

บทความวิชาการ

อิทธิพลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลด้วยไฮโดรคอลลอยด์ต่อการรับรู้กลิ่นรส Influence of Textural Modification of Gel Food by Hydrocolloids to Flavor Perception

ธนากร วงษ์ประเสริฐ และอินทาวุธ สรรพวรสถิตย์*
Thanakorn Wongprasert, Inthawoot Suppavorasatit*

Received: June 5, 2019

Revised: July 21, 2019

Accepted: August 7, 2019

บทคัดย่อ

การรับรู้กลิ่นรสเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อรับประทานอาหารซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปลดปล่อยกลิ่นรสจากอาหาร อัตราการปลดปล่อยกลิ่นรสนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่นความเข้มข้นของสารประกอบให้กลิ่นในอาหาร องค์ประกอบ และโครงสร้างของอาหาร ดังนั้นการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารจึงส่งผลกระทบต่อ การรับรู้กลิ่นรสอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อาหารเจลเป็นอาหารที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสซึ่งการทำให้อาหารอยู่ในรูปเจลมีหลายวิธี การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม ซึ่งไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดให้เจลที่มีเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน จึงส่งผลกระทบต่อปลดปล่อยกลิ่นรสแตกต่างกันด้วยเนื่องจากการเกิดเจลทำให้โครงสร้างของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง การกักเก็บสารให้กลิ่นรสทางกายภาพ และ/หรือ การเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบในอาหารทำให้การปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสออกมาได้น้อยลง ตัวอย่างอาหารเจลที่นิยมศึกษามักมีองค์ประกอบไม่ซับซ้อนและมีเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย ซึ่งหลายงานวิจัยเลือกใช้โมเดลอาหารที่มีนมเป็นองค์ประกอบ สำหรับวิธีการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหารนั้น นิยมใช้เทคนิค direct injection mass spectrometry (DIMS) เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบ และ/หรือ เนื้อสัมผัสของอาหารต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในระหว่างเคี้ยว นอกจากนี้การทดสอบด้วยเครื่องมือควบคุมเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะช่วยให้เราเข้าใจการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในอาหารได้ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้นและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ: อาหารเจล, ไฮโดรคอลลอยด์, ดัดแปรเนื้อสัมผัส, กลิ่นรส, การรับรู้

ABSTRACT

Flavor perception happens during food consumption. It is directly related to flavor release from food. There are factors affecting rate of flavor release include volatile compounds' concentration, compositions, and structures of the foods. Therefore, texture modification of food can unavoidably affect flavor perception. Gel foods are textural modified by many methods, which using hydrocolloids to modify the texture is a common one. Each hydrocolloid gives different gel textures, which make them different in flavor release profiles since the food structures are changed. The occurrence of physical entrapments of flavors and/or interactions between flavors and food components can decrease the release of flavors from the foods. The gel food models should not be complex ones and should show various textures. Dairy-consisted gel food is usually selected as a model for several studies. The direct injection mass spectrometry (DIMS) is normally used to study the effect of food component and/or food texture on the release of flavors during mastication. In addition, using both instrumental and sensory evaluation techniques can help us be able to accurately understanding the release and perception of flavors in food and can further use in food product developments.

Keywords: gel food, hydrocolloids, texture modification, flavor, perception

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

กลไกการรับรู้กลิ่นรส

การรับรู้กลิ่นรส คือ การรับรู้โดยใช้อาหารเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทสัมผัสต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ระบบรับกลิ่น ระบบรับรสชาติ และระบบประสาทโทรเจมินัล (trigeminal) สารประกอบให้กลิ่นนั้นมีขนาดโมเลกุลที่เล็ก และด้วยสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น โมลโมเลกุลต่ำ และความดันไอสูง ทำให้สารประกอบให้กลิ่นสามารถ

ระเหยสู่วิญญากาศแก๊สได้ สารประกอบให้กลิ่นมีความหลากหลายเนื่องจากมีความแตกต่างของหมู่เคมี ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้แสดงลักษณะของกลิ่นแตกต่างกันออกไป โดยสารประกอบเหล่านี้จะกระตุ้นหน่วยรับกลิ่น (olfactory receptor) ซึ่งอยู่ที่เยื่อบุผิวผ่านช่องทางจมูก (retronasal pathway) หรือช่องทางปาก (orthonasal pathway) [1]

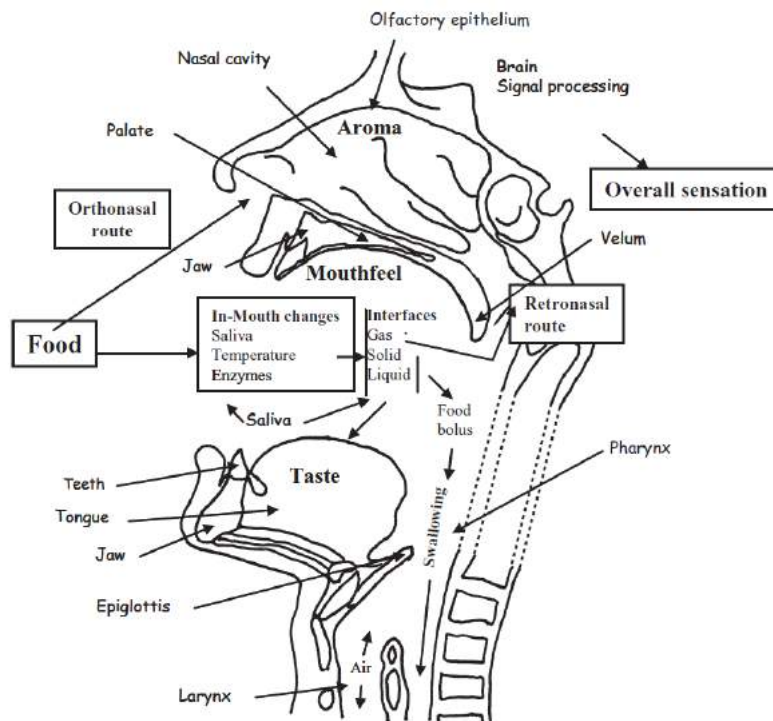


Figure 1 Schematic diagram of release and perception of sensory stimuli, from Gierczynski et al. [2]

กลไกการรับรู้กลิ่นรสมีหลายขั้นตอนและมีความซับซ้อน (Figure 1) ในขั้นเริ่มต้น เมื่อรับประทานอาหารเข้าสู่ช่องปาก ช่วงระหว่างเพดานอ่อนและลิ้นจะปิดเพื่อป้องกันการไหลของอาหารลงสู่หลอดลมในระหว่างเคี้ยว จึงทำให้สารประกอบให้กลิ่นไม่สามารถแพร่เข้าสู่โพรงจมูกได้ แต่เนื่องด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น จังหวะการเคี้ยว ความแข็งของอาหาร หรือพื้นที่ใช้ในการบดเคี้ยว ทำให้เกิดการเปิดปิดระหว่างช่วงเพดานอ่อนและลิ้นระหว่างเคี้ยว จึงเกิดการถ่ายโอนกลิ่นรสจากปากสู่โพรงจมูก และในระหว่างการกลืน ฝาปิดกล่องเสียงและบริเวณเพดานอ่อน-หลอดลมเปิดออก สารประกอบให้กลิ่นที่ระเหยออกมาจากอาหาร จึงถูกพาไปยังโพรงจมูกระหว่างการหายใจออก จากกลไก

ข้างต้นทำให้เข้าใจได้ว่าการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นจากอาหารขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของสารประกอบให้กลิ่น องค์ประกอบของอาหาร และโครงสร้างของอาหาร ดังนั้นการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารจึงส่งผลกระทบต่อรับรู้กลิ่นรสอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้กลิ่นรสควบคู่ไปเสมอเมื่อมีการพัฒนาให้อาหารมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป [3]

การดัดแปรเนื้อสัมผัสเป็นการดัดแปลงสมบัติทางวิทยากระแส (rheology) เช่นการดัดแปรความหนืดหรือความเหนียวขึ้นให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้เกิดเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย การดัดแปรเนื้อสัมผัสนั้นสามารถ

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

ตัดแปรได้โดยการลดขนาดผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ หรือประยุกต์ใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส เป็นต้น โดยปัจจัยในการตัดแปรที่ควรคำนึงถึง เช่น องค์ประกอบของอาหาร อุณหภูมิในขณะรับประทาน และเวลาในการเก็บรักษา และเนื่องจากมีแนวโน้มที่ประชากรโลกในปัจจุบันกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว อาหารตัดแปรเนื้อสัมผัสจึงถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง [4] ซึ่งหนึ่งในอาหารที่มีการตัดแปรเนื้อสัมผัสที่รู้จักกันดีและเหมาะสมกับคนทุกวัย คืออาหารเจล อาหารเจลมีข้อดีกว่าอาหารชนิดอื่น เช่น ใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างน้อย และรับประทานได้ง่าย อาหารเจลบางชนิดเหมาะสำหรับผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบากเนื่องจากสามารถกลืนได้โดยไม่เกิดการสำลัก โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม มีน้ำเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก มีความลื่นทำให้กลืนง่าย มีความสามารถในการยึดเกาะกันได้ดี ไม่เหนียว และเกาะตัวแน่นจนเกินไป [5] ตัวอย่างอาหารเจล เช่น อาหารทางการแพทย์ชนิดของเหลวหรือเจล หรือ เจลลีพระราชทาน (Nutri-Jelly™) [6] เป็นต้น ดังนั้นในบทความฉบับนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ส่งผลต่อการรับรู้กลิ่นรส รวมถึงเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสจากอาหารเจล และการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อเทียบกับการทดสอบโดยใช้เครื่องมือด้วย

การตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยไฮโดรคอลลอยด์และการรับรู้กลิ่นรส

จากที่กล่าวข้างต้น ไฮโดรคอลลอยด์เป็นกลุ่มของสารที่สามารถใช้ตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารโดยเฉพาะในอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตแบบต่างๆ ได้โดยนิยามของไฮโดรคอลลอยด์ คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดอนุภาคประมาณ 10-1000 nm กระจายในน้ำได้และเป็นวิฎุภาคกระจาย [7] โดยโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลเดี่ยวมาต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่สามารถเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ได้ [8] ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเนื่องจากสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติในการอุ้มน้ำ การเกิดเจล

ให้ความหนืด ให้ความคงตัว สร้างฟิล์ม หรือ ทำให้เกิดโฟม สามารถใช้ตัดแปรเนื้อสัมผัสในอาหารได้หลากหลายประเภท เช่น มายองเนส ไอศกรีม น้ำสลัด ไฮโดรคอลลอยด์มาจากหลากหลายแหล่งในธรรมชาติ ได้แก่ คาร์ราจีแนน (carrageenan) และวุ้น (agar) จากสาหร่าย กัวร์กัม (guar gum) และโลคัสปินกัม (locust bean gum) จากเมล็ดพืชเพกทิน (pectin) จากเปลือกส้มหรือแอปเปิล แซนแทนกัม (xanthan gum) และเจแลนกัน (gellan gum) จากจุลินทรีย์สำหรับโปรตีนที่เป็นกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เช่น ไคติน และไคโตซานจากสัตว์มีกระดูกงู เจลาติน (gelatin) จากหมูหรือปลา เป็นต้น [9]

การเกิดเจล เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคอลลอยด์ในแง่ของการตัดแปรเนื้อสัมผัส ซึ่งต้องเกิดผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงระหว่างเจลและสารละลาย (sol-gel transition) กลไกการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยมีการศึกษาการเกิดเจลของคาร์ราจีแนนและเจแลนกัน [10-12] และให้สื่อเป็นตัวแทนของพอลิแซ็กคาไรด์ ดังแสดงใน Figure 2 ในการศึกษากระบวนการเกิดเจลที่สัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ กลไกขั้นแรกเริ่มต้นจากการให้ความร้อนสารละลายทำให้พอลิแซ็กคาไรด์เกิดการคลายตัว (disordered coil) เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยว (single chain) จากนั้นเมื่อเย็นตัวลง โมเลกุลกลับมามีการจัดเรียงตัวเป็นเกลียวอย่างเป็นระเบียบอีกครั้ง โดยมีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลเป็นแรงกายภาพอย่างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งแรงทางกายภาพทำให้เจลมีคุณสมบัติผันกลับทางความร้อนได้ (thermoreversible) และในบางกรณีอาจมีโมเลกุลที่มีประจุเป็นบวก (cation) ช่วยเสริมให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรงมากกว่าเดิมได้ [13-15] เช่น เจแลนกันเกิดเจลได้ดี เมื่อมีแคลเซียมไอออน เป็นต้น เจลที่เกิดจากไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป นอกจากชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์แล้ว ส่วนประกอบอื่นๆ ยังมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเจลได้ เช่น น้ำตาล โปรตีน หรือไขมันที่อยู่ในระบบอาหาร นอกจากนี้เทคนิคการแปรรูป

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

ยังมีผลต่อเนื้อสัมผัส เช่น กระบวนการผลิตโดยใช้แรงดันสูง (high pressure processing) การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) หรือ การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (sonication) โดยการเลือกเทคนิคแปรรูปที่

เหมาะสมและควบคุมตัวแปรต่างๆ จะช่วยให้สามารถรักษาสี กลิ่นรส และลักษณะปรากฏโดยรวมของอาหารไว้ได้ ในขณะที่มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มลง [16]

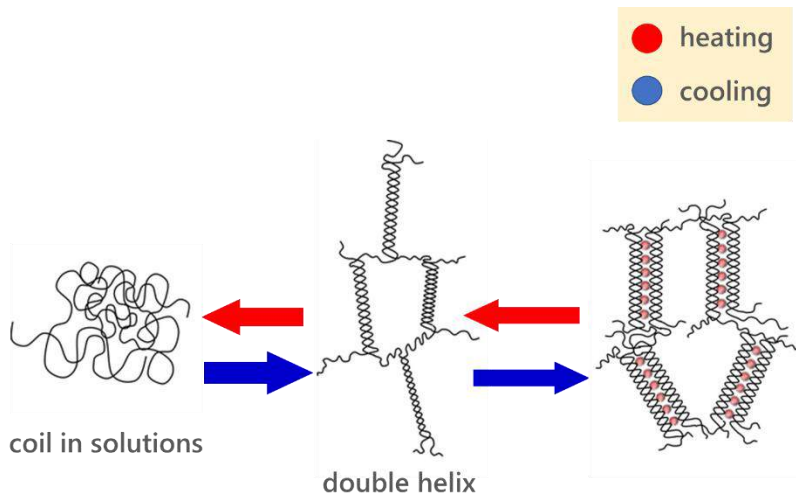


Figure 2 Food polysaccharide gelation mechanism, adapted from Funami [9]

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ มีผลต่อการปลดปล่อยกลีนิรจากอาหาร [17] โดยทั่วไป กลีนิรจะถูกปลดปล่อยออกมาน้อยลง หากระบบอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น หรือมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างทางกายภาพสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรในเมทริกซ์ของอาหารได้ กลไกเริ่มต้นเมื่อใส่ไฮโดรคอลลอยด์ลงไปในการละลายจนถึงจุดวิกฤตของความเข้มข้น (critical concentration, c^*) หรือ จุดที่ความหนืดเพิ่มขึ้นทันที จากสารละลายที่โมเลกุลขนาดใหญ่เคลื่อนที่ได้ง่าย กลายเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างยุ่งเหยิง จึงลดการเคลื่อนที่ของสารประกอบให้กลีนิรในระบบ ส่งผลให้การรับรู้กลีนิรลดลงอย่างรวดเร็ว อีกปัจจัยหนึ่ง คือ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างของอาหารกับสารประกอบให้กลีนิร เนื่องจากสารประกอบให้กลีนิรสามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลขนาดใหญ่ได้แตกต่างกันไป [18] หากเป็นอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลีนิรและคาร์โบไฮเดรต สามารถเกิดการจับกันระหว่างโมเลกุลหรือโครงสร้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการกักเก็บทาง

กายภาพได้ในขณะที่อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารให้กลีนิรมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากโปรตีนมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบให้กลีนิรจึงมีหลายชนิด เช่น พันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะโคเวเลนต์ (Figure 3) ซึ่งในโปรตีนบางชนิดหากเกิดการจับกันกับสารให้กลีนิรแล้ว เกิดปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ จะไม่สามารถปลดปล่อยสารให้กลีนิรออกมาได้ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง หรือเจลาติน เป็นต้น ดังนั้นหากเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของโปรตีน หรือการตัดแปรรูปโครงสร้างโปรตีน สามารถส่งผลถึงกลไกการจับกับสารให้กลีนิรได้เช่นกัน กลุ่มวิจัยของ Cadwallader และ Suppavorasatit ศึกษาผลของการตัดแปรรูปโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธีดีแอมิเดชัน (deamidation) ในโปรตีนถั่วเหลือง นมถั่วเหลือง และโปรตีนมะพร้าวต่อสมบัติการจับกับสารให้กลีนิร พบว่า การตัดแปรรูปโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธีดีแอมิเดชันช่วยลดความแข็งแรงของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารให้กลีนิรโดยเฉพาะกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นอัลดีไฮด์และคีโตน [19-21]

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

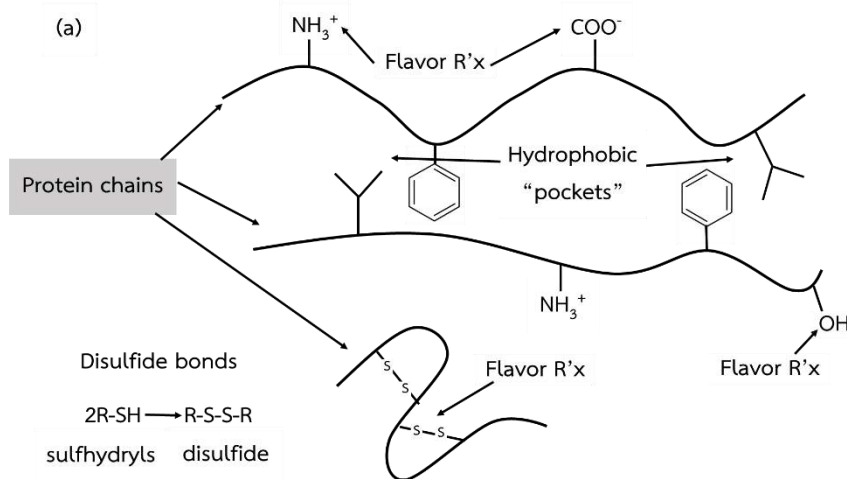


Figure 3 Interaction between aroma compounds and protein, adapted from Gary [22]

การศึกษาผลของการตัดแปรรื้อสัมผัสต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหาร

ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาโมเดลอาหารประเภทเจลซึ่งตัดแปรรื้อสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์ โดยแต่ละโมเดลมีตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป เช่น ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ หรือเทคนิคการตัดแปรรื้อสัมผัส เป็นต้น เมื่อศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นรสของอาหารเจลที่ตัดแปรรื้อสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้พบว่ากลไกการปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่น และการรับรู้รสนั้นมีความแตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ จากการศึกษาของ Arvisenet et al. [23] ศึกษาความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาของสารให้กลิ่นกับสตาร์ชจากข้าวโพด พบว่าสารประกอบให้กลิ่นสามารถเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลส และแอมิโลเพกตินในสตาร์ชข้าวโพดได้ ส่งผลให้ปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Langourieux and Crouzet [24] ที่ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างแป้งข้าวโพดกับสารประกอบให้กลิ่น พบว่าสารประกอบให้กลิ่นจะถูกปลดปล่อยออกมาน้อยลงเนื่องจากการเกิดสารประกอบอินทรีย์ชั้นระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน เช่นเดียวกับเพกติน ซึ่ง Boland et al. [18] พบว่าเมื่อเพิ่มความแข็งแรงของเจลเพกตินที่มีหมู่เมทิลสูง (high methyl pectin) ในช่วงความเข้มข้น ระหว่าง 0.75 ถึงร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

จะทำให้ค่า air/gel partition coefficient ลดลง ส่งผลให้การรับรู้กลิ่นรสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสลดลงด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินในเจลทำให้การปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสบางกลุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วเพกตินสามารถตรึงหรือปลดปล่อยสารที่สามารถละลายในน้ำได้ด้วยแรงทางไฟฟ้าระหว่างตัวมันเองและโมเลกุลของน้ำ [25, 26] คาร์ราจีแนนเป็นสารประกอบอีกหนึ่งชนิดที่มักใช้เป็นสารให้ความคงตัว โดยมักใช้แคลปปา-(kappa-) และไอโอตา-คาร์ราจีแนน (iota-carrageenan) เป็นสารทำให้เกิดเจล มีการศึกษาผลของการเติมไอโอตา-คาร์ราจีแนนด้วยปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสวิเคราะห์ด้วยค่า partition coefficient ของสารให้กลิ่นรส และพบว่าสารให้กลิ่นรสทั้งหมดมีค่า partition coefficient ลดลง [27] ส่วนเมื่อเติมแลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน จะทำให้ค่า air/ matrix partition coefficient ของสารประกอบส่วนใหญ่ที่ละลายน้ำลดลง อย่างมีนัยสำคัญ โดยสารประกอบประเภทเอสเทอร์ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากที่สุด [28] แต่อย่างไรก็ตาม หากมีเกลือในระบบจะทำให้โครงสร้างสามมิติของไอโอตา-คาร์ราจีแนนจะมีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า air/matrix partition coefficient ลดลง [29]

โมเดลอาหารที่นิยมศึกษากันอย่างแพร่หลายอีกโมเดลหนึ่ง คือโมเดลอาหารที่มีนมเป็นองค์ประกอบ

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

เนื่องจากมีองค์ประกอบไม่ซับซ้อน ให้น้ำเนื้อสัมผัสหลากหลาย และมีช่วงความหนืดกว้าง [2] ตัวอย่างอาหารเจลที่มีนมเป็นองค์ประกอบ เช่น โยเกิร์ต ชีส และเจลจากโปรตีนเวย์ โปรตีนนมในโมเดลอาหารสามารถทำอันตรกิริยากับสารประกอบให้กลิ่นรส ทำให้สารให้กลิ่นรสอิสระในระบบลดลง หรืออาจทำให้กลิ่นจางลง หรือกลิ่นรสโดยรวมเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกับที่พบในอาหารที่มีโปรตีนชนิดอื่นๆ [30] ดังนั้นการศึกษาการรับรู้และการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ จะช่วยให้เกิดความเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสูตรการผลิตได้ กลไกการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนนมกับสารประกอบให้กลิ่นนั้นสามารถเกิดอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) โดยความแข็งแรงของพันธะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพเคมีของสารประกอบให้กลิ่น อิทธิพลของความหนืดและเนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้นต่อการปลดปล่อยและรับรู้สารประกอบให้กลิ่นได้ [31]

Table 1 แสดงตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์เจลที่มีนมเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบให้กลิ่นที่มักใช้ในการศึกษามักเป็นสารประเภทเอสเทอร์ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีความเสถียร ง่ายต่อการหาปริมาณในอาหาร และยังมีงานวิจัยด้านเทอร์โมไดนามิกส์และจลนพลศาสตร์รองรับ [32] จากตารางจะพบว่าสารประกอบเอสเทอร์สายยาวสามารถคงอยู่ในอาหารได้ดีกว่าสารประกอบสายสั้น และยังพบว่าสารประกอบเอสเทอร์มีแนวโน้มที่จะอยู่ในโยเกิร์ต มากกว่าในชีสหรือพอลิไอโซไซด์เจล (polyoside gel) ซึ่งได้แก่ เจลจากสตาร์ช หรือเจลจากเพกติน เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นเจลที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า ชนิดของพอลิไอโซไซด์เจลมีผลต่อความแข็งแรงของอันตรกิริยาเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าเพกตินเกิดอันตรกิริยากับสารประกอบเอสเทอร์ได้ดีกว่าสตาร์ช นอกจากนี้เพกตินและสตาร์ชสามารถเกิดอันตรกิริยากับเอสเทอร์ได้ดีกว่าสารประกอบแอลกอฮอล์ นอกจากนี้หากมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องที่ทำให้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป เช่นความ

ร้อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดกรดอะมิโน หรือการจัดเรียงกรดอะมิโนภายในโครงสร้างโปรตีน ย่อมส่งผลต่ออันตรกิริยาระหว่างกลิ่นรสและโปรตีน เนื่องจากการจับกันของสารให้กลิ่นรสและโปรตีนนั้นเกิดเมื่อโปรตีนเรียงตัวเป็นโครงสร้างสามมิติ [33, 34] มีการศึกษาความสามารถในการจับกันระหว่างสารให้กลิ่นรสและโปรตีนในหลายรูปแบบ แต่เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของโปรตีน สภาพที่ใช้ในการศึกษา หรือสารให้กลิ่นรส ทำให้เปรียบเทียบผลของการศึกษาดังกล่าวได้ยาก ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Lethuaut et al. [39] ศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในคัสตาร์ดที่ชนิดคาร์ราจีแนนต่างกัน โดยใช้กลิ่นสตอร์ว์เบอร์รี่ซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรส 15 ชนิด พบว่าผู้ทดสอบสามารถรับกลิ่นจากเจลแคปปาและไอโอตา-คาร์ราจีแนนได้น้อยกว่าเจลแลมบีตา-คาร์ราจีแนน สอดคล้องกับผลการทดลองในโมเดลเจลส่วนใหญ่อย่างที่ปรากฏใน Table 1 เนื่องจากการเพิ่มความแข็งแรงหรือความหนืด ทำให้การรับรู้กลิ่นรสลดลง ด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น การกักเก็บทางกายภาพหรืออันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นรสและอาหาร ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ van Ruth et al. [38] ที่ศึกษาตัวอย่างคัสตาร์ดและกลิ่นแบบเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าการปลดปล่อยกลิ่นและความเข้มข้นในการรับรู้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยของตัวผู้ทดลอง (inter-individual variation) เช่น พฤติกรรมในการเคี้ยว การไหลของน้ำลาย การเปิด-ปิดของเพดานอ่อน และความสามารถในการรับรู้กลิ่นของแต่ละบุคคลซึ่งมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารระเหยให้กลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ของแต่ละบุคคล (threshold level) หรือภาวะจมูกไม่สามารถรับกลิ่นใดกลิ่นหนึ่งได้ (specific anosmia) อาจส่งผลต่อผลการทดลองที่ได้ด้วย ดังนั้นการทดลองเพื่อศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสจึงควรมีการใช้เทคนิคที่หลากหลายเข้ามาช่วย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความแม่นยำมากที่สุด

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

Table 1 Impact of an increase in viscosity or firmness of the products on both in vivo aroma release and aroma perception, adapted from Gierczynski [2]

Product	Aroma compounds (AC)	Increase of viscosity or firmness	Effect on in vivo aroma release		Effect on intensity of aroma perception	References
			Total Amount	Rate of release		
Cheese	10 AC	Firmness	↑	↑	↑	[35]
Custard	Benzaldehyde or/and allyl caproate	Viscosity	=	↓	↓	[36]
Custard	Strawberry aroma (15 AC)	Viscosity	↑	-	↑	[37]
Custard	Strawberry aroma (15 AC)	Viscosity	↓	-	↓	[38]
Custard	Ethyl pentanoate, amyl acetate, hexanal, and (E)-2-hexenal	Viscosity	↓	-	↓	[39]
Yoghurt	Strawberry flavour (17 AC)	Viscosity	↓	-	↓	[40]
Whey protein gel	Ethyl butanoate	Firmness	=	↓	↓	[41]
Whey protein gel	Ethyl butanoate	Firmness	=	↓	↓	[42]
Whey protein gel	Ethyl butanoate or diacetyl	Firmness	=	-	↓	[43]

การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นรส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหารนั้น จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น เทคนิควิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์ได้ระหว่างเคี้ยว กลิ่น และหายใจ ควรวิเคราะห์สารประกอบได้ในระยะเวลาสั้น มี resolution ที่ดี และต้องวัดสารได้หลากหลายกลุ่ม เนื่องจากสารประกอบให้กลิ่นของอาหารแต่ละชนิดมีความหลากหลายมาก ดังนั้นหลายงานวิจัยที่ผ่านมาจึงใช้เทคนิค direct injection mass spectrometry (DIMS) ซึ่งเทคนิคที่ใช้ DIMS เป็น

พื้นฐานได้ถูกพัฒนาขึ้น และเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบและ/หรือเนื้อสัมผัสของอาหารต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในระหว่างเคี้ยว คือ atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry (APCI-MS) หรือ proton transfer reaction-mass spectrometry (PTR-MS) หลักการแยกสารของทั้งสองเทคนิค ใช้หลักการแยกด้วยสัมพรรคภาพโปรตอน (proton affinity) [44, 45] สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) สามารถใช้ในการศึกษาได้เช่นกัน แต่มีข้อจำกัดในการ

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

วิเคราะห์คือระยะเวลาทั้งหมดในการวิเคราะห์ค่อนข้างนาน เริ่มต้นจากเมื่อสารประกอบให้กลิ่นถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างรับประทาน จากนั้นเก็บกักสารระเหยด้วยของแข็งที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ หลังจากนั้นจึงนำมาปลดปล่อยเข้าเครื่อง GC [46] ซึ่งการศึกษาด้วย GC-MS มีประโยชน์อย่างมากในการระบุชนิดและปริมาณของสารประกอบที่ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างรับประทาน แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ GC-MS มีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับเทคนิค DIMS เนื่องจากในการสร้างกราฟการปลดปล่อยหนึ่งครั้งด้วย GC-MS ประกอบไปด้วยการดูดซับ การปลดปล่อยสารและการวิเคราะห์หลายๆ ครั้ง ดังนั้นในทางปฏิบัติ การใช้ GC-MS เพื่อติดตามการปลดปล่อยกลิ่นรสจึงไม่เป็นที่นิยม แต่การใช้ DIMS ควบคู่กับ GC-MS จะสามารถระบุสารประกอบได้อย่างแม่นยำมากกว่าการใช้เทคนิค DIMS เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการพัฒนาโปรไฟล์ของสารระเหยให้กลิ่นระหว่างบริโภคนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์บรรยากาศเหนือตัวอย่างเพียงอย่างเดียวได้ ดังนั้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงเป็นอีกวิธีที่สามารถช่วยอธิบายคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการบริโภคได้ดียิ่งขึ้น

การหาโปรไฟล์การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มักมีการใช้มาก ได้แก่วิธี quantitative descriptive

analysis (QDA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ผู้ทดสอบจะให้คะแนนผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งหรือมากกว่า โดยให้คะแนนเป็นความเข้ม (intensity) ซึ่งเมื่อทดสอบเรียบร้อยแล้วจะได้ข้อมูลระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละชนิดที่ทดสอบ ซึ่งไม่มีข้อมูลที่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เมื่อนักวิจัยตระหนักถึงความสำคัญของเวลาในการรับรู้ จึงมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสแบบ time-intensity (TI) วิธีการทดสอบนั้นเหมือนกับการวิเคราะห์แบบ QDA แต่ต่างกันที่ทุกคุณลักษณะจะมีการให้ข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาด้วย ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็น โปรไฟล์รูประฆัง (bell-shaped profile) ซึ่งเหมือนกับกราฟของ APCI-MS และ PTR-MS เมื่อเปรียบเทียบกับ QDA ซึ่งสามารถประเมินได้หลายคุณลักษณะพร้อมๆ กัน เทคนิคนี้ใช้เวลามากกว่าเนื่องจากผู้ทดสอบต้องประเมินทีละคุณลักษณะ ซึ่งข้อเสียของการประเมินทีละคุณลักษณะ คือ อาจทำให้เกิดการประเมินในคุณลักษณะใดๆ นั้นมากกว่าความเป็นจริง และส่งผลต่อการประเมินอย่างมีนัยสำคัญ (dumping effect) เช่นการประเมินความขมในไวน์ ซึ่งการให้คะแนนอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากกว่าที่ควรเป็น เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรสเปรี้ยวและการรับรู้รสผาด [47, 48]

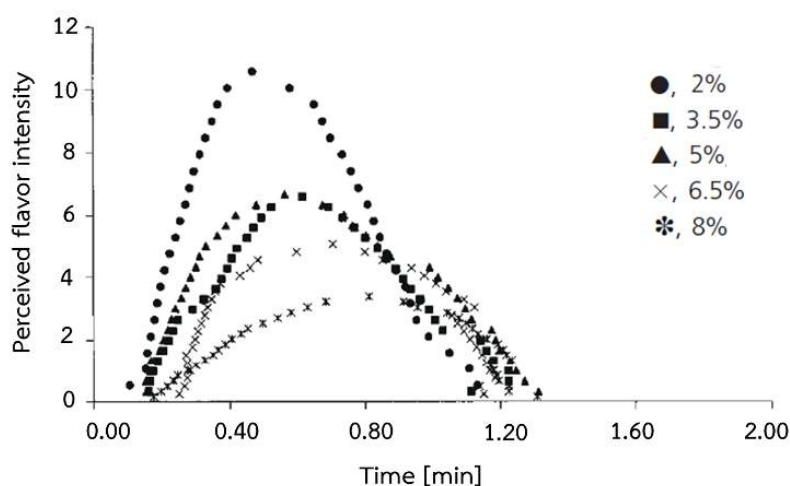


Figure 4 Bell-shaped profile from Time-Intensity method of perceived flavor intensity of furfuryl acetate from different concentration of gelatin gels (%w/w), adapted from Baek [49]

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

ในปัจจุบันมีวิธีการทดสอบวิธีใหม่ คือ temporal dominance of sensation (TDS) ซึ่งเป็นการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยกำหนดคุณลักษณะ (attribute) ต่างๆ ที่ต้องการทดสอบให้ผู้ทดสอบสามารถเลือกคุณลักษณะที่กำหนดให้เป็นลักษณะเด่น (dominant attribute) โดยมีนิยามว่าคุณลักษณะนั้นต้องสามารถดึงความสนใจจากผู้ทดสอบได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่ให้วิเคราะห์โดยไม่จำเป็นว่าลักษณะเด่นต้องมีความเข้มมากที่สุด การตอบสนองของผู้ทดสอบแต่ละคนจะถูกแปลเป็นอัตราความเด่น (dominant rate) ของแต่ละคุณลักษณะ จากนั้นนำไปคำนวณทางสถิติว่าคุณลักษณะที่เด่นนั้นเด่นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ [50] Pineau et al. [51] ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบระหว่าง TI กับ TDS ในผลิตภัณฑ์นม โดยนำโปรไฟล์ของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน พบว่าทั้งสองให้ผลการทดลองบางส่วนคล้ายกัน กล่าวคือคุณลักษณะที่มีความเข้มที่สุดที่พบเมื่อใช้วิธี TI มีอัตราความเด่นสูงสุด เมื่อศึกษาด้วยวิธี TDS เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผู้ทดสอบถูกบังคับให้เลือกคุณลักษณะ ณ เวลานั้น เทคนิค TDS นี้จึงสร้างลำดับเวลาของการรับรู้กลิ่นรสโดยอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธี พบว่า TDS มีประสิทธิภาพสูงกว่า TI เนื่องจากสามารถวิเคราะห์หลายคุณลักษณะได้พร้อมกัน อย่างไรก็ตามการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยด้วย เช่นเทคนิค TI มีความเหมาะสมมากกว่า หากต้องการวิเคราะห์เพียงแค่คุณลักษณะเดียว ในขณะที่ TDS ให้ความสำคัญกับลำดับเวลาของการรับรู้โดยได้ข้อมูลในระหว่างการรับประทาน ทั้งนี้เทคนิคทั้งสองต้องใช้ความชำนาญของผู้ทดสอบในการตรวจวัดค่า ดังนั้นจึงต้องมีการฝึกฝนอย่างหนักเพื่อให้ระดับในการรับรู้ของผู้ทดสอบมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

สรุป

อิทธิพลของการตัดแปรรื้อสัมผัสต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์นั้น ส่งผลต่อการรับรู้กลิ่นรสโดยตรง การตัดแปรรื้อโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่มีแนวโน้มทำให้การปลดปล่อยกลิ่นรสลดลง เนื่องจาก

หลายปัจจัย เช่น อันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่นรสกับอาหาร ไม่ว่าจะเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีน และการกักเก็บทางกายภาพ มีการศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสทั้งในโมเดลอาหารอย่างง่าย และในโมเดลอาหารที่มีผลิตภัณฑ์นมเป็นองค์ประกอบ พบว่านอกจากปัจจัยดังกล่าวยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ปัจจัยในตัวผู้ทดสอบ ดังนั้นวิธีในการทดสอบและการวิเคราะห์ผลจึงมีความสำคัญ และเพื่อให้ตอบสนองต่อจุดประสงค์ในการวิจัย การทดสอบด้วยเครื่องมือควบคู่ไปกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะช่วยให้เข้าใจการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในอาหารได้ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือทำการทดลองอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Guichard, E. (2002). Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Reviews International*. 18(1): 49–70.
- [2] Gierczynski, I., Guichard, E. and Laboure, H. (2011). Aroma perception in dairy products: the roles of texture, aroma release and consumer physiology. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 26: 141-152.
- [3] Paravisini, L. and Guichard, E. (2017). Aroma release during in mouth. In: Guichard, E., Salles, C., Morzel, M., and Bon, A. M. (Eds.), *Flavor: From food to perception*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Aguilera, J.M. and Park, D.J. (2016). Texture-modified foods for elderly: Status, technology and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*. 57: 156-164.
- [5] Cichero, J. (2016). Adjustment of food textural properties for elderly patients. *Journal of Texture Studies*. 47(4) 277-283.

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

- [6] Trachootham, D., Songkaew, W., Hongsachum, B., Wattana, C., Changklungdee, N., Karapoch, J., et al. (2015). Nutri-jelly may improve quality of life and decrease tube feeding demand in head and neck cancer patients. *Support Care Cancer*. 23: 1421-1430.
- [7] van Olphen, H. and Mysels, K.J. (1975). *International Union of Pure and Applied Chemistry. Commission I.6: Colloid and surface chemistry*. La Jolla, CA: Theorex.
- [8] Williams, P.A. and Phillips, G.O. (2000). *Handbook of hydrocolloids*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- [9] Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*. 25(8): 1904-1914.
- [10] Funami, T., Hiroe, M., Noda, S., Asai, I., Ikeda, S. and Nishinari, K. (2007). Influence of molecular structure imaged with atomic force microscopy on the rheological behavior of carrageenan aqueous systems in the presence or absence of cations. *Food Hydrocolloids*. 21(4): 617-629.
- [11] Funami, T., Noda, S., Nakauma, M., Ishihara, S., Takahashi, R., Al-Assaf, S., et al. (2009). Molecular structures of gellan gum imaged with atomic force microscopy (AFM) in relation to the rheological behavior in aqueous systems in the presence of sodium chloride. *Food Hydrocolloids*. 23(2): 548-554.
- [12] Noda, S., Funami, T., Nakauma, M., Asai, I., Takahashi, R., Al-Assaf, S., et al. (2008). Molecular structures of gellan gum imaged with atomic force microscopy in relation to the rheological behavior in aqueous systems. 1. Gellan gum with various acyl contents in the presence and absence of potassium. *Food Hydrocolloids*. 22(6): 1148-1159.
- [13] Gunning, A.P., Kirby, A.R., Ridout, M.J., Brownsey, G.J. and Morris, V.J. (1996). Investigation of gellan networks and gels by atomic force microscopy. *Macromolecules*. 29: 6791-6796.
- [14] Gunning, A.P. and Morris, V.J. (1990). Light scattering studies of tetramethyl ammonium gellan. *International Journal of Biological Macromolecules*. 12(6): 338-341.
- [15] Morris, E.R. (1993). *Food hydrocolloids, structures, properties, and functions*. New York: Plenum Press.
- [16] Aguilera, J.M. and Park, D.J. (2016). Texture-modified foods for elderly: Status, technology and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*. 57: 156-164.
- [17] Godshall, M.A. (1997). How carbohydrates influence food flavor. *Food Technology*. 51(1): 63-67.
- [18] Boland, A.B., Delahunty, C.M. and van Ruth, S.M. (2006). Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavour release and perception. *Food Chemistry*. 96(3): 452-460.
- [19] Suppavorasatit, I., De Mejia, E.G. and Cadwallader, K.R. (2011). Optimization of the enzymatic deamidation of soy protein by protein-glutaminase and its effect on the functional properties of the protein. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 59(21): 11621-11628.

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

- [20] Suppavorasatit, I., Lee, S.Y. and Cadwallader, K.R. (2013). Effect of enzymatic protein deamidation on protein solubility and flavor binding properties of soymilk. *Journal of Food Science*, 78(1): C1-C7.
- [21] Kunarayakul, S., Thaiphanit, S., Anprung, P. and Suppavorasatit, I. (2018). Optimization of coconut protein deamidation using protein-glutaminase and its effect on solubility, emulsification, and foaming properties of the proteins. *Food Hydrocolloids*. 79: 197-207.
- [22] Reineccius, R. (2006). *Flavor chemistry and technology* (2nd ed.). New York: Taylor & Francais Group.
- [23] Arvisenet, G., Voilley, A. and Cayot, N. (2002). Retention of aroma compounds in starch matrices: Competitions between aroma compounds toward amylose and amylopectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25): 7345–7349.
- [24] Langourieux, S. and Cruzet, J. (1994). Study of aroma compounds-polysaccharides interactions by dynamic exponential dilution. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 27(6): 544–549.
- [25] Lubbers, S., Decourcelle, N., Martinez, D., Guichard, E. and Tromelin, A. (2007). Effect of thickeners on aroma compound behavior in a model dairy gel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(12): 4835–4841.
- [26] Ayed, C., Lubbers, S., Andriot, I., Merabtine, Y., Guichard, E. and Tromelin, A. (2014). Impact of structural features of odorant molecules on their retention/release behaviours in dairy and pectin gels. *Food Research International*. 62: 846–859.
- [27] Chana, A., Tromelin, A., Andriot, I. and Guichard, E. (2006). Flavor release from iota-carrageenan matrix: a quantitative structure-property relationships approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(10): 3679–3685.
- [28] Bylaite, E., Ilgunaite, Z., Meyer, A.S. and Adler-Nissen, J. (2004). Influence of lambda-carrageenan on the release of systematic series of volatile flavor compounds from viscous food model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(11): 3542–3549.
- [29] Juteau, A., Doublier, J.L. and Guichard, E. (2004). Flavor release from iota-carrageenan matrices: A kinetic approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(6): 1621–1629.
- [30] Suppavorasatit, I., Cadwallader, K. R. (2010). *Chemistry, Texture, and Flavor of Soy*: American Chemical Society.
- [31] Cayot, N., Taisant, C. and Voilley, A. (1998). Release and perception of isoamyl acetate from a starch-based food matrix. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 46(8): 3201-3206.
- [32] Tromelin, A., Merabtine, Y., Andriot, I., Lubbers, S. and Guichard, E. (2010). Retention-release equilibrium of aroma compounds in polysaccharide gels: study by quantitative structure-activity/property relationships approach. *Flavour and Fragrance Journal*. 25(6): 431–442.

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

- [33] Famelart, M. H., Tomazewski, J., Piot, M. and Pezennec, S. (2004). Comprehensive study of acid gelation of heated milk with model protein systems. *International Dairy Journal*. 14(4): 313–321.
- [34] O'Neill, T.E. (1996). *Flavor-Food Interactions*. Washington, DC: American Chemical Society.
- [35] Gierczynski, I., Laboure, H., Guichard, E. (2008). In vivo aroma release of milk gels of different hardnesses: Inter-individual differences and their consequences on aroma perception. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 1697-1703.
- [36] Tournier, C., Sulmont-Rosse, C., Semon, E., Vignon, A., Issanchou, S. and Guichard, E. (2009). A study on texture–taste–aroma interactions: Physico-chemical and cognitive mechanisms. *International Dairy Journal*. 19: 450-458.
- [37] van Ruth, S.M., Witte, L. and Uriarte, A.R. (2004). Volatile flavor analysis and sensory evaluation of custard desserts varying in type and concentration of carboxymethylcellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 8105-8110.
- [38] Gonzales-Tomas, L., Bayarri, S., Taylor, A.J. and Costell, E. (2007). Flavour release and perception from model dairy custards. *Food Research International*. 40: 520-528.
- [39] Lethuaut, L., Weel, K.C.G., Boelruk, A.E.M. and Brossard, C.D. (2004). Flavor perception and aroma release from model dairy dessert. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(11): 3478-3485.
- [40] Saint-Eve, A., Martin, N., Guillemin, H., Semon, E., Guichard, E. and Souchon, I. (2006). Flavored yogurt complex viscosity influences real-time aroma release in the mouth and sensory properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(20): 7794-7803.
- [41] Mestres, M., Moran, N., Jordan, A. and Buettner, A. (2005). Aroma release and retronasal perception during and after consumption of flavored whey protein gels with different textures. 1. in vivo release analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(2): 403-409.
- [42] Mestres, M., Kieffer, R. and Buettner, A. (2006). Release and perception of ethyl butanoate during and after consumption of whey protein gels: Relation between textural and physiological parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(5): 1814-1821.
- [43] Weel, K.G.C., Boelrijk, A.E.M., Alting, A.C., van Mil, P.J.J.M., Burger, J.J. Gruppen, H., et al. (2002). Flavor release and perception of flavored whey protein gels: perception is determined by texture rather than by release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(18): 5149-5155.
- [44] Biasioli, F., Yeretizian, C., Märk, T.D., Dewulf, J. and Van Langenhove, H. (2011). Direct-injection mass spectrometry adds the time dimension to (B)VOC analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 30(7): 1003–1017.
- [45] Ellis, A.M. and Mayhew, C.M. (2014). Proton transfer reaction mass spectrometry:

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330

- principles and applications. Chichester (Great Britain): John Wiley & Sons, Inc.
- [46] Buettner, A. (2004). Investigation of potent odorants and after odor development in two Chardonnay wines using the buccal odor screening system (BOSS). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(8): 2339–2346.
- [47] Clark, C.C. and Lawless, H.T. (1994). Limiting response alternatives in time-intensity scaling: an examination of the halo-dumping effect. *Chemical Senses*. 19(6): 583–594.
- [48] Sokolowsky, M. and Fischer, U. (2012). Evaluation of bitterness in white wine applying descriptive analysis, time-intensity analysis, and temporal dominance of sensations analysis. *Analytica Chimica Acta*. 732: 46–52.
- [49] Baek, I., Linforth, R.S., Blake, A. and Taylor, A.J. (1999). Sensory Perception is related to the rate of change of volatile concentration in-nose during eating of model gels. *Chemical Senses*. 24(2): 155-160.
- [50] Di Monaco, R., Su, C., Masi, P. and Cavella, S. (2014). Temporal Dominance of Sensations: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 38(2): 104–112.
- [51] Pineau, N., Cordelle, S. and Schlich, P. (2003). Temporal dominance of sensations: a new technique to record several sensory attributes simultaneously over time. In *Abstract book of 5th Pangborn Sensory Science Symposium, 121*. July 20-24, 2003, Boston, MA, USA.

* Corresponding author e-mail: inthawoot.s@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330