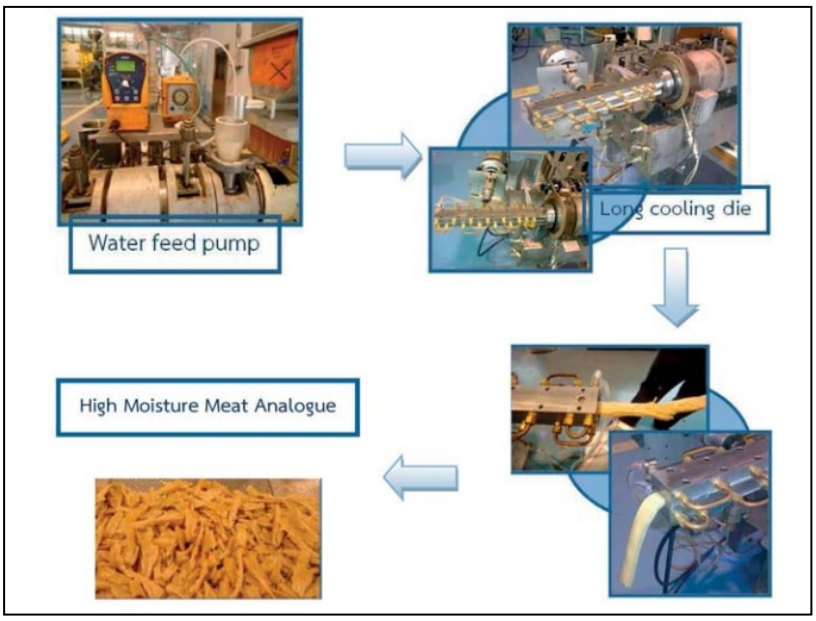


**Figure 2** High moisture meat analogue production[1]

**เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม**

จากความต้องการผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้นในแต่ละปี จึงทำให้เกิดงานวิจัยที่ศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากวัตถุดิบต่าง ๆ รวมถึงคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ด้วยกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของการสร้างนวัตกรรมอาหารจากโปรตีนพืชที่สามารถตอบสนองความต้องการผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้เป็นอย่างดี บทความนี้ขอนำเสนอตัวอย่างงานวิจัยที่แสดงผลของเทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เพื่อเป็นข้อมูลในการต่อยอดงานวิจัยทางด้านนี้ของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งและสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์

*การแปรรูปด้วยความดันสูง (high pressure processing)*

กระบวนการใช้ความดันสูง เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้กับอาหารเป็นเวลานานกว่าศตวรรษ และในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตและแปรรูปโดยใช้กระบวนการนี้ประสบผลสำเร็จทางการค้ามากมาย ข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากเดิม จึงทำให้ยังคงรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ได้ อีกทั้งยังมีรายงานถึงการใช้ความดันสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทั้งด้านการละลาย (solubility) การเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) การอุ้มน้ำ (water holding) การเกิดโฟม (foaming) รวมถึงความสามารถในการย่อย (digestion) ของโปรตีนจากพืชเมล็ดและพืชตระกูลถั่ว[10] แม้ว่ากระบวนการใช้ความดันสูงนั้นจะต้องใช้งบประมาณเริ่มต้นในการลงทุนค่อนข้างสูง แต่จะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าในระยะยาว อีกทั้งเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีสะอาดไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการใช้ความดันสูงนี้ มีการศึกษาผลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนจากถั่วลันเตาต่อการเกิดเจลพบว่า ที่ความดัน 400 MPa เป็นเวลา 15 นาที สามารถส่งเสริมการเกิดและความแข็งแรงของเจลทดแทนการใช้โปรตีนจากนมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้[11]

ในปี พ.ศ. 2565 นิพัฒน์ และคณะ[12] ศึกษาผลของกระบวนการให้ความดันต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงที่ใช้แป้งถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก จากการทดลองในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์และสารระเหยให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงเมื่อผ่านการใช้ความดันที่สภาวะที่แตกต่างกัน (200 400 และ 600 MPa ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที) เมื่อผ่านระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (56 วัน) พบว่า ความดันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่สว่างกว่าตัวอย่างควบคุมจากการยับยั้งการเกิดสารสีน้ำตาลได้ แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ความสว่างลดลง ในขณะที่ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความแข็งและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความดันจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งให้ลักษณะที่ดีคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์มากขึ้นโดยเฉพาะค่าความเหนียว เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ตลอดระยะการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความดันสูง (600 MPa) สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้สูงที่สุด แต่ข้อเสียของการใช้ความดันคือจะทำให้กลิ่นของถั่วเด่นชัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับกลิ่นถั่วได้

*การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต (electrostatic spinning)*

การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เป็นการอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงไปที่ปลายเข็มทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวพอลิเมอร์เหลว เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้แรงผลักมีมากกว่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ยืดยาวออกอย่างต่อเนื่อง[13] เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดผลิตจากแป้งหรือโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเรียงต่อกันคล้ายพอลิเมอร์จึงมีการประยุกต์วิธีนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เช่นมีการใช้กระบวนการนี้ในการดัดแปลงเนื้อสัมผัสอาหารสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเนื้อนุ่มนิ่ม ชุ่มชื้น เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาการเคี้ยวหรือการกลืนได้[14] การทดลองของ Yang และคณะ[15] ซึ่งศึกษากระบวนการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้วัตถุดิบหลักเป็นโปรตีนจากเมล็ดของดอกคำฝอย (safflower seed meal protein: SMP) เพื่อผลิตแผ่นเนื้อเทียมจากเส้นใยขนาดนาโน (plant protein-based nanofibers) ที่มีรูพรุน มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ โดยการเตรียมในสารละลาย cinnamaldehyde และล้างในสารละลายบัฟเฟอร์ของกรดซิตริก โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง SMP ต่อ พูลลูแลน (pullulan: มิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ สามารถทำให้เกิดลักษณะเจล) คือ 5:5 เตรียมให้ได้ร้อยละ 20 (w/v) ในสารละลายที่ใช้ในการ spinning ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกำจัดพูลลูแลนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แล้วจะทำให้ได้แผ่นเนื้อเทียมที่มีการสานของเส้นใยโปรตีนขนาดนาโนที่มีรูพรุน มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น และมีความคงทนต่อความร้อนได้มากขึ้นด้วย ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถต่อยอดในการผลิตนวัตกรรมอาหารเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้นด้วย

*กระบวนการเกิดโฟมขนาดไมโคร (micro-foaming)*

จากกระแสการตื่นตัวในการหันมาบริโภคผลิตภัณฑ์โปรตีนทางเลือกจากพืชเพิ่มสูงขึ้น นักวิจัยจึงมุ่งเน้นในการค้นคว้าและศึกษาถึงกรรมวิธีในการพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมให้มีความคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ ซึ่งโดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะมีลักษณะเนื้อแน่น มีความเป็นเส้นใย และมีความใกล้เคียงเนื้อสัตว์ แต่ยังคงมีข้อด้อยในลักษณะของเนื้อที่แน่นเกินไป มีการอุ้มหรือซับน้ำได้น้อย ทำให้การยอมรับของผลิตภัณฑ์ยังไม่สูงมากนัก จึงมีความพยายามในการพัฒนากระบวนการสร้างโพรงอากาศในลักษณะของ micro-foaming ให้มีความคงตัวตลอดระยะเวลาในการผลิต Zink และคณะ[16] ศึกษากระบวนการสร้างโพรงอากาศจากการสร้างก๊าซในระบบ (Figure 3) และการกำหนดขนาดของโพรงอากาศให้มีขนาดเล็กแต่มีความคงตัวสูงสุด โดยใช้

วัตถุดิบ คือ ผงโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate powder) ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ มีการฉีดน้ำมันคาโนลาและก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ระบบเพื่อให้เกิดระบบอิมัลชันและเกิดโพรงอากาศขึ้น และทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี การดูดซับน้ำและน้ำมัน คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และการเกาะติด (cohesiveness) จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้การยอมรับด้านความสว่างของสี (perceptual lightness) เพิ่มสูงขึ้น การอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และความเหนียวหนืบของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า การสร้างโพรงอากาศในลักษณะของโฟมขนาดเล็ก ด้วยการฉีดก๊าซไนโตรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่พัฒนาขึ้นนี้มีการยอมรับจากผู้ทดสอบมากขึ้นทั้งในลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Schreuders และคณะ [17] ซึ่งศึกษาในโปรตีนของถั่วลันเตา และถั่วเหลืองที่มีการผสมกลูเตนในกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ทำให้การยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย กระบวนการสร้างโพรงอากาศนี้จึงเป็นการส่งเสริมระบบการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นนั่นเอง

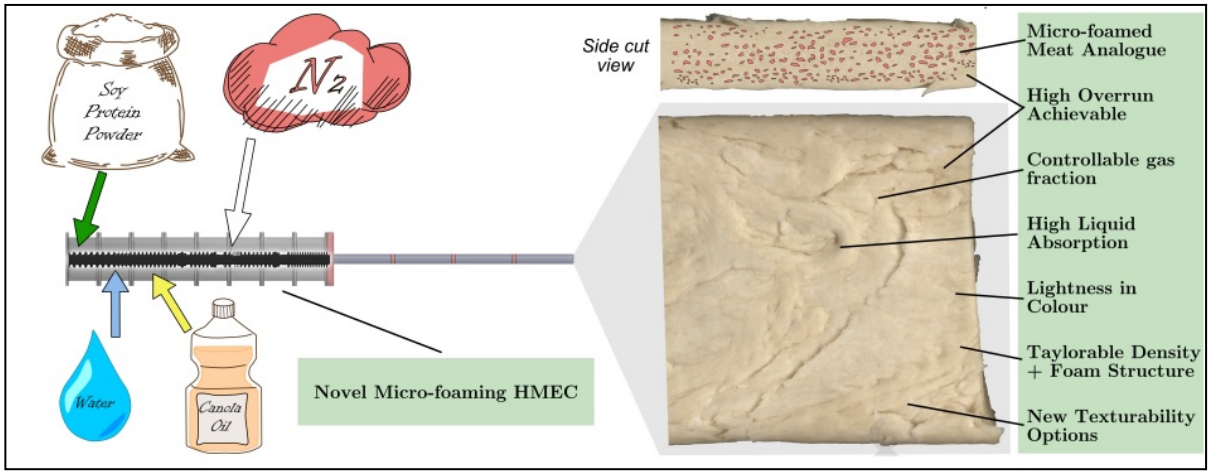


**Figure 3** Preparation process of micro-foamed meat analogue[16]

*เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ (ultrasound)*

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ในการสกัดสารสำคัญจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ หลักการของอัลตราซาวด์กล่าวคือใช้คลื่นเสียงความถี่ต่ำ (16-100 kHz) และความเข้มของกำลัง (power intensity) ที่ระดับ 10-1000 W/cm$^3$ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีอุณหภูมิ (5000 K) และความดันสูง (1000 atm)[18] ซึ่งสามารถทำลายผนังเซลล์ของพืช ทำให้เกิดการสกัดสารต่าง ๆ ออกมาจากเซลล์ นอกเหนือจากความสามารถในการสกัดแล้ว ผลของอัลตราซาวด์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโปรตีนซึ่ง

เป็นองค์ประกอบที่พบได้ในเซลล์พืช Ampofo และ Ngadi[19] อธิบายถึงการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างปฐมภูมิไปจนถึงโครงสร้างจตุรภูมิ (Figure 4) ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นอัลตราซาวด์เข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนทำให้รูปร่างของสายโปรตีนที่มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์เกิดการแตกหัก และจัดรูปร่างโปรตีนขึ้นใหม่ จึงทำให้สมบัติต่าง ๆ ของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ[20] ความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์[21] ความสามารถในการอุ้มน้ำ[22] ความสามารถในการเกิดเจล[20] และความสามารถในการเกิดโฟม[23] เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการต่อยอดความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่สามารถควบคุมสมบัติที่สำคัญเพื่อให้ได้เนื้อเทียมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากที่สุด

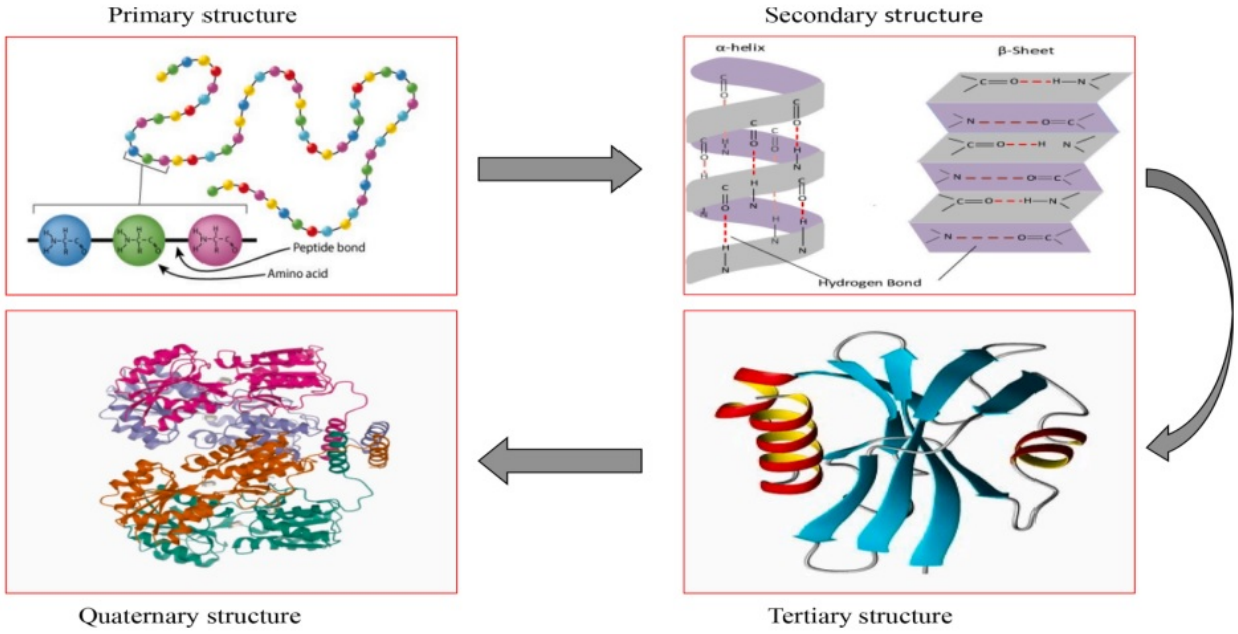


**Figure 4** Schematic illustration of protein conformational levels[19]

*เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา (cold plasma)*

คำว่า “พลาสมา” ถูกใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1928 โดย Irving Langmuir ผู้ค้นพบสถานะที่ 4 เป็นสถานะของ neutral ionized gas ซึ่งเป็นก๊าซที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน (electron) โฟตอน (photons) positive และ negative ions อนุมูลอิสระ (free radical) โมเลกุลของก๊าซ (gases molecules) และอะตอม (atom) ซึ่งอยู่ทั้งในสถานะพักและสถานะกระตุ้น พลาสมาสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายวิธีการ เช่น การใช้ลำแสงกำลังสูง หรือการใช้กระแสไฟฟ้ากำลังสูง เป็นต้น โดยปกติสามารถทำให้เกิดความร้อน และไม่ก่อให้เกิดความร้อน (โคลด์พลาสมา : cold plasma) ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งและกระบวนการในการสร้างพลาสมา ในกรณีของโคลด์พลาสมา ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน

เกิดขึ้นจากช่องของกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ในรูปของก๊าซที่อุณหภูมิห้องซึ่งการที่ไอออนและองค์ประกอบของก๊าซมีอุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลดีต่อการนำโคลด์พลาสมามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อช่วยคงคุณภาพและความพึงพอใจทางด้านประสาทสัมผัสในตัวผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาใช้[24] Oner และคณะ[25] ได้อธิบายถึงสถานการณ์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโคลด์พลาสมาสำหรับผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช โดยเทคโนโลยีนี้ในเบื้องต้นใช้เพื่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการทดลองพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผ่านการพาสเจอไรส์ จากกลไกในการทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดรูรั่ว และทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์ มีการศึกษาผลของโคลด์พลาสมาต่อองค์ประกอบของโปรตีนในอาหาร ซึ่งช่วยในการส่งเสริมสมบัติเฉพาะทางเคมีกายภาพ เช่น การเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนถั่วลิสงกับ sesbania gum[26] ที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 160 หรือการเพิ่มความคงตัวของโฟมโปรตีน gliadin ของข้าวสาลี[27] ที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 70 ในขณะที่ Bormashenko และคณะ[28] รายงานผลของโคลด์พลาสมาต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 32 เมื่อผ่านการใช้เทคโนโลยีโคลด์พลาสมาที่ 15 kV นาน 5-120 วินาที ซึ่งสมบัติดังกล่าวบ่งชี้ถึงความสามารถในการอุ้มน้ำและทำให้เนื้อเทียมที่ผ่านการใช้โคลด์พลาสมามีความนุ่มและคล้ายเนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้น โดยสรุปแล้วเทคโนโลยีโคลด์พลาสมานอกเหนือจากการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีอายุการเก็บรักษาที่นานมากขึ้นแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของโปรตีนที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากพืช

*เทคโนโลยีพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field)*

Pulsed electric field (PEF) คือ การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ เป็นเทคนิคการให้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง ที่มีลักษณะเป็นจังหวะ (pulse) แก่อาหารโดยผ่านขั้วอิเล็กโทรดในช่วงเวลาสั้น จัดเป็นวิธีการแปรรูปอาหารแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal process) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ที่อุณหภูมิปกติ โดยหลักการทำงานของ PEF คือ การให้สนามไฟฟ้า ผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับอาหาร เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตที่จะส่งผลทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจะใช้เวลาสั้นมาก และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “electroporation” หรือ “poreformation” ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรู ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น มีการไหลเข้า-ออก ของสารมากขึ้น[29] Guo และคณะ[30] ทำการศึกษาผลของ PEF ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเนื้อเทียมที่ทำมาจากกลูเตน โดยวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ การอุ้มน้ำมัน โครงสร้างภายใน เนื้อสัมผัส

และลักษณะทางกายภาพของกลูเตน จากการทดลองพบว่า PEF ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน[31] ในขณะที่ค่าวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความเคี้ยวได้ (chewiness) ความเหนียว (gumminess) และการเกาะติด (cohesiveness) เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zhang และคณะ[32] อีกทั้ง PEF ส่งเสริมการเกิดโพรงอากาศขนาดเล็ก ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้เกิดความนุ่มนิ่ม อุ้มน้ำได้ดี มีความคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์เป็นอย่างมาก

*เทคโนโลยีโอห์มิก (ohmic heating)*

การให้ความร้อนแบบโอห์มิก เป็นการให้ความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของอาหาร เนื่องจากอาหารมีความต้านทานไฟฟ้า การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในอาหารจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นทั่วทุกส่วนของอาหารอย่างสม่ำเสมอ ลักษณะการให้ความร้อนแบบโอห์มิก คือ การเหนี่ยวนำทำให้เกิดความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของอาหาร[29] และจากกระแสของการบริโภคเนื้อเทียมจากโปรตีนพืชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการศึกษากระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ที่สามารถส่งเสริมให้วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง มีคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงเนื้อให้มากที่สุด เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน การแช่แข็ง การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่า การใช้พลังงานในกระบวนการที่ต่ำ เพื่อให้สามารถต่อยอดขยายในการจำหน่ายในท้องตลาดนอกเหนือจากลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ต้องเหมาะสมควบคู่กันไปด้วย ดังนั้นเทคโนโลยีโอห์มิก จึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีศักยภาพในการแปรรูปเนื้อเทียม Jung และคณะ[33] รายงานผลการประยุกต์ใช้กระบวนการโอห์มิกในการผลิตเนื้อเทียมที่มีวัตถุดิบหลักเป็นโปรตีนจากถั่วเหลือง หลังผ่านการนวดผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ทำให้เกิดโดแล้วนำเข้าในแม่พิมพ์ในระบบของโอห์มิก (Figure 5) ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่ 30 V/cm ทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็วภายใน 0.66-0.87 นาที โดยผันแปรอุณหภูมิในการแปรรูปที่ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการให้ความร้อนที่ 1 3 5 และ 7 นาที จากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในแง่ของร้อยละของผลผลิตและการใช้พลังงานในกระบวนการแปรรูป โดยการใช้เวลา 3 นาทีที่สภาวะดังกล่าวจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส (hardness gumminess และ chewiness) ของผลิตภัณฑ์ที่ดีใกล้เคียงกับนักเก็ตไก่ (chicken nuggets) และสเต็กเนื้อวัวที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ (restructured beef steaks) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสนี้สัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบด้วย[34] ทั้งนี้อุณหภูมิและระยะเวลาในการแปรรูปที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก จากงานวิจัยนี้จึงทำให้เห็นศักยภาพของกระบวนการโอห์มิกในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมได้ในอนาคต

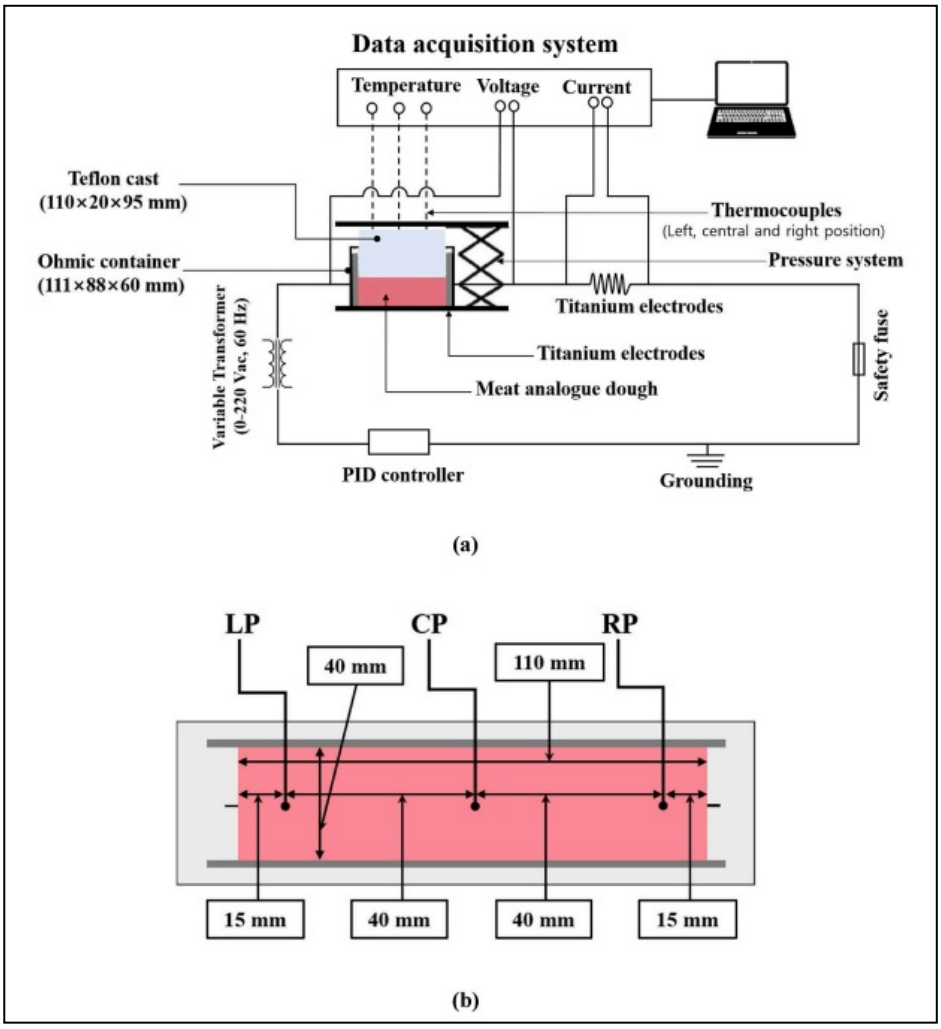


**Figure 5** (a) Schematic diagram of customized ohmic cooking system, (b) installation of thermocouple into different geometry of meat analogueue (LP : left position, CP : central position, RP : right position)[33]

*เทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ (3D-printed)*

เทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับวงการอุตสาหกรรมอาหาร การนำเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย เช่น ความแปลกใหม่ ความสนุก ความคิดสร้างสรรค์ ความสะดวก การสร้างเสริมสุขภาพและโภชนาการ การลดปริมาณของเหลือทิ้ง และเพื่อความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม นักวิจัยนำเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ มาใช้ในการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ จากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) วัตถุดิบที่ตามธรรมชาติสามารถใช้เป็นวัสดุพิมพ์ได้เลย เช่น ชีส โดพิซซ่า และช็อกโกแลต 2) วัตถุดิบที่ตามธรรมชาติไม่สามารถใช้เป็นวัสดุพิมพ์ได้ทันที เช่น เนื้อสัตว์ เนื้อปลา และผักผลไม้ และ 3) วัตถุดิบทางเลือก เช่น แมลง สาหร่ายทะเล และจุลินทรีย์ เป็นต้น[35] Qiu และคณะ[36] พัฒนา

กระบวนการผลิตเนื้อเทียมด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ โดยวัตถุดิบที่ใช้เป็นหมึกพิมพ์ ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) กลูเตนจากข้าวสาลี (wheat gluten) และ โปรตีนข้าว (rice protein) ให้มีปริมาณโปรตีนสูงในการผลิตเนื้อเทียม โดยทำการประเมินสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางรีโอโลยี ความชื้น เนื้อสัมผัส โครงสร้างภายใน และสมรรถนะในการพิมพ์ เมื่อทำการแปรค่าของอัตราส่วนของวัตถุดิบหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า หมึกพิมพ์โปรตีนสูงที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงสมบัติของพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ลักษณะความหนืดปรากฏลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของโปรตีนข้าวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการพิมพ์มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลูเตนจากข้าวสาลีช่วยทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยคล้ายเนื้อมากขึ้น[37] ผลการศึกษานี้สามารถต่อยอดสู่การพัฒนาหมึกพิมพ์โปรตีนสูงเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมได้ในอนาคต

**บทสรุป**

ในปัจจุบันแนวโน้มในการรับประทานอาหารจากพืชเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะจากพืชตระกูลถั่ว เนื่องด้วยเป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหารสูง รวมถึงอุดมด้วยสารพฤกษเคมีที่มีคุณประโยชน์และคุณค่าเชิงสุขภาพ อีกทั้งการตระหนักถึงจริยธรรมจากการทรมานสัตว์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลต่อสุขภาพในระยะยาว ด้วยเหตุปัจจัยเหล่านี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยกระบวนการดั้งเดิมของการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ยังมีข้อจำกัดในการพัฒนาคุณลักษณะและคุณภาพของเนื้อเทียมให้ตรงตามความต้องการของตลาด จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ ร่วมด้วยในการวิจัย ได้แก่ การใช้ความดันการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า กระบวนการเกิดโฟมขนาดไมโคร เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ โคลด์-พลาสมา พัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง โอห์มิก และการพิมพ์อาหาร 3 มิติ เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะโดยเฉพาะเนื้อสัมผัสที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความปลอดภัยในการรับประทาน (Table 1) แต่ทั้งนี้ยังคงต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีศักยภาพเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้นด้วย

**Table 1** Effect of neo technology on characteristic and quality of high moisture meat analogue

| Neo Technology | Property, characteristic and quality |
|---|---|
| High pressure | Increase hardness and toughness<br>More cavitation<br>Reduce microbial |
| Electrostatic spinning | Increase water holding capacity<br>Soft texture |
| Micro-foaming | Increase fine bubble structure<br>Increase water holding capacity and toughness<br>Brighten colour |
| Ultrasound | Increase protein solubility and water holding capacity<br>Improve emulsification properties and pore size<br>Soft texture |
| Cold plasma | Increase water holding capacity<br>Soft texture<br>Reduce microbial |
| Pulse electric field | Increase water holding capacity and air bubble<br>Soft texture<br>Reduce microbial |
| Ohmic heating | Improve hardness, gumminess and chewiness<br>Soft texture |
| 3D-printed | Desired shape and texture<br>Texture depend on source of plant protein |

**เอกสารอ้างอิง**

1. จุฬาลักษณ์ จารุนุช, นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, วราภรณ์ ประเสริฐ, วรพล เพ็งพินิจ. รายงานฉบับสมบูรณ์ การดัดแปลงโครงสร้างของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โปรตีนคล้ายเนื้อเส้นใยสูงขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2555.
2. จุฬาลักษณ์ จารุนุช, หทัยชนก กันตรง, สุวีณา จันทพิรักษ์, วรพล เพ็งพินิจ, โรสริน อัคนิจ. โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่: โปรตีนคล้ายเนื้อเส้นใยสูงขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง. วารสารอาหาร. 2560;47(2):53-6.
3. ทองกร พลอยเพชรา. แนวทางการวิจัยด้าน Plant-based protein. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2563;35(2):36-9.
4. Curtain F, Grafenauer SJN. Plant-based meat substitutes in the flexitarian age: An audit of products on supermarket shelves. Nutrients. 2019;11(11):1-14.
5. Gaucher C, Boudier A, Bonetti J, Clarot I, Leroy P, Parent M. Glutathione: Antioxidant properties dedicated to nanotechnologies. Antioxidants. 2018;7(5):1-21.
6. เรไร จันทร์เอี่ยม. Plant-base food อาหารแห่งโลกอนาคต. อุตสาหกรรมสาร. 2564;63:5-10.
7. เขมิสรา ชีวพฤกษ์, นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช...แนวโน้มในการบริโภคยุคปัจจุบัน.วารสารอาหาร. 2565;52(2):5-15.
8. วราภรณ์ ประเสริฐ. ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์. วารสารอาหาร. 2564;51(3):14-22.

9. Sman RGM, Goot AJ. Hypotheses concerning structuring of extruded meat analogues. Curr Res Food Sci. 2023;6:1-14.
10. Zhang H, Feng X, Liu S, Ren F, Wang J. Effects of high hydrostatic pressure on nutritional composition and cooking quality of whole grains and legumes. Innov Food Sci Emerg Technol. 2023;83:1-12.
11. Ma X, Feng R, Ahrné L, Orlien V. Pressure-induced gelation of blended milk and pea protein suspensions. Food Hydrocoll. 2024;146:1-13.
12. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, ณฐิฒา รอดขวัญ, กนกวรรณ ยอดอินทร์, วิชชา ตรีสุวรรณ, พิศมัย ศรีชาเยช, หทัยชนก กันตรง, และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมพร้อมปรุงและพร้อมรับประทาน: ผลของกระบวนการให้ความร้อน ความดัน การหมัก และการขึ้นรูปแบบแพตตี้ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2565.
13. ธนโชติ ธรรมชาติ. การเตรียมและการประเมินผลเส้นใยอิเล็กโทรสปันเซลแล็กที่บรรจุสารต้านจุลชีพ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2553.
14. ณฐิฒา รอดขวัญ. การดัดแปลงเนื้อสัมผัสอาหารสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารอาหาร. 2564;51(2):1-8.
15. Yang Y, Peng C, Zeng D, Yang Z, Wang X, Zhang S, *et al*. Electrospinning is a potential way for preparing edible plant protein-based nanofibers with porous surface using safflower seed meal. Food Hydrocoll. 2024;146:1-11.
16. Zink J, Zeneli L, Windhab EJ. Micro-foaming of plant protein based meat analogueues for tailored textural properties. Curr Res Food Sci. 2023;7:1-11.
17. Schreuders FK, Dekkers BL, Bodnar I, Erni P, Boom RM, Goot AJ. Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. J Food Eng. 2019;261:32-9.
18. Jambrak AR, Mason TJ, Lelas V, Herceg Z, Herceg IL. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. J Food Eng. 2008;86:281-7.
19. Ampofo J, Ngadi M. Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. Ultrason Sonochem. 2022;84:1-10.
20. Arzeni C, Martinez K, Zema P, Arias A, Perez OE, Pirosof AMR. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. J Food Eng. 2021;108(3):463-72.
21. Zhu Z, Zhu W, Yi J, Liu N, Cao Y,Lu J, *et al*. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. Food Res Int. 2018;106:853-61.
22. Hu H, Fan X, Zhou Z, Xu X, Fan G, Wang L, *et al*. Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with high intensity ultrasonic pre-treatments. Ultrason Sonochem. 2013;20(1):187-95.
23. Zhang H, Claver IP, Zhu KX, Zhou H. The effect of ultrasound on the functional properties of wheat gluten. Molecules. 2011;16:4231-40.
24. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปและถนอมอาหาร: เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา. วารสารอาหาร. 2563;50(1):13-21.
25. Oner ME, Subasi BG, Ozkan G, Esatbeyoglu T, Capanoglu E. Efficacy of cold plasma technology on the constituents of plant-based food products: Principles, current applications, and future potentials. Food Res Int. 2023;172:1-14.
26. Yu J, Chen G, Zhang Y, Zheng X, Jiang P, Ji H, *et al*. Enhanced hydration properties and antioxidant activity of peanut protein by covalently binding with sesbania gum via cold plasma treatment. Innov Food Sci Emerg Technol. 2021;68:1-9.
27. Sun F, Xie X, Zhang Y, Ma M, Wang Y, Duan J, *et al*. Wheat gliadin in ethanol solutions treated using cold air plasma at atmospheric pressure. Food Biosci. 2021;39:1-11.
28. Bormashenko E, Bormashenko Y, Legchenkova I, Eren NM. Cold plasma hydrophilization of soy protein isolate and milk protein concentrate enables manufacturing of surfactant-free water suspensions. Part I: Hydrophilization of food powders using cold plasma. Innov Food Sci Emerg Technol. 2021;72:1-7.
29. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปและถนอมอาหาร ตอนที่ 1. วารสารอาหาร. 2554;41(3):232-7.

30. Guo L, Nie X-M, Yang Y-H, Ren Y, Ding X, Qian J-Y. Using electric field to modify wet gluten as meat analogue material: A comparative study between pulsed and direct current electric fields. Innov Food Sci Emerg Technol. 2023;84:1-10.
31. Zhang L, Wang L-J, Qian, J-Y. Effect of pulsed electric field on quality of canola oil by treating oilseed grain. LWT. 2017;42(11):32-7.
32. Zhang C, Yang Y-H, Zhao X-D, Zhang L, Li Q, Wu C, *et al*. Assessment of impact of pulsed electric field on functional, rheological and structural properties of vital wheat gluten. LWT. 2021;147:1-9.
33. Jung AH, Hwang J, Jun S, Park SH. Application of ohmic cooking to produce a soy protein-based meat analogue. LWT. 2022;160:1-8.
34. Bakhsh A, Lee S-J, Lee E-Y, Hwang Y-H, Joo S-T. Evaluation of rheological and sensory characteristics of plant-based meat analog with comparison to beef and pork. Food Sci Anim Resour. 2021;41(6):983-96.
35. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปอาหาร: การพิมพ์อาหาร 3 มิติ. วารสารอาหาร. 2563; 50(3):5-14.
36. Qiu Y, McClements DJ, Chen J, Li C, Liu C, Dai T. Construction of 3D printed meat analogues from plant-based proteins: Improving the printing performance of soy protein- and gluten-based pastes facilitated by rice protein. Food Res Int. 2023;167:1-11.
37. Wang S, Liu S. 3D printing of soy protein- and gluten-based gels facilitated by thermosensitive cocoa butter in a model study. ACS Food Sci Technol. 2021;1(10):1990-6.

# อาหารนวัตกรรมใหม่จากผลิตผลทางการเกษตร

## วีรวิชญ์ ภัทรยิ่งสกุล

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : werawich.p@ku.th
**รับเมื่อ** 4 ตุลาคม 2566 **แก้ไขเมื่อ** 27 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- กฎหมายที่นำมาใช้ควบคุมอาหารใหม่
- การเพิ่มความเครียดให้ผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวเพื่อสร้างอาหารใหม่
- ตัวอย่างเทคโนโลยีการผลิตที่เข้าข่ายว่าเป็นการผลิตอาหารใหม่

**บทคัดย่อ**

อาหารใหม่เป็นอาหารที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีคุณประโยชน์ในอาหาร เช่น โปรตีน วิตามิน หรือ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้มีปริมาณที่สูงกว่าการบริโภคอาหารแบบดั้งเดิม เนื่องจากวัตถุดิบที่มาจากผลิตผลทางการเกษตรหรือของเหลือทิ้งทางการเกษตรมีราคาที่ต่ำจึงมักถูกเลือกนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าและใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารใหม่ โดยนำไปผ่านกระบวนการที่สามารถมีการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต้องการรวมไปถึงผ่านเทคโนโลยีการผลิตในรูปแบบใหม่เพื่อที่จะรักษาคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญและลดปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดการแพ้ในอาหารได้ แต่อย่างไรก็ตามหากวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารไม่เคยมีประวัติการบริโภคมาก่อน รวมไปถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้นั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในอาหารและส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยของอาหารใหม่ก่อนที่จะมีการนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาด

**คำสำคัญ :** อาหารใหม่ เทคโนโลยีการผลิตอาหารใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ

# Novel innovative food from agricultural products

## Werawich Pattaratingsakul

Department of Nutrition and Health,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : werawich.p@ku.th
**Received** 4 October 2023; **Revised** 27 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

### Highlights

- Laws and regulations of novel food
- Abiotic stresses on nutraceutical enhancement
- Novel technologies for developing novel food

### Abstract

Novel foods are food products that have been developed to have nutritional benefits, such as proteins, vitamins, or bioactive substances, in higher quantities than traditional foods. Due to their low cost, raw materials from agricultural products or by-products are often chosen for study, with the aim of increasing their value and using them as ingredients in novel foods. To stimulate desired bioactive substances, the novel foods undergo processes through new production technologies. In addition, these new technologies can preserve their nutritional values, increase the quantities of essential bioactive compounds, and reduce the amount of allergenic proteins. However, if the raw materials used as ingredients in foods have not been widely consumed before, and the technologies used have an impact on the structural changes and nutritional value in the food, it is necessary to assess the safety of novel foods before introducing products to the market.

**Keywords :** novel food, novel food production technologies, nutritional benefits

**บทนำ**

การบริโภคอาหารที่มีคุณประโยชน์จะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้อาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความสนใจจากผู้บริโภคมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตจึงเริ่มมีการศึกษาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการหรือเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับผลิตภัณฑ์และเกิดเป็นอาหารใหม่ (novel food) ขึ้น ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารมักจะเป็นพืชเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และในบางกรณีก็มีการนำวัตถุดิบบางชนิดที่ไม่เคยปรากฏหลักฐานว่ามีการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหรือมีการบริโภคอย่างแพร่หลายมาก่อน[1] เช่น การนำสารสกัดจากพืชบางชนิดมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับอาหาร[2-4] (Table 1) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในผลิตผลทางการเกษตรให้มีปริมาณสูงขึ้นโดยสร้างความเครียดให้กับพืชหลังการเก็บเกี่ยวให้มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาโดยไม่ได้สร้างความเครียด เช่น สารกลูโคซิโนเลตจากบรอกโคลีและกรดคลอโรจีนิกจากแคร์รอตสามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดเบาหวานชนิดที่ 2[5] รวมไปถึงการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อที่จะรักษาคุณค่าสารอาหาร เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ และลดปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดการแพ้ เป็นต้น[6] (Table 1)

แม้ว่าอาหารใหม่จะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีประโยชน์ต่อผู้บริโภคมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบชนิดใหม่ที่ไม่เคยมีประวัติการบริโภคมาก่อนหรือการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้โดยเทคโนโลยีนั้นไปมีผลต่อโครงสร้างอาหารและคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้ข้อมูลด้านพิษวิทยาและความปลอดภัยหลังการบริโภคยังขาดความชัดเจน ดังนั้นองค์กรที่ทำหน้าที่ดูแลด้านความปลอดภัยทางอาหารของแต่ละประเทศจึงมีการออกกฎหมายมาควบคุมให้ผู้ผลิตหรือผู้ที่จะนำเข้าแสดงหลักฐานความปลอดภัยสำหรับการบริโภคจากห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรองก่อนที่จะวางจำหน่าย[1]

**Table 1** Categories of novel food ingredients from plants

| Category | Description | References |
|---|---|---|
| Pure chemicals | New food additives extracted from fruit and vegetable such as longan seed and peel extract, oak tree extract, and papaya seed powder | (2-4) |
| Food processing by novel technologies | New processing methods that have the potential to change nutrition composition of food or may introduce toxic substances into food such as high hydrostatic pressure, pulse electric field, and cold plasma | (7) |

**อาหารใหม่ (novel food)**

อาหารใหม่ (novel food) มักจะพัฒนามาจากพืช เช่น ส่วนต่าง ๆ ของพืช (เมล็ด ราก ลำต้น ใบ หรือ ดอก) ผักหรือผลไม้ที่ไม่มีประวัติการบริโภคในประเทศมาก่อน สมุนไพรจากต่างประเทศที่ไม่มีประวัติการใช้ภายในประเทศมาก่อน และสารสกัดจากพืช โดยกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดหลักการพิจารณาอาหารใหม่ไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 376 พ.ศ. 2559 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่องอาหารใหม่ (novel Food) ไว้ว่า ข้อ 1 (1) เป็นวัตถุที่ใช้เป็นอาหารหรือส่วนประกอบของอาหารที่ปรากฏหลักฐานทางวิชาการว่ามีประวัติการบริโภคเป็นอาหารน้อยกว่า 15 ปี หรือ (2) วัตถุที่ใช้เป็นอาหารหรือส่วนประกอบของอาหารที่ได้จากกระบวนการผลิตที่มิใช่กระบวนการผลิตโดยทั่วไปของอาหารนั้น ๆ ที่ทำให้ส่วนประกอบโครงสร้างของอาหาร รูปแบบของอาหารนั้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของสิ่งมีชีวิต (metabolism) หรือระดับของสารไม่พึงประสงค์ (level of undesirable substances) หรือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีวัตถุ (1) และ (2) เป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงวัตถุเจือปนอาหารและอาหารที่ได้จากเทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรม ดังนั้นอาหารใหม่ที่สอดคล้องกับนิยามในข้างต้นและไม่อยู่ในบัญชีรายชื่อวัตถุดิบที่ห้ามนำมาผลิตเป็นอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 424 (ยกเว้นกระท่อมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 430) และรายการดังแสดงใน Table 2 จำเป็นที่จะต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยจากหน่วยงานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาให้การรับรอง เช่น สำนักงานคุณภาพและความปลอดภัยอาหารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม และศูนย์ประเมินความเสี่ยงประเทศไทย มูลนิธิส่งเสริมโภชนาการในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยข้อมูลที่จำเป็นที่ต้องมีการศึกษานั้นจะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลทางโภชนาการ ลักษณะทางชีวเคมีที่อธิบายถึงการดูดซึม การเปลี่ยนแปลงของสารทางชีวเคมี และการขับออกจากร่างกาย รวมไปถึงข้อมูลด้านพิษวิทยาที่ศึกษาในสัตว์ทดลองหรือมนุษย์ เมื่ออาหารใหม่ถูกตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยแล้วว่าสามารถนำมาบริโภคเป็นอาหารได้จึงนำผลการประเมินมาเป็นส่วนหนึ่งในการยื่นขออนุญาตต่อสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเพื่อที่จะผลิตและนำเข้าต่อไป ขณะที่อาหารใหม่ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมจะต้องมีการประเมินความปลอดภัยโดยศูนย์พันธุวิศวกรรมแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 431 พ.ศ. 2565 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ยกเว้นอาหารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมตามรายชื่อในบัญชีหมายเลข 1 ตามประกาศฉบับนี้ เนื่องจากได้มีการตรวจสอบและผ่านการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพด้านอาหารแล้ว

**Table 2** Plant-based materials that belong to the category of novel foods according to the Thai FDA[8]

| No | Ingredient compounds |
|---|---|
| 1 | β-glucan from button mushroom (*Agaricus bisporus*) |
| 2 | Phytoene and phytofluene from tomato (*Lycopersicum esculentum*) |
| 3 | Larch arbinogalactan from *Larix laricina* and *Larix occidentalis* |
| 4 | Fiber from giant bamboo (*Dendrocalamus asper*) |
| 5 | *Tetraselmis chuii* extract |
| 6 | Chinese jujube (*Ziziphus jujuba*) extract |
| 7 | Tropical fern's leaves (*Polypodium leucotomos*) extract |
| 8 | Duckweed (*Lemma minor*) extract |
| 9 | English oak (*Quercus robur*) extract |
| 10 | Longan (*Dimocarpus longan*) peel or seed extract |
| 11 | Tiger milk mushroom (*Lignosus rhinocerotis*) extract |

ทั้งนี้ในแต่ละประเทศก็ได้มีการนำกฎหมายมาใช้ควบคุมอาหารใหม่เพื่อที่จะคุ้มครองผู้บริโภค เช่น ในสหภาพยุโรปมีมาตรการการกำกับการดูแลอาหารใหม่โดยใช้ข้อบังคับ EC 2015/2283: Concerning novel foods and novel ingredients โดยได้กำหนดนิยามอาหารใหม่ไว้ว่าเป็นอาหารที่มีกระบวนการผลิตที่ต่างจากปกติ ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างหรือองค์ประกอบทำให้มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารและอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางเคมีในร่างกายได้ หรือเป็นอาหารที่ไม่มีประวัติการบริโภคเป็นอาหารก่อนวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997) ขณะที่หากเป็นอาหารจากนอกสหภาพยุโรปจะต้องมีประวัติการบริโภคทั่วไปไม่น้อยกว่า 25 ปี โดยอาหารใหม่จะต้องถูกนำไปประเมินความปลอดภัยจาก European Food Safety Authority (EFSA)[9] เช่น ผำหรือไข่น้ำที่เป็นอาหารพื้นบ้านของประเทศไทยโดยได้รับการยอมรับเป็นอาหารใหม่จากสหภาพยุโรปเมื่อปี พ.ศ. 2564 เป็นต้น[10] ในประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ได้มีการออกมาตรการในการกำกับดูแลอาหารใหม่เช่นเดียวกันภายใต้ Food standard code: Standard 1.5.1 Novel Foods ที่อาหารใหม่จะต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยจากคณะกรรมการ Advisory Committee on Novel Foods (ACNF) รวมถึงมีการกำหนดปริมาณที่อนุญาตให้ใช้และการแสดงคำแนะนำในการบริโภคด้วย[11] สำหรับประเทศแคนาดาได้มีการออกกฎหมายมาเป็นการเฉพาะเพื่อควบคุมอาหารใหม่ภายใต้ข้อบังคับ Food and Drug Regulations, namely Division 28 of Part B โดยอาหารใหม่ที่ถูกผลิตหรือนำเข้าสู่แคนาดาจะต้องถูกพิจารณาความปลอดภัยก่อนที่จะวางจำหน่ายภายในประเทศ[11] เช่นเดียวกับหลายประเทศในข้างต้น ประเทศจีนก็ได้มีข้อกำหนดให้อาหารใหม่ที่ไม่เคยมีประวัติการบริโภคในประเทศจีนมาก่อนรวมไปถึงสารสกัดจาก

พืช สัตว์ จุลินทรีย์ ที่ส่งผลมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของวัตถุดิบจำเป็นที่จะต้องยื่นขออนุญาตต่อ PRC National Health and Family Planning Commission (NHFPC) ก่อนที่จะมีการวางจำหน่าย และเมื่อได้รับอนุญาตแล้วจะต้องแสดงข้อแนะนำการใช้และข้อมูลรับรองความปลอดภัยให้ชัดเจนในผลิตภัณฑ์[12] ขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาไม่มีกฎหมายเฉพาะสำหรับอาหาร แต่จะใช้หลักการควบคุมสารที่ให้ใช้ในอาหารตามข้อกำหนด CFR-Code of Federal Regulations Title 21 โดยกำหนดสารที่ไม่เข้ากลุ่ม GRAS (Generally Recognized as Safe) ไว้ว่า เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารที่ไม่มีประวัติการใช้เป็นอาหารก่อนปี พ.ศ. 2501 (ค.ศ. 1958) รวมถึงสารสกัดและอาหารใหม่ที่ไม่มีประวัติการบริโภคมาก่อน และก่อนวางจำหน่ายจะต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยสำหรับการบริโภคจาก USFDA[11]

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า หลายประเทศได้ให้ความสำคัญกับความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับอาหารใหม่ เนื่องจากข้อมูลด้านความปลอดภัยต่อการบริโภคยังไม่มีความชัดเจน ทำให้แต่ละประเทศได้กำหนดให้มีการตรวจสอบและรับรองความปลอดภัยก่อนที่จะปล่อยออกสู่ตลาด รวมถึงมีการติดตามข้อมูลความปลอดภัยหลังออกสู่ตลาด[12]

**ผลของการเพิ่มความเครียด (abiotic stress) ในผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว**

ในปัจจุบันวัตถุดิบที่ถูกผลิตโดยมีพื้นฐานมาจากพืชกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น แม้ว่าพืชจะได้รับการยอมรับว่าอุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระหรือจุลชีพ[13-15] แต่อย่างไรก็ตาม ราคาของผลิตผลทางการเกษตรกลับสวนทางกับคุณประโยชน์ที่อยู่ภายใน แม้ว่าการดัดแปลงพันธุกรรมจะช่วยเพิ่มสารสำคัญในพืชได้แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีข้อจำกัดและการยอมรับของผู้บริโภค[16] ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการเพิ่มสารอาหารในผลิตผลทางการเกษตรให้สูงขึ้น และยังสามารถเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบดังกล่าวได้อีกด้วย

การสร้างความเครียด (abiotic stress) ให้กับผลิตผลทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการหนึ่งที่มักจะถูกนำมาประยุกต์ใช้โดยการสร้างบาดแผล (wounding stress)[17-18] หรือการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV stress)[19-20] จะมีผลทำให้ผนังเซลล์ของพืชได้รับความเสียหายและเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ขึ้นได้ โดยเซลล์ที่ได้รับความเสียหายจะมีการส่งสัญญาณ extracellular ATP (eATP) ไปยังเซลล์ข้างเคียง ทำให้เกิดการส่งสัญญาณ NOX-ROS-PAL และเกิดการสังเคราะห์สารในกลุ่มฟีนอลิก (phenolics) รวมไปถึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพืชจนเกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้นได้[21-22] (Figure 1)

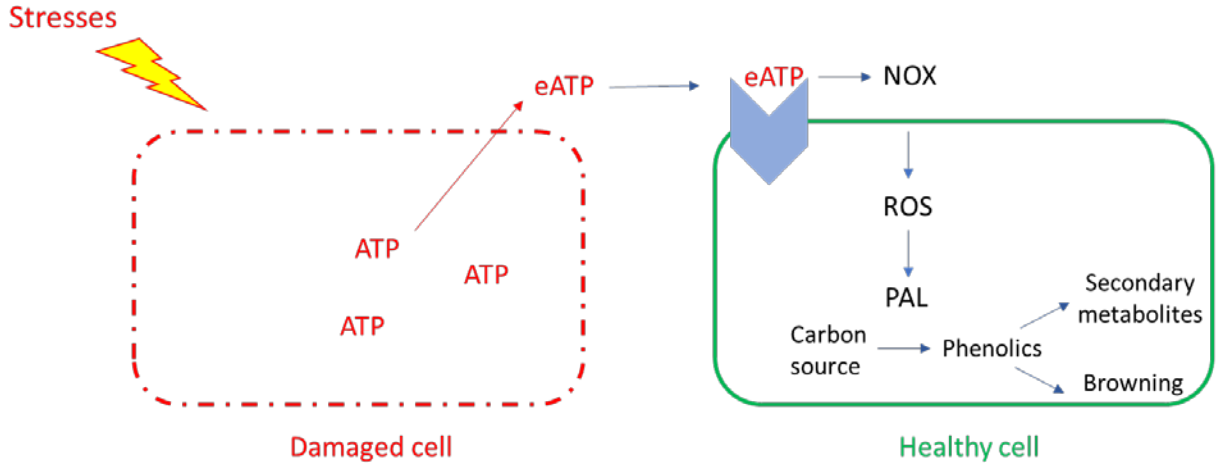


**Figure 1** Oxidative stress response after exposure to abiotic stress. The 'NOX–ROS–PAL' axis is induced by eATP from injured cell and modulates the biosynthesis of phenolics and further secondary metabolites in plant tissues. ATP, adenosine triphosphate eATP, extracellular ATP NOX, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NAPDH) oxidase enzyme ROS, reactive oxygen species, PAL, phenylalanine ammonia

Adapted from Cisneros-Zevellos et al.[5]

**กรณีศึกษาของการเพิ่มสารออกฤทธิ์ที่สำคัญโดยเพิ่มความเครียด**

การสร้างความเครียดถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระให้สูงขึ้นกับบรอกโคลีและแคร์รอตโดยการหั่นเพื่อสร้างแผลพบว่า เมื่อทำการหั่นบรอกโคลีและทำการบ่มด้วยเอทิลีน 1,000 ppm ควบคู่ไปกับเมทิลจัสโมเนต 250 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสามารถเพิ่มปริมาณสารในกลุ่มกลูโคซิโนเลต (glucosinolates) เช่น กลูโคราฟานิน (glucoraphanin) และ 4-ไฮดรอกซีกลูโคบราสซิซิน (4-hydroxyglucobrassicin) ให้สูงขึ้นประมาณร้อยละ 52 และร้อยละ 223 ตามลำดับ[23] ทั้งนี้จากการศึกษาเบื้องต้นในกลุ่มตัวอย่างที่มีรับประทานสารสกัดกลูโคราฟานินจากบรอกโคลีพบว่าสามารถช่วยให้กลุ่มตัวอย่างนอนหลับได้ดีขึ้น เนื่องจากพบปริมาณฮอร์โมนเมลาโทนิน (melatonin) และโพสทาแกลนดิน ดี2 (prostaglandin D2) จากน้ำลายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม[24] เช่นเดียวกันเมื่อทำการหั่นแคร์รอตออกเป็นชิ้นและบ่มไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะเป็นการสร้างบาดแผลส่งผลให้เกิดความเครียดและเกิดการสะสมของสารฟีนอลิก[25- 26] ก่อนที่จะนำไปลวกและบดเป็นผง โดยพบว่า มีสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 195 และกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) เพิ่มขึ้นร้อยละ 3,600[27] จากคุณประโยชน์ดังกล่าวสามารถจะนำไปพัฒนาเป็นส่วนประกอบในอาหารนวัตกรรมใหม่ได้ เช่น ผงน้ำผลไม้ ซุปข้น (puree) ส่วนผสมในแป้ง หรือผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์เพื่อเพิ่มสารอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้จากการศึกษาทางคลินิกพบว่า กรดคลอโรจีนิกมีคุณสมบัติช่วยป้องกันโรคอ้วน การเกิดเบาหวาน

ชนิดที่ 2 และความเสี่ยงในการเกิดความดันโลหิตสูงได้[28-29]

## เทคโนโลยีการผลิตที่เข้าข่ายว่าเป็นการผลิตอาหารนวัตกรรมใหม่

กระบวนการผลิตอาหารโดยทั่วไปเป็นกระบวนการที่มีการใช้มาอย่างยาวนาน เช่น การทำลายจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อน หรือการสกัดน้ำมันโดยใช้การบีบอัดหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ (Table 3) เพื่อที่จะรักษาคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญและลดปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดการแพ้ของสารที่ต้องการเพื่อใช้ทดแทนเทคโนโลยีแบบดั้งเดิม[30-31] แต่อย่างไรก็ตาม หากเทคโนโลยีใหม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ โครงสร้างของอาหาร หรือคุณค่าทางโภชนาการของอาหารก็จำเป็นที่จะต้องได้รับการประเมินความปลอดภัยก่อนที่จะนำไปใช้ในการผลิตอาหาร ในบทความนี้จะยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่เข้าข่ายและจำเป็นที่จะต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยจากสำนักคณะกรรมการอาหารและยาตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 376 ก่อนที่จะนำไปใช้ในการผลิตเป็นส่วนประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย

## เทคโนโลยีการแปรรูปด้วยความดันสูง (high hydrostatic pressure; HHP)

HHP เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและรักษาคุณค่าทางโภชนาการในผักหรือผลไม้โดยไม่ผ่านความร้อน[32] ซึ่งมักจะมีการใช้ความดันที่ 100-600 MPa โดยภายใต้สภาวะความดันสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในอาหารได้[33-34] จากการศึกษาพบว่า โปรตีนบางชนิดจะมีการเสียสภาพส่งผลให้คุณสมบัติของโปรตีนเปลี่ยนไปขึ้นกับชนิดของโปรตีน เช่น เพิ่มระดับการย่อยได้ (degree of hydrolysis) ทำให้โปรตีนเกิดการแตกตัว รวมไปถึงเพิ่มความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ[35-37]

## pulsed electric field (PEF)

PEF เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน โดยจะมีการปล่อยสนามแม่เหล็กเป็นช่วงสั้น ๆ และใช้ความต่างศักย์ที่สูงได้มากถึง 50 kV ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดสนามไฟฟ้าพัลส์แรงสูง ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ กลิ่น รวมไปถึงโครงสร้างของโปรตีนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปทำให้มีประสิทธิภาพการย่อยได้และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้น[38-39]

## พลาสมาเย็น (cold plasma)

พลาสมาเป็นสถานะหนึ่งของสสารในทางฟิสิกส์โดยเป็นการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแก๊สให้เป็นไอออน โดยไอออนที่เกิดขึ้นจะไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียส่งผลให้สารภายในเซลล์เกิดการรั่วไหลออกมารวมไปถึงทำลายสารพันธุกรรมทำให้สามารถทำลายแบคทีเรียบางชนิดที่ปนเปื้อนโดยไม่ใช้ความร้อนได้[40-42] อีกทั้งพลาสมาเย็นยังสามารถยับยั้งปฏิกริยาที่เกิดจากเอนไซม์

บางชนิด เช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) เพกตินเมทิล เอสเทอเรส (pectin methyl esterase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ในผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจากมีการเสียสภาพของเอนไซม์จากไอออนที่อยู่ในพลาสมา[43-44] นอกจากนี้ยังพบว่า พลาสมาเย็นสามารถลดโปรตีนที่ทำให้เกิดการแพ้ในถั่วเหลืองได้มากถึงร้อยละ 89 เนื่องจากไอออนของพลาสมาส่งผลให้โปรตีนเสียสภาพได้[45]

ด้วยเหตุที่เทคโนโลยีดังกล่าวยังถูกจัดเป็นเทคโนโลยีใหม่และมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือรูปแบบของอาหารไปอย่างมีนัยสำคัญซึ่งส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยสำหรับการบริโภคก่อนที่จะนำไปผลิตและจำหน่ายสู่ผู้บริโภค

**Table 3** Changes in nutritional value of the example of certain agricultural products using novel non-thermal technology

| Technology | Product | Treatment condition | Effects | References |
|---|---|---|---|---|
| High hydrostatic pressure | Pineapple | PL: 300 mPa<br>time: 20 min<br>temp: 25°C<br>storage: 8 days | Prior treatment<br>total polyphenol: 53.9 mg/g<br>vitamin C: 22.85 mg/g<br>after treatment<br>total polyphenol: 60.24 mg/g<br>vitamin C: 30.78 mg/g | (46) |
| High hydrostatic pressure | Mango | PL: 80 mPa<br>time: 10 min<br>temp: 20°C<br>storage: 10 days | Prior treatment<br>vitamin C: 72.91 mg/g<br>total carotenoid: 38.67 mg/kg<br>total phenolic: 0.58 mg/g<br>after treatment<br>vitamin C: 99.91 mg/g<br>total carotenoid: 48.14 mg/kg<br>total phenolic: 0.57 mg/g | (47) |
| Pulsed electric fields | Fresh-cut apple | FS: 1.85 kV/cm<br>EG: 1.8 cm<br>Freq: 0.5 Hz<br>PW: 10 μs | Prior treatment<br>total phenolic content: 426.69 mg/100g<br>after treatment<br>total phenolic content: 792.68 mg/100g | (48) |
| Pulsed electric fields | Tomato | FS: 2 kV/cm<br>EG: 10 cm<br>Freq: 0.1 Hz<br>PW: 4 μs | The lycopene content and carotenoids content increased significantly by 53% and 30%, respectively when tomatoes were treated | (49) |

**Table 3** (continued)

| Technology | Product | Treatment condition | Effects | References |
|---|---|---|---|---|
| Cold plasma | Strawberry | V: 60 kV<br>T: 15 min<br>Freq: 50 Hz<br>Equipment: In - package DBD plasma | After treated with cold plasma and seal storage for 5 days, the chlorogenic acid and rutin was increased to 81.3% and 41.6%, respectively | (50) |
| Cold plasma | Apple cube | V: 20 kV<br>T: 15 min<br>Freq: 600 Hz<br>Equipment: In - package DBD plasma | After treated with cold plasma, the total phenolic content of apple cube was enhanced from 538.3 mg/g to 720 mg/g. In addition, plasma treatment partially inactivated polyphenol oxidase which is an antioxidant enzyme | (51) |

Abbreviations : PL: Pressure Level; T: treatment time; Freq: Frequency; Temp: temperature; FS: Field Strength PW: Pulse Width; EG: Electrode gap; V: Voltage; DBD: dielectric barrier discharge plasma reactor

## บทสรุป

แม้ว่าอาหารนวัตกรรมใหม่จะมีคุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารสำคัญที่เทียบเท่าหรือสูงกว่าอาหารที่ใช้ในการบริโภคทั่วไป รวมไปถึงเทคโนโลยีการผลิตใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหาร แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนใหญ่เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่ได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นหากจะนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์จำเป็นต้องศึกษาความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเพื่อนำไปสู่อาหารนวัตกรรมใหม่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพตามมาตรฐานที่กฎหมายได้กำหนดไว้

**เอกสารอ้างอิง**

1. Hendrich S. Novel Foods. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. Encyclopedia of food and health. Oxford: Academic Press; 2016. p. 79-83.
2. Morales D. Oak trees (*Quercus* spp.) as a source of extracts with biological activities: A narrative review. Trends Food Sci Technol. 2021;109:116-25.
3. Rakariyatham K, Zhou D, Rakariyatham N, Shahidi F. Sapindaceae (*Dimocarpus longan* and *Nephelium lappaceum*) seed and peel by-products: Potential sources for phenolic compounds and use as functional ingredients in food and health applications. J Funct Foods. 2020;67:103846.
4. Abdel-Hameed SM, Abd Allah NAR, Hamed MM, Soltan OIA. Papaya fruit by-products as novel food ingredients in cupcakes. Ann Agric Sci. 2023;68(1):60-74.

5. Cisneros-Zevallos L, Maghoumi M, Lopez-Torres M, Beltran-Maldonado B. Transforming stressed plants into healthy foods. Curr Opin Biotechnol. 2023;83:102980.
6. Hewage A, Olatunde OO, Nimalaratne C, Malalgoda M, Aluko RE, Bandara N. Novel extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality. Trends Food Sci Technol. 2022;129:492-511.
7. Habinshuti I, Nsengumuremyi D, Muhoza B, Ebenezer F, Yinka Aregbe A, Antoine Ndisanze M. Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review. Food Chem. 2023;423:136313.
8. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. รายชื่อวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่เข้าข่ายเป็นอาหารใหม่ [เข้าถึงเมื่อ 30 กันยายน 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://old.fda.moph.go.th/sites/food/FileNews/FAQ/65_List_of_materials.pdf
9. Crevel R. Novel Foods and Ingredients: Laws and Regulations Europe. In: Ferranti P, editor. Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach. Oxford: Elsevier; 2023. p. 65-74.
10. EFSA Panel on Nutrition NFFA, Turck D, Bohn T, Castenmiller J, De Henauw S, Hirsch-Ernst KI, et al. Safety of *Wolffia globosa* powder as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA J. 2021;19(12):e06938.
11. Brooke-Taylor S, Grinter K. Novel Food and Ingredients: Laws and Regulations Australia and New Zealand. In: Ferranti P, editor. Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach. Oxford: Elsevier; 2023. p. 75-85.
12. de Boer A. Food safety requirements for novel foods. Reference Module in Food Science: Elsevier; 2023.
13. Habinshuti I, Chen X, Yu J, Mukeshimana O, Duhoranimana E, Karangwa E, Muhosa B., Zhang M., Xia S., Zhang X. Antimicrobial, antioxidant and sensory properties of Maillard reaction products (MRPs) derived from sunflower, soybean and corn meal hydrolysates. LWT. 2019;101:694-702.
14. Park S, Valan Arasu M, Lee M-K, Chun J-H, Seo JM, Lee S-W, et al. Quantification of glucosinolates, anthocyanins, free amino acids, and vitamin C in inbred lines of cabbage (*Brassica oleracea* L.). Food Chem. 2014;145:77-85.
15. Drabińska N, Ciska E, Szmatowicz B, Krupa-Kozak U. Broccoli by-products improve the nutraceutical potential of gluten-free mini sponge cakes. Food Chem. 2018;267:170-7.
16. Wunderlich S, Gatto KA. Consumer Perception of Genetically Modified Organisms and Sources of Information. Adv Nutr. 2015;6(6):842-51.
17. Jacobo-Velázquez DA, Martínez-Hernández GB, del C. Rodríguez S, Cao CM., Cisneros-Zevallos L. Plants as Biofactories: Physiological Role of Reactive Oxygen Species on the Accumulation of Phenolic Antioxidants in Carrot Tissue under Wounding and Hyperoxia Stress. J Agric Food Chem. 2011;59(12):6583-93.
18. Jacobo-Velázquez DA, González-Agüero M, Cisneros-Zevallos L. Cross-talk between signaling pathways: The link between plant secondary metabolite production and wounding stress response. Scientific Reports. 2015;5(1):8608.
19. Surjadinata BB, Jacobo-Velázquez DA, Cisneros-Zevallos L. Physiological role of reactive oxygen species, ethylene, and jasmonic acid on UV light induced phenolic biosynthesis in wounded carrot tissue. Postharvest Biol Technol. 2021;172:111388.
20. Rabelo MC, Bang WY, Nair V, Alves RE, Jacobo-Velázquez DA, Sreedharan S, et al. UVC light modulates vitamin C and phenolic biosynthesis in acerola fruit: role of increased mitochondria activity and ROS production. Scientific Reports. 2020;10(1):21972.
21. Cisneros-Zevallos L. The power of plants: how fruit and vegetables work as source of nutraceuticals and supplements. Int J Food Sci Nutr. 2021;72(5):660-4.

22. Denoya GI, Colletti AC, Vaudagna SR, Polenta GA. Application of non-thermal technologies as a stress factor to increase the content of health-promoting compounds of minimally processed fruits and vegetables. Cur Opin Food Sci. 2021;42:224-36.
23. Villarreal-García D, Nair V, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. Plants as biofactories: postharvest stress-induced accumulation of phenolic compounds and glucosinolates in broccoli subjected to wounding stress and exogenous phytohormones. Front Plant Sci. 2016;7:45
24. Kikuchi M, Aoki Y, Kishimoto N, Masuda Y, Suzuki N, Takashimizu S, et al. Effects of glucoraphanin-rich broccoli sprout extracts on sleep quality in healthy adults: An exploratory study. J Funct Foods. 2021;84:104574.
25. Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). J Agric Food Chem. 2003;51(18):5296-300.
26. Fernando Reyes L, Emilio Villarreal J, Cisneros-Zevallos L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. Food Chem. 2007;101(3):1254-62.
27. Jacobo-Velázquez DA. Transformation of carrots into novel food ingredients and innovative healthy foods. Appl Food Res. 2023;3(1):100303.
28. Santana-Gálvez J, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. Chlorogenic Acid: Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical against Metabolic Syndrome. Molecules [Internet]. 2017; 22(3).
29. Rodríguez-Cantú LN, Gutiérrez-Uribe JA, Arriola-Vucovich J, Díaz-De La Garza RI, Fahey JW, Serna-Saldivar SO. Broccoli (Brassica oleracea var. italica) Sprouts and Extracts Rich in Glucosinolates and Isothiocyanates Affect Cholesterol Metabolism and Genes Involved in Lipid Homeostasis in Hamsters. J Agric Food Chem. 2011;59(4):1095-103.
30. Chemat F, Abert Vian M, Ravi HK, Khadhraoui B, Hilali S, Perino S, et al. Review of Alternative Solvents for Green Extraction of Food and Natural Products: Panorama, Principles, Applications and Prospects. Molecules. 2019; 24(16).
31. Pojić M, Mišan A, Tiwari B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. Trends Food Sci Technol. 2018;75:93-104.
32. Pitino MA, Unger S, Doyen A, Pouliot Y, Aufreiter S, Stone D, et al. High hydrostatic pressure processing better preserves the nutrient and bioactive compound composition of human donor milk. The Journal of Nutrition. 2019;149(3):497-504.
33. López-Fandiño R. Functional Improvement of Milk Whey Proteins Induced by High Hydrostatic Pressure. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006;46(4):351-63.
34. Piccolomini A, Iskandar M, Lands L, Kubow S. High hydrostatic pressure pre-treatment of whey proteins enhances whey protein hydrolysate inhibition of oxidative stress and IL-8 secretion in intestinal epithelial cells. Food Nutr Res. 2012;56(1):17549.
35. Akaberi S, Gusbeth C, Silve A, Senthilnathan DS, Navarro-López E, Molina-Grima E, et al. Effect of pulsed electric field treatment on enzymatic hydrolysis of proteins of Scenedesmus almeriensis. Algal Res. 2019;43:101656.
36. Zhou K, Sun S, Canning C. Production and functional characterisation of antioxidative hydrolysates from corn protein via enzymatic hydrolysis and ultrafiltration. Food Chem. 2012;135(3):1192-7.
37. Zhang T, Jiang B, Miao M, Mu W, Li Y. Combined effects of high-pressure and enzymatic treatments on the hydrolysis of chickpea protein isolates and antioxidant activity of the hydrolysates. Food Chem. 2012;135(3):904-12.
38. Bhat ZF, Morton JD, Mason SL, Bekhit AE-DA, Mungure TE. Pulsed electric field: Effect on in-vitro simulated gastrointestinal protein digestion of deer Longissimus dorsi. Food Res Int. 2019;120:793-9.
39. Gómez B, Munekata PES, Gavahian M, Barba FJ, Martí-Quijal FJ, Bolumar T, Campagnol P, Tomasevic I., Lorenzo J. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. Food Res Int. 2019;123:95-105.

40. Prasad P, Mehta D, Bansal V, Sangwan RS. Effect of atmospheric cold plasma (ACP) with its extended storage on the inactivation of Escherichia coli inoculated on tomato. Food Res Int. 2017;102:402-8.
41. Hosseini SM, Rostami S, Hosseinzadeh Samani B, Lorigooini Z. The effect of atmospheric pressure cold plasma on the inactivation of Escherichia coli in sour cherry juice and its qualitative properties. Food Sci Nutr. 2020;8(2):870-83.
42. Lee KH, Kim H-J, Woo KS, Jo C, Kim J-K, Kim SH, et al. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. LWT. 2016;73:442-7.
43. Surowsky B, Fischer A, Schlueter O, Knorr D. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. Innov Food Sci Emerg Technol. 2013;19:146-52.
44. Chutia H, Kalita D, Mahanta CL, Ojah N, Choudhury AJ. Kinetics of inactivation of peroxidase and polyphenol oxidase in tender coconut water by dielectric barrier discharge plasma. LWT. 2019;101:625-9.
45. Meinlschmidt P, Ueberham E, Lehmann J, Reineke K, Schlüter O, Schweiggert-Weisz U, et al. The effects of pulsed ultraviolet light, cold atmospheric pressure plasma, and gamma-irradiation on the immunoreactivity of soy protein isolate. Innov Food Sci Emerg Technol. 2016;38:374-83.
46. Kundukulangara Pulissery S, Kallahalli Boregowda S, Suseela S, Jaganath B. A comparative study on the textural and nutritional profile of high pressure and minimally processed pineapple. J Food Sci Technol. 2021;58(10):3734-42.
47. Hu K, Peng D, Wang L, Liu H, Xie B, Sun Z. Effect of mild high hydrostatic pressure treatments on physiological and physicochemical characteristics and carotenoid biosynthesis in postharvest mango. Postharvest Biol Technol. 2021;172:111381.
48. Wiktor A, Sledz M, Nowacka M, Rybak K, Chudoba T, Lojkowski W, et al. The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. Innov Food Sci Emerg Technol. 2015;30:69-78.
49. González-Casado S, Martín-Belloso O, Elez-Martínez P, Soliva-Fortuny R. Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: Effects on respiratory activity and quality attributes. Postharvest Biol Technol. 2018;137:113-8.
50. Rana S, Mehta D, Bansal V, Shivhare US, Yadav SK. Atmospheric cold plasma (ACP) treatment improved in-package shelf-life of strawberry fruit. J Food Sci Technol. 2020;57(1):102-12.
51. Farias TRB, Rodrigues S, Fernandes FAN. Effect of dielectric barrier discharge plasma excitation frequency on the enzymatic activity, antioxidant capacity and phenolic content of apple cubes and apple juice. Food Res Int. 2020;136:109617.

# มันเทศ : แหล่งแป้งทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพ

**ประจงเวท สาตมาลี**

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrpws@ku.ac.th
**รับเมื่อ** 3 ตุลาคม 2566 **แก้ไขเมื่อ** 27 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

**จุดเด่น**

- มันเทศเป็นพืชหัวที่มีแป้ง และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นองค์ประกอบทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างจากแป้งพืชหัวชนิดอื่น ๆ
- สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีคุณสมบัติช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด
- แป้งในหัวมันเทศมีคุณสมบัติในการย่อยได้ช้า จึงมีค่า GI ต่ำ เหมาะกับผู้เป็นโรคเบาหวาน และผู้รักสุขภาพ

**บทคัดย่อ**

ประเทศไทยเผชิญปัญหาสุขภาวะของประชากรในเรื่องโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมากว่าทศวรรษ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการเกิดโรคเหล่านั้นคือ การบริโภคอาหารที่ขาดสมดุล จึงมีแนวทางการบริโภครูปแบบใหม่ที่ลดการบริโภคแป้งลง แต่อย่างไรก็ดีการลดการบริโภคแป้งมากเกินไปอาจก่อปัญหาสุขภาพได้เช่นกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาสมดุลของการบริโภค ผู้บริโภคจึงมีแนวโน้มรับประทานอาหารประเภทแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการ หรือเป็นแป้งที่มีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนสูง มันเทศเป็นหนึ่งในทางเลือกที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมันเทศมีรสหวานตามธรรมชาติแล้ว ยังมีสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ อีกทั้งแป้งในมันเทศนั้นมีสมบัติย่อยได้ช้า ซึ่งมีค่าไกลซีมิค (glyceamic index; GI) เพียง 50 นอกจากนี้แป้งมันเทศยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะของผู้บริโภค เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรีปราศจากกลูเตน เป็นต้น จึงสามารถกล่าวได้ว่ามันเทศเป็นแหล่งแป้งทางเลือกเพื่อสุขภาพสำหรับการบริโภคระดับครัวเรือน และสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ

**คำสำคัญ :** มันเทศ โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ความสามารถในการย่อยได้ช้าของแป้ง

# Sweet potato : alternative carbohydrate source for the health conscious consumers

## Prajongwate Satmalee

Department of Food Chemical and Physical,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrpws@ku.ac.th
**Received** 3 October 2023; **Revised** 27 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

### Highlights

- Sweet potato is a starchy tuber containing bioactive compounds that make its property unique from other tubers
- Bioactive compounds have the potential to reduce the risk of developing many NCDs
- Sweet potato starch has the property of being slowly digested, therefore has low GI value. It is suitable for diabetes and health conscious consumers

### Abstract

Thailand has faced health problems relating the chronic non-communicable diseases (NCDs) more than a decade. The most important factor is an imbalanced food consumption. The new diet as low carbohydrate is introduced, unfortunately this may cause other heath issues. Hence, the consumers tend to consume less processed carbohydrate or complex carbohydrates to balance the diet. Sweet potato gains more interests to the health market due to its naturally sweetness. Apart from this, the bioactive compounds have potential to reduce the risk of NCDs developing. Moreover, there is the report that the sweet potato flour is slower digested compared to the other flour as the glyceamic index (GI) value of 50. Sweet potato flour can be used as main ingredients for the products that suit the specific needs such as gluten free bakery. This may conclude that sweet potato is the alternative carbohydrate source for household consumption and also healthy food industries.

**Keywords :** sweet potato, non-communicable diseases, slow digestible starch

## บทนำ

กว่าทศวรรษที่ประเทศไทยมีรายงานเกี่ยวกับสุขภาวะของประชากรในเรื่องโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง หรือกลุ่มโรค NCDs (non-communicable diseases) เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง โรคเบาหวาน และความดันโลหิตสูง เป็นต้น ที่เพิ่มสูงขึ้น[1] นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์ว่า อัตราการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคติดต่อไม่เรื้อรังของประชากรโลกเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 74 ในปี ค.ศ. 2030 และพบว่า ผู้บริโภคในกลุ่มประเทศที่มีรายได้น้อย (low income) และมีรายได้น้อยถึงปานกลาง (lower middle income) มีอัตราการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคดังกล่าวสูงถึงร้อยละ 52 และมากกว่าร้อยละ 60 ในปี ค.ศ. 2030[2] (Figure 1)

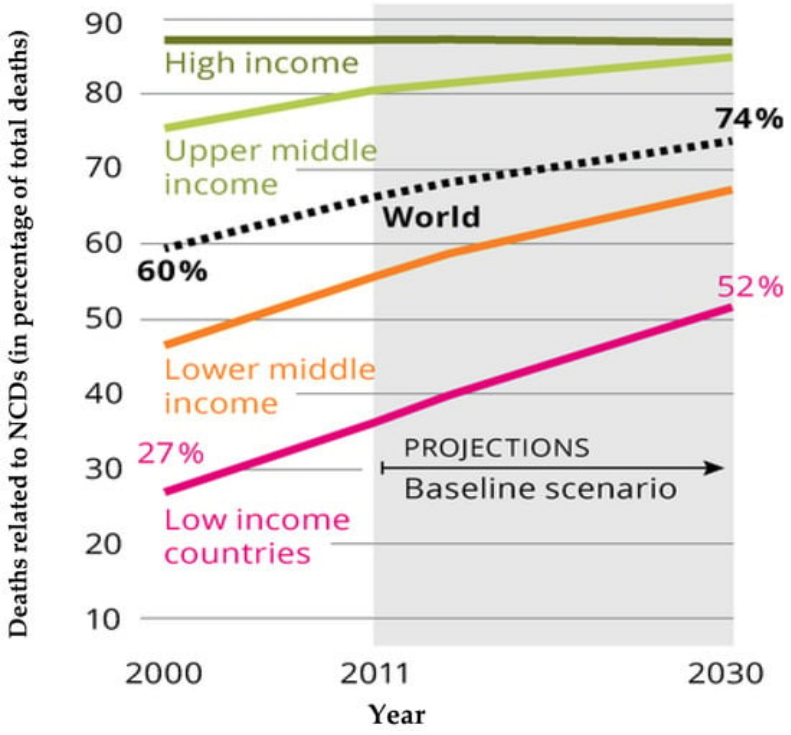


**Figure 1** The increasing rate of deaths from NCDs[2]

โรคติดต่อไม่เรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดสมอง ความดัน เบาหวาน เป็นต้น เป็นกลุ่มโรคที่เกิดจากพฤติกรรมการดำเนินชีวิต จากการศึกษาของ Chavasit และคณะ[3] พบว่า ส่วนหนึ่งเกิดจากการบริโภคอาหารที่ขาดสมดุล ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะน้ำหนักเกิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลส่งเสริมให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมาได้ จากความกังวลใจเกี่ยวกับปัญหาสุขภาพก่อให้เกิดกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเลือกบริโภคอาหารเป็นแนวทางที่ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่ยั่งยืน หนึ่งในแนวทางที่เป็นที่นิยม คือ การเลือกรับประทานอาหารจำพวก

คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งน้อยลง แต่การเลือกบริโภคแป้งที่น้อยลงนั้นอาจส่งผลต่อสุขภาพในด้านอื่นด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีรายงานว่า การบริโภคคาร์โบไฮเดรตน้อยเกินไปอาจก่อให้เกิดอาการไข้ คลื่นไส้อาเจียน ขาดน้ำ มีภาวะเลือดเป็นกรด เสียอิเล็กโตรไลท์ และลดความสามารถในการออกกำลังกายได้[4-5] ดังนั้นการเลือกบริโภคอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน หรือคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านกระบวนการไม่มากนัก เช่น ข้าวกล้อง มันเทศ เป็นต้น จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการสร้างสมดุลของอาหาร และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง หนึ่งในแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือมันเทศ โดยมูลค่าของมันเทศสูงถึง 4,180.4 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2564 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น[6]

มันเทศเป็นพืชหัวในตระกูลเดียวกับผักบุ้ง โดยหัวมันเทศมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก (Table 1) และมีน้ำตาลประมาณร้อยละ 2.4 ซึ่งทำให้เนื้อมันเทศมีรสหวานตามธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับพืชหัวชนิดอื่น ๆ ทั้งมีรายงานว่า มันเทศมีโปรตีนสูงกว่าพืชหัวชนิดอื่น ๆ และยังเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) หลายชนิด ได้แก่ ลิวซีน ไอโซลิวซีน ไลซีน เมทไทโอนีน เฟนิลอาลานิน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน และวาลีน เป็นต้น[7-8] นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี วิตามินบี เป็นต้น[9-10]

**Table 1** Nutrtion value of sweet potato compared with other major starch sources (g/100 edible portion)[11]

| Food ID | Protein | Fat | Fiber | Ash | Starch | Total Sugar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sweet Potato | 1.4 | 0.2 | 1.6 | 0.7 | 20.1 | 2.4 |
| Cassava | 0.5 | 0.2 | 1.0 | 0.8 | 31.0 | 0.8 |
| Brown Rice | 7.3 | 2.2 | 3.3 | 1.4 | 69.1 | 1.9 |

นอกจากนั้นมันเทศยังมีสารพฤกษเคมี (phytochemical) ที่ดีต่อสุขภาพ เช่น ซาโปนิน (saponin) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแคโรทีน (carotene) เป็นต้น[12] โดยสารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคติดต่อไม่เรื้อรังหลายโรค โดยฤทธิ์ทางชีวภาพของมันเทศที่มีรายงานมากที่สุดคือฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยมีฤทธิ์ในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการกำจัดอนุมูลอิสระ หรือป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระ ซึ่งมันเทศเนื้อสีม่วงนั้นมีรายงานว่า มีค่าต้านอนุมูลอิสระสูง ในขณะที่มีรายงานว่ามันเทศเนื้อสีส้มเป็นแหล่งของสารแคโรทีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (pro-vitamin A) ที่ดีอีกด้วย[13]

นอกจากฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในหัวมันเทศแล้วนั้น ยังมีรายงานว่า สารพฤกษเคมีที่

พบในมันเทศยังมีฤทธิ์ในการต้านโรคเบาหวาน (anti-diabetic) โดยมีรายงานว่า มันเทศเนื้อสีส้ม สีม่วง และสีขาว มีสารที่สามารถลดการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (amylase) และกลูโคซิเดส (glucosidase) ทำให้แป้งในหัวมันเทศนั้นมีจุดเด่นที่สำคัญคือ ย่อยได้ช้าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น[14] เช่น แป้งข้าว โดยมีรายงานว่า มันเทศมีค่าดัชนีไกลซีมิค (glyceamic index, GI) ประมาณ 50 ซึ่งต่ำกว่าข้าวขาวที่มีค่า GI ที่ 70 ดังนั้นมันเทศจึงเหมาะเป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน[15-16] และมีรายงานว่า มันเทศมีส่วนของแป้งที่ย่อยได้ช้า (slowly digestible starch) และแป้งที่ทนต่อการย่อย (resistant starch) สูงกว่าแป้งจากพืชหัวอื่น ๆ การที่แป้งมันเทศทนการย่อยได้นั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น ปริมาณฟอสฟอรัส[17] เป็นต้น แต่ปัจจัยสำคัญที่มีการอ้างอิงถึงมากขึ้นคือสารแอนโทไซยานินในมันเทศ เนื่องจากมีรายงานว่า สารแอนโทไซยานินมีสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้อัตราการย่อยแป้งลดลงได้[18] นอกจากนี้ Escobar-Puentes และคณะ[19] ยังรายงานว่า มันเทศเนื้อสีม่วงมีปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยสูงกว่ามันเทศเนื้อสีอื่น ๆ Ruiz-Rodriguez และคณะ[20] พบว่า การบริโภคอาหารที่มีค่า GI ต่ำ ถึงปานกลางช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน และโรคหลอดเลือดหัวใจ

จากคุณค่าทางอาหารที่กล่าวมา ทำให้มีผู้บริโภคหันมาสนใจบริโภคมันเทศมากขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารเพิ่มการนำมันเทศมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีความหลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด ทั้งการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุของหัวมันเทศ รวมถึงการแปรรูปเพื่อบริโภคทั้งหัว นอกจากนั้นยังมีการแปรรูปโดยการสกัดส่วนแป้งและสตาร์ชมาใช้ ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวผ่านกระบวนการอัดพอง (extrusion) ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ที่มีจุดขายด้านปราศจากกลูเตน รวมถึงใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น นอกจากนี้มีการวิจัยนวัตกรรมอาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้มันเทศเป็นวัตถุดิบหลักออกมามากมาย เช่น การผลิตเครื่องดื่มที่มีจุดขายด้านการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงผลิตภัณฑ์หมัก เช่น โยเกิร์ต เป็นต้น[9]

## บทสรุป

มันเทศเป็นพืชหัวที่กำลังได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่รักสุขภาพอย่างมาก เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง เมื่อเปรียบเทียบกับพืชหัวอื่น ๆ ทั้งในเรื่องปริมาณ และคุณภาพของโปรตีน รวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันตามชนิดของสีเนื้อมันเทศ นอกจากนี้ในส่วนแป้งยังมีความโดดเด่นในเรื่องสมบัติด้านการย่อยที่ประกอบด้วยแป้งที่ย่อยได้ช้า และมีแป้งชนิดที่ทนต่อการย่อย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอาหารสุขภาพได้หลากหลาย จึงกล่าวได้ว่า มันเทศเป็นแหล่งแป้งทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพที่ตอบโจทย์ทั้งการบริโภคในครัวเรือนและการแปรรูประดับอุตสาหกรรม

**เอกสารอ้างอิง**

1. Kaufman ND, Chasombat S, Tanomsingh S, Rajataramya B, Potempa K. Public health in Thailand: emerging focus on non communicable diseases. Int J Health Plann Manage. 2011; 26:e197-e212.
2. Amagloh FC, Yada B, Tumuhimbise GA, Amagloh FK, Kaaya AN. The potential of sweetpotato as a functional food in sub-Saharan Africa and its implications for health: A review. Molecules. 2021;26(10):21 pg.
3. Chavasit V, Kasemsup V, Tontisirin K. Thailand conquered under-nutrition very successfully but has not slowed obesity. Obes. Rev. 2013;14(S2):96-105.
4. Mooradian AD. The merits and pitfalls of low carbohydrate diet: A concise review. J. Nutr. Health Aging. 2020;24:805-8.
5. Bostock ECS, Kirkby KC, Taylor BV, Hawrelak JA. Consumer reports of “Keto Flu” associated with the ketogenic diet. Front Nutr. 2020;7:20
6. สถาบันอาหาร. รายงานตลาดอาหารในประเทศไทย พืชหัว. [อินเตอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 23 ม.ค. 2567]; เข้าถึงได้จาก: https://fic.nfi.or.th/upload/market_overview/pdf371.pdf
7. Ravindran V, Ravindran G, Sivakanesan R, Rajaguru SB. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). J Agric Food Chem. 1995;43(10):2646-51.
8. Ju D, Mu T, Sun H. Sweet potato and potato residual flours as potential nutritional and healthy food material. J Integr Agric. 2017;16(11):2632-45.
9. Bach D, Bedin AC, Lacerda LG, Nogueira A, Demiate IM. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.): a versatile raw material for the food industry. Braz Arch Biol Technol. 2021;64:e21200568.
10. Olantunde GO, Henshaw FO, Idowu MA, Tomlins K. Quality attributes of sweet potato flour as influenced by variety, pretreatment and drying method. Food Sci Nutr. 2016;4(4):623-35.
11. Juliano BO. Comparative nutritive value of various staple foods. Food Rev Int. 1999;15(4):399-434.
12. Alum MK. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. Trends Food Sci Technol. 2021;115:512-29.
13. Wang S, Nie S, Zhu F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. Food Res Int. 2016;89:90-116.
14. Lu P, Li X, Janaswamy S, Chi C, Chen L, Wu Y, et al. Insights on the structure and digestibility of sweet potato starch: Effect of postharvest storage of sweet potato roots. Int J Biol Macromol. 2020;145:694-700.
15. Zhang D, Collins WW, Andrade M. Estimation of genetic variance of starch digestibility in sweetpotato. HortScience. 1995;30(2):348-9.
16. Tan SL. Sweetpotato- *Ipomoea batatas*-a great health food. Utar Agric Sci J. 2015;1(3):28 pp.
17. Noda T, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Suzuki T, Hashimoto N, Kottearachchi NS, et al. Factors affecting the digestibility of raw and gelatinized potato starch. Food Chem. 2008;110(2):465-70.
18. Ou SJL, Yu J, Zhou W, Liu MH. Effects of anthocyanins on bread microstructure, and their combined impact on starch digestibility. Food Chem. 2022; 374:131744.
19. Escobar-Puentes AA, Palomo I, Rodriguez L, Fuentes E, Villegas-Ochoa MA, Gonzalez-Aguilar GA, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) phenotypes: From agroindustry to health effects. Foods. 2022;11:18 pp.
20. Ruiz-Rodriguez A, Marín FR, Ocaña A, Soler-Rivas C. Effect of domestic processing on bioactive compounds. Phytochem Rev. 2008;7:345-84.

**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 19$^{th}$ 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

JFRPD (online)