

ภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร (OVERVIEW ON TEXTURE OF AGRICULTURAL PRODUCE AND FOOD)

*ปานมนัส ศิริสมบุญ¹

¹หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: ปานมนัส ศิริสมบุญ อีเมล : kspanman@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ภาพรวมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาและวิจัยทางด้านนี้ ในแง่มุมต่างๆ ได้แก่ การทดสอบเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารเชิงวัตถุวิสัยรวมถึงการทดสอบโดยไม่ทำลาย การรับรู้เนื้อสัมผัสและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร แบบจำลองเชิงกลของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร การประยุกต์ใช้ทริบอโลยีในการศึกษากระบวนการรับประทาน ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารและการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารบางชนิด ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร

คำสำคัญ: เนื้อสัมผัส ผลิตผลทางการเกษตร อาหาร

OVERVIEW ON TEXTURE OF AGRICULTURAL PRODUCE AND FOOD

*Panmanas Sirisomboon¹

¹Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand

Corresponding author: Panmanas SIRISOMBOON. E-mail: kspanman@kmitl.ac.th

ABSTRACT

The overview on the texture of agricultural produce and food covers several views of study and researches including texture objective testing and non-destructive test, food texture perception and assessment, mechanical modeling of agricultural produce and food, application of tribology on oral process, factors affected food texture and improvement of some food texture quality, and relationship between microstructure and texture of agricultural produce and food.

Keywords: Texture; Agricultural Produce; Food

1. บทนำ

เนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการรับประทานขณะเคี้ยว รู้รู้ได้ภายในปากเป็นส่วนใหญ่ สมบัติเนื้อสัมผัสต่างๆ ถูกรับรู้ภายในปากขณะรับประทานโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารแข็งหรือกึ่งแข็ง จะถูกทำให้ฉีกขาด บด และผสมกับน้ำลาย คลุกเคล้ากัน แล้วกลืนลงไป ซึ่งเป็นการรับรู้ที่แตกต่างกันไปแต่ละบุคคล จึงมีอคติสูงเนื่องจากเป็นสมบัติที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค กระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงมีการศึกษา

และวิจัยทางด้านนี้ในแง่มุมต่างๆ ได้แก่ การทดสอบเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารเชิงวัตถุวิสัยรวมถึงการทดสอบโดยไม่ทำลาย การรับรู้เนื้อสัมผัสและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร แบบจำลองเชิงกลของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร การประยุกต์ใช้ทริบอโลยีในการศึกษากระบวนการรับประทาน ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารและการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารบางชนิด ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร

2. การทดสอบเนื้อสัมผัสของผลผลิตการเกษตรและอาหารเชิงวัตถุวิสัยรวมถึงการทดสอบโดยไม่ทำลาย

เนื่องจากมีความต้องการแสดงค่าเนื้อสัมผัสให้เป็นเชิงตัวเลขจึงมีการประดิษฐ์เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของวัสดุเชิงวัตถุวิสัยขึ้นในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องกับชนิดของวัสดุ เช่น เครื่องตรวจวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) ซึ่งมีหัววัดในลักษณะต่างๆซึ่งจำลองตามลักษณะการรับแรงของวัสดุ ริโอมิเตอร์ (Rheometer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางวิทยากระแส ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับสมบัติทางเนื้อสัมผัส เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) มีการนำเครื่องวัดเหล่านี้ใช้ในการวิจัยและในการวัดค่าเนื้อสัมผัสในโรงงานแปรรูปอาหาร

เครื่องตรวจวัดเนื้อสัมผัส มีหลายการทดสอบที่นิยม เช่น การทดสอบแบบเจาะ (Puncture test หรือ Penetration test) การทดสอบแบบกดโดยใช้หัววัดแบบแผ่นแบน (Flat plate compression test) ซึ่งยังแบ่งออกเป็น การทดสอบการกดด้วยแผ่นแบนแบบง่าย (Simple compression test) การทดสอบการกดแบบง่ายและการทดสอบแบบคืนรูปพร้อมกัน (Simple compression test and recovery test) การทดสอบแบบวัฏจักร (Cycle load test) การทดสอบแบบคลายความเค้น (Relaxation test) การทดสอบแบบคืบ (Creep test) การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัด (Instrumental Texture Profile Analysis, ITPA) การทดสอบแบบเฉือน (Shear test) ซึ่งแบ่งเป็น การทดสอบการเฉือนแบบใบมีดธรรมดาหรือกิลโลดิน การทดสอบการเฉือนแบบวอร์เนอร์บราทซ์เลอร์ (Warner Bratzler shear test) การทดสอบการเฉือนแบบเครเมอร์ (Kramer shear test) การทดสอบแบบดึง (Tensile test) การทดสอบแบบผลัดดัน (Extrusion test) การทดสอบแบบยึด (Adhesion test) มีการใช้เครื่องตรวจวัดเนื้อสัมผัสประกอบกับระบบฟังและบันทึกสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นขณะตัวอย่างเปลี่ยนแปลงรูปร่างขณะรับแรง (Acoustic emission) ส่วนการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารโดยวิธีไม่ทำลายก็มีหลายวิธีเช่นกัน เช่น เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy) เทคนิคการตอบสนองต่อแรงกระทบด้วยมวลขนาดเล็ก (Low mass impact response technique) เทคนิคการตอบสนองการกระทบทางเสียง (Acoustic impulse response technique) บางทีเรียกว่า Acoustic impact เทคนิคคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic) นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR)

สำหรับริโอมิเตอร์ นิยมใช้การทดสอบแบบการคืบและการคืนรูป ซึ่งบ่งบอกพฤติกรรมของวัสดุแบบวัสดุยืดหยุ่นหนืดหรือวัสดุหนืดได้ ซึ่งสามารถหาจากฟังก์ชันอัตราส่วนการคืบ (Creep

compliance function) เพอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และเปอร์เซ็นต์การคืนรูปสุดท้าย (Final percentage recovery) นอกจากนี้ยังมีการคำนวณดัชนีความยืดหยุ่นหนืดด้วย

เครื่องวัดความหนืดใช้กับของเหลว นอกจากจะบ่งบอกค่าความหนืดแล้วบางประเภทยังสามารถช่วยให้การวิเคราะห์พฤติกรรมนิวโตเนียน (Newtonian behavior) และพฤติกรรมนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian behavior) เป็นไปได้อีกด้วย โดยทำให้หาค่าดัชนีความคงตัว (Consistency index) และ ดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index) ของของเหลว

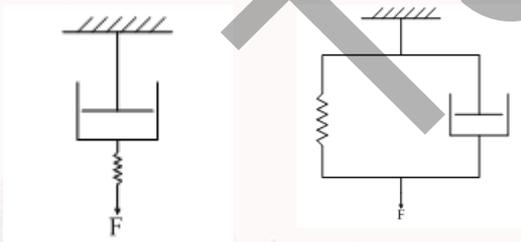
รายละเอียดของเนื้อหาเหล่านี้สามารถอ่านได้จากตำราเรื่องเทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตการเกษตรและอาหาร เขียนโดย ปานมนัส ศิริสมบุญ

3. การรับรู้เนื้อสัมผัสและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร

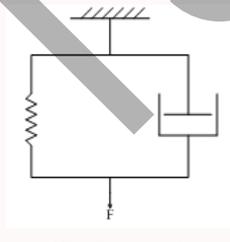
การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory test) เป็นการตรวจรูสมบัติต่างๆของอาหารโดยคน (คณะผู้ชิม) เป็นการแสดงความรู้สึกทางประสาทสัมผัสทาง รูป รส กลิ่น เสียง สัมผัส กรณีสัมผัสเนื้อสัมผัส ได้แก่ สัมผัส และ เสียงเท่านั้น สามารถรับรู้และถ่ายทอด ความรู้สึกภายในปากอย่างเป็นจริง แต่ขาดความแม่นยำ เนื่องจากมีอคติและความแปรปรวนเนื่องจากความแตกต่างระหว่าง คน (ผู้ชิม) วัน เวลา เป็นต้น ต้องการการฝึกหัดเพื่อให้มีความแม่นยำเสมือนเป็นเครื่องมือวัด เมื่อใช้คณะผู้ชิมที่มีจำนวนคนเพียงพอที่ได้รับการฝึกอย่างตืออย่างเดียวกัน ชิมอาหารชนิดเดียวกัน จะได้ผลค่าตอบใกล้เคียงกัน หรือเมื่อให้คณะผู้ชิมคณะเดียวกันชิมอาหารชนิดเดียวกัน ที่เวลาต่างกัน แม้เป็นเวลานานก็ได้รับคำตอบใกล้เคียงกันวิธีทางประสาทสัมผัสจึงเป็นวิธีสำคัญในการเปรียบเทียบเครื่องวัดเนื้อสัมผัสกับการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของคน อาหารต่างชนิดที่ไม่คล้ายกันไม่สามารถประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสเหมือนกันได้ ค่าต่างๆ ที่ใช้บอกความรู้สึกในขณะรับประทานทางด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไป เช่น กรณีเนื้อสัมผัสของขนมปัง[1] ใช้คำดังต่อไปนี้ ความนุ่ม (Softness) พื้นที่อ่อนนุ่ม (Soft center area) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความแข็ง (Hardness) ระดับการแตก (Crumbliness) การเกาะตัวกันเอง (Cohesiveness) กรณีไอศกรีม[2] ใช้คำดังต่อไปนี้ ระดับความเย็น (Intensity of coldness) ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความหนืด (Viscosity) ความละเอียดของเนื้อ (Degree of smoothness) ระดับการเคลือบภายในปาก (Mouth coating)

4. แบบจำลองเชิงกลของผลผลิตการเกษตรและอาหาร

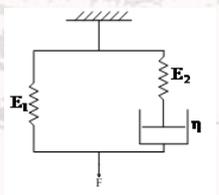
แบบจำลองเชิงกล คือ สิ่งที่จำลองขึ้นเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงกลของวัสดุที่กำลังศึกษา การเปลี่ยนแปลงเชิงกลในกรณีเนื้อสัมผัส คือ การเปลี่ยนแปลงการตอบสนองต่อแรง (ความเค้น หรือ ความเครียด) ตามเวลา แบบจำลองเชิงกลแสดงในสองลักษณะที่สมมูลกัน คือในรูปองค์ประกอบพื้นฐานทางวิศวกรรม และในรูปสมการ ตัวอย่างเช่นของแข็งในอุดมคติหรือวัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์ แทนด้วยรูปสปริง และมีสมการที่อธิบายที่สอดคล้องกัน ของเหลวในอุดมคติแทนด้วยรูปแดชพ็อตและมีสมการที่อธิบายที่สอดคล้องกัน เป็นต้น กรณีของผลผลิตเกษตรและอาหารโดยมากมีเนื้อที่ประกอบด้วยของแข็งและของเหลวอยู่ร่วมกัน เรียกว่าวัสดุยืดหยุ่นหนืด (Visco-elastic material) และมีพฤติกรรมที่ซับซ้อน จำเป็นต้องใช้แบบจำลองที่มีองค์ประกอบหลายลักษณะต่อกันเพื่ออธิบายพฤติกรรมเชิงกลโดยมีองค์ประกอบพื้นฐาน คือ สปริงและแดชพ็อตต่อกันในหลายลักษณะ แบบจำลองเหล่านี้ ได้แก่ แบบจำลองแบบแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) (รูปที่ 1ก) แบบจำลองแบบเคลวิน-วอยท์ (Kelvin-Voigt model) (รูปที่ 1ข) แบบจำลองแบบของแข็งเชิงเส้นมาตรฐาน (Standard linear solid model) (รูปที่ 1ค) แบบจำลองแบบเบอร์เกอร์ส (Burgers model) (รูปที่ 1ง) แบบจำลองแมกซ์เวลล์แบบทั่วไป (Generalized Maxwell model) (รูปที่ 1จ) และแบบจำลองแบบเคลวิน-วอยท์ทั่วไป (Generalized Kelvin-Voigt model) (รูปที่ 1ฉ)



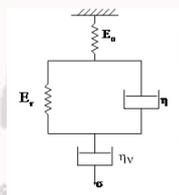
ก.



ข.



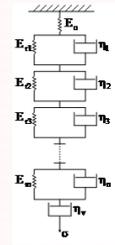
ค.



ง.



จ.



ฉ.

รูปที่ 1 แบบจำลองเชิงกล

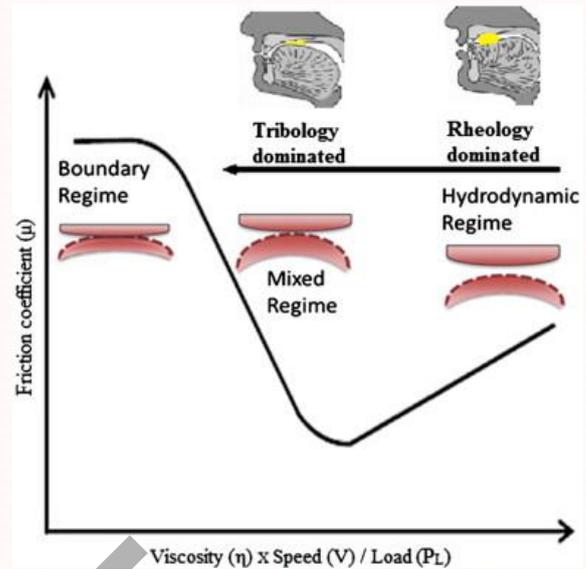
การกำหนดชนิดแบบจำลองของวัสดุเกษตรและอาหารนั้นทำได้โดยทดลองให้แรง (แรงกดหรือแรงดึง) กรณีทดสอบแบบคลายความเค้น จะบังคับให้ความเครียดคงที่แล้ววัดแรงที่ลดลงเนื่องจากการคลายความเค้น และวัดพื้นที่รับแรง (ซึ่งกรณีนี้คงที่) เพื่อคำนวณหาความเค้นที่เปลี่ยนตามเวลา นำข้อมูลความเค้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาที่สอดคล้องกันมาสร้างสมการที่มีรูปตามแบบจำลองแมกซ์เวลล์โดยใช้วิธีสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่ของสมการ กรณีทดสอบแบบคืบ จะบังคับให้ความเค้นคงที่ (มักจะเป็นความเค้นเฉือน) แล้ววัดความเครียดที่ลดลงเนื่องจากการคืบที่เปลี่ยนตามเวลา นำข้อมูลความเครียดที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาที่สอดคล้องกันมาสร้างสมการที่มีรูปตามแบบจำลองเคลวิน-วอยท์ โดยใช้วิธีสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่ของสมการเช่นเดียวกัน มีงานวิจัยที่ทำเพื่อวัตถุประสงค์นี้ เช่นแบ่งโคห์จากมันสำปะหลัง[3] ผลอินทผาลัม[4] เนยแข็ง[5]

5. การประยุกต์โทรโบโลยีในการศึกษากระบวนการรับประทาน

โทรโบโลยี (Tribology) เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวกับความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสองแผ่นและการหล่อลื่น มีการนำศาสตร์นี้มาประยุกต์ใช้กับการอธิบายพฤติกรรมของอาหารที่อยู่ระหว่างลิ้นกับเพดานปากขณะรับประทาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมบัติการหล่อลื่นและความเสียดทานของอาหาร สมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของอาหาร เช่น สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ และปัจจัยภายในช่องปาก เช่น ลักษณะผิวและกล้ามเนื้อของลิ้น กระพุ้งแก้ม และเพดาน องค์ประกอบและอัตราการไหลของน้ำลาย อุณหภูมิ ความดันที่ลิ้นและอาหารกระทำต่อเพดาน ความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่ของอาหาร

กราฟสไตรเบค (Stribeck curve)[6] เป็นกราฟที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวสัมผัสกับสมบัติรวมของวัสดุที่อยู่ระหว่างผิวนั้น การเคลื่อนที่และความดันในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส นั่นคือ ความหนืด (η , Pa

s) คุณกับความเร็วสัมผัสของผิวสัมผัส (v , m/s) และหารด้วยความดันในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส (N , Pa) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 โดยปกติแล้วจะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงขอบเขต (Boundary regime) ช่วงผสม (Mixed regime) และช่วงชลพลศาสตร์ (Hydrodynamic regime) สำหรับการอธิบายกราฟฟอสโตรเบค [7] สำหรับพฤติกรรมความเสียดทานของอาหารที่อยู่ระหว่างลิ้นและเพดานในช่องปากนั้น ช่วงขอบเขตเป็นลิ้นกับเพดานอยู่ค่อนข้างใกล้กัน มีการเคลื่อนที่ของอาหารเข้ามาช้าและมีความหนืดน้อย ช่วงผสมมีการเคลื่อนที่ของอาหารและความหนืดปานกลาง ช่วงชลพลศาสตร์มีการเคลื่อนที่ของอาหารและความหนืดสูง มีการหล่อลื่นสูง โดยพื้นผิวลิ้นและเพดานปากจะไม่ติดกัน ความเสียดทานเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษาไทโรโพลี Prakash et al.[6] ได้รายงานเกี่ยวกับไทโรโพลีที่สามารถวัด แรงต้านทานระหว่างผิวสัมผัสที่มีของไหลอยู่ระหว่างผิวสัมผัสเพื่อศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นที่สามารถจำลองกระบวนการภายในช่องปาก ทำให้ต้องมีการควบคุมความเร็วในการเลื่อนไถล หรือการหมุนระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผิวสัมผัส วัสดุที่นิยมใช้จำลองผิวของลิ้นได้แก่ โพลีไดเมทิลไซโลแซน (Polydimethylsiloxane, PDMS) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นคล้ายกับเครื่องมือวัดดังกล่าวได้แก่เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน (Friction tester) ระบบทางไทโรโพลีเชิงแสง (Optical tribological configuration) อุปกรณ์ไทโรโพลีแบบติดตั้งกับรีโอโลมิเตอร์ (Mounted tribological device) ไทโรโพลีเซลล์ (Tribology cell) เครื่องฉุดลากขนาดเล็ก (Mini-traction machine) เป็นต้น มีการทำวิจัยที่มุ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้เนื้อสัมผัสโดยวิธีประสาทสัมผัส เช่น ความเนียน (Smoothness) ความลื่น (Slipperiness) ความเป็นครีม (Creaminess) กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอาหารเพื่อทำนายและทำความเข้าใจเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น งานของ Chojnicka-Paszun et al.[8] หาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นครีมของนมที่มีความเข้มข้นของไขมันต่างๆ กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความหนืด พบว่าเมื่อมีปริมาณไขมันมากกว่า 1% ความเป็นครีมจะแปรผกผันกับเป็นเชิงเส้นกับสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน เมื่อมีความเป็นครีมมากขึ้น ความเสียดทานลดลงเนื่องจากการเกาะกันของก้อนไขมันบนผิวของลิ้น เป็นต้น



รูปที่ 2 กราฟฟอสโตรเบค [6]

6. ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารและการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารบางชนิด

ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ ลักษณะที่ติดกับอาหารนั้นมาแต่แรกเริ่ม เช่น โครงสร้างของอาหาร องค์ประกอบของอาหารส่วนผสม หรือ เครื่องปรุงอาหาร กระบวนการแปรรูป เช่น อุณหภูมิ ความดัน ลักษณะการกวน ความเร็วรอบในการกวนผสม สภาวะขณะเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความดัน องค์ประกอบของอากาศ เป็นต้น

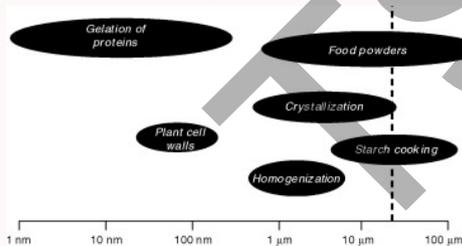
ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ได้แก่ โครงสร้างและการยึดตัวของเซลล์ สารประกอบทางชีวเคมีของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (การใช้สารยับยั้ง เอธิลีน ชนิด 1-methylcyclopropene (1-MCP) การใช้สารเคลือบผิวผลผลิต) ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว (ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ปัจจัยเนื่องจากการเพาะปลูก ปัจจัยทางสรีรศาสตร์ ปัจจัยทางพันธุกรรม) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา

ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารประเภทเนื้อ กุ้ง และปลา และ ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เพศอาหาร และวิธีการเลี้ยง กระบวนการแปรรูป สภาวะการเก็บรักษา ส่วนผสมการปรุง

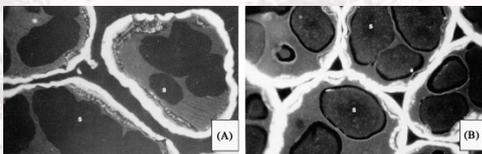
ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารทอด ได้แก่ น้ำในอาหาร ขนาดของอาหาร โปรตีนและสตาร์ช วัตถุเจือปนอาหาร หรือสารเติมแต่งในอาหาร ปัจจัยเนื่องจากการกระบวนการทอด

7. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคกับเนื้อสัมผัสของผลผลิตการเกษตรและอาหาร

Aguilera[9] อธิบายว่ากระบวนการแปรรูป ทำให้โครงสร้างเดิมของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการ เสถียรภาพทางเคมีและจุลชีวภาพ สมบัติในการเคลื่อนไหลวิศวกรรมของผลิตภัณฑ์เนื้อสัมผัสและสมบัติทางกายภาพ อนุภาคส่วนใหญ่ที่มีผลต่อสิ่งเหล่านี้มีขนาดอยู่ในช่วงต่ำกว่า 100 μm ซึ่งได้แก่เซลล์และผนังเซลล์ของพืช เส้นใยของเนื้อสัตว์ อนุภาคของแป้ง เม็ดสตาร์ชของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เครือข่ายโพลีเมอร์ของอาหาร ผลิตภัณฑ์น้ำมัน ฟองก๊าซ และอนุภาคของคอลลอยด์ ดังรูปที่ 3 การศึกษาโครงสร้างในระดับจุลภาค (Microstructure) นี้ได้พัฒนาขึ้นเป็นลำดับเนื่องจากต้องการทราบและเข้าใจผลกระทบของโครงสร้างระดับจุลภาคต่อสมบัติของอาหาร และมีการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงมากทั้งยังเป็นวิธีแบบไม่ทำลายและสามารถแสดงผลที่เวลาจริง เรียกว่าเป็นระบบวีดิทัศน์ระดับจุลภาค (Video microscopy) เช่น Laser confocal scanning microscope (LCSM) และ Environmental scanning electron microscope (ESEM) แต่การศึกษาเหล่านี้พัฒนาค่อนข้างช้าเนื่องจากเครื่องมือมีราคาสูงมาก ต้องใช้ระดับความรู้สูงและการอธิบายภาพยังเป็นข้อมูลที่แปลโดยคนจึงยังคงมีอคติอยู่



รูปที่ 3 ระดับขนาดโครงสร้างจุลภาคตามชนิดของอนุภาคและกระบวนการแปรรูป[9]



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของถั่วต้ม A. ถั่วต้มที่อ่อน B. ถั่วต้มที่แข็ง [10]

จากรูปที่ 4 เป็นภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของถั่วต้ม[10] ที่อ่อน ซึ่งมีการแยกตัวของเซลล์สัมพัทธ์กันระหว่างเซลล์และที่แข็ง ซึ่งต้องใช้แรงเฉือนที่มากกว่าหลายเท่า ความนุ่มขณะเคี้ยวสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวของเซลล์สัมพัทธ์กันระหว่างเซลล์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างระดับจุลภาคกับเนื้อสัมผัสของเจลโฟมน้ำตาล (Aerated sugar gel)[11] ซึ่งมีการวัดโดยใช้เครื่องตรวจวัดเนื้อสัมผัสประกอบด้วยแผ่นแบนกดขึ้นตัวอย่างถึงระดับ 60% ความเครียด วัดแรง

กดสูงสุดและระยะที่แตก แล้วคำนวณหาพื้นที่ใช้ในการกด ประกอบกับการวัดเนื้อสัมผัสแบบตรวจรู้เสียง (Acoustic emission, AE) แล้วสร้างความสัมพันธ์กับภาพถ่ายระดับจุลภาค 3 มิติ ด้วยวิธี Micro-computed tomography (Micro-CT) และ Nano-CT พบว่ายังมีจำนวนช่องว่างของอากาศที่เล็กในเจลโฟมน้ำตาลมากขึ้น จะมีจำนวนสัญญาณเสียงเด่น (Acoustic events) มากขึ้นด้วย ซึ่งความต้านทานต่อการกดลดลง Trong et al. [12] ใช้เทคนิค Spatially-resolved diffuse reflectance spectroscopy (SRS) โดยใช้ x-ray micro-CT เป็นวิธีอ้างอิงในการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นแอมป์เปิดอบแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส และไม่ผ่าน พร้อมทั้งวัดสมบัติเนื้อสัมผัสโดยวิธีการโค้งงอ 3 จุด (Three point bending) ได้แก่วัดความแข็ง พลังงานแตกหัก และดัชนีความกรอบ พบว่าแผ่นแอมป์เปิดแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสมีความพรุนน้อยกว่า เนื้อเยื่อหนากว่า และมีขนาดรูพรุนในเนื้อเล็กกว่าแผ่นแอมป์เปิดแห้งที่ผ่านกระบวนการ ซึ่งทำให้มันมีความกรอบน้อยลง และต้องการพลังงานการทำให้แตกหักระหว่างการเคี้ยวมากกว่าแผ่นแอมป์เปิดแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

8. สรุป

บทความนี้ได้แสดงภาพรวมของการศึกษาและการวิจัยเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของผลิตผลเกษตรและอาหารในภาพกว้าง ส่วนรายละเอียดของเนื้อหาหัวข้อ 2, 3, 4 และ 6 สามารถอ่านได้จากตำราเรื่องเทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลิตผลเกษตรและอาหาร เขียนโดย ปานมนัส ศิริสมบุญ[13] ส่วนหัวข้อ 5 สามารถอ่านได้จาก Applications of tribology in studying food oral processing and texture perception เขียนโดย Sangeeta Prakash, Daniel Dan Yi Tan, Jianshe Chen[6] และ Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation เขียนโดย Jianshe Chen, Jason R. Stokes[14] หัวข้อ 7 สามารถอ่านได้จากบทความวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับอาหารเฉพาะอย่าง เช่น เจลโฟมน้ำตาล[11] แผ่นแอมป์เปิดอบแห้ง[12]

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gãmbaro, A., Varela, P. and Giménez, A., (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements, *Journal of Texture Studies*, 33(5), pp. 401-413
- [2] Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J. and Ryland, D., (2001). Textural analysis of fat reduced

- vanilla ice cream products, *Food Research International*, 34(2-3), pp. 237-246.
- [3] Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A. and Cuvelier G. (2009). Stress relaxation of reconstituted Cassava dough, *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), pp. 202-206.
- [4] Alirezai, M., Zare, D. and Nassiri S.M. (2013). Application of computer vision for determining viscoelastic characteristics of date fruit, *Journal of Food Engineering*, 118(3), pp. 326-332.
- [5] Sadowska, J., Białobrzewski, I., Jeliński, T. and Markowski, M. (2009). Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese, *Journal of Food Engineering*, 94(3), pp. 254-259.
- [6] Prakash, S., Tan, D.D.Y. and Chen, J. (2013). Applications of tribology in studying food oral processing and texture perception. *Food Research International*, 54(2), pp. 1627-1635.
- [7] Douaire, M., Stephenson, T., Norton, I.T. (2014). Soft tribology of oil-continuous emulsions. *Journal of Food Engineering*, 139, pp. 24-30.
- [8] Chojnicka-Paszun, A., de Jongh, H.H.J. and de Kruif, C.G. (2012). Sensory perception and lubrication properties of milk: Influence of fat content, *International Dairy Journal*, 26 (1) pp. 15-22.
- [9] Aguilera, J.M. (2005). Why food microstructure?, *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), pp. 3-11.
- [10] Aguilera, J.M. and Stanley, D.W. (1999). *Microstructural principles of food processing and engineering*, (2nd ed.), Aspen Publishers, Inc, Gaithersburg, MD
- [11] Herremans, E., Bongaers, E., Estrade, P., Gondek, E., Hertog, M., Jakubczyk, E., Trong, N.N.D., Rizzolo, A., Saeys, W., Spinelli, L., Torricelli, A., Vanoli, M., Verboven, P., Nicolai, B. (2013). Microstructure–texture relationships of aerated sugar gels: Novel measurement techniques for analysis and control. *Innovative, Food Science & Emerging Technologies*, 18, pp. 202-211.
- [12] Trong, N.N.D., Rizzolo, A., Herremans, E., Vanoli, M., Cortellino, G., Erkinbaev, C., Tsuta, M., Spinelli, L., Contini, D., Torricelli, A., Verboven, P., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B. and Saeys, W. (2014). Reprint of "Optical properties microstructure texture relationships of dried apple slices: Spatially resolved diffuse reflectance spectroscopy as a novel technique for analysis and process control", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, pp. 145-153.
- [13] ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ (2555). เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร โรงพิมพ์ มีน เซอร์วิส ซีพพลาย กรุงเทพฯ 325 หน้า
- [14] Chen, J., Stokes, J.R. (2012). Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), pp. 4-12.