



ปีที่ 51 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2564

Vol. 51 No. 1 January - March 2021

Food Journal

อาหาร

สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ISSN 0125-1147

วิชาการ

- ❖ บทบาทของสารอาหารในการลดความเสี่ยงและป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์
- ❖ เทคโนโลยีการทำแห้งแบบป้อนความร้อน: การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
- ❖ องค์ประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม
- ❖ มะพร้าว น้ำหอม ตัดแต่งส่งออก และการควบคุมคุณภาพระหว่าง
การเก็บรักษา

เมนูคู่สุขภาพ

- ❖ แคลเซียมจากผัก



goo.gl/b6dGWD

www.ifrpd.ku.ac.th

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่วิทยาการและเสนอข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีทางอาหาร วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและโภชนาการ
2. ส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมากขึ้น
3. เป็นสื่อกลางด้านธุรกิจอุตสาหกรรมระหว่างผู้ผลิต ผู้ประกอบการ ผู้บริโภคและหน่วยงานของรัฐ

สำนักงาน

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตู้ไปณ. 1043 ปทฝ.เกษตรศาสตร์
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10903 โทร. 02 942 8629 ต่อ 1303
โทรสาร. 02 561 1970

ที่ปรึกษา

ดร.พิศมัย ศรีชาเยช
อภิญญา จุฑางกูร
จันทร์เพ็ญ แสงประกาย

บรรณาธิการ

วนิดา เทวารุทธิ ขิตติสรวิกุล

รองบรรณาธิการ

ดร.อรวรรณ ละอองคำ

กองบรรณาธิการ

ดร.ลัดดา แสงเดือน วัฒนศิริธรรม ดร.วนิดา ปานอุทัย
ดร.สุมิตรา บุญบำรุง ดร.อรไท สวัสดิชัยกุล
ดร.คันสนีย์ อุดมระติ ช่อลัดดา เทียงพุก
ดร.นิพัฒน์ ลิ่มสงวน กนกวรรณ ยอดอินทร์
ดร.วราภรณ์ ประเสริฐ วาสนา นาราศรี

กองจัดการ

มณฑาทิพย์ ธรรมนิติโชค รัตนาพร เพ็ชรอินทร์

Objectives

1. To distribute the publication in all areas of food science and technology, post harvest technology and nutrition.
2. To promote industrially innovative food processing of agricultural products.
3. To mediate food science information between food producers, entrepreneur consumers and government sectors.

Office

Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University. P.O. Box 1043, Kasetsart, Chatuchak,
Bangkok 10903, Thailand
Tel. 662 942 8629 Fax. 662 561 1970

Consultant

Dr. Phisamai Srichayet
Apinya Chudhangkura
Janpen Saengprakai

Editor

Wanida Tewaruth Chitisankul

Assistant-editor

Dr. Orawan La-ongkham

Editorial-board

Dr. Ladda Sangduean Wattanasiritham Dr. Wanida Pan-utai
Dr. Sumitra Boonbumrung Dr. Orathai Sawatdichaikul
Dr. Sunsanee Udomrati Chowladda Teangpook
Dr. Nipat Limsangouan Kanokwan Yodin
Dr. Waraporn Prasert Wassana Narasri

Manager

Montatip Thammanitichok Rattanaporn Petchin

บรรณาธิการ... บอกเล่า

สวัสดิ์ศึะ ในวารสารอาหารปีที่ 51 ฉบับที่ 1 ฉบับของปี พ.ศ. 2564 ท่านจะได้อ่านบทความวิชาการ 4 เรื่อง ทั้งเนื้อหาด้านสุขภาพและเทคโนโลยีทางอาหาร โดยเรื่องแรกขอเสนอบทความสำหรับผู้สูงอายุ คือ บทบาทของสารอาหารในการลดความเสี่ยงและป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ต่อด้วยเรื่อง เทคโนโลยีการทำแห้งแบบป้อนความร้อน: การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เรื่องที่สามเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับองค์ประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน ส่วนบทความวิชาการปิดท้ายเป็นเรื่องมะพร้าว น้ำหอมตัดแต่งส่งออกและควบคุมคุณภาพระหว่างการค้า การเก็บรักษา สำหรับเมนูสุขภาพ เราขอเสนอเรื่องแคลเซียมจากผักคะ

ทางทีมงานใคร่ขอความอนุเคราะห์ให้ท่านผู้อ่านตอบแบบสอบถามผ่าน QR code ท่านสามารถแสดงความคิดเห็นต่อวารสารอาหารในด้านต่าง ๆ เพิ่มเติม มายังทีมงานได้ที่อีเมล fic.ifrpd@gmail.com เรายินดีรับคำแนะนำจากท่านตลอดเวลา นะคะ เพื่อนำไปปรับปรุงการทำงานค่ะ และขอขอบคุณล่วงหน้ามา ณ ที่นี้



ข้อมูล วรรณะ และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารอาหาร เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิมโดยเฉพาะ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย





FOOD

JOURNAL

ปีที่ 51 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2564

Vol. 51 No. 1 January - March 2021

CONTENTS

วิชาการ


- 5 บทบาทของสารอาหารในการลดความเสี่ยงและป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์
Role of nutrients in the risk reduction and prevention of Alzheimer's disease
✎ ณัฐวดี ลายนน้ำเงิน (Nuttawut Lainumngan)
- 15 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบปั๊มความร้อน: การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
Heat pump drying technology: applications in food industry
✎ ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานูวัตร (Dr. Titaporn Tumpanuvat)
- 25 องค์ประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม
Composition of meat analogue products
✎ พสธร ผ่องแผ้ว (Possathorn Pongpaew)
- 35 มะพร้าวน้ำหอมตัดแต่งส่งออกและการควบคุมคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา
The exportation of trimmed aromatic coconut and quality control during storage
✎ เขมพัช ตรีสุวรรณ (Khemmapas Treesuwan)

เมนูสุขภาพ

- 40 แคลเซียมจากผัก
Calcium in vegetables
✎ วาสนา นาราศรี (Wassana Narasri)
- 44 คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

บทบาทของสารอาหารในการลดความเสี่ยงและป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์

Role of nutrients in the risk reduction and prevention of Alzheimer's disease

 ญัฐวุฒิ लयน้ำเงิน (Nuttawut Lainumngen)

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ (Department of Nutrition and Health)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) เป็นความผิดปกติทางสมองที่เกิดจากความเสื่อมถอยของการทำงานหรือโครงสร้างของเนื้อเยื่อสมอง โดยเป็นความเสื่อมที่เกิดจากโปรตีนเบต้า-อะไมลอยด์ (beta-amyloid) เมื่อจับกับเซลล์สมองจะทำให้เซลล์สมองเสื่อมและฝอลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองค่อย ๆ ลดลง กระทบต่อความจำ การเรียนรู้ ความรู้สึกนึกคิด การใช้ภาษาและพฤติกรรม โรคอัลไซเมอร์ มักพบในผู้สูงอายุและเป็นโรคที่พบได้บ่อยที่สุดในกลุ่มอาการสมองเสื่อม (dementia) โดยคาดการณ์ว่าจะมีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคอัลไซเมอร์สูงถึง 100 ล้านคนทั่วโลกภายใน 30 ปี โรคอัลไซเมอร์จึงเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่ค่อย ๆ ก่อตัวขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย ตลอดจนโครงสร้างของระบบเศรษฐกิจและสังคม การเริ่มแก้ปัญหาในขั้นเบื้องต้นของระบบสาธารณสุข คือสร้างความตระหนักในการป้องกันหรือลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ นักวิทยาศาสตร์จึงให้ความสนใจกับการป้องกันหรือปรับเปลี่ยนปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคอัลไซเมอร์ โดยพบว่า กิจกรรมทางสังคมและความคิด (social and

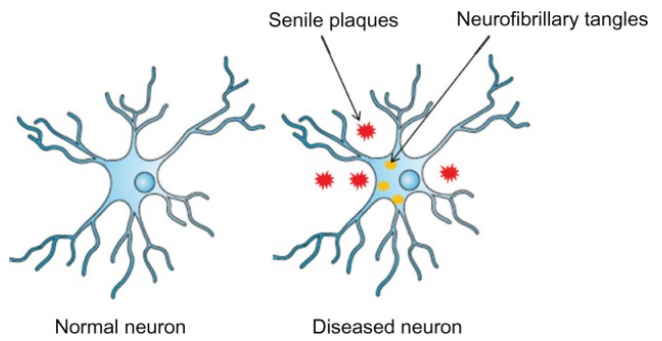
cognitive engagement) มีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ในขณะที่ปัจจัยเสี่ยงส่วนบุคคล ได้แก่ การมีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน การมียืนแฝงของอัลไซเมอร์ การสูบบุหรี่ และการมีภาวะซึมเศร้า ล้วนมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ง่ายยิ่งขึ้น

การบริโภคอาหารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ โดยเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เช่น การรับประทานปลา การบริโภคอาหารที่มีคุณสมบัติช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ การบริโภคอาหารที่มีสารโพลีฟีนอล การดูแลสุขภาพโภชนาการไม่ให้อ้วนเกินไป การออกกำลังกายต่าง ๆ จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ แต่หากรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง อาหารที่ให้พลังงานสูงและดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ในปริมาณมากเป็นประจำ จะเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ด้วยเหตุนี้รูปแบบการบริโภคอาหารจึงได้รับความนิยมในการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาความสัมพันธ์กับการเกิดโรคอัลไซเมอร์ในปัจจุบัน ดังนั้นบทความนี้มี

จุดประสงค์เพื่อรวบรวมและสรุปหลักฐานการศึกษาวิจัยที่เชื่อมโยงระหว่างปัจจัยเสี่ยงด้านอาหาร สารอาหารต่าง ๆ ตลอดจนรูปแบบการบริโภคอาหาร ที่มีผลต่อการป้องกันโรคอัลไซเมอร์

โรคอัลไซเมอร์

ภาวะสมองเสื่อม (dementia) หมายถึง ภาวะที่มีความบกพร่องทางด้านการทำงานของสมองอย่าง ก้าวหน้าไปเรื่อย ๆ และมีพยาธิสภาพเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดความผิดปกติในด้านต่าง ๆ เช่น การคิด การตัดสินใจ ความจำ เป็นต้น โรคอัลไซเมอร์เป็นภาวะสมองเสื่อมชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้บ่อยที่สุด ลักษณะอาการของโรคอัลไซเมอร์จะเริ่มจากการสูญเสียความจำ โดยเฉพาะความจำระยะสั้น ผู้ป่วยจะลืมชื่อบุคคลที่คุ้นเคย เริ่มมีอาการหลงลืม หาสินของที่ใช้เป็นประจำในชีวิตประจำวันไม่พบหรือหลงลืมว่าตนเองกำลังจะทำอะไร ตลอดจนแสดงพฤติกรรมม อารมณ์ และบุคลิกภาพที่เปลี่ยนไป เช่น หงุดหงิด ฉุนเฉียว สับสน นิ่งซึมเฉย อีกทั้งยังมีความบกพร่องใน การแก้ไขปัญหาและการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยอาการที่ปรากฏจะมีความแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการดำเนินของโรค ในปัจจุบันประชากร ประมาณ 50 ล้านคนทั่วโลกเจ็บป่วยจากอาการสมอง เสื่อม โดยพบผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ประมาณร้อยละ 70 และคาดว่าจะพบอุบัติการณ์ของการเกิดโรคที่เพิ่ม สูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง และมีจำนวนผู้ป่วยด้วย โรคอัลไซเมอร์มากกว่า 100 ล้านคนภายในระยะเวลา 30 ปี โดยกลุ่มเสี่ยงของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ ได้แก่ ผู้ที่มีอายุมากกว่า 65 ปีขึ้นไป เนื่องจากเป็นช่วงวัยที่ มักพบว่ามีความเสี่ยงของการเกิดอาการสมองเสื่อม เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สถิติจากองค์การอัลไซเมอร์ระหว่าง ประเทศพบว่า ในจำนวนทุก ๆ 4 คน จะสามารถพบ ผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 85 ปีและมีโรคอัลไซเมอร์ได้ จำนวน 1 ราย



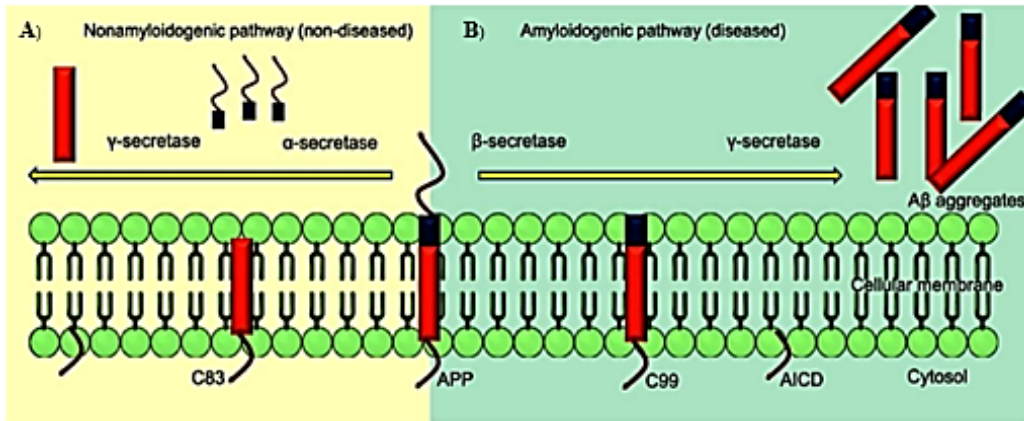
รูปที่ 1 ภาพจำลองเซลล์ประสาทนิวรอนในสภาวะที่ร่างกายปกติ (ซ้าย) และเมื่อเกิดโรคอัลไซเมอร์ (ขวา) โดยพบอะไมลอยด์พลาคและ นิวโรไฟบิลลารี แทงเกิล ซึ่งทำลายระบบการขนส่งสารใน เซลล์ประสาทและทำให้เซลล์สมองทำงานได้น้อยลง

ที่มา: Chen et al., 2013

ลักษณะทางพยาธิวิทยาที่สำคัญของ โรคอัลไซเมอร์ คือ การเกิดอะไมลอยด์พลาค (amyloid plaques) และ นิวโรไฟบิลลารี แทงเกิล (neurofibrillary tangles) ในสมอง (รูปที่ 1) โดย สมมติฐานการเกิดโรคอัลไซเมอร์ที่ได้รับการยอมรับ ทั่วโลกและผ่านการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์มาอย่าง ยาวนาน เรียกว่า สมมติฐานอะไมลอยด์ (amyloid hypothesis) เนื่องจากองค์ประกอบหลักของพลาค คือ เบต้า-อะไมลอยด์ ซึ่งเป็นเปปไทด์ขนาดเล็กที่เกิดจาก กระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนที่เรียกว่า โปรตีน ต้นกำเนิดอะไมลอยด์ (amyloid precursor protein; APP) การตัดโปรตีนต้นกำเนิดอะไมลอยด์แบ่งได้เป็นสอง เส้นทาง (pathway) ที่เป็นอิสระต่อกัน ได้แก่ เส้นทางที่ ก่อให้เกิดการสะสมอะไมลอยด์ (amyloidogenic pathway) และเส้นทางที่ไม่ทำให้เกิดการสร้างเบต้า- อะไมลอยด์ (non-amyloidogenic pathway) เส้นทาง ที่ก่อให้เกิดการสะสมของอะไมลอยด์จะอาศัยการทำงานของเอนไซม์เบต้า-ซีเครเทส (beta-secretase) ร่วมกับ แกมมา-ซีเครเทส (gamma-secretase) ก่อให้เกิดเบต้า- อะไมลอยด์หลายโมเลกุลมาเกาะกลุ่มกัน เรียกว่า เบต้า- อะไมลอยด์โอลิโกเมอร์ (beta-amyloid oligomer) และเมื่อหลาย ๆ โอลิโกเมอร์มารวมกันจะกลายเป็น อะไมลอยด์พลาคในที่สุด การสะสมของเบต้า- อะไมลอยด์ผ่านเส้นทางนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่

ก่อให้เกิดการดำเนินไปของโรคอัลไซเมอร์ (รูป 2B) ส่วนการตัดโปรตีนต้นกำเนิดอะไมลอยด์ที่ไม่ทำให้เกิดการสร้างเบต้า-อะไมลอยด์ จะอาศัยการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-ซีกรีเทส (alpha-secretase) และแกมมา-ซีกรีเทส ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดสายโปรตีนต้นกำเนิดอะไมลอยด์ภายในเบต้า-อะไมลอยด์โดเมน จึงไม่ทำให้เกิดการสร้างเบต้า-อะไมลอยด์ต่อไป

(รูป 2A) ดังนั้นหากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนต้นกำเนิดอะไมลอยด์ไม่สมดุลระหว่างการสร้างและการขจัดออก จะทำให้เกิดการสะสมจับตัวกันเป็นก้อนของเบต้า-อะไมลอยด์ตกตะกอนอยู่นอกเส้นประสาท เรียกว่า ซีไนล์ พลาสติก (senile plaque) จนเกิดความผิดปกติในสมอง

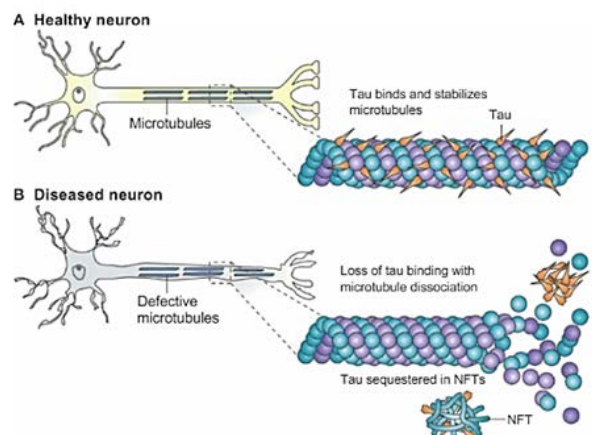


รูปที่ 2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนต้นกำเนิดอะไมลอยด์ (APP) ผ่านทางสองเส้นทาง ได้แก่ A) non-amyloidogenic pathway และ B) amyloidogenic pathway

ที่มา: Tiwari *et al.*, 2019

นอกจากอะไมลอยด์พลาค์ในสมองของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ยังสามารถพบนิวโรไฟบริลลารี แทงเกิล ซึ่งเป็นเส้นใยคู่ที่พันเป็นเกลียวเกาะกลุ่มกันในเซลล์ประสาท ประกอบด้วยโปรตีนเทา (tau) ในรูปที่มีการเติมหมู่ฟอสเฟตมากผิดปกติ (hyperphosphorylation) โปรตีนเทาทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของไมโครทิวบูล (microtubules) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเซลล์ที่ทำให้เซลล์คงรูปร่าง ช่วยส่งสัญญาณจากเยื่อหุ้มเซลล์และใช้ในการขนส่งโปรตีนและเอนไซม์ออกนอกเซลล์ แต่ในสภาวะที่มีการเติมหมู่ฟอสเฟตมากผิดปกติ ทำให้โปรตีนเทาแยกจากไมโครทิวบูลและทำให้ไมโครทิวบูลเกิดการสลายตัว ระบบขนส่งในเซลล์ประสาทจึงผิดปกติและทำให้เซลล์ประสาทตายในเวลาต่อมา เมื่อปริมาณเซลล์ในสมองลดลง สารอะซิติลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่คอยเชื่อมโยงคำสั่งของเซลล์สมองจะลดลงด้วยจึงทำให้เกิดอาการต่าง ๆ ของโรคอัลไซเมอร์ ส่วนโปรตีนเทาที่แยกตัวออกมาจะมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและเกาะกลุ่มกันเป็นนิวโรไฟบริลลารี แทงเกิล ซึ่งมีความเป็น

พิษต่อเซลล์ประสาท โดยภายหลังค้นพบความสัมพันธ์ว่า การมีเบต้า-อะไมลอยด์ที่มากเกินไป กระตุ้นให้โปรตีนเทาเปลี่ยนแปลงเป็นนิวโรไฟบริลลารี แทงเกิล (รูปที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานอะไมลอยด์ที่เป็นโปรตีนสำคัญพื้นฐานของการเกิดความผิดปกติในเซลล์สมอง



รูปที่ 3 เซลล์ประสาทในสภาวะปกติ โปรตีนเทาจับกับไมโครทิวบูล (ภาพ A) และเซลล์ประสาทเมื่อเป็นโรคอัลไซเมอร์ โปรตีนเทาหลุดจากไมโครทิวบูลและเกิดการจับตัวกันเป็นนิวโรไฟบริลลารี แทงเกิล (ภาพ B)

ที่มา: Chen *et al.*, 2013

โรคอัลไซเมอร์สามารถแบ่งเป็น 7 ระดับ โดยใช้แบบทดสอบความสามารถของสมอง mini-mental state examination (MMSE) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายสำหรับคัดกรองและจำแนกระดับความรุนแรงของโรคอัลไซเมอร์ โดยแบบทดสอบประกอบด้วย 11 คำถาม มีระดับคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 30 คะแนน ค่าของคะแนนที่สูงขึ้นแสดงถึงสภาวะทางด้านความจำที่ดีหรือมีความรุนแรงของโรคที่ลดลง โดยอาการที่มีความสัมพันธ์กับโรคอัลไซเมอร์ในระยะที่มีความรุนแรงของโรคน้อย (mild) มักพบว่าความสามารถในการทำกิจกรรมที่ซับซ้อนหรือประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ความสามารถในการเรียนรู้สิ่งใหม่ลดลง เช่น เริ่มหลงลืมเหตุการณ์ปัจจุบัน มีปัญหาในการจำชื่อคนหรือสถานที่ พูดซ้ำ ถ้ามซ้ำ มีการเก็บสิ่งของผิดที่หรือหาของตนเองไม่เจอ หากเข้าสู่ระยะที่มีความรุนแรงของโรคปานกลาง (moderate) จะเริ่มส่งผลกระทบต่อการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การปฏิบัติกิจวัตรประจำวันอย่างยากลำบาก ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อย่างไม่สมเหตุสมผล อาจจะสามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ด้วยตนเองแต่ทำได้ยากขึ้นและต้องการความช่วยเหลือ รวมถึงเริ่มสับสนเรื่องเวลาและไม่สามารถจำเหตุการณ์ที่สำคัญในชีวิตได้ หากอาการของโรคอัลไซเมอร์ดำเนินสู่ระยะรุนแรง (severe) ผู้ป่วยจะสูญเสียความรู้คิด การใช้ภาษาความสามารถในการสื่อสาร มีปัญหาการกลืน การนอนหลับ ไม่สามารถทำกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง จึงจำเป็นต้องมีผู้ช่วยในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ และไม่สามารถจำเหตุการณ์ที่เพิ่งเกิดขึ้นได้ เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารและสารอาหารต่อโรคอัลไซเมอร์

การรับประทานปลาช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดอัลไซเมอร์ จากการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัคร

ผู้สูงอายุที่อาศัยในเมืองชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 815 คน ที่มีอายุระหว่าง 65 ถึง 94 ปี โดยติดตามเป็นระยะเวลา 7 ปี พบว่า การรับประทานปลามากกว่าหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์ ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ประมาณร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่รับประทานปลาน้อยกว่าหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์หรือไม่ได้รับประทานปลาเลย เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์จึงพบว่าการได้รับกรดไขมันโอเมก้า-3 ได้แก่ กรดแอลฟา-ลิโนเลนิก (alpha-linolenic acid) อีพีเอ (eicosapentaenoic acid, EPA) และดีเอชเอ (docosahexaenoic acid; DHA) ที่ได้จากปลาจะช่วยลดโอกาสในการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ นอกจากนี้การเสริมโอเมก้า-3 (1.8 กรัมต่อวัน) เป็นระยะเวลา 2 ปี ช่วยพัฒนาสมรรถนะของสมองในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติเล็กน้อยของความสามารถของสมอง (mild cognitive impairment; MCI) แต่ยังไม่เห็นผลที่น่าพอใจในกลุ่มที่เป็นโรคอัลไซเมอร์ ซึ่งอาจเกี่ยวกับระยะเวลาของการเสริมโอเมก้า-3 ยังไม่เพียงพอต่อความรุนแรงและระยะการดำเนินของโรคอัลไซเมอร์

อาหารในกลุ่มผักและผลไม้ สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากในผักและผลไม้หลายชนิดเป็นแหล่งของสารอาหารและสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น อีกทั้งมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ จากการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัครผู้สูงอายุในเมืองชิคาโก ที่มีอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป จำนวน 3,718 ราย พบว่า การบริโภคผักใบเขียวซึ่งมีวิตามินอีสูงจะช่วยชะลอการเสื่อมของสมองและช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้โดยสังเกตจากกลุ่มอาสาสมัครมีคะแนนแบบทดสอบการทำงานของสมองที่ดีขึ้น

นมและผลิตภัณฑ์จากนม ถึงแม้ยังไม่มีข้อมูลเพียงพอในการสรุปความสัมพันธ์ที่ชัดเจนในทิศทางบวกหรือลบ แต่นมและผลิตภัณฑ์จากนมมีสารอาหารหลักที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินดี ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เป็นสารอาหารที่สามารถช่วยป้องกันการอักเสบ และป้องกันการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด จึงช่วยป้องกันความผิดปกติของหลอดเลือดที่อาจนำไปสู่การบกพร่องทางด้านความจำ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่า การบริโภคนมที่มีไขมันเต็มส่วน (whole-fat) ในผู้สูงอายุอาจสัมพันธ์กับการทำงานที่เสื่อมถอยของระบบประสาท ดังนั้นไขมันจากนมอาจเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึง โดยการได้รับไขมันไม่อิ่มตัวจากผลิตภัณฑ์นมสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดอัลไซเมอร์ แต่การได้รับไขมันอิ่มตัวจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนมสัตว์ในปริมาณมากอาจสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดอัลไซเมอร์ได้เช่นกัน

การบริโภคชาพบว่า ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ เช่น การบริโภคชาดำ จะช่วยกระตุ้นความสามารถทางด้านสมองทั้งความจำเสียง (auditory memory) และความจำภาพ (visual memory) การบริโภคชาเขียว ซึ่งมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ เรียกว่า สารคาเทชิน (catechins) โดยสารคาเทชินที่พบมากที่สุดชาเขียว คือ สารอีพิغالโลคาเทชิน กัลเลต (epigallocatechin gallate; EGCG) ซึ่งมีความสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดการสร้างเบต้า-อะไมลอยด์และป้องกันการสะสมของโปรตีนเทา เนื่องจากสารนี้สามารถแย่งจับในตำแหน่งเดียวกันกับเอนไซม์กลุ่มไคเนส (kinases) ที่มีหน้าที่เติมหมู่ฟอสเฟตบนโปรตีนเทาในปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation) การบริโภคชาเขียวจึงสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้

การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยหรือปานกลางมีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ แต่การดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณมากกว่า 2 ดริงก์ (1 ดริงก์ของเบียร์เท่ากับ 330 มิลลิลิตร และไวน์เท่ากับ 100 มิลลิลิตร) ร่วมกับมีพฤติกรรมสูบบุหรี่ จะเพิ่มโอกาสเกิดโรคสมองเสื่อมก่อนวัยได้ (early-onset of Alzheimer) โดยผลที่ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วย เช่น ไวน์แดง มีสารเรสเวราทอล (resveratrol) และสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติช่วยลดการเกิดอะไมลอยด์พลาตและป้องกันการเหนี่ยวนำให้เกิดพิษต่อระบบประสาทของเบต้า-อะไมลอยด์ หรือซิลิคอน (silicon) ในเบียร์ที่พบว่าสามารถป้องกันโรคอัลไซเมอร์ได้เช่นกัน ดังนั้นแอลกอฮอล์อาจช่วยป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วย

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ในกาแฟประกอบด้วยสารประกอบชีวภาพกว่าร้อยชนิด โดยสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาเฟอีน (caffeine) กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) สารโพลีฟีนอล (polyphenols) รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีรายงานทางระบาดวิทยาว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพและช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง โรคพาร์กินสัน เป็นต้น นอกจากนี้มีรายงานว่า การบริโภคกาแฟช่วยลดการสะสมของเบต้า-อะไมลอยด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ อย่างไรก็ตามยังไม่แน่ชัดว่าสารชนิดใดในกาแฟที่สามารถช่วยลดการสะสมของโปรตีนอะไมลอยด์ได้

สารอาหารในกลุ่มที่ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิตามินเอและเบต้า-แคโรทีน วิตามินซี วิตามินอี และซีลีเนียม มีคุณสมบัติช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์โดยยับยั้งการเกิดเบต้า-อะไมลอยด์โอลิโกเมอร์และไฟบริลซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ โดยพบว่าผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์มักมีความสัมพันธ์กับการมีระดับของวิตามินเหล่านี้ในเลือดต่ำ นอกจากนี้สารโพลีฟีนอลซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่พบมากในผักและผลไม้ มีฤทธิ์ช่วยป้องกันการอักเสบ ควบคุมการทำงานของเอนไซม์สำคัญต่าง ๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ ควบคุมการแสดงออกของยีนและการสื่อสารระหว่างเซลล์ โดยมีการศึกษาในสัตว์ทดลองที่พบว่า สารโพลีฟีนอลสามารถยับยั้งการสร้างเบต้า-อะไมลอยด์ได้ สำหรับกลุ่มวิตามินบีที่สำคัญต่อการป้องกันการเกิดภาวะสมองเสื่อม ได้แก่ กรดโฟลิก วิตามินบี 6 และวิตามินบี 12 มีบทบาทในการช่วยควบคุมปริมาณโฮโมซิสเตอีนในร่างกาย ซึ่งการมีภาวะโฮโมซิสเตอีนสูง (hyperhomocysteinemia) จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารและกระบวนการไกลเคชันต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์

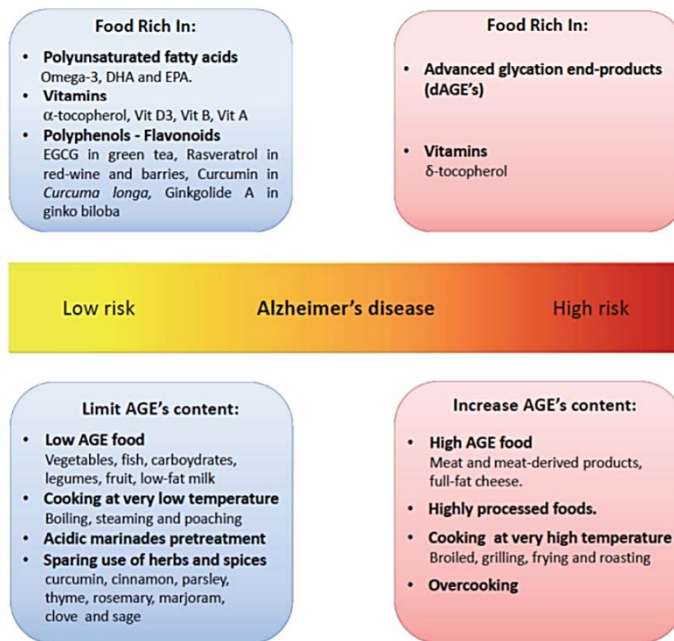
กระบวนการไกลเคชันหรือไกลโคซิเลชัน (glycation/glycosylation) เป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ไม่ใช้เอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคสและฟรุกโตส) และหมู่อะมิโนในโครงสร้างของโปรตีน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยการเชื่อมข้ามสายโมเลกุล (cross-linking) จนให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของสารแอดวานซ์ ไกลเคชัน เอนด์ โปรดัคส์ (advanced glycation end-products; AGEs) ซึ่งถือเป็นสารพิษต่อเซลล์ในร่างกาย หรืออาจเรียกว่า ไกลโคทอกซิน (glycotoxin) กระบวนการไกลเคชันมีความสัมพันธ์

กับความเสื่อมของเซลล์ รวมไปถึงการเกิดโรคอัลไซเมอร์ สารดังกล่าวจะจับกับตัวรับ (receptors for advanced glycation endproducts; RAGE) บริเวณเซลล์เนื้อเยื่อโปรตีนในร่างกายทำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชันและการอักเสบ การศึกษาในปัจจุบันพบว่า การมีปริมาณสารไกลโคทอกซินในเลือดมากจะทำให้การทำงานของสมองเสื่อมลงเร็วยิ่งขึ้น ในสมองของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์พบว่ามีตัวรับสารนี้เพิ่มขึ้น จึงเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชันและกระบวนการอักเสบในระบบประสาทของผู้ป่วย ทำให้เกิดการไหลเข้าของเบต้า-อะไมลอยด์ผ่านโครงสร้างที่กั้นระหว่างเลือดและสมอง (blood brain barrier; BBB) และสะสมเป็นอะไมลอยด์พลัค

อาหารเป็นทั้งแหล่งของสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายได้เช่นกัน อาหารจึงมีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสารไกลโคทอกซินและการเกิดโรคอัลไซเมอร์ อาหารที่ก่อให้เกิดสารไกลโคทอกซินสูง เช่น เนื้อสัตว์เนื้อสัตว์แปรรูป อาหารที่ผ่านกระบวนการปรุงประกอบหลายขั้นตอน อาหารที่ผ่านการปรุงสุกที่อุณหภูมิสูง เช่น การย่างแบบสัมผัสเปลวไฟโดยตรง (grilling) การอบด้วยความร้อนที่ไม่ได้สัมผัสเปลวไฟโดยตรง (roasting) การทอด (frying) จะเพิ่มปริมาณสารไกลโคทอกซินและเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ หากเปลี่ยนวิธีการปรุงประกอบอาหารเป็นการต้ม (boiling) และการตุ๋น (stewing) จะสามารถลดสารไกลโคทอกซินได้ถึงร้อยละ 50 เปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ความร้อนสูงและยังสามารถคงคุณค่าของสารอาหารชนิดอื่น ๆ ได้มากกว่าอีกด้วย นอกจากนี้การใช้สมุนไพรและเครื่องเทศ เช่น ขมิ้น อบเชย กานพลู พาร์สลีย์ ใบโหระพา มาร์จอแรม ทาร์รากอน และโรสแมรี่ มีสารโพลีฟีนอลช่วยยับยั้งการเกิดไกลเคชันได้ หรืออาจเลือกวิธีทำให้อาหารเนื้อสัตว์สุกในระดับหนึ่งก่อนด้วยกรด เช่น

น้ำส้มสายชูหรือน้ำมะนาว เพื่อลดการเกิดไกลโคทอกซิน ระหว่างที่ใช้ความร้อนสูงในการปรุงอาหาร นอกจากนี้ ควรเลือกบริโภคอาหารที่มีสารไกลโคทอกซินต่ำ ได้แก่ ผัก ผลไม้ และอาหารอื่น ๆ ที่อุดมด้วยสารโพลีฟีนอล เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไกลเคชัน ลดการได้รับ สารพิษไกลโคทอกซินและช่วยป้องกันความเสี่ยงของ

การเกิดโรคอัลไซเมอร์ สำหรับการบริโภควิตามินอี พบว่า วิตามินอีชนิดอัลฟา (alpha-tocopherol) ช่วย ลดความเสี่ยงของโรคอัลไซเมอร์ในขณะที่วิตามินอี ชนิดเดลต้า (delta-tocopherol) จะส่งเสริมการ สะสมของอะไมลอยด์ทำให้เพิ่มความเสี่ยงของการเกิด โรคอัลไซเมอร์ได้ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอาหาร สารอาหาร วิธีการประกอบอาหาร และการเกิดไกลเคชันต่อการป้องกันโรคอัลไซเมอร์
ที่มา: Abate et al., 2017

ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการบริโภคอาหารและโรคอัลไซเมอร์

อาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean diet)

การบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนเป็นรูปแบบการบริโภคที่ได้รับอิทธิพลมาจากประเทศในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน มีลักษณะเด่น คือ เลือกใช้น้ำมันมะกอกสำหรับเป็นแหล่งของไขมัน เน้นการบริโภคผัก ผลไม้ ธัญพืชเต็มเมล็ด ถั่วต่าง ๆ ในปริมาณมาก บริโภคปลา สัตว์ปีก และแอลกอฮอล์ (โดยเฉพาะไวน์แดง) ในปริมาณปานกลาง สำหรับสัตว์เนื้อแดงและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจะบริโภคเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การบริโภคแบบเมดิเตอร์เรเนียนได้รับการยืนยันอย่างแน่ชัดว่าช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจ ภายหลังได้พบกลไก

เชื่อมโยงว่า การบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนมีความสัมพันธ์ต่อการช่วยป้องกันภาวะสมองเสื่อมในหลายเส้นทาง เช่น การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากการรับประทานผัก ผลไม้ และน้ำมันมะกอก จะได้รับสารประกอบโพลีฟีนอลหลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งเป็นการจำกัดการได้รับกรดไขมันอิ่มตัวจึงช่วยลดไขมันชนิดไม่ดี (low-density lipoprotein; LDL-cholesterol) และเพิ่มไขมันชนิดดี (high-density lipoprotein; HDL-cholesterol) ในร่างกาย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการช่วยป้องกันการอุดตันของหลอดเลือด นอกจากนี้การรับประทานปลาที่มีกรดไขมันโอเมก้า-3 ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย สามารถช่วยลดการสร้างเบต้า-อะไมลอยด์ในสมอง การดื่มไวน์แดงซึ่งมี

สารโพลีฟีนอลที่มีฤทธิ์ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระสูง การรับประทานผลิตภัณฑ์นมจากสัตว์ ช่วยควบคุมสมดุลแคลเซียมและเป็นแหล่งของวิตามินดีซึ่งช่วยควบคุมสมดุลของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดและเพิ่มความไวต่ออินซูลินในการนำน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ อีกทั้งฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมในผลิตภัณฑ์นมสามารถช่วยควบคุมระดับความดันโลหิตได้ จึงมีผลต่อการป้องกันความผิดปกติของเส้นเลือด ดังนั้นประโยชน์โดยภาพรวมของการบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนจึงเกี่ยวข้องกับการป้องกันการอุดตันของเส้นเลือดหลอดเลือดในสมอง (lacunar infarction) ต่อต้านกระบวนการอักเสบ (inflammation) และภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) จากอนุมูลอิสระ เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจำนวนมากในสภาวะเครียดออกซิเดชันจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เบต้า-ซีรีเทสทำให้เกิดการสะสมของเบต้า-อะไมลอยด์และกระตุ้นกระบวนการอักเสบอันนำไปสู่ความผิดปกติทางระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ และโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้นรูปแบบของการรับประทานอาหารจึงมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบประสาท กลไกดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นเหตุผลที่สนับสนุนผลการศึกษามากมายที่ติดตามอาสาสมัครผู้สูงอายุในระยะยาวและพบว่าคะแนนแบบทดสอบ MMSE เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียน

อาหารแบบแดช (Dietary Approaches to Stop Hypertension; DASH diet)

การบริโภคอาหารแบบแดชได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการรักษาโรคความดันโลหิตสูงอย่างได้ผลโดยไม่ต้องใช้ยาเพียงแค่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกรรมการบริโภค โดยลักษณะเด่นของอาหารแบบแดชจะใกล้เคียงกับการบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนคือ เน้นการทานผัก ผลไม้ ธัญพืชไม่ขัดสี และถั่วต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามสิ่งที่แตกต่างจากอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนคือ มุ่งเน้นการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากนมที่มีไขมันต่ำ ส่งเสริมการบริโภคอาหารที่มีโซเดียมต่ำและไม่แนะนำการดื่มแอลกอฮอล์ โดยการรับประทานอาหารแบบแดชมีความสัมพันธ์กับการเสริมการทำงานของสมองและระบบความจำที่ดีขึ้นและช่วยชะลอการเสื่อมของสมอง

อาหารแบบคีโตเจนิค (Ketogenic diet)

การบริโภคอาหารแบบคีโตเจนิค มีลักษณะเด่นคือ เน้นการบริโภคไขมันสูงและลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตให้น้อยลง โดยกำหนดให้รับประทานคาร์โบไฮเดรตได้น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพลังงานรวมที่ร่างกายได้รับ การรับประทานอาหารแบบนี้เป็นการเปลี่ยนระบบเผาผลาญของร่างกายโดยใช้พลังงานจากการสลายไขมันแทนกลูโคสจากคาร์โบไฮเดรต ทำให้เกิดสภาวะการเผาผลาญที่เรียกว่า คีโตซิส (ketosis) โดยเกิดสารที่เรียกว่า คีโตน (ketone) ร่วมด้วย ดังนั้นการบริโภคอาหารแบบคีโตเจนิคจึงเป็นการกระตุ้นให้ร่างกายนำไขมันและคีโตนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานของร่างกายเพื่อทดแทนกลูโคส การบริโภคอาหารคีโตเจนิคช่วยลดภาวะเครียดออกซิเดชันและลดการอักเสบซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดความผิดปกติทางสมองได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาในปัจจุบันยังไม่เพียงพอที่จะสรุปผลเป็นข้อแนะนำ จึงยังคงต้องการข้อมูลจากงานวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตที่มีการติดตามผลของการบริโภคอาหารแบบคีโตเจนิคในระยะยาวว่าหากรับประทานอาหารคีโตเจนิคต่อเนื่องจะส่งผลอย่างไรต่อภาวะโภชนาการและการดำเนินของโรคอัลไซเมอร์

อาหารแบบญี่ปุ่น (Japanese diet)

วัฒนธรรมการบริโภคอาหารแบบญี่ปุ่นมีลักษณะเด่นคือ เน้นการรับประทานปลาและอาหารจากพืช เช่น ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง สาหร่ายทะเล

ผักและผลไม้ต่าง ๆ และลดการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการขัดสีและไขมันจากสัตว์ โดยพบว่าเมื่อติดตามอาสาสมัครชาวญี่ปุ่นเป็นระยะเวลา 15 ปี จำนวน 1,006 คน มีรูปแบบการรับประทาน อาหาร คือ เน้นถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ผักต่าง ๆ สาหร่าย นม และผลิตภัณฑ์จากนม รวมถึงลดปริมาณการรับประทานคาร์โบไฮเดรต มีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้

สรุป

อาหารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับโรคอัลไซเมอร์และจัดเป็นปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ การบริโภคอาหารแบบเมดิเตอร์เรเนียนหรือแบบแดชได้รับความนิยมแพร่หลายและยอมรับว่าเป็นรูปแบบการบริโภคที่ดีต่อสุขภาพ โดยมีหลักการพื้นฐาน คือ ลดปริมาณการบริโภคไขมันอิ่มตัว ลดน้ำตาล และเพิ่มการบริโภคผักผลไม้ เพื่อให้ร่างกายได้รับใยอาหาร สารอาหาร และสารออกฤทธิ์

ทางชีวภาพอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารที่มีคุณสมบัติช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระและสารโพลีฟีนอลต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการช่วยป้องกันกระบวนการอักเสบในระบบประสาท (neuroinflammatory) ที่เป็นกลไกสำคัญในการนำไปสู่การเกิดความเสื่อมของระบบประสาท (neurodegeneration) ทิศทางในอนาคตพบว่า บางงานวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ริเริ่มศึกษาเพิ่มเติมในการนำข้อดีของอาหารทั้งสองรูปแบบมาใช้ร่วมกันที่เรียกว่า รูปแบบของการบริโภคอาหารแบบผสมผสานระหว่างเมดิเตอร์เรเนียน และแดชเพื่อชะลอการเสื่อมของระบบประสาท (Mediterranean-DASH Intervention for Neurodegenerative Delay; MIND) ซึ่งคาดหวังผลการประเมินการวิจัยสำหรับอนาคตว่าการผสมผสานหลักการบริโภคอาหารทั้งสองรูปแบบจะช่วยเพิ่มคุณภาพของอาหารที่รับประทานและช่วยพัฒนาการทำงานของระบบประสาทในผู้สูงอายุได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: โรคอัลไซเมอร์ เบต้า-อะไมลอยด์ อาหารเมดิเตอร์เรเนียน อาหารแบบแดช สารอาหาร
Keywords: Alzheimer's disease, beta-amyloid, Mediterranean diet, DASH diet, nutrients

บรรณานุกรม

- Abate G, Marziano M, Rungratanawanich W, Memo M and Uberti D. 2017. Nutrition and AGE-ing: focusing on Alzheimer's disease. *Oxid Med Cell Longev.* 2017: 1-10.
- Alzheimer's disease international. 2015. World Alzheimer report 2015. The global economic impact of dementia. Alzheimer's disease international (ADI). London, England. p.1-82.
- Bhardwaj D, Mitra C, Narasimhulu CA, Riad A, Doomra M and Parthasarathy S. 2017. Alzheimer's disease-current status and future directions. *J Med Food.* 20(12): 1-11.
- Botchway BOA, Moore MK, Akinleye FO, Iyer IC and Fang M. 2018. Nutrition: review on the possible treatment for Alzheimer's disease. *J Alzheimers Dis.* 61(3): 867-883.
- Chen S, Ge X, Chen Y, Lv N, Liu Z and Yuan W. 2013. Advances with RNA interference in Alzheimer's disease research. *Drug Des Devel Ther.* 7: 117-125.
- Chiu CC, Su KP, Liu HC, Chang CJ, Dewey ME, Stewart R and Huang SY. 2008. The effect of omega-3 fatty acids monotherapy in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment: a preliminary randomized double-blind placebo-controlled study. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 32(6): 1538-1544.
- Gueroux M, Fleau C, Slozeck M, Laguerre M and Pianet I. 2017. Epigallocatechin 3-gallate as an inhibitor of tau phosphorylation and aggregation: a molecular and structural insight. *J Prev Alzheimers Dis.* 4(4): 218-225.
- Hu N, Yu JT, Tan L, Wang YL, Sun L and Tan L. 2013. Nutrition and the risk of Alzheimer's disease. *Biomed Res Int.* 1-12.

- Kim JW, Byun MS, Yi D, Lee JH, Jeon SY, Jung G, Lee HN, Sohn BK, Lee JY, Kim YK, Shin SA, Sohn CH and Lee DY. 2019. Coffee intake and decreased amyloid pathology in human brain. *Transl Psychiatry*. 9(1): 1-10.
- McGrattan AM, McGuinness B, McKinley MC, Kee F, Passmore P, Woodside JV and McEvoy CT. 2019. Diet and inflammation in cognitive ageing and Alzheimer's disease. *Curr Nutr Rep*. 8(2): 53-65.
- Morris MC, Evans DA, Nienias JL, Tangney CC, Bennett DA, Wilson RS, Aggarwal N and Schneider J. 2003. Consumption of fish and n-3 fatty acids and risk of incident Alzheimer disease. *Arch Neurol*. 60(7): 940-946.
- Morris MC, Evans DA, Tangney J, Bienias L and Wilson RS. 2006. Associations of vegetable and fruit consumption with age-related cognitive change. *Neurology*. 67(8): 1370-1376. Oboudiyat C, Glazer H, Seifan A, Greer C and Isaacson RS. 2013. Alzheimer's disease. *Semin Neurol*. 33(4): 313-329.
- Ozawa M, Ninomiya T, Ohara T, Doi Y, Uchida K, Shirota T, Yonemoto K, Kitazono T and Kiyohara Y. 2013. *Am J Clin Nutr*. 97(5): 1076-1082.
- Rusek M, Pluta R, Utamek-Kozioł M and Czuczwar SJ. 2019. Ketogenic diet in Alzheimer's disease. *Int J Mol Sci*. 20(16): 1-19.
- Solfrizzi V, Panza F, Frisardi V, Seripa D, Logroscino G, Imbimbo BP and Pilotto A. 2011. Diet and Alzheimer's disease risk factors or prevention: the current evidence. *Expert Rev Neurother*. 11(5): 677-708.
- Tiwari S, Atluri V, Kaushik A, Yndart A and Nair M. 2019. Alzheimer's disease: pathogenesis, diagnostics, and therapeutics. *Int J Nanomedicine*. 14: 5541-5554.

เทคโนโลยีการทำแห้งแบบปั๊มความร้อน: การประยุกต์ใช้ ในอุตสาหกรรมอาหาร

Heat pump drying technology: applications in food industry

ดร.ฐิตาภรณ์ ตัมพานูวัตร (Dr. Titaporn Tumpanuvatr)

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป (Department of Food Processing and Preservation)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันกระบวนการทำแห้งมีความจำเป็นในอุตสาหกรรมอาหารอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่เน้นทางด้านเกษตรกรรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีปริมาณความชื้นสูงจึงส่งผลให้อายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น การทำแห้งจึงเป็นตัวเลือกสำคัญที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเนื่องจากการทำแห้ง คือ กระบวนการที่ลดปริมาณความชื้นออกจากวัสดุซึ่งส่วนใหญ่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน เช่น การนำความร้อน (heat conduction) การพาความร้อน (heat convection) และการแผ่รังสี (thermal radiation) ซึ่งนอกจากการทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแล้ว ยังช่วยลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ช่วยในการกักเก็บกลิ่นรส อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณและน้ำหนักของวัสดุทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บรักษา และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เครื่องทำแห้งมีมากมายหลายชนิด เช่น เครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed dryer) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องทำแห้งด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) และเครื่องทำแห้งด้วยคลื่นอินฟราเรด (infrared dryer) เป็นต้น อย่างไรก็ตามบางผลิตภัณฑ์มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้ความร้อนสูงเป็นระยะเวลาได้นาน เนื่องจากจะทำให้สูญเสียกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารไป ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีจุดเด่นในเรื่องของการดึงความชื้นออกจากอากาศก่อนทำแห้ง (dehumidifying drying air) การใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ไม่สูงมาก และการประหยัดพลังงานขึ้นมา

หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อน (heat pump dryer, HPD)

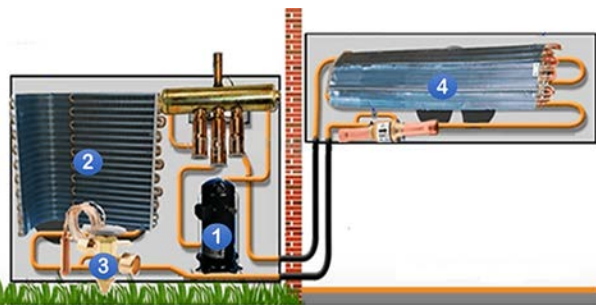
เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อน (ดังรูปที่ 1) เป็นการใช้อุปกรณ์แบบเดียวกับระบบเครื่องทำความเย็น เพียงแต่มีจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้ประโยชน์ต่างกัน โดยระบบปั๊มความร้อนจะดูดเอาความร้อนที่ระบบเครื่องทำความเย็นระบายทิ้งมาใช้ในการทำแห้ง ในขณะที่เครื่องทำความเย็นจะปล่อยความร้อนทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อน มีดังนี้

1. เครื่องอัดไอ (compressor) มีหน้าที่ทำให้สารทำความเย็นไหลหมุนเวียนภายในระบบและอัดไอของสารทำความเย็นให้มีความดันสูงมากพอที่จะคายความร้อนและกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ในเครื่องควบแน่น (condenser) และมีหน้าที่สร้างความดันในเครื่องควบแน่นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

2. เครื่องควบแน่น (condenser) มีหน้าที่กลั่นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอที่ออกจากเครื่องอัดไอให้เป็นของเหลว ดังนั้นสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดไอจะคายความร้อนแฝงและกลั่นตัวเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น โดยอากาศหรือน้ำรอบ ๆ เครื่องควบแน่นจะเป็นตัวกลางมารับความร้อนออกไป

3. วาล์วลดความดัน (expansion valve) เป็นอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบให้มีอัตราพอเหมาะกับความต้องการในการดูดความร้อนที่คอยล์เย็น และยังทำหน้าที่ทำให้ความดันของบริเวณทั้งสองด้านมีความดันแตกต่างกัน ทำให้สารทำความเย็นที่เป็นของเหลว มีความดันลดลง และสามารถระเหยกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนจากคอยล์เย็นเพียงเล็กน้อย

4. คอยล์เย็น (evaporator) มีหน้าที่ระเหยสารทำความเย็น โดยเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านจากวาล์วลดความดันแล้วรับความร้อนจากสารอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ คอยล์เย็นทำให้สารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอ ทำให้บริเวณรอบ ๆ คอยล์เย็นมีอุณหภูมิลดลง



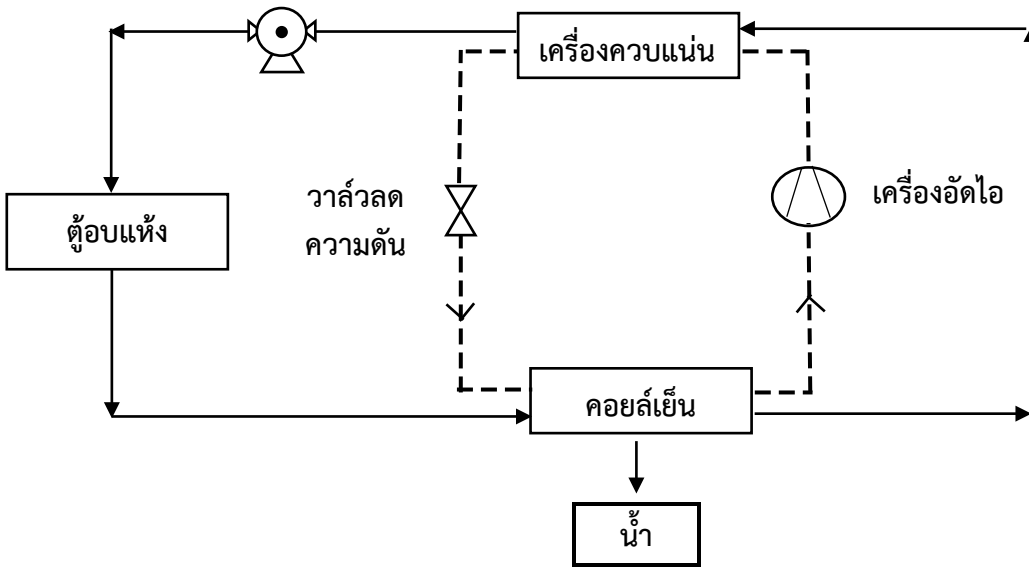
- 1 เครื่องอัดไอ
- 2 เครื่องควบแน่น
- 3 วาล์วลดความดัน
- 4 คอยล์เย็น

รูปที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Evans (2019)

ในส่วนหลักการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทิศทางการไหลของสารทำความเย็น (ส่วนของเส้นประด้านใน) โดยเริ่มต้นจากสารทำความเย็น (refrigerant) ไหลผ่านเข้าไปที่คอยล์เย็นแล้วดูดซับความร้อนจากอากาศ ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอแล้วจึงไหลเข้าไปสู่เครื่องอัดไอเพื่อเพิ่มความดันของสารทำความเย็นให้สูงมากพอที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ในเครื่องควบแน่น โดยสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่นจะเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวและปล่อยความร้อนแฝงของการกลั่นตัว (latent heat of condensation) ออกมา หลังจากนั้นสารทำความเย็นจึงไหลเข้าไปที่วาล์วลดความดันเพื่อทำให้สารทำความเย็นที่เป็นของเหลว และมีความดันต่ำสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายแล้วจึงไหลวนกลับเข้าสู่คอยล์เย็นอีกครั้ง ซึ่งจะเป็นวฏจักรแบบนี้ไปตลอดการทำงาน (ดังแสดงในรูปที่ 2)

2. ทิศทางการไหลของอากาศ (ส่วนของเส้นทึบด้านนอก) เริ่มต้นจากสารทำความเย็นไหลผ่านเครื่องคอยล์เย็นแล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเนื่องจากสารทำความเย็นได้ดูดซับความร้อนและดึงความชื้นออกจากอากาศ จึงทำให้อากาศที่ไหลออกมาเป็นอากาศที่เย็นและมีปริมาณความชื้นลดลง ในส่วนของกระบวนการดึงความชื้นออกจากอากาศจะเริ่มต้นจากอากาศถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) หลังจากนั้นอากาศจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณพื้นผิวของเครื่องคอยล์เย็น ทำให้อากาศที่ไหลออกมากลายเป็นอากาศแห้ง แล้วอากาศก็ไหลผ่านต่อไปที่เครื่องควบแน่นเพื่อทำให้อากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากรับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวจากสารทำความเย็นจึงทำให้อากาศที่ได้เป็นอากาศแห้งที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ในการทำแห้ง โดยอากาศดังกล่าวจะถูกนำไปถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศจะไหลวนแบบนี้ไปจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นในระดับที่ต้องการ (ดังแสดงในรูปที่ 2)

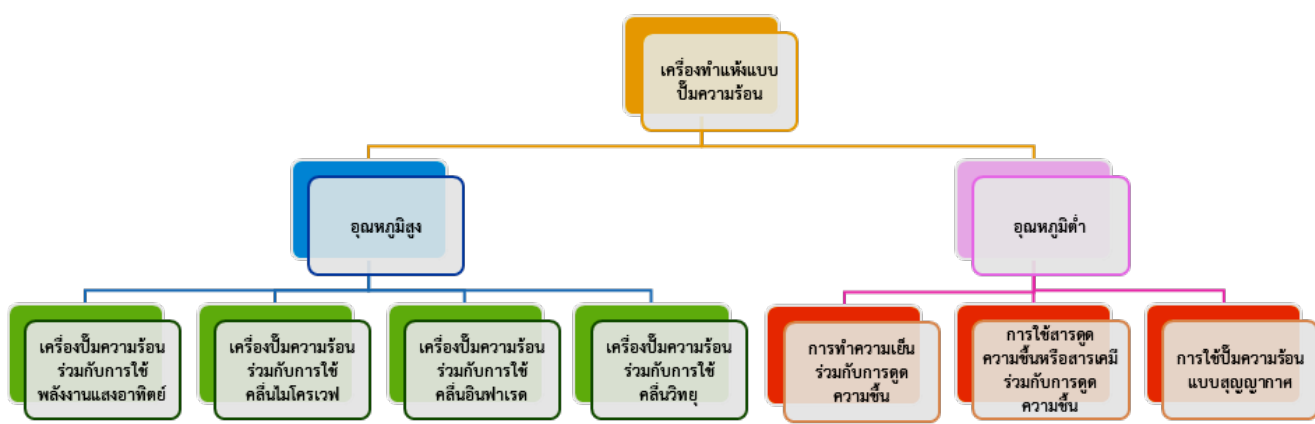


รูปที่ 2 โดอะแกรมส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบปั๊มความร้อน (----- ทิศทางการไหลของสารทำความเย็น; — ทิศทางการไหลของอากาศ)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Uthpala et al. (2020)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการจำแนกประเภทของปั๊มความร้อนโดยแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้งานดังรูปที่ 3 ซึ่งในกรณีของเครื่องปั๊มความร้อนที่มีการใช้อุณหภูมิสูง (high temperature) มีทั้งหมด 4 ประเภท คือ เครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar HPD) เครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave HPD) เครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับการใช้คลื่นอินฟราเรด (infrared HPD) และเครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับการใช้คลื่นวิทยุ (radio frequency HPD) โดยมี

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งอยู่ที่ 45 - 110 องศาเซลเซียส ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำ (low temperature) มีทั้งหมด 3 ประเภท คือ การทำความเย็น ร่วมกับการลดความชื้น (cooling with dehumidifying) การใช้สารดูดความชื้นหรือสารเคมี ร่วมกับการลดความชื้น (desiccant/chemical dehumidifying) และการใช้ปั๊มความร้อนแบบสุญญากาศ (vacuum HPD) โดยมีช่วงอุณหภูมิในการทำแห้งอยู่ที่ -20 ถึง 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 การจำแนกประเภทของปั๊มความร้อนโดยแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้งาน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Uthpala et al. (2020)

ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

1. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งวิธีนี้สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีและกลิ่นรสที่ดีและยังช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารจากความร้อน เนื่องจากเครื่องอบแห้งใช้อุณหภูมิต่ำ 30-50 องศาเซลเซียส จึงทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งไม่สูงจนเกินไป

2. ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (energy efficiency) เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงเนื่องจากค่า Specific Moisture Evaporation Rate (SMER) สูง เพราะมีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (heat recovery) ในรูปความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานในกระบวนการอบแห้งได้

3. ประสิทธิภาพของกระบวนการ (process efficiency) สำหรับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่เป็นระบบปิดจะไม่มีถ่ายเทอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเข้าและออกจากระบบ ดังนั้นระบบนี้สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีภูมิอากาศค่อนข้างชื้นได้ ระยะเวลาอบแห้งจะคงที่ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัตถุดิบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบดั้งเดิม สภาวะแวดล้อมภายนอกจะมีผลกระทบต่อลมร้อนที่ใช้อบแห้ง ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่า ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้เครื่องปั๊มความร้อนระบบปิดจึงสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงได้และสามารถกำหนดระยะเวลาในการอบแห้งได้แน่นอน

ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

1. เงินลงทุน (capital cost) ค่อนข้างสูงกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ลมร้อนแบบดั้งเดิม เนื่องจากความซับซ้อนของเครื่อง และการใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มี

คุณภาพแต่มีราคาสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่า

2. ข้อจำกัดของอุณหภูมิอบแห้ง (drying temperature limitations) ในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน การอบแห้งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลให้อาจใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้อาจเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดภายในผลิตภัณฑ์

3. ปัญหาในการออกแบบที่อาจเกิดขึ้น (potential design problems) การออกแบบเครื่องอบแห้งชนิดนี้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ อัตราการไหลของอากาศ ความเร็วของอากาศต้องสม่ำเสมอ และขนาดความสามารถในการผลิตความร้อนของปั๊มความร้อนซึ่งถ้าออกแบบผิดพลาดจะทำให้ใช้งานไม่ได้ตามต้องการ

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (energy efficiency)

เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถทำแห้งผลิตภัณฑ์ได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อีกทั้งยังใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องทำแห้งแบบอื่น ๆ ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP) และ ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER)

1. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP) สามารถคำนวณได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อกำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอของเครื่องทำแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน ดังสมการที่ 1

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W_{\text{comp}}} \quad (1)$$

COP = สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน
 Q_c = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (kW)
 W_{comp} = กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ (kW)

เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนส่วนใหญ่มีค่า COP ที่มากกว่า 3 จึงทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไอน้ำหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีค่า COP ประมาณ 0.75-0.95 จากงานวิจัยของ Pendyala *et al.* (1990) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการเปรียบเทียบการใช้สารทำความเย็นที่แตกต่างกันในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กล้วย โดยพบว่าสารทำความเย็น R-11 มีค่า COP 3.5 และ R-12 มีค่า COP 2.5 ในขณะที่งานวิจัยของฐานิตย์และคณะ (2542) ที่ศึกษาการทำแห้งมะละกอแช่แข็งด้วยปั๊มความร้อนแบบระบบปิดมีค่า COP อยู่ในช่วง 3.3-3.8

2. ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) ดังสมการที่ 2

$$\text{SMER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง}} \quad (2)$$

SMER = อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (kg_{water}/kW.h)

เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงเนื่องจากค่า Specific Moisture Evaporation Rate (SMER) สูง เพราะมีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (heat recovery) ในรูปความร้อนสัมผัส (sensible heat) และความร้อนแฝง (latent heat) ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานในกระบวนการทำแห้งได้ ดังนั้นค่า SMER จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวพิจารณาที่

สำคัญในการทำแห้ง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SMER ของเครื่องทำแห้งประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 จะสังเกตได้ว่าเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำมีค่า SMER สูงสุด คืออยู่ในช่วง 0.3-5 kg_{water}/kW.h ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีวัฏจักรปั๊มความร้อนที่กล่าวไว้ว่าถ้าค่า SMER เพิ่มขึ้น ค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีค่า SMER สูงกว่าเครื่องทำแห้งชนิดอื่น ๆ จึงมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงกว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนจะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งในระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามค่าต้นทุนผันแปร (running cost) ยังคงมีค่าต่ำกว่าเครื่องทำแห้งแบบประเภทอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasertsan and Saen-saby (1998) ที่ทำการเปรียบเทียบทางด้านค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่ใช้ในระหว่างการทำแห้ง พบว่าเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนมีความสามารถในการช่วยประหยัดพลังงาน จึงทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องทำแห้งที่ใช้ไอน้ำเป็นเชื้อเพลิง

ในกรณีที่พิจารณาในส่วนของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านเกษตรกรรมที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนพบว่า ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางด้านสีและกลิ่นรสที่ดีกว่าการใช้เครื่องทำแห้งแบบตุ้มร้อน เนื่องจากเป็นการทำแห้งในระบบปิด (Prasertsan and Saen-saby, 1998; Soponronnarit *et al.*, 1999; Teeboonma *et al.*, 2003; Uddin *et al.*, 2004) นอกจากนี้ Sosle (2002) ที่ศึกษาการทำแห้งแอปเปิ้ลยังพบว่า เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนไม่เพียงแต่ช่วยให้คุณภาพทางด้านสีและกลิ่นรสที่ดีเท่านั้น แต่ยังช่วยในเรื่องของการคืนตัวได้ดี (rehydration) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำ และ

โครงสร้างเนื้อเยื่อของแอปเปิ้ลถูกทำลายน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยตู้อบร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูง

และระยะเวลาสั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเสื่อมเสียทั้งทางด้านกลิ่นและคุณค่าทางโภชนาการ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนกับเครื่องทำแห้งประเภทอื่น ๆ

	การทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำ	การทำแห้งแบบตู้อบร้อน	การทำแห้งแบบสุญญากาศ	การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์
SMER (kg/kWh)	0.3 ถึง 5	0.1 ถึง 1.3	0.7 ถึง 1.2	0.4 หรือต่ำกว่า	0.84
อุณหภูมิที่ใช้งาน (°C)	-20 ถึง 40	40 หรือสูงกว่า	30 ถึง 60	-35 ถึง 50	30 หรือสูงกว่า
ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	10 ถึง 50	ไม่แน่นอน	ต่ำ	ต่ำ	น้อยกว่า 60
ประสิทธิภาพการทำแห้ง (%)	สามารถทำได้จนถึง 95	35 ถึง 40	สามารถทำได้จนถึง 70	ช้ามาก	20 ถึง 30
อัตราการทำแห้ง	เร็ว	ปานกลาง	ช้ามาก	ช้ามาก	ช้า
คุณภาพของผลิตภัณฑ์	ดีมาก	ปานกลาง	ดี	ดีเลิศ	ปานกลาง
คุณสมบัติการคืนรูป	ดีมาก	ปานกลาง	ปานกลาง	ดี	ต่ำ
ค่าต้นทุนในการลงทุน	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	สูงมาก	ต่ำ
ค่าต้นทุนผันแปร	ต่ำ	สูง	สูงมาก	สูงมาก	ต่ำ
การควบคุมระบบในการใช้งาน	ดีมาก	ปานกลาง	ดี	ดี	ต่ำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Uthpala et al. (2020)

การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร

เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศแถบเอเชีย ดังตารางที่ 2 เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประยุกต์กับผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายประเภท เช่น ธัญพืช ผลไม้ ผัก สมุนไพร อาหารทะเล และนม เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นสูงจะสามารถทำแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Alves-Filho et al., 2007) จากงานวิจัยของ Jinjiang and Yaosen (2010) พบว่า การทำแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำสามารถประหยัดพลังงานและช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าวิธีการทำแห้งแบบดั้งเดิม ซึ่งสอดคล้องกับ Phoungchandang and Saentaweek (2011) ที่

แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกใช้เครื่องทำแห้งแบบตู้ (Cabinet dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และขั้นตอนที่สองใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดระยะเวลาการทำแห้งซึ่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสได้ถึง 59.32 เปอร์เซ็นต์ และช่วยกักเก็บปริมาณสาร 6-gingerol (สารสำคัญที่ให้กลิ่นฉุนและมีรสเผ็ด) ได้ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Hawlader et al. (2006) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับการดัดแปรบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dryer) และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ในการทำแห้งฝรั่งและมะละกอ พบว่าการใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับการดัดแปรบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

มีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายของอากาศในระหว่างการทำแห้งได้ดีกว่า เนื่องจากคุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่าจุลความร้อนจำเพาะที่มีค่าต่ำกว่าอากาศโดยทั่วไป (0.85 กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส) อีกทั้งยังมีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่า (1.539 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จึงทำให้มีปริมาณมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แพร่กระจายและดูดซับความร้อนได้มากกว่าอากาศโดยทั่วไป ในส่วนของการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีก็พบว่าเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ Chong *et al.* (2014) ศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนในการทำแห้งแอปเปิ้ลที่หั่นเป็นแบบสี่เหลี่ยมลูกเต๋า พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าวิธีการทำแห้งแบบอื่น ๆ นอกจากนี้ Pal *et al.* (2008) ได้ใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนในการทำแห้งพริกหวานสีเขียวที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส

พบว่าสามารถเก็บรักษาปริมาณสารคลอโรฟิลล์และกรดแอสคอร์บิกได้ดี Costa *et al.* (2016) ศึกษาการทำแห้งสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ประเภท phyco-cyanin ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมได้ จากการศึกษาของ Potisate *et al.* (2014) ที่ทำแห้งใบมะรุมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนพบว่าให้ปริมาณเคอร์ซีติน (quercetin) และแคมเฟอร์อล (kaempferol) อยู่ในปริมาณสูงกว่าการทำแห้งด้วยตูมร้อน และการใช้คลื่นไมโครเวฟในการทำแห้ง และในงานวิจัยล่าสุดของ Venkatachalam *et al.* (2020) ได้ทำการทำแห้งใบมินท์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (30-37 องศาเซลเซียส) พบว่าสามารถเก็บรักษาให้กรดแอสคอร์บิกอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ดี

ตารางที่ 2 การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ

ประเภทของผลิตภัณฑ์	รายชื่อของผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง (°C)	ประเทศที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบปั๊มความร้อน	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ธัญพืชและพืชรอง	พริกหวานสีเขียว	35	ไทย	Goh <i>et al.</i> (2011)
	พริกหวานสีเขียว	30 ถึง 40	อินเดีย	Pal <i>et al.</i> (2008)
	พริกแดง	-3 ถึง 20	ไทย	Prasertsan and Saen-saby (1998)
	พริกแดง	-3 ถึง 20	นอร์เวย์	Alves-Filho <i>et al.</i> (2007)
	ข้าว	30.8	เม็กซิโก	Best <i>et al.</i> (1996)
ผลไม้	ข้าวเปลือก	23 ถึง 33	จีน	Jinjiang and Yaosen (2010)
	แอปเปิ้ล	39 ถึง 41	ตุรกี	Aktas <i>et al.</i> (2009)
	แอปเปิ้ล	35	มาเลเซีย	Chong <i>et al.</i> (2014)
	แอปเปิ้ล	45	แคนาดา	Sosle (2002)
	แอปเปิ้ลเคลือบแว็กซ์	32 ถึง 34	สหรัฐอเมริกา	Norris and Ave (1986)
	กล้วย	30 ถึง 35	ออสเตรเลีย	Dandamrongrak <i>et al.</i> (2002)

ตารางที่ 2 การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบบ่มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (ต่อ)

ประเภทของผลิตภัณฑ์	รายชื่อของผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง (°C)	ประเทศที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบบ่มความร้อน	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ผลไม้	กล้วย	30 ถึง 40	ไทย	Prasertsan and Saen-saby (1998)
	กล้วย	40 ถึง 50	อินเดีย	Singh <i>et al.</i> (2020)
	ฝรั่ง	30	ออสเตรเลีย	Dandamrongrak <i>et al.</i> (2002)
	เนคทารีน	25	ออสเตรเลีย	Sunthonvit <i>et al.</i> (2007))
	ลูกแพร์	20 ถึง 30	ออสเตรเลีย	Dandamrongrak <i>et al.</i> (2002)
	สับปะรด	37 ถึง 43	ตุรกี	Tunçkal <i>et al.</i> (2018)
	ฝรั่งและมะละกอ	45	สิงคโปร์	Hawlder <i>et al.</i> (2006)
ผักและสมุนไพร	ใบกระวาน	40	ตุรกี	Kuzgunkaya and Hepbasli (2007)
	จิง	40	ไทย	Phoungchandang <i>et al.</i> (2009) and Phoungchandang and Saentaweesuk (2011)
	มันฝรั่ง	40 ถึง 50	อินเดีย	Singh <i>et al.</i> (2020)
	ใบมะกรูด	0 ถึง 50	ไทย	Phoungchandang <i>et al.</i> (2008)
	ใบโหระพา	40	ไทย	Phoungchandang and Kongpim (2012)
	ใบมินท์	35 ถึง 37	อินเดีย	Venkatachalam <i>et al.</i> (2020)
	ใบมะรุม	40 ถึง 50	ไทย	Potisate <i>et al.</i> (2014)
อาหารทะเล	ปลาทะเลแมงกะเคอเรล	20 ถึง 30	จีน	Shi <i>et al.</i> (2008)
	เนื้อปลานิล	5 ถึง 35	จีนและอังกฤษ	Li <i>et al.</i> (2019)
	ปลาหิมะ	-5 ถึง 45	ออสเตรเลีย	Minea (2015) and Strommen (1999)
นม	ชีส	0 ถึง 12	สเปน	Castell-Palou and Simal (2011)
อื่น ๆ	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	30 ถึง 50	บราซิล	Costa <i>et al.</i> (2016)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Uthpala *et al.* (2020)

บทสรุป

การทำแห้งแบบบ่มความร้อนเริ่มเป็นที่สนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานโดยสามารถปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด นอกจากนี้การทำแห้งแบบบ่มความร้อนยังมีความโดดเด่นในเรื่องของการนำพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบ

บ่มความร้อนก็ยังคงมีขีดจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ค่อนข้างสูง อุณหภูมิใช้งานที่จำกัด และการออกแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน ในแง่มุมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งเครื่องดังกล่าวจะได้คุณภาพที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อน มีมูลค่าสูง และต้องการรักษาอาหารที่สำคัญ

คำสำคัญ: การทำแห้งแบบปั๊มความร้อน การดึงความชื้นออกจากอากาศ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

Keywords: heat pump drying, dehumidifying air, energy efficiency

เอกสารอ้างอิง

- ฐานิตย์ เมธิยานนท์, สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ และ ธนิต สวัสดิ์เสวี. 2542. การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนในระดับอุตสาหกรรม. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.). 33: 461-473.
- Aktas M, Ceylan I and Yilmaz S. 2009. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination*. 239(1-3): 266-275.
- Alves-Filho O, Eikevik T, Mulet A, Garau C and Rossello C. 2007. Kinetics and mass transfer during atmospheric freeze drying of red pepper. *Dry Technol*. 25(7-8): 1155-1161.
- Best R, Cruz JM, Gutierrez J and Soto W. 1996. Experimental results of a solar assisted heat pump rice drying system. *Renew Energ*. 9(1-4): 690-694.
- Castell-Palou A and Simal S. 2011. Heat pump drying kinetics of a pressed type cheese. *LWT Food Sci Technol*. 44(2): 489-494.
- Chong CH, Figiel A, Law CL and Wojdyło A. 2014. Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques. *Food Bioproc Tech*. 7(4): 975-989.
- Costa BR, Rodrigues MC, Rocha SF, Pohndorf RS, Larrosa AP and Pinto LA. 2016. Optimization of spirulina sp. drying in heat pump: Effects on the physicochemical properties and color parameters. *J Food Process Preserv*. 40(5): 934-942.
- Dandamrongrak R, Young G and Mason R. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *J Food Eng*. 55(2): 139-146.
- Evans P. 2019. Heat pump basics. <https://theengineeringmindset.com/heat-pump-basics/> [10 September 2020].
- Goh LJ, Othman MY, Mat S, Ruslan H and Sopian K. 2011. Review of heat pump systems for drying application. *Renew Sust Energ Rev*. 15(9): 4788-4796.
- Hawladar MNA, Perera CO, Tian M and Yeo KL. 2006. Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods. *Dry Technol*. 24(1): 77-87.
- Jinjiang Z and Yaosen W. 2010. Experimental study on drying high moisture paddy by heat pump dryer with heat recovery. *Int J Food Eng*. 6.
- Kuzgunkaya EH and Hepbasli A. 2007. Exergetic evaluation of drying of laurel leaves in a vertical ground-source heat pump drying cabinet. *Int J Energy Res*. 31(3): 245-258.
- Li M, Wu Y, Ge Y and Ling C. 2019. Pulse vacuum pretreatment technology and neural network optimization in drying of tilapia fillets with heat pump. *J Food Process Preserv*. 43(12): e14258.
- Minea V. 2015. Overview of heat-pump-assisted drying systems, part II: Data provided vs. results reported. *Dry Technol*. 33(5): 527-540.
- Norris JX and Ave H. 1986. Fruit wax drying process. U.S. Patent No. 4,632,835.
- Pal US, Khan MK and Mohanty SN. 2008. Heat pump drying of green sweet pepper. *Dry Technol*. 26(12): 1584-1590.
- Pendyala VR, Devotta S and Patwardhan VS. 1990. Heat pump assisted dryer, part2: experimental study. *Int J Energy Res*. 14: 493-507.
- Phoungchandang S, Srinukroh W and Leenanon B. 2008. Kaffir lime leaf (Citrus hystrix DC.) drying using tray and heat pump dehumidified drying. *Dry Technol*. 26(12): 1602-1609.
- Phoungchandang S, Nongsang S and Sanchai P. 2009. The development of ginger drying using tray drying, heat pump-dehumidified drying and mixed-mode solar drying. *Dry Technol*. 27(10): 1123-1131.
- Phoungchandang S and Saentaweek S. 2011. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. *Food Bioproc Tech*. 89(4): 429-437.
- Phoungchandang S and Kongpim P. 2012. Modeling using a new thin layer drying model and drying characteristics of sweet basil (*ocimum basilicum* linn.) using tray and heat pump-assisted dehumidified drying. *J Food Process Eng*. 35(6): 851-862.

- Potisate Y, Phoungchandang S and Kerr WL. 2014. The effects of pre drying treatments and different drying methods on phytochemical compound retention and drying characteristics of Moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.). *Dry Technol.* 32(16): 1970–1985.
- Prasertsan S and Saen-saby P. (1998). Heat pump drying of agricultural materials. *Dry Technol.* 16(1–2): 235–250.
- Shi QL, Xue CH, Zhao Y, Li ZJ and Wang XY. 2008. Corrigendum to “drying characteristics of horse mackerel (*Trachurus Japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier”. *J Food Process Eng.* 89(3): 360.
- Singh A, Sarkar J and Sahoo RR. 2020. Experimental energy-exergy performance and kinetics analyses of compact dual-mode heat pump drying of food chips. *J Food Process Eng.* 43: e13404.
- Soponronnarit S, Wetchacama S, Swasdisevi T and Chotijukdikuld P. 1999. Effects of drying, tempering and ambient air ventilation on quality and moisture reduction of corn. *Dry Technol.* 17(6): 1227–1238.
- Sosle V. 2002. A heat pump dehumidifier assisted dryer for Agri-foods. (Doctoral dissertation), McGill University Libraries.
- Strommen I. 1999. Design and dimensioning criteria of heat pump dryers. 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, Australia.
- Sunthonvit N, Srzednicki G and Craske J. 2007. Effects of drying treatments on the composition of volatile compounds in dried nectarines. *Dry Technol.* 25(5): 877–881.
- Teeboonma U, Tiansuwan J and Soponronnarit S. 2003. Optimization of heat pump fruit dryers. *J Food Eng.* 59(4): 369–377.
- Tunçkal C, Coskun S and Doymaz I. 2018. Determination of sliced pineapple drying characteristics in a closed loop heat pump assisted drying system. *Int J Renew Energy Dev.* 7(1): 35.
- Uddin MS, Hawlader MNA and Hui X. 2004. A comparative study on heat pump, microwave and freeze drying of fresh fruits. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium* (pp. 2035-2042), São Paulo, Brazil.
- Uthpala TGG, Navaratne SB and Thibbotuwawa A. 2020. Review on low-temperature heat pump drying applications in food industry: Cooling with dehumidification drying method. *J Food Process Eng.* Accept: 9 July 2020.
- Venkatachalam SK, Vellingri AT and Selvaraj V. 2020. Low-temperature drying characteristics of mint leaves in a continuous-dehumidified air drying system. *J Food Process Eng.* 43(4): e13384.

องค์ประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

Composition of meat analogue products

✍️ พสธร ผ่องแผ้ว (Possathorn Pongpaew)

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร (Department of Food Chemistry and Physics)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

นอกจากการดูแลรักษาสุขภาพร่างกายทั่วไป ปัจจุบันผู้คนเริ่มหันมาใส่ใจและให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการลดการใช้พลาสติกโดยหันมาใช้แก้วส่วนตัว ตลอดจนการแยกขยะ การหมักเศษอาหาร และอีกหลากหลายวิธี แต่สิ่งหนึ่งที่สามารถรักษาสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้โดยง่ายและกำลังเป็นกระแสในโลกปัจจุบัน ได้แก่ การรับประทานอาหารแบบ plant-based food คือ การรับประทานอาหารที่มาจากพืชเป็นหลัก ซึ่งมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำและไม่มีคอเลสเตอรอล ส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ นอกจากนั้นกระบวนการผลิตสามารถลดการสร้างก๊าซเรือนกระจกเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงสัตว์อันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนและวิกฤตการณ์ต่าง ๆ จึงส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ในทางกลับกันหนึ่งในสารอาหารหลักที่มนุษย์ทุกคนควรได้รับ คือ สารอาหารประเภทโปรตีน ซึ่งพบมากในเนื้อสัตว์ แต่เชื่อว่าในผลผลิตจากพืชจะไม่มีแหล่งของโปรตีน จึงทำให้เกิดการศึกษา วิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้จากพืช เช่น โปรตีนเกษตร เนื้อเทียม เป็นต้น การทำผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชหรือผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั่วไป ประกอบด้วยสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นหลัก เนื่องจากการ

รับประทานอาหารแบบ plant-based food เป็นกระแสในปัจจุบันทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเนื้อเทียมมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะความต้องการของตลาดโลกทั้งด้านค้าปลีกและด้านการจัดบริการอาหาร (Bohrer, 2019) สิ่งที่ทำนายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมหรือโปรตีนจากพืช คือ การปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภค (Egbert and Borders, 2006) ตัวอย่างคุณลักษณะดังกล่าว ได้แก่ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นต้น ลักษณะที่ปรากฏออกมาขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมต่าง ๆ เนื่องจากมีวัตถุดิบประสมและสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหารแตกต่างกันในแต่ละวัตถุดิบ (Kyriakopoulou *et al.*, 2019)

จากงานวิจัยของ Egbert and Borders (2006) ได้ศึกษาองค์ประกอบของเนื้อเทียมที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า ประกอบด้วยน้ำ 50-80 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนเนื้อสัมผัสจากพืช (textured vegetable protein) 10-25 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนอื่น ๆ 4-20 เปอร์เซ็นต์ สารแต่งกลิ่นรส 3-10 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0-15 เปอร์เซ็นต์ สารช่วยยึดเกาะ 1-5 เปอร์เซ็นต์ และสารแต่งสี 0-0.5 เปอร์เซ็นต์ จากองค์ประกอบเห็นได้ว่ามีปริมาณน้ำมาก นอกจากจะช่วยลดต้นทุนของเนื้อเทียมแล้วยังสามารถให้ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีและเป็น

ต้องการของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ และยังเป็นส่วนหนึ่งของระบบอิมัลชันของผลิตภัณฑ์

องค์ประกอบหลักของเนื้อเทียม

1. โปรตีน

เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์เป็นอาหารที่ประกอบไปด้วยโปรตีน มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน และมีสัดส่วนที่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ แต่แหล่งอาหารจากพืชหลายชนิดมีปริมาณโปรตีนเกือบจะสมบูรณ์ อาจขาดกรดอะมิโนเพียง 1 ชนิดหรือมากกว่านั้น ทำให้ในอดีตจึงมีข้อแนะนำสำหรับกลุ่มคนที่บริโภคอาหารจากพืชในรูปแบบต่าง ๆ ให้เลือกบริโภคจากหลากหลายแหล่ง เช่น ข้าว ถั่วเมล็ดแห้งต่าง ๆ พืชน้ำมัน งาม เป็นต้น ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการเพิ่มโปรตีนเพื่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ทำจากพืช แต่พบว่าไม่สามารถช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัส (texture) และความรู้สึกค้างในปาก (mouthfeel) ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อได้ จึงจำเป็นต้องใส่โปรตีนเนื้อสัมผัส (textured protein) เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว (Bohrer, 2017; Huang *et al.*, 2018)

โปรตีน คือ หนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการทำเนื้อเทียม นอกจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะตัว และแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ยังส่งผลต่อโครงสร้างหลักของผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากการที่โปรตีนมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ต่าง ๆ ในอาหาร ได้แก่ การละลาย การจับตัวหรือการอุ้มน้ำ แรงตึงผิวของการเกิดโฟม การเกิดอิมัลชัน การจับตัวของกลิ่น รส ความหนืด การเกิดเจล การจับตัวเป็นโครงสร้าง และการเกิดโด เป็นต้น สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนดังกล่าวจึงสำคัญต่อการนำโปรตีนไปประยุกต์ใช้ในอาหาร อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงหน้าที่จะขึ้นอยู่กับประเภทของโปรตีน ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบทางเคมี

ลำดับของกรดอะมิโน ระดับโครงสร้างต่าง ๆ ของโปรตีน และปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และความเป็นไอออนิก เป็นต้น ก็ส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเช่นกัน (Kyriakopoulou *et al.*, 2019)

ปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในแต่ละส่วน งานวิจัยจะมุ่งเป้าหมายไปที่การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ โครงสร้าง และหน้าที่ของโปรตีนในอาหารว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพหรือสมบัติเชิงหน้าที่ใดของโปรตีนรวมถึงการเสริมโปรตีนลงในผลิตภัณฑ์อาหารด้วย

เนื้อเทียมส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองเป็นหลัก เนื่องจากคุณลักษณะที่เฉพาะตัว และมีราคาถูก นอกเหนือจากโปรตีนถั่วเหลือง มีการใช้พืชน้ำมันและโปรตีนที่ผลิตจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Kim *et al.*, 2011) ในระดับอุตสาหกรรมการทำเนื้อเทียมจะผลิตจากวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยโปรตีน ไม่ว่าจะเป็นจากกาก แป้ง หรือส่วนประกอบจากข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด พืชน้ำมันที่ผ่านการสกัดไขมันออก ธัญพืช และถั่วต่าง ๆ (ตัวอย่างเช่น แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันออก แป้งสาลี เป็นต้น) (Kumar *et al.*, 2017)

โปรตีนจากถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนจากพืชที่นิยมนำมาใช้ทดแทนในอุตสาหกรรมเนื้อเทียมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นที่ครบถ้วน มีลักษณะ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการเกิดเจล การดูดซับไขมัน และสมบัติการเป็นอิมัลชัน โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนื้อเทียมในรูปแบบของ 1) แป้งถั่วเหลือง เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการน้อยที่สุด แบ่งชนิดของแป้งถั่วเหลือง

ทั่วไป ได้แก่ แบบไขมันเต็ม แบบไม่มีไขมัน และแบบที่ใช้สำหรับทำขนมปัง แป้งถั่วเหลืองแบบไม่มีไขมันจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ 2) โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate) มีปริมาณโปรตีนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และ 3) โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (soy protein isolate) มีปริมาณโปรตีนประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ การใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่มีส่วนประกอบของโปรตีนสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีที่อ่อน กลิ่นที่อ่อน และไม่มีรสขม (Kyriakopoulou *et al.*, 2019) ทั้งนี้การประยุกต์ใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ไม่จำเป็นต้องใช้โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (Goot *et al.*, 2016; Greets *et al.*, 2018)

โปรตีนกลูเตนจากข้าวสาลี

ข้าวสาลีเป็นแหล่งของโปรตีนกลูเตนที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมอีกชนิดหรือที่ในอดีตเรียกว่า เนื้อ seitan เนื่องจากโปรตีนกลูเตนมีความสามารถในการยืดหยุ่น มีความสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มบาง และพร้อมจะเปลี่ยนรูปร่างเป็นลักษณะเส้นใยได้ ความสามารถดังกล่าวเกิดขึ้นจากพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญที่ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โปรตีนกลูเตนจึงถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการขึ้นรูปของโครงสร้างเส้นใย (Nawrocka *et al.*, 2017; Pietsch *et al.*, 2017; Ooms *et al.*, 2018)

อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการนำโปรตีนจากธัญพืชชนิดต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในเนื้อเทียมเพื่อตอบสนองต่อความต้องการใหม่ ๆ ของโปรตีนและการรักษาสุขภาพของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้น ธัญพืชที่ถูกเลือกใช้มากที่สุด คือ ข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต ข้อมูลด้านโภชนาการของธัญพืชโดยทั่วไปจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง และส่วนใหญ่จะมีปริมาณโปรตีนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง การประยุกต์ใช้ในอาหารพบว่าโปรตีนธัญพืชทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็น

ร่างแหของเนื้อเทียมได้ดี เนื่องจากโปรตีนจากธัญพืชมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่น เกิดการจับและขึ้นรูปเป็นโครงสร้าง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายเนื้อบดหยาบ (Bohrer, 2019)

โปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว

พืชตระกูลถั่ว (ถั่วลันเตา ถั่วเลนทิล ถั่วลูนิน ถั่วลูกไก่ ถั่วเขียว) อยู่ในระหว่างการศึกษาระยะแรกในการนำไปประยุกต์ใช้ให้ตอบโจทย์อาหารสุขภาพของยุคปัจจุบัน มีการศึกษาและตรวจสอบโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วถึงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ การเกิดอิมัลชัน ความคงทนของการเกิดโฟม และการเกิดโครงสร้างเจล ในบรรดาพืชตระกูลถั่ว โปรตีนจากถั่วที่มีแนวโน้มจะประยุกต์ใช้ในเนื้อเทียมได้ดีที่สุด คือ โปรตีนจากถั่วลันเตา เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง ทำให้เกิดโครงสร้างที่ดี แต่โครงสร้างที่ได้จากโปรตีนถั่วลันเตายังมีลักษณะที่แข็งแรงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ได้จากถั่วเหลือง ดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีเพื่อที่จะเพิ่มความแข็งแรงของเจล โดยตัดแปรการสร้างพันธะไฮโดรเจนของโปรตีนหรือหาวิธีการที่เหมาะสม มีการศึกษาและแนะนำให้นำโปรตีนถั่วลันเตาไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง ข้อมูลด้านโภชนาการของโปรตีนจากถั่วโดยทั่วไปจะมีปริมาณเมทไทโอนีนต่ำ และส่งผลต่อการย่อย แต่สันนิษฐานว่าเมื่อผ่านการแปรรูปจะมีการเปลี่ยนแปลงและย่อยได้ดีขึ้น

2. ไขมัน

เนื้อเทียมในอดีตประกอบด้วยสัดส่วนของไขมันปริมาณต่ำ ในทางกลับกันเนื้อเทียมในปัจจุบันประกอบด้วยไขมันมากกว่า ปริมาณไขมันในเนื้อเทียมปัจจุบันเทียบเท่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั่วไป โดยมีหลักการแนวคิด คือ การใช้วัตถุดิบของโปรตีนและ

ความหลากหลายของไขมันหรือน้ำมันชนิดต่าง ๆ ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปของเนื้อเทียม ได้แก่ น้ำมันคาโนลา น้ำมันมะพร้าว น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันงา เนยโกโก้ และน้ำมันพืชหลายชนิด การใช้ไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเพื่อให้เนื้อเทียมนั้นมีลักษณะปรากฏที่มีความชุ่มฉ่ำ (juiciness) ความนุ่ม (tenderness) ความรู้สึกค้ำในปาก (mouthfeel) และกลิ่นรส (flavor) อย่างไรก็ตามการใช้ไขมันและน้ำมันต้องคำนึงถึงระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์มีความเหลวหรือเหนียวมากเกินไป (Kyriakopoulou *et al.*, 2019)

ข้อมูลด้านโภชนาการของไขมันและน้ำมันในอาหารที่ดีต่อสุขภาพของมนุษย์ ปัจจุบันยังมีการอภิปรายอย่างต่อเนื่อง แต่นักโภชนาการ นักกำหนดอาหาร และองค์กรของรัฐ เช่น สมาคมโรคหัวใจแห่งอเมริกาได้แนะนำหลักในการบริโภคอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน คือ จำกัดหรือหลีกเลี่ยงการบริโภค

ไขมันอิ่มตัวและไขมันทรานส์ ควรเลือกบริโภคไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Krauss *et al.*, 1996; Appel *et al.*, 2006; Sacks *et al.*, 2017) เนื่องด้วยการบริโภคไขมันอิ่มตัวและไขมันทรานส์จะมีผลทำให้ระดับปริมาณไขมันไม่ดี (LDL-cholesterol) ในกระแสเลือดเพิ่มสูงขึ้น และทำให้ปริมาณไขมันดี (HDL-cholesterol) ลดลงได้

Bohrer (2019) ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั่วไป ได้แก่ เนื้อวัวบด นกกระทา และแฮม พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันหลักที่พบในผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เป็นกรดไขมันประเภทสายยาว ได้แก่ กรดปาล์มิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืชจะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่มาจากสัตว์ คือ ประกอบด้วยกรดไขมันสายสั้น กรดไขมันสายกลาง และกรดไขมันสายยาว ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันหรือน้ำมันจากพืช

ไขมันหรือน้ำมัน	กรดคาพริก (8:0)	กรดคาพริก (10:0)	กรดลอริก (12:0)	กรดไมริสติก (14:0)	กรดปาล์มิติก (16:0)	กรดสเตียริก (18:0)	กรดโอเลอิก (18:1)	กรดลิโนเลอิก (18:2)	กรดลิโนเลนิก (18:3)
น้ำมันมะพร้าว	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
น้ำมันข้าวโพด	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
น้ำมันคาโนลา					✓	✓	✓	✓	✓
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน					✓	✓	✓	✓	
เนยโกโก้					✓	✓	✓		

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bohrer (2019)

องค์ประกอบกรดไขมันของไขมันหรือน้ำมันที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตน้ำมัน อย่างไรก็ตามไขมันหรือน้ำมันที่ผลิตจากพืชเพื่อใช้ในการทำเนื้อเทียมส่วนใหญ่มีลักษณะเหมือนกัน คือ เป็นกลุ่มของกรดไขมันสายสั้นและกรดไขมันสายกลางเป็นหลัก เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด เป็นต้น

3. คาร์โบไฮเดรต

โดยทั่วไปเนื้อสัตว์จะไม่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ยกเว้นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปที่มีการเติมวัตถุดิบกลุ่มคาร์โบไฮเดรตลงในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปกลุ่มอิมัลชันและขึ้นรูป อาทิ ไส้กรอก ลูกชิ้น หมูยอ เป็นต้น ตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตจากหลากหลายวัตถุดิบ มีจุดประสงค์หลัก คือ การใช้เพื่อปรับปรุงพื้นผิว การจับตัวระหว่างองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน และน้ำ ในอาหารที่ผ่านการแปรรูป ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ ได้แก่ กัม กัมอะราบิก แชนแทนกัม เมทิลเซลลูโลส และคาร์ราจีแนน เป็นต้น

ข้อมูลด้านโภชนาการของการเติมสารอาหารคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบใยอาหารถือเป็นการเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ตรงกันข้ามหากเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านกระบวนการทำให้มีความบริสุทธิ์สูง เช่น น้ำตาลหรือแป้งขัดสี จัดเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมและเนื้อสัตว์แปรรูปมีส่วนประกอบของใยอาหาร สตาร์ช และน้ำตาล เป็นวัตถุดิบร่วมด้วย

ปัจจุบันยังคงมีการอภิปรายข้อสรุปความปลอดภัยต่อผู้บริโภคของการใช้สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเพื่อช่วยในการยึดเกาะและขึ้นรูป สารในกลุ่มกัมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมและ

เนื้อสัตว์แปรรูป คือ เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) เมทิลเซลลูโลสเกิดจากการตัดแปรรูปของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชและยังเป็นส่วนประกอบที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปชนิดต่าง ๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมในปัจจุบัน เมื่อใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้ผลิตภัณฑ์จับตัวและรวมตัวกันได้ดีมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสารละลายที่มีความหนืดในระบบทางเดินอาหาร และส่งผลต่อการดูดซึมของกลูโคสที่ใกล้เคียงกับใยอาหารจากพืชชนิดต่าง ๆ ยิ่งไปกว่านั้นสารที่มีการอภิปรายในด้านสุขภาพอีกชนิดคือ สารในกลุ่มกัม มีการนำสารกลุ่มกัมมาประยุกต์ใช้หลากหลายในกระบวนการผลิตอาหาร ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน กัมที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป ตลอดจนผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปต่าง ๆ คือ กัมอะราบิก แชนแทนกัม และคาร์ราจีแนน

การส่งผลต่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคในปัจจุบันให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีรายงานว่าจะส่งผลเสีย มีความเสี่ยงหรืออันตรายใดที่ควรระวังต่อสุขภาพด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีการส่งเสริมให้มีการระบุบนฉลากของบรรจุภัณฑ์อาหารที่อาจมีการปนเปื้อนระหว่างการแปรรูป หรือมีการจำกัดปริมาณการใช้สารหรือวัตถุดิบนั้น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปตลอดจนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปเพื่อป้องกันการใช้สารเกินวัตถุประสงค์และอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพในอนาคต

4. สารให้กลิ่นรส

กลิ่นรสที่ดีและเหมือนกับเนื้อสัตว์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เป็นลักษณะสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค กลิ่นรสที่มีลักษณะเป็นกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ (meaty) และกลิ่นรสที่คล้ายเนื้อสัตว์ (meat-like) ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม อาจเกิดจากสารตั้งต้นและปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบเชิงซ้อน

ธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) กับสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้ อุณหภูมิและความดันสูงจนทำให้เกิดสารประกอบที่ ระเหยได้ (volatile compound) ในผลิตภัณฑ์ และ เกิดกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างกันไป (Kyriakopoulou *et al.*, 2019)

ในกระบวนการผลิตเนื้อเทียมมีการเติมเครื่องปรุง เครื่องเทศ เช่นเดียวกับอาหารแปรรูปและอาหาร สำเร็จรูปทั่วไป เพื่อให้มีกลิ่นรสที่เหมือนผลิตภัณฑ์ เนื้อสัตว์จริง แต่เมื่อผ่านการแปรรูปแบบเอ็กซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและ เคมีของวัตถุดิบไประหว่างการให้ความร้อน ซึ่งอาจส่งผล ต่อกลิ่นรสและเครื่องเทศที่เป็นส่วนผสม

นอกจากนั้นความร้อนทำให้คุณลักษณะทาง ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โดย ส่งเสริมให้มีการจับตัวกันของสารที่ให้รส เช่น น้ำตาล เกลือ กรดต่าง ๆ รวมถึงโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของ ผลิตภัณฑ์และเนื้อสัมผัส หรือมีการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดจากน้ำตาลและกรดอะมิโน จนได้ผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อกลิ่นรส เช่น กลิ่นหุบปัง กลิ่นไก่ย่าง และกลิ่นสเต็กเนื้อ เป็นต้น กลิ่นรสที่ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวและเป็นที่ต้องการมาก ที่สุดในผลิตภัณฑ์ คือ กลิ่นรสการย่าง แต่เนื่องจาก ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเสี่ยงต่อการเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึง ประสงค์ (off flavor) ในผลิตภัณฑ์ด้วย จึงเป็นความ ท้าทายของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมในการทำให้ผลิตภัณฑ์ มีกลิ่นรสที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Fraser *et al.* (2017) ศึกษาและวิจัยสารให้ กลิ่นรสที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างการแปรรูป โดยใช้สารตั้ง ต้นในกลุ่มของน้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคส โซโลส ฟรักโทส และไรโบส) กลุ่มของกรดอะมิโน (ซิสเตอีน ซิสทีน โพรลีน ไลซีน เซอริน ไมโทโอนีน และทรีโอนีน) ไทอะมีน และนิวคลีโอไทด์ เพื่อให้เกิดกลิ่นรสที่เหมือนเนื้อจริง ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม นอกจากนี้ Wu *et al.* (2000) ศึกษาและวิจัยในการสร้างกลิ่นรสไก่ กลิ่นรสวัว จาก

สารสกัดจากโปรตีนถั่วเหลือง โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อ กลิ่นในกระบวนการผลิต คือ อุณหภูมิและเวลาในการ ทำปฏิกิริยา ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณของ กรดซิสเตอีน ปริมาณของไรโบสไม่ส่งผลต่อการผลิต กลิ่นดังกล่าว กลิ่นรสไก่ถูกสร้างได้ดีที่ค่าความเป็น กรดต่างในช่วงกลาง ในขณะที่กลิ่นรสเนื้อวัวถูกสร้างที่ ค่าความเป็นกรดต่างสูง

5. สารให้สี

สีเป็นคุณลักษณะสำคัญของเนื้อสัตว์และ ผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค เนื้อสัตว์ แต่ละชนิดมีสีที่แตกต่างกัน เนื้อวัวมีลักษณะสีแดง เซอร์ริสค เนื้อหมูจะมีลักษณะออกสีชมพู และเนื้อไก่ จะมีลักษณะสีเหลืองปนขาว สีของเนื้อสัตว์มีการ เปลี่ยนแปลงระหว่างการแปรรูป เนื่องจากโครงสร้าง ปกติของโปรตีนไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์รวมตัวกับ ออกซิเจนในอากาศ (oxymyoglobin) เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน และโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ เนื้อสัตว์มีสีน้ำตาล (metmyoglobin)

วัตถุดิบโปรตีนที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเขียวที่มีสีเหลืองอมน้ำตาล เป็นสีสว่างกว่าสีน้ำตาลของเนื้อที่ผ่านการแปรรูป การ ใช้วัตถุดิบที่ทำให้เกิดสีหรือสารที่ให้สีจึงสำคัญ ปัจจุบันมีการใช้ส่วนผสมของสีที่ทนต่อความร้อน ได้แก่ สีคาราเมล สีมอลต์ สีแอนแนตโท (เหลืองส้ม- ส้มแดง) สีหยัร่า และสีแคโรทีน เนื่องจากสีที่ไม่ทนต่อ ความร้อนจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง สีที่เหมาะสมใน การผลิตเนื้อเทียม คือ สีที่ได้จากสารสกัดบีทรูท กระบวนการแปรรูปของเนื้อเทียมด้วยกระบวนการ เอ็กซ์ทรูชันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีใกล้เคียงกับ เนื้อสัตว์จริงเมื่อผ่านการแปรรูปนั้น จะต้องใช้สีทนต่อ ความร้อนเนื่องจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีอุณหภูมิ สูง นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ต่าง ๆ (เดกซ์โทรส มอลโทส แล็กโทส โซโลส กาแล็กโทส

แมนโนส และอะราบีโนส) เพื่อทำให้เกิดสีน้ำตาลเมื่อทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันเอมีนของโปรตีนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยามอลลาร์ด ทำให้ได้สีของเนื้อที่ผ่านการแปรรูปคือ สีน้ำตาล และมีลักษณะสีสุดท้ายที่เหมือนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมควรมีสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ปกติ ทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการแปรรูป ปัจจุบันการใช้วัตถุดิบของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเน้นใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เพื่อให้มีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริง ในระดับอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม Beyond burger ใช้สารสกัดจากหัวปีทูท และผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม MorningStar Farms burger ใช้มะเขือเทศเข้มข้น ในการทำขึ้นเนื้อเทียมในรูปแบบของเนื้อเบอร์เกอร์หรือที่รู้จักกันในชื่อแพตตี้ นอกจากนี้มีการใช้โปรตีนซาโครพลาสเมก เพื่อให้ได้คุณสมบัติของสีใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์เดิม ซึ่งมีโครงสร้างเคมีใกล้เคียงกับธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) และออกซิเจนที่จับกับโปรตีนไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อ ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีทบอลของ Gardein meatless ใช้วิธีลดปริมาณของธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม Impossible burger ใช้ leghemoglobin จากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นอนุพันธ์องค์ประกอบถั่วเหลือง มีโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับฮีโมโกลบินและไมโอโกลบินที่เป็นโปรตีนหลักของการเกิดสีในเนื้อสัตว์ แต่ปัจจุบัน leghemoglobin จากถั่วเหลืองยังคงมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมในด้านความเสี่ยงและความปลอดภัย เพื่อคลายข้อกังวลของผู้บริโภค ซึ่งข้อมูลในปัจจุบันพบว่ายังไม่มีข้อกังวลเรื่องความเป็นพิษต่อร่างกาย

ข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเนื้อเทียมจากพืช

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีจุดประสงค์เพื่อให้มีคุณลักษณะและสารอาหารหลักที่

ใกล้เคียงหรือเหมือนกับเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Joshi and Kumar, 2015; Kumar *et al.*, 2017) สารอาหารหลักที่สำคัญอันดับแรก คือ โปรตีน สารอาหารที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ คือ น้ำและไขมัน เนื่องจากเป็นสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ปริมาณของสารอาหารดังกล่าวใกล้เคียงกันในผลิตภัณฑ์ของเนื้อสัตว์และเนื้อเทียม แสดงดังตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 2 เป็นข้อมูลที่ระบุบนฉลากของบรรจุภัณฑ์และการเผยแพร่ข้อมูลแบบสาธารณะบนบรรจุภัณฑ์และเว็บไซต์ (Bohrer, 2019)

ยุคปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารและการจัดบริการอาหารนิยมผลิตเนื้อเทียมจากพืชออกมาในรูปแบบของเนื้อเบอร์เกอร์หรือแพตตี้ จากข้อมูลในตารางที่ 2 ผลิตภัณฑ์เนื้อเบอร์เกอร์จากพืชมีข้อมูลทางโภชนาการที่หลากหลาย โดยทั่วไปจะมีลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อเบอร์เกอร์เนื้อวัว (McDonald's beef patty) ประเด็นที่น่าสนใจ คือ เนื้อเบอร์เกอร์จากพืช (Beyond burger และ Impossible burger) มีปริมาณไขมันรวมและไขมันอิ่มตัวใกล้เคียงกับเนื้อเบอร์เกอร์เนื้อวัว (McDonald's beef patty) แต่เนื่องจากปริมาณไขมันอิ่มตัวที่พบในเนื้อเบอร์เกอร์จากพืช เกิดจากวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบการทำเนื้อเทียมในกลุ่มไขมันและน้ำมันที่กล่าวไว้ข้างต้น คือน้ำมันมะพร้าวและเนยโกโก้ นอกจากนั้นเนื้อเบอร์เกอร์จากพืชมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและใยอาหารมากกว่า เนื่องจากวัตถุดิบจากพืชที่ใช้ในการผลิต ซึ่งการเพิ่มปริมาณใยอาหารส่งผลต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามการเพิ่มคาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้งและน้ำตาล ควรคำนึงถึงประโยชน์ทางด้านโภชนาการ ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณโซเดียมในเนื้อเบอร์เกอร์จากพืชมีค่าอยู่ในช่วง 327.48 - 609.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ทั้งนี้เฉพาะตัวเนื้อเบอร์เกอร์จากพืช ยังไม่รวมขนมปังแซนด์วิช ขนมปังบัน ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ และ

เครื่องปรุงรสต่าง ๆ จึงเป็นข้อควรระวังในการบริโภค โซเดียม USDHHS and USDA (2015) แนะนำเกณฑ์ การบริโภคเพื่อสุขภาพ ควรบริโภคโซเดียมน้อยกว่า 2,300 มิลลิกรัมต่อวัน ในผู้ใหญ่จะมีการบริโภคที่

มากกว่าเกณฑ์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3,400 มิลลิกรัมต่อ วัน สรุปได้ว่าเนื้อเบอร์เกอร์จากพืชมีปริมาณใยอาหาร ที่มากกว่าเมื่อเทียบสารอาหารหลักกับเนื้อเบอร์เกอร์ เนื้อวัว

ตารางที่ 2 ข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์เทียม (ข้อมูลเมื่อกันยายน 2562)

	พลังงาน ที่ได้รับ (กิโล แคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	ไขมัน อิ่มตัว (กรัม)	คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	คาร์โบไฮเดรต ทั้งหมด (กรัม)	ใย อาหาร (กรัม)	โซเดียม (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)
Beyond burger เบอร์เกอร์เทียม	221.24	17.70	15.93	5.31	0.00	2.65	1.77	345.13	3.72
Impossible burger เบอร์เกอร์เทียม	212.39	16.81	12.39	7.08	0.00	7.96	2.65	327.43	3.72
MorningStar farms grillers original burger เบอร์เกอร์เทียม	203.13	25.00	7.81	0.78	0.00	12.50	6.25	609.38	1.72
Boca all American veggie burger เบอร์เกอร์เทียม	140.85	18.31	5.63	1.41	7.04	8.45	5.63	492.96	2.39
McDonald's beef patty เบอร์เกอร์เนื้อวัว	266.67	23.33	20.00	8.33	83.33	0.00	0.00	400.00	3.33
Gardein meatless meatballs มีทบอลเทียม	166.67	15.56	7.78	0.56	0.00	10.00	3.33	355.56	8.33
Tyson fully cooked homestyle beef meatballs มีทบอลวัว	300.00	15.56	16.47	5.88	47.06	5.88	1.18	352.94	2.12
Tofurky ham roast with glaze แฮมเทียม	203.70	20.37	5.56	0.46	0.00	18.52	0.93	592.59	1.76
Hormel cure 81 classic boneless ham แฮม	105.95	18.45	3.57	1.19	50.95	0.24	0.00	1038.10	0.83
Quorn brand chik'n nuggets นกเก็ตเทียม	203.39	10.17	8.47	0.42	6.78	24.58	5.93	449.15	0.72
Tyson fully cooked chicken nuggets นกเก็ตไก่	300.00	15.56	18.89	4.44	44.44	16.67	0.00	522.22	0.91

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bohrer (2019)

ข้อมูลจากตารางที่ 2 เมื่อนำข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในรูปแบบมีทบอลเนื้อวัว (Tyson fully cooked homestyle meatballs) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์มีทบอลจากพืช (Gardein meatless meatballs) สรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์มีทบอลจากพืช มีองค์ประกอบที่ส่งผลต่อสุขภาพดีกว่า คือ ให้พลังงานที่น้อยกว่า มีปริมาณไขมันและไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีปริมาณใยอาหารมากกว่าผลิตภัณฑ์มีทบอลเนื้อวัว

เมื่อนำข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในรูปแบบของแฮม (Hormel cure 81 classic boneless ham) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แฮมจากพืช (Tofurky ham roast with glaze) สรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์แฮมจากพืช มีปริมาณไขมันมากกว่า แต่มีปริมาณไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า ไม่มีคอเลสเตอรอล

มีปริมาณโซเดียมน้อยกว่า ให้พลังงานมากกว่าและมีโปรตีนมากกว่าผลิตภัณฑ์แฮม

เมื่อนำข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในรูปแบบของนกเก็ตเนื้อไก่ (Tyson fully cooked chicken nuggets) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์นกเก็ตจากพืช (Quorn brand chik'n nuggets) สรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์นกเก็ตจากพืช มีองค์ประกอบที่ส่งผลต่อสุขภาพดีกว่า คือ ให้พลังงานที่น้อยกว่า มีปริมาณไขมันและไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า มีปริมาณใยอาหารมากกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์นกเก็ตเนื้อไก่

บทสรุป

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เทียมที่ผลิตจากพืชในปัจจุบันมีองค์ประกอบที่หลากหลายเพื่อทำให้ลักษณะ

ของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงหรือเหมือนกับเนื้อสัตว์จริงมากที่สุด อาทิ โปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว โปรตีนจากธัญพืช น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันคาโนลา เป็นต้น นอกจากนี้การเลือกใช้อองค์ประกอบต่าง ๆ ยังคำนึงถึงความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการอาหารที่ดีต่อสุขภาพร่างกาย ได้รับปริมาณสารอาหารที่จำเป็นครบถ้วน การเลือกบริโภคเนื้อสัตว์

เทียมจากพืชถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้บริโภคเนื่องจากผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจะมีคุณค่าทางโภชนาการที่มีปริมาณโปรตีนสูงเทียบเท่าเนื้อสัตว์จริง มีปริมาณไขมันที่ดีต่อสุขภาพ คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวสายสั้นและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีใยอาหาร ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพอีกด้วย

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม โปรตีนจากพืช องค์ประกอบ

Keywords: meat analogue products, plant-based protein, composition

เอกสารอ้างอิง

- Appel LJ, Brands MW, Daniels SR, Karanja N, Elmer PJ and Sacks FM. 2006. Dietary approaches to prevent and treat hypertension: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*. (47): 296–308.
- Bohrer BM. 2017. Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends Food Sci Tech*. (65): 103-112.
- Bohrer BM. 2019. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Sci Hum Well*. (8): 320-329.
- Egbert R and Borders C. 2006. Achieving success with meat analogs. *Food Tech* (60): 28-34.
- Fraser R, Brown PO, Karr J, Holz-Schietinger C and Cohn E. 2017. Methods and compositions for affecting the flavor and aroma profile of consumables. U.S. Patent. 9,700,067. Jul. 11, 2017.
- Geerts MEJ, Dekkers BL, Padt A and Goot AJ. 2018. Aqueous fractionation processes of soy protein for fibrous structure formation. *Innov Food Sci Emerg Technol*. (45): 313–319.
- Goot AJ, Pelgrom PJM, Berghout JAM, Geerts MEJ, Jankowiak L, Hardt NA, Keijer J, Schutyser MAI, Nikiforidis CV and Boom RM. 2016. Concepts for further sustainable production of foods. *J Food Eng*. (168): 42-51.
- Huang S, Wang LM, Sivendiran T and Bohrer BM. 2018. Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. *Crit Rev Food Sci Nutr*. (58): 2673-2678.
- Joshi VK and Kumar S. 2015. Meat Analogues: plant based alternatives to meat products-a review. *Int J Food Ferment Tech*. (5): 107–119.
- Kim K, Choi B, Lee I, Lee H, Kwon S, Oh K and Kim AY. 2011. Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *J Sci Food Agric*. (91): 1561-1568.
- Krauss RM, Deckelbaum RJ, Ernst N, Fisher E, Howard BV, Knopp RH, Kotchen T, Lichtenstein AH, McGill HC, Pearson TA, Prewitt TE, Stone NJ, Horn LV and Weinberg R. 1996. Dietary guidelines for healthy American adults: a statement for health professionals from the nutrition committee. *AHA*. (94): 1795–1800.
- Kumar P, Chatli MK, Mehta N, Singh P, Malav OP and Verma AK. 2017. Meat analogues: health promising sustainable meat substitutes. *Crit Rev Food Sci Tech*. (57): 923–932.
- Kyriakopoulou K, Dekkers B and Goot AJ. 2019. Sustainable meat production and processing. Academic Press. London. 103-126.
- Nawrocka A, Szymańska-Chargot M, Miś A, Wilczewska AZ and Markiewicz KH. 2017. Aggregation of gluten proteins in model dough after fibre polysaccharide addition. *Food Chem*. (231): 51-60.

- Ooms N, Jansens KJA, Pareyt B, Reyniers S, Brijs K and Delcour JA. 2018. The impact of disulfide bond dynamics in wheat gluten protein on the development of fermented pastry crumb. *Food Chem.* (242): 68–74.
- Pietsch VL, Emin MA and Schuchmann HP. 2017. Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products. *J Food Eng.* (198): 28-35.
- Sacks FM, Lichtenstein AH, Wu JH, Appel LJ, Creager MA, Kris-Etherton PM, Miller M, Rimm EB, Rudel LL, Robinson JG, Stone NJ and Horn LV. 2017. Dietary fats and cardiovascular disease: a presidential advisory from the American Heart Association. (136): e1–e23.
- U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture. 2015. 2015–2020 dietary guidelines for Americans. 8th edition.
- Wu YF, Baek HH and Cadwallader KR. 2000. Development of a meat-like process flavoring from soybean-based enzyme-hydrolyzed vegetable protein (E-HVP). *J Food Sci.* (65): 1220–1227.

มะพร้าว น้ำหอม ตัดแต่งส่งออกและการควบคุมคุณภาพ ระหว่างการเก็บรักษา

The exportation of trimmed aromatic coconut and quality control during storage

✎ **เขมพัช ตรีสุวรรณ (Khemmapas Treesuwan)**

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ (Department of Applied Microbiology)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)

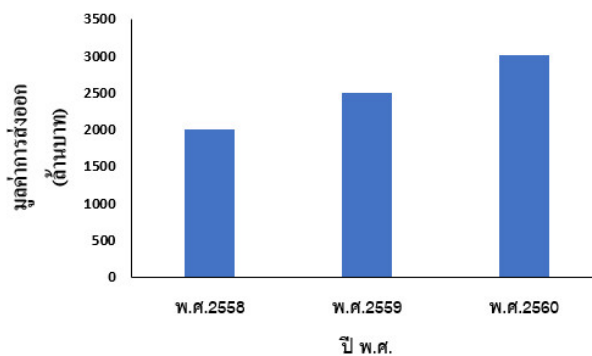
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

มะพร้าว น้ำหอม (*Coco nucifera L.*) นับได้ว่าเป็นผลไม้มหัศจรรย์ ที่เมื่อผู้บริโภคได้ดื่มแล้วจะทำให้รู้สึกสดชื่น เนื่องจากน้ำมะพร้าวมีกลิ่นหอมอันเป็นเอกลักษณ์จำเพาะคือ มีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย โดยความหอมนั้นเกิดจากละอองเกสรตัวผู้มาผสม (xenia effect) มีรสชาติหวาน นอกจากนี้ น้ำมะพร้าวยังมีส่วนประกอบของแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ฯลฯ (ตารางที่ 1) ด้วยเหตุนี้มะพร้าว น้ำหอมจึงเป็นที่นิยมบริโภคไปทั่วโลก ซึ่งสามารถอ้างอิงข้อมูลได้จากปริมาณการส่งออกมะพร้าว น้ำหอมไปยังต่างประเทศทั่วโลก รูปที่ 1 แสดงมูลค่าการส่งออกมะพร้าว น้ำหอมพบว่า มูลค่าการส่งออกมะพร้าว น้ำหอมตั้งแต่ปีพ.ศ. 2558 จาก 2,000 ล้านบาท มีแนวโน้มสูงขึ้นถึง 3,000 ล้านบาท ในปีพ.ศ. 2560 โดยส่วนมากมะพร้าว จะถูกส่งไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และจีน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

ตารางที่ 1 ปริมาณแร่ธาตุในน้ำมะพร้าว

แร่ธาตุในน้ำมะพร้าว	ปริมาณ (mg/100 ml)
โพแทสเซียม	290
โซเดียม	42
แคลเซียม	44
แมกนีเซียม	10
ฟอสฟอรัส	9.2

ที่มา: Yong et al. (2009)

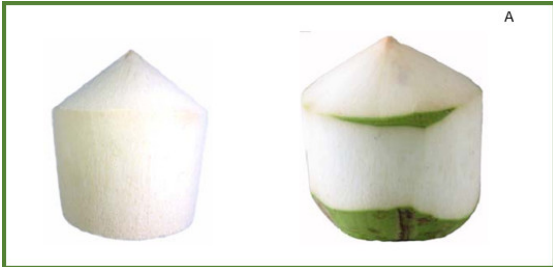


รูปที่ 1 มูลค่าการส่งออกของมะพร้าว น้ำหอมของไทย ในช่วงปีพ.ศ. 2558-2560

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

ตามปกติมะพร้าว น้ำหอมจะถูกเก็บเกี่ยวหลังจากระยะดอกประมาณ 7 เดือน ซึ่งน้ำมะพร้าวในระยะนี้จะหวานและหอมและเนื้อของมะพร้าวจะนุ่มเหมาะสำหรับการบริโภค จากนั้นเกษตรกรจะขนส่งไปยังโรงงานตัดแต่งมะพร้าว ซึ่งลักษณะการส่งออกของมะพร้าว น้ำหอมตามข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) คือ มะพร้าวควั่น (เจียน) และมะพร้าวเจียน (กลึง) ซึ่งมะพร้าวควั่น (trimmed coconut) จะเริ่มจากการปอกเปลือกเขียว (exocarp) ออกทั้งหมดหรือบางส่วน จากนั้นตกแต่งให้มีรูปทรงกระบอกสอบ ด้านบนเป็นรูปฟาสี โดยรวมจะมีรูปทรง 5 เหลี่ยม (รูปที่ 2A) ที่ประกอบด้วยส่วนไหล่ (shoulder) ส่วนตัว (body) และส่วนก้น (bottom)

(Jarimopas and Ruttanadat, 2007) ในขณะที่จะมะพร้าวเจีย (polished coconut) คือ มะพร้าวที่นำมาลอกเปลือกขาว (mesocarp) ออกทั้งหมดหรือเหลือบางส่วนไว้เป็นฐานแล้วเจีย จากนั้นแต่งผิวกะลาให้เรียบ (รูปที่ 2B)



รูปที่ 2 ลักษณะของมะพร้าวน้ำหอมตัดแต่ง A) มะพร้าวควั่น (เจียน) และ B) มะพร้าวเจีย (กลิ้ง)

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 15-2550 (2550)

ปัญหาหลักในมะพร้าวน้ำหอมตัดแต่งส่งออก

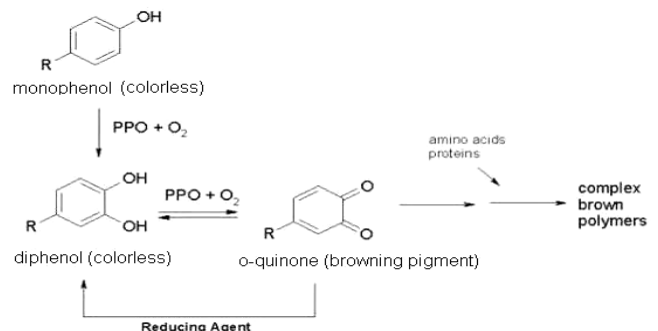
ปัญหาหลักที่พบได้จากมะพร้าวน้ำหอมที่ผ่านการควั่นหรือเจียแล้ว มี 2 สาเหตุ ได้แก่

1. ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์มักพบได้ในอาหารโดยเฉพาะผักและผลไม้ ซึ่งโดยทั่วไปมักเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของผักผลไม้ นั้น ๆ เช่นเดียวกันกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลบนผิวมะพร้าวควั่น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อบริเวณพื้นผิวของมะพร้าวควั่นประกอบด้วย องค์ประกอบดังต่อไปนี้

- (1) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)
- (2) เอนไซม์กลุ่มฟีนเลส (phenolase) ยกตัวอย่างเช่น polyphenol oxidase (PPO) เป็น ตัว เร่ง

ปฏิกิริยา ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะสามารถทำงานได้ในช่วงค่าความเป็นกรดต่าง (ค่า pH) ประมาณ 5-7 และ (3) ออกซิเจน โดยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นบนผิวมะพร้าวเมื่อมะพร้าวถูกเฉือนหรือผ่าออกเป็นผลทำให้เซลล์ของผิวมะพร้าวเกิดการฉีกขาด ซึ่งทำให้เอนไซม์และสารประกอบฟีนอลิก สัมผัสกับออกซิเจนบริเวณผิวของมะพร้าว ทำให้เกิดเป็นสารโมโนฟีนอล (monophenol) ซึ่งสารนี้จะยังไม่ทำให้เกิดสีในทันที จากนั้นสารดังกล่าวจะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ และออกซิเจนเกิดเป็นสารไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นสารอโท-ควิโนน (o-quinone) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาลและมีการรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล เช่น เมลานิน (melanin) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

ที่มา: Bramen *et al.* (1996)

ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลบนผิวมะพร้าว แม้ว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ถือได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพที่อาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ (รูปที่ 4) แนวทางในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์สามารถทำได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลุ่มฟีนเลส (phenolase) ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ความร้อนเพื่อช่วยทำให้เอนไซม์มีการเสถียรภาพ การปรับค่า pH ในช่วงที่ไม่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การจุ่มด้วย

สารละลายน้ำเกลือเพื่อลดโอกาสการสัมผัสออกซิเจน การใช้สาร chelating ตลอดจนการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อลดการสัมผัสออกซิเจน เป็นต้น

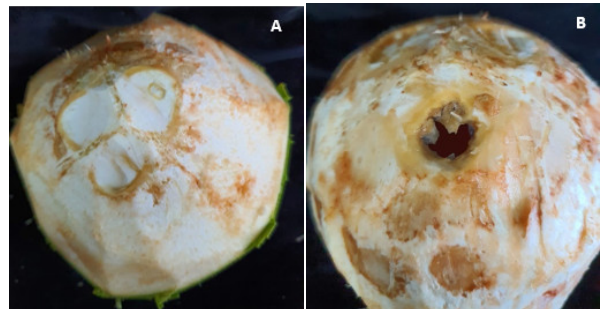


รูปที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลบนผิวมะพร้าว ที่มา: ผู้เขียน

2. ปัญหาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Microbial contamination)

การปนเปื้อนจุลินทรีย์บนผิวมะพร้าวถือได้ว่าเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่มีผลกระทบต่อผู้ประกอบการที่ขนส่งมะพร้าวตัดแต่งไปยังต่างประเทศ จากข้อมูลของผู้ประกอบการที่ส่งมะพร้าวตัดแต่งไปยังต่างประเทศทางเรือพบว่า ปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดจากการที่มะพร้าวน้ำหอมอ่อนเกินไป มีการกระทบกันในระหว่างการขนส่งจนทำให้เกิดรอยแตก จึงเป็นเหตุทำให้น้ำมะพร้าวไหลซึมออกมาด้านนอกผลและกระจายทั่วทั้งบรรจุภัณฑ์ และมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าเสียของมะพร้าวในล๊อตนั้น เมื่อมะพร้าวถูกขนส่งถึงประเทศเป้าหมายมะพร้าวที่เน่าเสียจะถูกทำลายโดยทันที โดยสาเหตุการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์บนผิวมะพร้าวนี้อาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ มะพร้าวมีการปนเปื้อนในระหว่างการตัดแต่ง โดยสุขลักษณะของพนักงานที่สัมผัสมะพร้าวที่ไม่ดีมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์จากผิวหนังปนเปื้อนไปยังบริเวณผิวมะพร้าวได้ หรือการ

ล้างทำความสะอาดภาชนะและอุปกรณ์ที่สัมผัสมะพร้าวไม่ดีเท่าที่ควร ตลอดจนความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น หากมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์บริเวณผิวมะพร้าวโดยเฉพาะบริเวณใกล้กับตำแหน่งตาอ่อนของผลมะพร้าว (รูปที่ 5) มีความเป็นไปได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถผ่านเข้าไปยังภายในผลมะพร้าวผ่านตาอ่อนได้ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นเพียงส่วนที่มีเนื้อเยื่อบาง ๆ กั้นระหว่างผิวมะพร้าวกับภายในผลมะพร้าวเท่านั้น ซึ่งถ้าเชื้อจุลินทรีย์สามารถผ่านเข้าไปได้จะทำให้เชื้อมีการเจริญเติบโตทำให้เกิดการเน่าเสีย และในบางกรณีหากผู้บริโภครับประทานน้ำและเนื้อมะพร้าวอาจก่อให้เกิดอันตรายได้



รูปที่ 5 บริเวณตาอ่อนของมะพร้าวน้ำหอม A) ตาอ่อนของมะพร้าวน้ำหอมที่ยังไม่ผ่านการเจาะรู และ B) ตาอ่อนของมะพร้าวน้ำหอมที่ผ่านการเจาะด้วยหลอดพลาสติก

ที่มา: ผู้เขียน

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ทั้งบริเวณผิวมะพร้าวและในน้ำมะพร้าวเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2 มีการรายงานการตรวจพบเชื้อแบคทีเรียในน้ำมะพร้าวที่มีการเน่าเสีย โดยตรวจพบแบคทีเรีย เช่น *Klebsiella* sp., *Kluyvera* sp. และ *Staphylococcus epidermidis* เป็นต้น (Gabriel and Colombo, 2016) ในขณะที่ Maciel และคณะ (2013) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมะพร้าวจากท้องตลาดแล้วทำการคัดแยกเชื้อยีสต์บนจานเพาะเชื้อจุลินทรีย์โดยศึกษาสรีรวิทยาของยีสต์ จากนั้นทำการคัดแยกโคโลนีแล้วนำไปศึกษาลำดับเบสของดีเอ็นเอของ

เชื้อจุลินทรีย์เพื่อตรวจสอบสายพันธุ์ จากผลการศึกษาพบยีสต์ในกลุ่ม *Candida* spp. เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ *C. oleophila*, *C. parapsilosis*, *C. santamariae* และ *C. tropicalis* เป็นต้น นอกจากนี้ยังตรวจพบยีสต์สายพันธุ์อื่น ๆ เช่น *Aureobasidium pullulans*, *Kloeckera*

apis และ *Kloeckera apis* เป็นต้น นอกจากนี้ยังตรวจพบเชื้อราที่บริเวณผิวมะพร้าวจากการศึกษาสำภูฐานวิทยาของเชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. และ *Cladosporium* spp. เป็นต้น (Farungsang et al, 2012)

ตารางที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่พบบนผิวมะพร้าวและน้ำมะพร้าว

แบคทีเรียในน้ำมะพร้าว (Gabriel and Colombo, 2016)	ยีสต์ในน้ำมะพร้าว (Maciel et al, 2013)	เชื้อราบนผิวมะพร้าว (Farungsang et al, 2012)
<i>Klebsiella</i> sp.	<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Aspergillus niger</i>
<i>Kluyvera</i> sp.	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Fusarium</i> spp.
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	<i>Kloeckera apis</i>	<i>Penicillium</i> spp.
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Cladosporium</i> spp.

การยืดอายุการเก็บรักษาและการแก้ปัญหา

จากปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบกับการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลบนผิวมะพร้าว ถือได้ว่าเป็นปัญหาทางด้านคุณภาพสำหรับการส่งออกมะพร้าวน้ำหอมไปยังต่างประเทศเป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาการเสื่อมเสียของมะพร้าวน้ำหอมคว้นทางผู้ประกอบการจึงนำสารเคมีที่มีชื่อทางการค้าว่า “โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์” มาช่วยลดปัญหาดังกล่าว โดยมีรายงานการวิจัยอายุการเก็บรักษามะพร้าวน้ำหอมคว้นที่ผ่านการจุ่มด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษามะพร้าวน้ำหอมได้นานเป็นเวลา 1 เดือน โดยที่ผิวมะพร้าวคว้นยังคงขาวและไม่มีเกิดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด มีประมาณ 1.8 log CFU/fruit และตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา เมื่อเก็บรักษามะพร้าวที่สัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา (Treesuwan et al, 2018)

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นสารเคมีที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ได้มีการศึกษาปริมาณของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์บนผิวมะพร้าวคว้นที่ผ่านกระบวนการผลิตตามวิธีการการค้าพบว่าตรวจไม่พบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับความหนาของผิวมะพร้าว 8 มิลลิเมตร (Mohpraman and Siriphanich, 2012) ดังนั้นการจุ่มมะพร้าวคว้นด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3 ในเวลา 10 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลา 1 เดือนหรือมากกว่า โดยลดการเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และผู้บริโภคสามารถรับประทานมะพร้าวน้ำหอมคว้นได้อย่างปลอดภัย

บทสรุป

แม้ว่าการจุ่มมะพร้าวคว้นลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 10 นาทีจะสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา

สีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดีเมื่อหุ้มด้วย PVC และเก็บรักษามะพร้าวน้ำหอมที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส แต่ในทางกลับกันการใช้สารละลายดังกล่าวอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อผู้บริโภคบางกลุ่มที่มีอาการแพ้เมื่อสัมผัสกับมะพร้าวที่ยังคงมีโซเดียมเมตไบซัลไฟต์ตกค้างอยู่ ยกตัวอย่างเช่น การเกิดการระคายเคือง มีผื่นคันที่ผิวหนัง หรืออาจส่งผล

ให้มีอาการหอบหืด เป็นต้น (Lien *et al*, 2016) ดังนั้นแผนการวิจัยที่จะต่อยอดผลงานวิจัยที่ผ่านมาจึงน่าจะมีแนวทางในการใช้กระบวนการผลิตด้วยวิธีการอื่นเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ที่มีอาการแพ้ เช่น การใช้สารเคมีที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถถนอมและยืดอายุการเก็บรักษาลดผลให้ยาวนานขึ้น เป็นต้น

คำสำคัญ: มะพร้าวน้ำหอม การเน่าเสีย คุณภาพ การเก็บรักษา
Keywords: aromatic coconut, spoilage, quality, storage

เอกสารอ้างอิง

- มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 2550. มะพร้าวน้ำหอม. https://www.acfs.go.th/standard/download/std_coconut.pdf [21 ตุลาคม 2563].
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. มูลค่าการส่งออกมะพร้าวน้ำหอมของไทย. <http://impexp.oae.go.th/service/export.php> [25 พฤศจิกายน 2563].
- Bramen AL, Michael DP, S and John HT. 1996. Food Additive. American Chemical Society, Washington, D.C. 129p.
- Farungsang U, Farungsang N and Kunprom C. 2012. The relation between husk trimming process and fungal colonization on partial husk-trimmed Nam-Hom coconut. In 10th National Postharvest Technology Conference (43): 519-522. Khon Kaen, Thailand.
- Gabriel AA and Colambo JCR. 2016. Comparative resistances of selected spoilage and pathogenic bacteria in ultraviolet-C-treated, turbulent-flowing young coconut liquid endosperm. *Food Control*. (69): 134-140.
- Jarimopas B and Ruttanadat N. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. *J Food Eng*. 79(3): 752-757.
- Lien KW, Hsieh DPH, Huang HY, Wu CH, Ni SP and Ling MP. 2016. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population. *Toxicol. Rep*. (3): 544-551.
- Maciel N, Piló F, Freitas L, Gomes F, Johann S, Nardi R, Lachance MA and Rosa C. 2013. The diversity and antifungal susceptibility of the yeasts isolated from coconut water and reconstituted fruit juices in Brazil. *Int J Food Microbiol*. 160(3): 201-205.
- Mohpraman K and Siriphanich J. 2012. Safe use of sodium metabisulfite in young coconuts. *Postharvest Biol. Technol*. (65): 76-78.
- Treesuwan K, Tongkhao K, Tongchitpakdee S, Jirapakkul W, Khan RM and Chonhenchob V. 2018. Distribution of microorganisms and quality changes of commercial trimmed aromatic coconut. *Italian J Food Sci*. 30(5): 105-109.
- Yong JW, Ge L, Ng YF and Tan SN. 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. *Molecules*. 14(12): 5144-5164.

แคลเซียมจากผัก

Calcium in vegetables

วาสนา นาราศรี (Wassana Narasri)

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ (Department of Nutrition and Health)

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Institute of Food Research and Product Development)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกาย มีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มความหนาแน่นให้กับกระดูก และฟันมีความแข็งแรง อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด การแข็งตัวของเม็ดเลือด ร่างกายจึงควรได้รับแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมต่อวัน และปริมาณสูงสุดที่รับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับเพศ อายุ และกิจกรรมของชีวิต เช่น ผู้ที่อยู่ในช่วงวัยทำงานควรได้รับแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อวัน ผู้ที่ตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตรที่มีอายุอยู่ในช่วง 14-18 ปี และผู้ที่มีอายุมากกว่า 19 ปี ควรได้รับแคลเซียม 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน และ 800 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ในสภาวะที่ร่างกายขาดแคลเซียมจะทำให้เสี่ยงในการเกิดโรคกระดูกพรุน รวมถึงการเกิดโรคข้ออักเสบและข้อเข่าเสื่อม ซึ่งเป็นผลมาจากกระดูกมีความหนาแน่นลดลง อย่างไรก็ตามร่างกายควรได้รับแคลเซียมจากอาหารเป็นหลัก แต่ถ้าร่างกายได้รับไม่เพียงพอตามเกณฑ์ที่กำหนดสามารถเสริมด้วยแคลเซียมเม็ด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมกลูโคเนท เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีผลข้างเคียงทำให้เกิดท้องอืด ท้องผูก ส่งผลต่อการดูดซึมของธาตุเหล็กและสังกะสี สำหรับการได้รับแคลเซียมมากเกินไปทำให้มีปริมาณแคลเซียมสูงในปัสสาวะ จึงมีความเสี่ยงที่จะ

เกิดนิ่วในไต ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่รับได้ต่อวันมาจากอาหารและแคลเซียมเม็ด โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน

ตารางที่ 1 ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำต่อวัน (Thai DR) และปริมาณสูงสุดของแคลเซียมที่รับได้

อายุ	เพศ	ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำต่อวัน (มิลลิกรัม/วัน)	ปริมาณแคลเซียมสูงสุดที่รับได้ (มิลลิกรัม/วัน)
ทารก			
0-5 เดือน	ชายและหญิง	210	1,000
6-11 เดือน	ชายและหญิง	260	1,500
เด็ก			
1-3 ปี	ชายและหญิง	500	2,500
4-8 ปี	ชายและหญิง	800	2,500
9-18 ปี	ชายและหญิง	1,000	3,000
19-50 ปี	ชายและหญิง	800	2,500
มากกว่า 51 ปี	ชายและหญิง	1,000	2,000
ผู้หญิงตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร			
14-18 ปี		1,000	3,000
19-50 ปี		800	2,500

ที่มา: สำนักโภชนาการ, 2563

แคลเซียมจากผัก

แหล่งของแคลเซียมพบได้ในนม ผลิตภัณฑ์จากนม ถั่วเมล็ดแห้ง งา กุ้งแห้ง ปลาตัวเล็ก นอกจากนี้ยัง

พบว่า ผักหลายชนิดที่มีแคลเซียมสูงและเป็นที่ยอมรับโดยคนกันอย่างแพร่หลาย โดยร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี เช่น คื่นช่าย ตำลึง กวางตุ้ง ชีเหล็ก ถั่วพู บวบก ผักเคลหรือคะน้า ใบหยัก คื่นฉ่าย แต่ยังมีผักบางชนิดที่นอกจากมีปริมาณแคลเซียมสูงพบว่ามีออกซาเลตสูง จึงทำให้ร่างกายนำแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง เนื่องจากออกซาเลตมีผลต่อการยับยั้งการดูดซึมแคลเซียมของร่างกาย ผักในกลุ่มนี้ได้แก่ กระเพรา ผักบุ้งจีน ชะพลู ใบยอ ผักแพ้ว ผักกระเฉด เป็นต้น โดยมีปริมาณออกซาเลตดังแสดงในตารางที่ 2 การนำผักมาปรุงอาหารด้วยวิธีการต้มหรือลวกสามารถลดปริมาณของออกซาเลตได้ในบางส่วน (Oscarsson and Savage, 2007) ส่วนผักที่บริโภคเป็นผักสดจึงมีปริมาณออกซาเลตไม่ลดลง

ตารางที่ 2 ปริมาณของแคลเซียมและออกซาเลตในผักบางชนิด

ผัก	ปริมาณ	ปริมาณ
	แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ออกซาเลต (มิลลิกรัม/100 กรัม)
คะน้า	245.0	7.5
ตำลึง	126.0	8.0
ใบบวบก	146.0	7.5
คื่นช่าย	93.0	7.7
กวางตุ้ง	11.0	154.0
ใบชะพลูสด	601.0	700.0
ผักแพ้วสด	573.0	853.0
กระเพรา	25.0	263.3
กระเฉด	387.0	506.0
ชะมวง	27.0	536.6
ผักบุ้งจีน	57.5.0	57.5
ใบยอ	469.0	387.6

ที่มา: ดัดแปลงจากกองโภชนาการ, 2547, นฤมล, 2014. Kamchan *et al.*, 2004, Oscarsson and Savage, 2007 และ USDA Agricultural Research Service

ปัจจัยที่ส่งผลให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้ดี

- วิตามินดี ทำให้มีการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสผ่านลำไส้เล็กได้มากขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ร่างกายได้รับวิตามินดีจากแสงแดด และบางส่วนได้รับจากอาหาร เช่น ปลาแซลมอน น้ำมันตับปลา
- อาหารประเภทโปรตีน กระตุ้นให้เกิดการหลั่งกรดจากกระเพาะ จึงทำให้การดูดซึมแคลเซียมดีขึ้น
- ผักและผลไม้ที่ออกซาเลตสูงไม่ควรรับประทานมากเกินไป และผักบางชนิดควรนำไปทำให้สุกด้วยการลวกหรือต้มเพื่อให้ปริมาณออกซาเลตลดลง

บทสรุป

ผักหลายชนิดนอกจากเป็นแหล่งของแคลเซียม ยังพบว่ามีออกซาเลตสูง ซึ่งออกซาเลตมีผลต่อการยับยั้งการดูดซึมแคลเซียมของร่างกาย ดังนั้นผักที่มีออกซาเลตสูงจึงไม่ควรรับประทานมากเกินไป และควรนำไปทำให้สุกเพื่อลดปริมาณออกซาเลตลง โดยขอแนะนำเมนูเพื่อสุขภาพจากผักและสมุนไพรที่เป็นแหล่งของแคลเซียม สามารถทำเองได้ง่ายคือ ข้าวย่ำสมุนไพร และราดหน้าทะเล

ข้าวย่ำสมุนไพร



ส่วนผสม (สำหรับ 2 เสิร์ฟ)

ข้าวสวย	1	ถ้วยตวง
ถั่วฝักยาว แคร้รอต	อย่างละ 1/2	ถ้วยตวง
แตงกวา ถั่วงอก		

มะม่วงเปรี้ยว	1/4	ถ้วยตวง
ใบชะพลู	1/2	ถ้วยตวง
ตะไคร้	1/4	ถ้วยตวง
ใบมะกรูด	2	ช้อนโต๊ะ
พริกไทยอ่อน	2	ช้อนชา
มะพร้าวคั่ว กุ้งแห้งป่น	อย่างละ 2	ช้อนโต๊ะ
น้ำข้าวต้ม	1/2	ถ้วยตวง
น้ำมะนาว	2	ช้อนโต๊ะ
พริกป่น	1/2	ช้อนชา

วิธีทำ

- ล้างผักสดต่าง ๆ ให้สะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นหรือซอย พักไว้
- จัดเสิร์ฟโดยนำข้าวสวย ผักสด สมุนไพร กุ้งแห้งป่น มะพร้าวคั่วใส่จาน พร้อมด้วยน้ำข้าวต้ม น้ำมะนาว และพริกป่น

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อเสิร์ฟ 150 กรัม)

พลังงาน	218.3	กิโลแคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	37.3	กรัม
โปรตีน	7.6	กรัม
ไขมัน	4.1	กรัม
แคลเซียม	87.4	มิลลิกรัม

ราดหน้าทะเล



คำสำคัญ: แคลเซียมจากผัก ออกซาเลต

Keywords: calcium in vegetables, oxalate

ส่วนผสม (สำหรับ 2 เสิร์ฟ)

เส้นหมี่แช่น้ำ	100	กรัม
ซีอิ๊วดำ	1	ช้อนชา
ผักคะน้า	100	กรัม
น้ำมันพืช	1	ช้อนโต๊ะ
กระเทียม	1	ช้อนชา
ปลาหมึก	1/2	ถ้วยตวง
กุ้ง	1/2	ถ้วยตวง
เต้าเจี้ยว	1/2	ช้อนชา
น้ำปลา	1	ช้อนชา
ซีอิ๊วขาว	1/2	ช้อนชา
น้ำมันหอย	1	ช้อนชา
น้ำตาลทราย	1/2	ช้อนชา
พริกไทยป่น	1/4	ช้อนชา
น้ำสต็อก	1½	ถ้วยตวง
แป้งมันสำปะหลัง	2	ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

- นำเส้นหมี่คลุกเคล้ากับซีอิ๊วดำ แล้วนำไปผัดกับน้ำมันพืชให้ร้อน จัดใส่ภาชนะพักไว้
- ลวกผักคะน้าและจัดใส่จาน
- เจียวกระเทียมกับน้ำมันพืชจนหอม ใส่ปลาหมึกและกุ้งลงผัด เติมเครื่องปรุงรส และน้ำสต็อก
- ละลายแป้งมันกับน้ำเล็กน้อย เทใส่น้ำราดหน้า ขณะเดือด คนให้เข้ากันจนแป้งสุก
- จัดเสิร์ฟโดยนำเส้นหมี่และผักคะน้าลวกใส่จาน พร้อมน้ำราดหน้า

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อเสิร์ฟ 300 กรัม)

พลังงาน	231	กิโลแคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	24.4	กรัม
โปรตีน	18.3	กรัม
ไขมัน	6.4	กรัม
แคลเซียม	131.1	มิลลิกรัม

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2547. ปริมาณแคลเซียมในอาหารไทย. <http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/file/CALCIUM%20ART.pdf> [4 เมษายน 2563].
- นฤมล ผิวเนียน. 2557. ผลึกแคลเซียมออกซาเลตและปริมาณออกซาเลตในพืชผักบางชนิดในจังหวัดหนองคาย. วารสาร วิทย. มข. 42(4): 820-829.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. กรดออกซาลิก. <http://www.shorturl.at/belq5> [4 เมษายน 2563].
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2563. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. <http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/dri2563.pdf> [4 เมษายน 2563].
- Kamchan A, Puwastien P, Sirichakwal PP and Kongkachuichai R. 2004. *In vitro* calcium bioavailability of vegetables, legumes and seeds. J Food Compos Anal. 17: 311-320.
- Oscarsson KV and Savage GP. 2007. Composition and availability of soluble and insoluble oxalates in raw and cooked taro (*Colocasia esculenta* var. Schott) leaves. Food Chem. 101: 559-562.
- United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Nutrient Database for Standard Reference. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/nutrients/index>. [4 เมษายน 2563].

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

อาหาร เป็นวารสารของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำหนดออกทุก 3 เดือน วัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่วิทยาการและเสนอข่าวสารด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและโภชนาการ ส่งเสริมการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมากขึ้น และเป็นสื่อกลางด้านธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารระหว่างผู้ผลิต ผู้ประกอบการ ผู้บริโภคและหน่วยงานของรัฐ วารสารนี้เผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์

การส่งบทความ ขอให้ส่งบทความต้นฉบับในรูปแบบไฟล์ .doc หรือ .docx และไฟล์ .pdf ทาง e-mail: fic.ifrpd@gmail.com หรือซีดีข้อมูล มาที่ นางสาวมณฑาทิพย์ ธรรมนิติโชค สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตู้ ปณ. 1043 ปท. เกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10903

เรื่องที่คุณเขียนจะส่งมาพิมพ์ในวารสารแยกเป็น 2 ประเภท

1. บทความวิจัย (Research article)

- 1.1 Research article: เป็นงานเสนอผลการวิจัย ที่ผู้เขียนและคณะเป็นผู้ดำเนินการศึกษาวิจัย
- 1.2 Review article: บทความลักษณะการรวบรวมและทบทวนวรรณกรรม รวมถึงการวิเคราะห์สังเคราะห์ข้อมูล และนำเสนออภิปรายผลการทบทวนวรรณกรรม

2. บทความ (Article)

- 2.1 บทความวิชาการ เป็นบทความทางวิชาการที่รวบรวมข้อมูล ความคิดเห็น และประสบการณ์ของผู้เขียน
- 2.2 บทความอื่น ๆ เช่น บทความวิเคราะห์ บทความเชิงวิชาการ บทความเชิงสารคดี (Feature) บทความ ความเรียง เป็นต้น

การเตรียมต้นฉบับบทความวิจัยเพื่อลงพิมพ์ในวารสารอาหาร

1. ต้นฉบับบทความวิจัย ควรพิมพ์บนกระดาษขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียวความยาวประมาณ 25 บรรทัดต่อหน้า มีความยาวทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้าพิมพ์ และตัวอักษรควรใช้ Font TH Sarabun PSK ขนาด 16 ระยะห่างบรรทัด 1.15
2. ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและอังกฤษ ควรกะทัดรัดและตรงกับเนื้อเรื่อง ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ขึ้นต้นตัวแรกเท่านั้น ตัวอักษรอื่นใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ
3. ชื่อผู้เขียน (Author) และสถานที่ทำงาน ให้ระบุภาษาไทยและอังกฤษ
4. บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการสรุปสาระสำคัญภาษาไทยและภาษาอังกฤษของเรื่อง โดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผล ไม่ควรเกิน 200 คำ
5. คำสำคัญ (Keywords) ให้กำหนดคำศัพท์ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ 2-5 คำศัพท์ โดยใช้คำภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีความหมายตรงกัน คำอังกฤษที่ไม่มีคำแปลภาษาไทย อาจใช้คำทับศัพท์ เช่น อัลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นต้น และโปรดตรวจสอบหลักการเขียนคำทับศัพท์จากราชบัณฑิต คำภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

6. เนื้อหา (Text) ควรประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

- 6.1 บทนำ (Introduction) เพื่ออธิบายถึงปัญหาและวัตถุประสงค์ อารวมการตรวจเอกสาร (literature review) เข้าไว้ด้วย
- 6.2 อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and method) ประกอบด้วยวัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือ และวิธีการที่ใช้ในการทดลอง
- 6.3 ผลการทดลอง (Result) เป็นการเสนอผลการทดลอง ถ้ามีตาราง กราฟ แผนภูมิ หรือรูปภาพ ให้เขียนคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ
- 6.4 วิจารณ์ (Discussion) เป็นการวิจารณ์ผลการทดลองให้เห็นถึงสาเหตุ ที่มาของผล หลักการที่แสดงถึงผลการทดลอง ทั้งนี้สามารถรายงานผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลองรวมกันได้ โดยใช้หัวข้อ ผลการทดลองและวิจารณ์ (Result and discussion)
- 6.5 สรุป (Conclusion) เป็นการสรุปสาระสำคัญและแนวทางที่จะนำผลไปใช้ประโยชน์ รวมถึงคำแนะนำเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยในอนาคต
- 6.6 ในกรณีบทความเป็นภาษาไทย คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า **ตารางที่** เช่น **ตารางที่ 1** ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลาทะเลและปลาน้ำจืดไทย คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า **รูปที่** เช่น **รูปที่ 1** ปฏิกริยาการเกิดสารไนโตรซามีน และระบุ **ที่มา:** ของตารางและรูป เนื้อหาในตารางและรูป สามารถใช้ภาษาอังกฤษได้ ในกรณีที่บทความเป็นภาษาอังกฤษ คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า **Table** เช่น **Table 1** Effect of ... คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า **Figure** เช่น **Figure 1** Effect of ... และระบุ **Source:**
อ้างอิงข้อมูลในตารางและรูปภาพ ให้ระบุชื่อผู้แต่งไว้นอกวงเล็บ และระบุปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บตรงที่มาใต้ตารางและรูปภาพดังนี้
ที่มา: ช่อฟ้า และคณะ (2550) **ที่มา:** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)
ที่มา: Alexandre and Dubois (2000) **ที่มา:** Gonzales *et al.* (2005)
Source: Burr *et al.* (2009)
Source: The Graduate School Kasetsart University (2009)
- 6.7 คำภาษาอังกฤษที่ใช้บรรยายในเนื้อความให้ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ คำย่อ ถ้าคำภาษาอังกฤษในตาราง ให้ใช้ตัวอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่เท่านั้น ตัวอักษรอื่น ๆ ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ
- 6.8 กรณีที่มีการอ้างอิงในเนื้อความเพื่อระบุแหล่งที่มาของข้อมูล ให้ใช้รูปแบบดังนี้
 - 6.8.1 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่งคนเดียว มีรูปแบบดังนี้
ปาริฉัตร (2555) Fischer (2017)
..... (ปาริฉัตร, 2555) (Fischer, 2017)
 - 6.8.2 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่ง 2 คน มีรูปแบบดังนี้
ช่อฟ้า และ พรรณระพี (2547) Matsumoto and Take (1980)
..... (ช่อฟ้า และ พรรณระพี, 2547) (Matsumoto and Take, 2009)
 - 6.8.3 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่ 3 คน มีรูปแบบดังนี้
ปาริฉัตร และคณะ (2555) Fischer *et al.* (2017)
..... (ปาริฉัตร และคณะ, 2555) (Fischer *et al.*, 2017)

6.8.4 อ้างอิงเอกสารที่ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง ให้ใช้คำว่า นิรนาม สำหรับเอกสารภาษาไทย และคำว่า Anonymous สำหรับเอกสาร ภาษาอังกฤษ แทนชื่อผู้แต่งดังนี้

นิรนาม (2552) Anonymous (2009)

..... (นิรนาม, 2552) (Anonymous, 2009)

6.8.5 อ้างอิงเอกสารที่ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ ในตำแหน่งที่ต้องระบุปีที่พิมพ์ ให้ระบุ ม.ป.ป. สำหรับเอกสารภาษาไทยและ n.d. สำหรับเอกสารภาษาอังกฤษดังนี้

ช่อฟ้า (ม.ป.ป.) Kan (n.d.)

..... (พิชิต, ม.ป.ป.) (Kan, n.d.)

6.8.6 อ้างอิงหนังสือพิมพ์ กรณีอ้างข่าวทั่วไป ให้ระบุชื่อหนังสือพิมพ์และปีที่พิมพ์ดังนี้

ไทยรัฐ (2552) The New York Times (2010)

..... (ไทยรัฐ, 2552) (The New York Times, 2010)

6.8.7 อ้างอิงทรัพยากรสารสนเทศทางปัญญา ให้ระบุชื่อผู้จัดสิทธิบัตร และปีที่จดสิทธิบัตรดังนี้

พัชรี (2556) Fraser (2017)

..... (พัชรี, 2556) (Fraser, 2017)

7. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ที่ช่วยเหลือ แต่มิได้เป็นผู้ร่วมงานด้วย
8. เอกสารอ้างอิง (Reference) เป็นเอกสารที่ผู้เขียนได้อ้างไว้ในบทความ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านสามารถสืบค้นเอกสารที่มาได้ โดยให้เขียนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในหัวข้อ การเขียนเอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม
9. บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิล์ม สไลด์ รูปภาพ หรือไฟล์ข้อมูล รูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 200 จุดต่อนิ้ว
10. ชื่อวิทยาศาสตร์ หรือภาษาละตินที่ปรากฏในบทความให้พิมพ์ตัวเอน เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *et al.*, *in vitro* เป็นต้น

การเตรียมต้นฉบับบทความอื่น ๆ

1. ต้นฉบับ ควรพิมพ์บนกระดาษขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียวความยาวประมาณ 25 บรรทัดต่อหน้า มีความยาวทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้าพิมพ์ และตัวอักษรควรใช้ Font TH Sarabun PSK ขนาด 16 ระยะห่างบรรทัด 1.15
2. ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและอังกฤษ ควรกะทัดรัดและตรงกับเนื้อเรื่อง ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ขึ้นต้นตัวแรกเท่านั้น ตัวอักษรอื่นใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ
3. ชื่อผู้เขียน (Author) และสถานที่ทำงาน ให้ระบุภาษาไทยและอังกฤษ
4. เนื้อหา ประกอบด้วย คำนำ เนื้อเรื่อง และบทสรุป
 - 4.1 ในกรณีบทความเป็นภาษาไทย คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า ตารางที่ เช่น ตารางที่ 1 ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลาทะเลและปลาน้ำจืดไทย คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า รูปที่ เช่น รูปที่ 1 ปฏิกริยาการเกิดสารไนโตรซามีน และระบุ ที่มา: ของตารางและรูป เนื้อหาในตารางและรูปสามารถใช้ภาษาอังกฤษได้ ในกรณีที่เป็นภาษาอังกฤษ คำบรรยายเหนือตารางให้ใช้คำว่า Table เช่น Table 1 Effect of ... คำบรรยายใต้รูปให้ใช้คำว่า Figure เช่น Figure 1 Effect of ... และระบุ Source:

อ้างอิงข้อมูลในตารางและรูปภาพ ให้ระบุชื่อผู้แต่งไว้นอกวงเล็บ และระบุปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บ ตรงที่มาได้ตารางและรูปภาพดังนี้

ที่มา: ช่อฟ้า และคณะ (2550) ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

ที่มา: Alexandre and Dubois (2000) ที่มา: Gonzales *et al.* (2005)

Source: Burr *et al.* (2009)

Source: The Graduate School Kasetsart University (2009)

4.2 คำภาษาอังกฤษที่ใช้บรรยายในเนื้อความ ให้ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ คำย่อ ถ้าคำภาษาอังกฤษในตาราง ให้ใช้ตัวอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่เท่านั้น ตัวอักษรอื่น ๆ ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ยกเว้นคำเฉพาะ

4.3 กรณีที่มีการอ้างอิงในส่วนเนื้อหาเพื่อระบุแหล่งที่มาของข้อมูล ให้ใช้รูปแบบดังนี้

4.3.1 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่งคนเดียว มีรูปแบบดังนี้

ปาริฉัตร (2555) Fischer (2017)

..... (ปาริฉัตร, 2555) (Fischer, 2017)

4.3.2 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่ง 2 คน มีรูปแบบดังนี้

ช่อฟ้า และ พรรณระพี (2547) Matsumoto and Take (1980)

..... (ช่อฟ้า และ พรรณระพี, 2547) (Matsumoto and Take, 2009)

4.3.3 อ้างอิงเอกสารหนึ่งเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่ 3 คน มีรูปแบบดังนี้

ปาริฉัตร และคณะ (2555) Fischer *et al.* (2017)

..... (ปาริฉัตร และคณะ, 2555) (Fischer *et al.*, 2017)

4.3.4 อ้างอิงเอกสารที่ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง ให้ใช้คำว่า นิรนาม สำหรับเอกสารภาษาไทย และ คำว่า Anonymous สำหรับเอกสาร ภาษาอังกฤษ แทนชื่อผู้แต่งดังนี้

นิรนาม (2552) Anonymous (2009)

..... (นิรนาม, 2552) (Anonymous, 2009)

4.3.5 อ้างอิงเอกสารที่ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ ในตำแหน่งที่ต้องระบุปีที่พิมพ์ ให้ระบุ ม.ป.ป. สำหรับเอกสารภาษาไทยและ n.d. สำหรับเอกสารภาษาอังกฤษดังนี้

ช่อฟ้า (ม.ป.ป.) Kan (n.d.)

..... (พิชิต, ม.ป.ป.) (Kan, n.d.)

4.3.6 อ้างอิงหนังสือพิมพ์ กรณีอ้างข่าวทั่วไป ให้ระบุชื่อหนังสือพิมพ์และปีที่พิมพ์ดังนี้

ไทยรัฐ (2552) The New York Times (2010)

..... (ไทยรัฐ, 2552) (The New York Times, 2010)

4.3.7 อ้างอิงทรัพย์สินทางปัญญา ให้ระบุชื่อผู้จดสิทธิบัตร และปีที่จดสิทธิบัตรดังนี้

พัชรี (2556) Fraser (2017)

..... (พัชรี, 2556) (Fraser, 2017)

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

6. เอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม ให้เขียนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในหัวข้อ การเขียนเอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม

6.1 เอกสารอ้างอิง เป็นเอกสารที่ผู้เขียนได้อ้างไว้ในตัวบทความ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านสามารถไปค้นหามาได้

6.2 บรรณานุกรม เป็นเอกสารประกอบการเขียนบทความที่ไม่มีการอ้างอิงในตัวบทความโดยตรง ซึ่งผู้อ่านควรอ่านเพิ่มเติม

7. บทความควรมีภาพประกอบเป็นฟิล์ม สไลด์ รูปภาพ หรือไฟล์ข้อมูล รูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 200 จุดต่อนิ้ว

8. ชื่อวิทยาศาสตร์ หรือภาษาละตินที่ปรากฏในบทความให้พิมพ์ตัวเอน เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., et al., in vitro เป็นต้น

การเขียนเอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม สามารถเขียนได้ 2 แบบ คือ

1. เอกสารอ้างอิง เป็นเอกสารที่ผู้เขียนได้อ้างไว้ในบทความ ซึ่งผู้อ่านสามารถไปสืบค้นเอกสารที่มาได้
2. บรรณานุกรม เป็นเอกสารประกอบการเขียนบทความที่ไม่มีการอ้างอิงในตัวบทความโดยตรง ซึ่งผู้อ่านสามารถอ่านเพิ่มเติมเพื่อให้ทราบภูมิหลัง หรือเข้าใจบทความได้ละเอียดขึ้น

ก. การเรียงลำดับเอกสาร ไม่ต้องมีเลขกำกับ ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่ง หรือผู้รายงานตามตัวอักษร เริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

ข. การเขียนชื่อผู้เขียน เอกสารภาษาไทยให้ใช้ชื่อเต็ม โดยใช้ชื่อนำหน้า ตามด้วยชื่อสกุล ถ้าเป็นเอกสารภาษาต่างประเทศ ให้เขียนชื่อสกุลขึ้นก่อน ตามด้วยชื่ออื่น ๆ โดยชื่อสกุลให้เขียนเต็ม ส่วนชื่อต้นและชื่อกลางให้เขียนเป็นชื่อย่อใช้อักษรตัวแรกและไม่ต้องใส่จุดที่อักษรย่อ เอกสารอ้างอิงใดที่ไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ใช้ชื่อหน่วยงานขึ้นต้น หรือถ้าไม่มีชื่อหน่วยงาน ให้ใช้ชื่อเรื่องของบทความขึ้นต้นแทน

- ชื่อหน่วยงานขึ้นต้น

The Food Science Society of Australia and New Zealand. 2000. Food safety guidelines. J Aust. 164: 82-84.

- ชื่อเรื่องขึ้นต้น

Cancer in South Africa. 1994. S Afr J. 84: 15-20.

A Buddhist response. 1995. <http://www.cpc.psu.edu/> [21 June 2015].

ค. เอกสารอ้างอิงที่ไม่มีปีปรากฏ ในตำแหน่งที่ต้องระบุปีที่พิมพ์ ให้ระบุ ม.ป.ป. สำหรับเอกสารภาษาไทยและ n.d. สำหรับเอกสารภาษาอังกฤษ

อรพิน ชัยประสพ. ม.ป.ป. การกำจัดรสขมในน้ำผลไม้ จากพืชตระกูลส้ม. อาหาร 21(2): 87-93.

Holsinger VH and Klingerman AE. n.d. Application of lactase in dairy foods and other foods containing lactose. Food Tech. 45(1): 92-95.

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม มีดังนี้

1. วารสาร: ชื่อผู้แต่ง. ปีที่แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร. ปีที่(ฉบับที่): หน้าที่ใช้อ้างอิง.
(ชื่อวารสารภาษาอังกฤษให้ใช้ชื่อย่อและใส่จุด พิมพ์ด้วยอักษรตัวตรง)

ภาษาไทย:

อรพิน ชัยประสพ. 2534. การกำจัดรสขมในน้ำผลไม้ จากพืชตระกูลส้ม. อาหาร 21(2): 87-93.

ภาษาอังกฤษ:

Holsinger VH and Klingerman AE. 1991. Application of lactase in dairy foods and other foods containing lactose. Food Tech. 45(1): 92-95.

2. หนังสือ: ชื่อผู้แต่ง. ปีที่แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี). สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์. หน้า.
(หากใช้หนังสืออ้างอิงทั้งเล่มไม่ต้องระบุจำนวนหน้า)

ภาษาไทย:

จรัญ จันทลักษณ์ และ อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. 2535. สถิติเบื้องต้นแบบประยุกต์. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพมหานคร. หน้า 30-35.

ภาษาอังกฤษ:

Talek L and Graham HD. 1983. Leaf protein concentrates. The AVI Publishing Company. Inc. Westport. Connecticut. p. 84-88.

Phillips SJ and Whisnant JP. 1995. Hypertension and stroke. In: Laragh JH and Brenner BM. (eds.) Hypertension: pathophysiology, diagnosis, and management. 2nd ed. Raven Press. New York. p. 465-478.

3. รายงานการวิจัย/ประชุมวิชาการ: ชื่อผู้แต่ง. ปีที่แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อรายงาน/เอกสารการประชุมวิชาการ. สถาบัน. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์. หน้า.

ภาษาไทย:

ข้อฟ้า ทองไทย และ อัมพร ศรีสุทธิพิฤกษ์. 2532. การเกิดผลึกของกรดอะมิโนไทโรซีน ในน้ำปลา. การประชุมวิชาการของชมรมเทคโนโลยีชีวภาพ ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. หน้า 60-65.

ภาษาอังกฤษ:

Bengtsson S and Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security in medical informatics. In: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE and Richhoff O. (eds.) Proceedings of the 7th World Congress, 6-10 September 1992, Geneva, Switzerland. p. 61-65.

4. รูปแบบอิเล็กทรอนิกส์

- 4.1 งานเขียนรายบุคคล: ชื่อผู้แต่ง/ บรรณาธิการ. ปีที่แต่ง. ชื่อเรื่อง. <http://...> [วันเดือนปีที่ค้นข้อมูล].

ภาษาไทย:

พิมพ์พรรณ พิทยานุกุล. 2543. วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ. <http://www.lib.buu.ac.th> [16 กันยายน 2558].

ผลิตภัณฑ์ได้วางแขนอันตรา. 2546. http://www.kalathai.com/think/view_hot?article_id=16 [20 มิถุนายน 2558].

ภาษาอังกฤษ:

Prizker TJ. 1990. An early fragment from Central Nepal. [http:// www. ingress.com/ ~ astanart/pritzker/pritzker.html](http://www.ingress.com/~astanart/pritzker/pritzker.html) [8 June 2015].

4.2 วารสาร: Author. year. Title. Journal title. volume (issue). paging or indicator of length. Site/Path/File [Access date].

ตัวอย่าง:

Inada K. 1995. A buddhist response to the nature of human right. J Bud Ethics. [http:// www .cpc.psu.edu/jbe/twocont.html](http://www.cpc.psu.edu/jbe/twocont.html) [21 June 2015].

4.3 นิตยสาร: Author. Year. Title. Magazine Title. volume (if given). paging or indicator of length. Site/Path/File [Access date].

ตัวอย่าง:

Viviano F. 1995. The new mafia order. Mother Jones Magazine. [http:// www. mojones. com.MOTHER JONES/MJ 95/viviano.html](http://www.mojones.com.MOTHER JONES/MJ 95/viviano.html) [17 July 2015].

4.4 จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: Sender. E-mail address. date month year. Subject of Message. E-mail to recipient (Recipient E-mail address).

ตัวอย่าง:

Day M. MDAY@sage.uvm.edu. 30 July 1995. Review of film – bad lieutenant. E-mail to Xia L. (XLI@moose.uvm.edu).

5. ทรัพย์สินทางปัญญา

ผู้จดสิทธิบัตร. ปีที่จดสิทธิบัตร. ชื่อสิ่งประดิษฐ์. ประเทศที่จดสิทธิบัตร หมายเลขของสิทธิบัตร.

ตัวอย่าง

พัชรี ตั้งตระกูล. 2556. โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากข้าวกล้องงอก. เลขที่ 8776.

Fraser R, Brown PO, Karr J, Holz-Schietinger C and Cohn E. 2017. Methods and compositions for affecting the flavor and aroma profile of consumables. U.S. Patent No. 9,700,067.

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



หมายเหตุ:

1. ข้อมูล ทรยศนะ และข้อความใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารอาหาร เป็นของผู้เขียนหรือเจ้าของต้นฉบับเดิม โดยเฉพาะ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย
2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์แก้ไขเรื่องที่จะลงพิมพ์ทุกเรื่องในกรณีที่เป็น ต้นฉบับที่แก้ไขแล้วจะแจ้งไปยังผู้เขียนเพื่อความเห็นชอบอีกครั้ง
3. แจ้งเบอร์โทรศัพท์ หรือ e-mail เพื่อติดต่อ เมื่อบทความได้เข้าสู่กระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารอาหาร
4. หากมีการละเมิดสิทธิ์ใด ๆ โดยคณะผู้เขียน คณะผู้เขียนจะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว