

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2020

สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นของ ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง

ฉนากร วงษ์ประเสริฐ
คณะวิทยาศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>

 Part of the [Food Science Commons](#)

Recommended Citation

วงษ์ประเสริฐ, ฉนากร, "สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นของ ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง" (2020). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 4069.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/4069>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นของ
ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICOCHEMICAL, TEXTURAL PROPERTIES, AND FLAVOR RELEASE OF
SOY PROTEIN BASED GEL PRODUCT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2019
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และการปลดปล่อยสาร
	ระเหยให้กลิ่นของ ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง
โดย	นายธนากร วงษ์ประเสริฐ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภา คงเป็นสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศิริมา พ่วงประพันธ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวภา หล่อเจริญผล)

ธนากร วงษ์ประเสริฐ : สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นของ
ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง. (PHYSICOCHEMICAL, TEXTURAL PROPERTIES, AND FLAVOR
RELEASE OF SOY PROTEIN BASED GEL PRODUCT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.อินทาวุธ สรรพพรสถิตย์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองให้สามารถรับประทานได้ง่าย และ
ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และรูปแบบการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง
ในขั้นต้น ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่
เหมาะสม โดยใช้กลูโคโนเดลตาแลคโตน (glucono-delta-lactone) ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล แปร
ชนิดแป้งมันสำปะหลังตัดแปรเป็นชนิดออกซิไดซ์และชนิดตัดแปรด้วยกรด และแปรปริมาณแป้งตัดแปรเป็น 3 ระดับ คือ
ร้อยละ 3 4 และ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าแป้งมันสำปะหลังตัดแปรชนิดออกซิไดซ์ ให้เนื้อสัมผัสที่สาก ซึ่งไม่เกิดขึ้นใน
ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งตัดแปรด้วยกรด และยังพบว่าปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้เนื้อสัมผัส
ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองใกล้เคียงกับตัวอย่างอ้างอิง Nutri-Jelly® ซึ่งเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะเคี้ยว
และกลืนลำบากมากที่สุด ขั้นตอนมาศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และ
รูปแบบการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น พบว่าผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองประกอบไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต
ไขมัน เถ้า และเส้นใย ร้อยละ 29.98 66.91 2.36 0.56 0.19 โดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) ตามลำดับ และให้ค่าพลังงาน
ความร้อน 67.41 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ
4 °C พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น มีการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อลดลง และมีกลิ่นรสที่ไม่พึง
ประสงค์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อศึกษารูปแบบการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นโดยใช้สารประกอบวานิลลินเป็น
โมเดล เปรียบเทียบกับตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติและตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลาย
เทียมเป็นองค์ประกอบ พบว่าตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง สามารถปลดปล่อยกลิ่นรสได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ
วานิลลิน และเมื่อเติมน้ำลายเทียมลงไปในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง วานิลลินถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างที่ได้
มากกว่าตัวอย่างเจลในสภาวะปกติอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ระดับ
ความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลาที่ผู้ทดสอบได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวานิลลินในตัวอย่าง และตัวอย่างที่มีน้ำลาย
เทียมมีระดับความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลามากกว่าตัวอย่างเจลในสภาวะปกติ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6072207123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD: soy protein, gel food, physicochemical properties, sensory evaluation, flavor release
 Thanakorn Wongprasert : PHYSICOCHEMICAL, TEXTURAL PROPERTIES, AND FLAVOR RELEASE
 OF SOY PROTEIN BASED GEL PRODUCT . Advisor: Asst. Prof. INTHAWOOT SUPPAVORASATTI,
 Ph.D.

The objectives of this research were to develop easily eaten formula of soy protein based gel product and to study physicochemical, textural properties, and flavor release profile of soy protein based gel product. Firstly, physicochemical and textural properties of soy protein based gel product were evaluated to select suitable formulation. Glucono-delta-lactone (GDL; 0.3% w/w) was used as coagulant. Oxidized modified tapioca starch and acid-treated modified tapioca starch were added at various concentrations [3%, 4% and 5% (w/w)]. It was found that oxidized starch provided gel product with grainy texture, but grainy texture was not found in gel product with acid-treated starch. It was also found that 4% (w/w) acid-treated modified tapioca starch was an appropriate concentration to provide gel product with closest texture to Nutri-Jelly® which is the product for patients with mastication and swallowing problems. Next, nutritive values, changes during storage, and flavor release profile were evaluated. It was found that soy protein based gel product prototype consisted of 29.98% protein, 66.91% carbohydrate, 2.36% lipid, 0.56% ash, and 0.19% fiber (dry basis) with total calories of 67.41 kcal/ 100 g samples. During storage at 4 °C, syneresis was increased, the firmness of samples was decreased and undesirable flavor was increased over time (p 0.05). Flavor release profile was determined in soy-protein based gel product using vanillin as a model. The flavor release profile was compared between soy-protein based gel product in normal condition and with artificial saliva. The results showed that the release of vanillin was increased with increasing of vanillin concentration. When added artificial saliva in soy-based gel product, vanillin can be released from samples better than samples in normal condition. Comparing to sensory evaluation, vanilla intensity score in the product perceived by panelist was increased when increasing vanillin concentration in sample. In addition, higher scores in vanillin intensity were observed in samples with artificial saliva compared to samples in normal condition.

Field of Study: Food Technology

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (CU_GR_63_05_23_03) และทุนอุดหนุนการศึกษา โดย ทุน 72 พรรษาพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ขอขอบพระคุณ มูลนิธิทันตนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์ที่ให้การสนับสนุนตัวอย่างอาหารเจลสำหรับผู้ป่วย เจลลี่โภชนา หรือ นูทริ-เจลลี่ (Nutri-Jelly®) เพื่อเป็นตัวอย่างมาตรฐานในการทดสอบ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ให้แนวคิดงานวิจัย คำแนะนำในด้านวิชาการ และคำแนะนำในการใช้ชีวิต รวมทั้งมอบโอกาสต่าง ๆ มากมายที่ไม่คิดว่าในชีวิตของข้าพเจ้าจะได้รับประสบการณ์ที่ดีในการเรียนระดับปริญญาโทมาขนาดนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข อาจารย์ ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เยาวภา หล่อเจริญผล ที่ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้คำแนะนำ ทั้งด้านวิชาการและด้านอื่น ๆ รวมทั้งตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญาโทมาบัดนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านสำหรับการอำนวยความสะดวก การให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในหลักสูตรปริญญาโทมาบัดนี้ และพี่ๆ ในหลักสูตรปริญญาตรีมาบัดนี้ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ดูแล รวมทั้งให้กำลังใจเพื่อฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ ผู้ทำวิจัยจะไม่สามารถทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่มีทุกท่านคอยช่วยเหลือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ธนากร วงษ์ประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	1
2.1 อาหารเจล.....	1
2.2 ถั่วเหลือง.....	3
2.2.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง.....	4
2.2.2 เต้าหู้ และ เต้าฮวย.....	5
2.3 การดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองด้วยไฮโดรคอลลอยด์.....	12
2.4 การดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยไฮโดรคอลลอยด์และการรับรู้กลิ่นรส*.....	14
2.5 การศึกษาผลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหาร.....	18
2.6 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นรสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	22
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์.....	25
3.1.1 วัตถุประสงค์.....	25
3.1.2 สารเคมี.....	25
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์.....	26

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.2.1 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ประเภทเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง	28
3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง.....	29
3.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง	30
3.2.4 การศึกษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองและการปลดปล่อยกลิ่นรสของ ผลิตภัณฑ์.....	31
3.2.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis) 31	
3.2.4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่ว เหลือง.....	32
3.2.5 การศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น.....	33
3.2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความสามารถในการได้รับกลิ่นวานิลลาที่ ระดับต่าง ๆ (dose response curve).....	37
3.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	38
บทที่ 4 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
4.1 ผลของแปงัดแปรต่อสมบัติทางเคมีกายภาพในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง	39
4.2 ผลของแปงัดแปรที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง	42
4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองด้วยวิธีการจัดอันดับ (ranking test).....	46
4.4 วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis) และการ เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง.....	48
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่ว เหลือง	50
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่ว เหลือง	52
4.4.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง	54

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีน ถั่วเหลือง.....	55
4.5 การปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นโดยใช้วานิลลินเป็นโมเดลในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางเคมี.....	88
ภาคผนวก ข การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	101
ภาคผนวก ค การเตรียมน้ำลายเทียม.....	108
ภาคผนวก ง การหา response factor ของวานิลลินและดีวเทอเรียมวานิลลิน (vanillin-d ₃).....	109
ภาคผนวก จ หนังสืออนุญาตการใช้บทความเพื่อประกอบในวิทยานิพนธ์.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองในระบบอาหาร.....	5
ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มความหนืดหรือความแน่นเนื้อในตัวอย่าง ต่อการปลดปล่อยกลีโคลินแบบ in vivo และการรับรู้กลิ่นด้วยประสาทสัมผัส.....	22
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์ และชนิดดัดแปรด้วยกรด.....	40
ตารางที่ 4.2 ผลของแป้งดัดแปรต่อโปรไฟล์เนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนถั่วเหลือง.....	43
ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบจัดอันดับ (ranking test) ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดที่ปริมาณแตกต่างกัน	47
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบโดยประมาณของเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการคัดเลือกและเยลลี่ โภชนา (Nutri-Jelly®)	50
ตารางที่ 4.5 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (CFU/g) และโคลิฟอร์มของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	52
ตารางที่ 4.6 ค่าการแยกตัวของน้ำ pH และสีของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	53
ตารางที่ 4.7 โปรไฟล์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....	55
ตารางที่ 4.8 คุณลักษณะ นิยาม ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้มที่ใช้สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ modified quantitative descriptive analysis ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง	57
ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ.....	59

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 เยลลี่โภชนา (Nutri-Jelly®) (ก,ข) และการประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยในโรงพยาบาล (ค.).....	2
รูปที่ 2.2 วัุ่นชุ่มปาก	2
รูปที่ 2.3 ชนิดของเต้าหู้ประเภทต่าง ๆ.....	6
รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเต้าหู้ประเภทต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเต้าหู้อ่อน (silken tofu) แบบแห้ง (dry methods) และแบบแช่น้ำ (soak methods).....	9
รูปที่ 2.6 เต้าหู้และน้ำขิง	10
รูปที่ 2.7 กลไกการสร้างเจลจากนมถั่วเหลือง.....	11
รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	14
รูปที่ 2.9 แผนภาพจำลองการปลดปล่อยกลีนิรสจากอาหาร และการรับรู้โดยการกระตุ้นประสาทสัมผัสในร่างกาย.....	15
รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดเจลของพอลิแซ็กคาไรด์ในอาหาร	17
รูปที่ 2.11 อันตรกิริยาระหว่างสารให้กลีนิรสและโปรตีน.....	18
รูปที่ 2.12 กราฟแมงมุมจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของนมถั่วเหลือง (A) และเต้าหู้อ่อน (silken tofu) (B) และในแต่ละคุณลักษณะ.....	24
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ.....	35
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆใน Thermodesorption Unit (TDU).....	36
รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติม GDL 0.3% และแบ่งตัดแปรด้วยกรด 5% จากมุมด้านบน (ก) และ ด้านข้าง (ข).....	39
รูปที่ 4.2 กราฟโปรไฟล์การปลดปล่อยวานิลลินในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง และ เจลโปรตีนถั่วเหลืองผสมน้ำลายเทียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ของวานิลลินในตัวอย่าง จากกราฟรายงานด้วยค่าเฉลี่ย±SD (n=3).....	61

บทที่ 1

บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสูงและมีการบริโภคอย่างหลากหลายทั่วโลก เช่น คัสตาร์ดที่นิยมบริโภคในยุโรป หรือฉะฉาน ที่นิยมในเอเชีย (van Ruth et al., 2004; Kreungngern, 2016) ส่วนใหญ่นิยมบริโภคเป็นของหวาน สามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย เนื่องจากรับประทานได้ง่าย และด้วยเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลบางชนิดมีประโยชน์อย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืนอาหาร องค์ประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ประเภทเจลแบบดั้งเดิมส่วนใหญ่ประกอบด้วย เจลาติน นม ครีม และน้ำตาล (Nepovinnykh et al., 2019) แต่ปัจจุบันกระแสความนิยมในการรักษาสุขภาพมีมากขึ้น ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทเจลนี้ให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น เพิ่มปริมาณโปรตีนลงในผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรตีนจากนมหรือถั่วเหลืองเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น เป็นต้น

อาหารหลายชนิดรวมทั้งอาหารผู้ป่วยมักมีการเติมโปรตีนเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น รวมทั้งเสริมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ เช่น ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวหรือเกิดเจลได้ แต่โปรตีนที่มักใช้กันในปัจจุบันคือโปรตีนจากนม ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำตาลแลคโตสทำให้ผู้ที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลดังกล่าวบริโภคได้ รวมถึงผู้ที่แพ้โปรตีนจากนมก็ไม่สามารถบริโภคได้เช่นกัน ดังนั้นโปรตีนจากถั่วเหลืองจึงเป็นทางเลือกในการบริโภค เนื่องจากไม่มีน้ำตาลแลคโตส เหมาะกับตลาดมังสวิรัต (vegetarian) ช่วยให้อิ่มท้องได้นานกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ เนื่องจากดูดซึมได้ช้า และเพิ่มความสะดวกของการบริโภคโปรตีนจากสัตว์และพืช (Russell et al., 2006) แต่อย่างไรก็ตามการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองมีข้อเสีย เนื่องจากมีกลิ่นถั่ว (beany) และมีความเฝื่อนเฉพาะตัว (Chambers et al., 2006; Da Saliva et al., 2012) ตัวอย่างอาหารประเภทเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่สามารถพบได้ทั่วไป เช่น เต้าหู้ และ เต้าฮวย เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีควรมีเนื้อสัมผัสเนียนสม่ำเสมอและมีความยืดหยุ่น รวมทั้งควรมีกลิ่นรสที่ดีด้วย ดังนั้นมักมีการเติมแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง หรือคาร์ราจีแนน

ปัจจุบันนิยมใช้แปงตัดแปรอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทนต่อสภาวะการผลิตแบบต่าง ๆ ได้ดีกว่าแปงที่ยังไม่ผ่านการตัดแปร อย่างไรก็ตามองค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของโปรตีนหรือชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ ส่งผลกระทบต่อการรับรู้กลิ่นรสของผู้บริโภค ซึ่งอาจเกิดจากชนิดของโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ หรือปริมาณของโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ที่ใส่ลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ จึงควรมีความเข้าใจถึงสมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสมบัติในการปลดปล่อยกลิ่นรส (flavor release) ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วยซึ่ง การปลดปล่อยกลิ่นรสจากอาหารเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้กลิ่นรสของผู้บริโภค เนื่องจากในระบบอาหารนั้น มีองค์ประกอบในอาหารหลากหลาย เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน หากองค์ประกอบเหล่านี้เกิดอันตรกิริยา (interaction) กับกลิ่นรสในอาหารจะมีผลกระทบต่อรับรู้กลิ่นรสด้วย โดยทำให้อัตราการปลดปล่อยกลิ่นรสในอาหารลดลงหรือส่งผลให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป

ปัจจุบันพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทเจลที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ รวมถึงการปลดปล่อยกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองอย่างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบสำหรับผู้ที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืนและศึกษาเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และการปลดปล่อยกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ

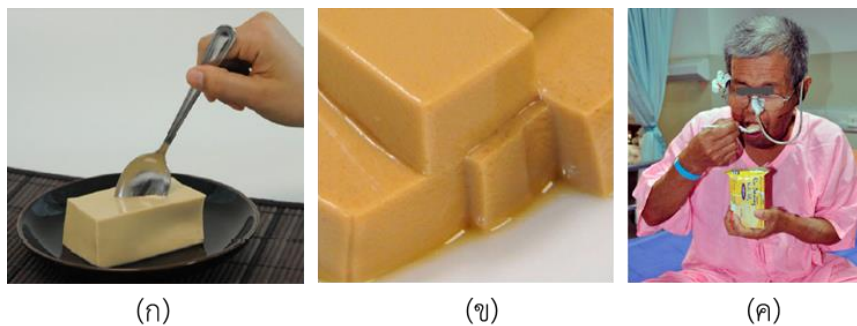
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 อาหารเจล

อาหารเจล คือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก มีการรับประทานอาหารเจลเป็นปกติซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น เฉาก้วยในประเทศจีน หรือคัสตาร์ทในแถบทวีปยุโรป เป็นต้น (van Ruth et al., 2004; Kreungngern, 2016) นอกจากนี้สามารถรับประทานเป็นของหวานแล้ว ผลิตภัณฑ์ประเภทเจลบางชนิดยังเหมาะสำหรับผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานได้ง่ายโดยไม่เกิดการสำลัก และมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก ซึ่งช่วยทำให้ช่องปากมีความชุ่มชื้นมากขึ้นได้อีกด้วย จากการศึกษาพบว่า อาหารที่เหมาะสมต่อผู้สูงอายุและผู้ที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืน ควรมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ปริมาณความชื้นสูง เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เหนียวติดลำคอและช่องปาก และประกอบด้วยไฟเบอร์ที่ย่อยง่าย (Aguilera and Park, 2016; Funami, 2011)

มีงานวิจัยเกี่ยวกับอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีลักษณะเป็นเจล เช่น เยลลี่โภชนา (Nutri Jelly®) เพื่อให้ผู้ป่วยโรคมะเร็งในลำคอและช่องปากรับประทานดังแสดงในรูปที่ 2.1 พบว่าผู้ป่วยที่รับประทานอาหารชนิดเจลชนิดนี้ติดต่อกัน จะสามารถลดปริมาณการให้อาหารทางสายยางระหว่างการทำรังสีบำบัด (radiotherapy) และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นมากกว่าผู้ป่วยทั่วไปที่ไม่ได้รับประทานเยลลี่โภชนา (Trachootham et al., 2015) หรือตัวอย่างเจลอีกประเภทหนึ่ง คือ วุ้นชุ่มปาก (oral moisturizing jelly) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเจลที่ทำหน้าที่เป็นน้ำลายเทียม สำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะช่องปากแห้ง จากงานวิจัยพบว่า ผู้ป่วยและผู้สูงอายุที่ได้รับประทานวุ้นชุ่มปากติดต่อกันเป็นเวลา 2 สัปดาห์สามารถลดอาการปากแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อรับประทานเป็นระยะเวลาหนึ่งเดือน พบว่าสามารถป้องกันการลดลงของ pH ในน้ำลายและปรับปรุงระบบบัฟเฟอร์ในช่องปากได้ด้วย (Dalodom et al., 2016)



รูปที่ 2.1 เยลลี่โภชนา (Nutri-Jelly®) (ก,ข) และการประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยในโรงพยาบาล (ค.)
ที่มา : Trachootham et al. (2015)



รูปที่ 2.2 วุ้นชุ่มปาก
ที่มา : Dalodom et al. (2016)

องค์ประกอบของอาหารเจลส่วนใหญ่ในท้องตลาดปัจจุบันประกอบด้วยน้ำตาล ครีม หรือ สารปรุงแต่งกลิ่นรสต่าง ๆ และเนื่องจากกระแสความนิยมรักษาสุขภาพในปัจจุบันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความพยายามคิดค้นสูตรอาหารเจลเพื่อสุขภาพ เพื่อให้มีสูตรอาหารที่หลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้น เช่น การเติมธัญพืชลงไปในผลิตภัณฑ์ (กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุดดวง, 2016) ทดแทนครีมในผลิตภัณฑ์อาหารเจลด้วยโปรตีนจากพืชหรือโปรตีนจากนม ทดแทนเจลาตินด้วยไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น หรือการเติมโปรตีนลงไปในผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เป็นต้น (Nepovinnykh et al., 2019) โปรตีนจากนม เช่น เวย์โปรตีน เป็นโปรตีนที่นิยมใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์เสริมโปรตีน ข้อดีคือสามารถรับประทานได้ง่ายและประยุกต์ใช้ได้กับเครื่องดื่มหลายรูปแบบ

แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากนมมีส่วนประกอบของน้ำตาลแลคโตส ทำให้ผู้ที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลดังกล่าว บริโภคได้ และผู้ป่วยโรคไตและเบาหวานสามารถรับประทานได้อย่างจำกัด เนื่องจากนมผงและเวย์โปรตีนมีแร่ธาตุฟอสฟอรัสสูงจึงส่งผลให้กระดูกเปราะและแตกหักได้ง่าย (Román-García et al., 2010) หรือผู้ที่แพ้โปรตีนจากนมก็ไม่สามารถบริโภคได้เช่นกัน ดังนั้นโปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนจากถั่วเหลือง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค และเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ อีกด้วย

2.2 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง (*Glycine max*) เป็นพืชชนิดหนึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างกว้างขวาง และมีการเพาะปลูกมายาวนานมากกว่า 5,000 ปี ตามบันทึกของชาวจีน เหตุผลที่มีการบริโภคอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี (Watanabe and Kishi, 1984)

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนที่ดี เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 40% ไขมัน 20% และคาร์โบไฮเดรตอีก 30% ซึ่งแตกต่างจากถั่วและธัญพืชชนิดอื่น (Endres, 2001) โปรตีนถั่วเหลืองเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากมีราคาไม่แพง มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่มีน้ำตาลแลคโตส เหมาะกับตลาดมังสวิรัติ (vegetarian) ช่วยให้อิ่มท้องได้นานกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์เนื่องจากดูดซึมได้ช้า และช่วยเพิ่มความสมดุลของการบริโภคโปรตีนจากสัตว์และพืชชนิดอื่น ๆ (Russell et al., 2006) จากการศึกษา พบว่ามีคนแพ้โปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณน้อยกว่าโปรตีนชนิดอื่น ๆ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองที่จับกับ allergen-specific immunoglobulin E (IgE) antibody มีปริมาณน้อยมากที่จะกลายเป็น Immunodominant allergen (Tzifi et. al., 2014) และยังพบอีกว่าร้อยละ 50% ของเด็กที่แพ้โปรตีนถั่วเหลืองสามารถทนต่อการแพ้ได้เมื่ออายุ 7 ปีขึ้นไป (Savage et. al., 2010) นอกจากนี้องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration; FDA) (1999) รายงานว่าการบริโภคถั่วเหลืองสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ นอกจากนี้ไอโซฟลาโวน (isoflavones) ในถั่วเหลืองยังสามารถช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน มะเร็งเต้านม และโรคหัวใจได้ (Song et al., 2008) อย่างไรก็ตามการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองมีข้อเสียเนื่องจากมีกลิ่นถั่ว (beany) และมีความเผื่อนเฉพาะตัว (Chambers et al., 2006; Da Saliva et al., 2012) ดังนั้นหลายงานวิจัยจึงมีการดัดแปรโปรตีนให้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น ลด

ปริมาณไลพอกซีจีเนสและซาโปนิน (Takada et al., 2013) ดัดแปรโครงสร้างของโปรตีนด้วย เอนไซม์ (Suppavorasatit et al., 2012) หรือเติมสารให้กลิ่นรสเพื่อกลบกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเติมผงโกโก้ หรือกาแฟ และด้วยเนื้อสัมผัสที่สาก แข็งและมันของโปรตีนถั่วเหลือง จึงมีการใช้สารให้ความคงตัวชนิดต่าง ๆ เพื่อกลบเนื้อสัมผัสที่แท้จริง (Yuang and Chang, 2007a; Potter et al., 2007)

2.2.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง

โดยปกติแล้ว โปรตีนจากสัตว์ เช่น เนื้อ นม หรือ ไข่ มักนิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ โปรตีนจากพืชมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากขาดสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต้องการบางอย่างในผลิตภัณฑ์ (Hettiarachchy and Kalapathy, 1997) โปรตีนถั่วเหลืองนั้นมักถูกเลือกใช้เป็นอันดับต้น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากสมบัติเชิงหน้าที่ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้ผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่นำไปประยุกต์ใช้ด้วย ดังนั้น องค์ประกอบของอาหาร โครงสร้าง และ รูปร่าง (conformation) ของโปรตีน มีผลกระทบต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของโปรตีนในระบบอาหารได้ เช่น การดูดซับ (sorption), การละลาย (solubility), การเกิดเจล (gelation), การลดแรงตึงผิว (surfactancy), การจับระหว่างสารประกอบกับลิแกนด์ (ligand-binding) เช่น สารให้กลิ่นรส (flavor) และการเกิดฟิล์ม (film formation) โดยสามารถสรุปสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหารได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองในระบบอาหาร

สมบัติเชิงหน้าที่	หน้าที่	ระบบอาหาร
ความสามารถในการละลาย	สามารถละลายโปรตีนได้ โดยขึ้นกับ pH ในระบบ	เครื่องดื่ม
ความสามารถในการดูดน้ำและการเชื่อมติด	เกิดพันธะไฮโดรเจนและสามารถจับกับน้ำได้	เนื้อ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์อบ
ความหนืด	เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening)	ซूप
การเกิดเจล	สร้างเมทริกซ์โปรตีนและทำให้อยู่ตัว	ลิม ซีส
การเชื่อมแน่น-การยึดติด (cohesion-adhesion)	ทำหน้าที่เป็นสารยึดติดในผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์อบ
ความยืดหยุ่น	สร้างพันธะไดซัลไฟด์ในเจลที่เสีรูปร่างได้ (deformable gel)	เนื้อ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ
การเกิดอิมัลชัน	ทำให้อิมัลชันของไขมันเกิดขึ้นและมีความเสถียร	ผลิตภัณฑ์เนื้อ ซุป เค้ก
การดูดซับไขมัน	จับกับไขมันอิสระ	ผลิตภัณฑ์เนื้อ
การจับกับสารให้กลิ่นรส	ดูดซับ กักเก็บ หรือปลดปล่อย	เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์อบ
การเกิดโฟม	สร้างฟิล์มที่เสถียรเพื่อกักเก็บแก๊ส	วิปครีม เค้กสปันจ์
การควบคุมสี	กำจัดสีในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก lipoxxygenase	ขนมปัง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kinsella (1979)

2.2.2 เต้าหู้ และ เต้าฮวย

สมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของโปรตีนคือ ความสามารถเกิดเจล การเกิดเจลโปรตีนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ส่วนใหญ่มักมีหลายปฏิกิริยาเกิดขึ้น เช่นการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) การแตกตัวและการรวมตัว (dissociation-association) หรือการรวมกลุ่มก้อน (aggregation) เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้จลนพลศาสตร์ (kinetics) ของปฏิกิริยาบ่งบอกชนิดของโครงสร้างโปรตีนที่เกิดขึ้นได้ เจลโปรตีนสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท คือเจลที่เกิดจากการรวมกลุ่มก้อนแบบสุ่ม หรือเจลจากการรวมกันของโมเลกุลต่าง ๆ เป็นสาย (strand) และมีจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (Hermansson, 1986)

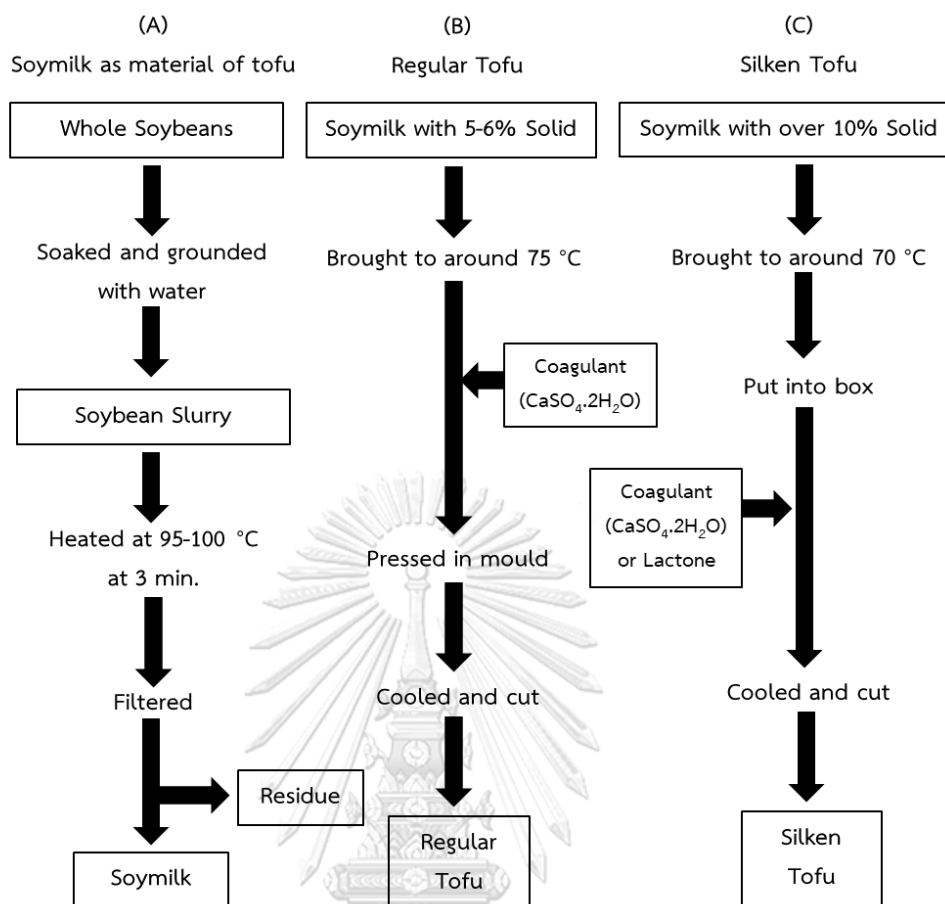
เต้าหู้ เป็นตัวอย่างอาหารประเภทเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองที่สามารถพบได้ทั่วไป มีรายงานว่า เต้าหู้ ถือกำเนิดมานานกว่า 2,000 ปีในจีนแผ่นดินใหญ่ เต้าหู้นั้นมีชื่อเรียกหลากหลาย เช่น โดวฟู (ภาษาจีน) โทฟู (tofu; ภาษาญี่ปุ่น) bean curd หรือ tofu (ภาษาอังกฤษ) เต้าหู้มีหลายประเภท สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะเนื้อสัมผัส (รูปที่ 2.3) โดยแบ่งได้เป็นสองแบบหลัก ๆ คือเต้าหู้แบบแข็ง (hard tofu) และ เต้าหู้แบบอ่อน (silken tofu, touhua) เต้าหู้ทั้งสองแบบมีกระบวนการผลิต

ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ชนิดของสารที่ทำให้ตกตะกอนที่ใช้ เต้าหู้แบบอ่อน นิยมใช้ กลูโคโนแลคโตน (Glucono- δ -lactone; GDL) นิการิ (nigari; สารประกอบผสมระหว่าง แคลเซียมซัลเฟต และแมกนีเซียมคลอไรด์) หรือแคลเซียมซัลเฟต เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอน (coagulant) เพื่อให้เกิดเจลโปรตีน ส่วนเต้าหู้ชนิดแข็ง มักใช้แคลเซียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอน (Yuan and Chang, 2007b; Chang et al., 2009) เต้าหู้อ่อนสามารถเกิดเจลได้ในภาชนะที่บรรจุโดยไม่ต้องออกแรงบีบอัด (unpressed tofu) ส่วนเต้าหู้แข็งต้องบีบอัดตะกอนหรือเคิร์ด (curd) เพื่อไล่น้ำออกก่อนที่จะบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ (packed tofu) สำหรับวิธีการผลิตเต้าหู้นั้นมีวิธีการที่หลากหลายขึ้นกับชนิดของเต้าหู้ แต่มีวิธีหลักที่คล้ายกัน เริ่มต้นจากการแช่ถั่วเหลือง บดถั่วเหลืองกับน้ำจนได้นมถั่วเหลือง จากนั้นให้ความร้อนแล้วแยกกาก (okara) ออกจากผลิตภัณฑ์ จากนั้นเติมสารที่ทำให้ตกตะกอนลงไปเพื่อสร้างเคิร์ด กระบวนการผลิตเต้าหู้แบบอ่อน แบบแข็ง และการผลิตนมถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเต้าหู้ แสดงในรูปที่ 2.4 (Yang and James, 2013)



รูปที่ 2.3 ชนิดของเต้าหู้ประเภทต่าง ๆ

ที่มา : ดัดแปลงจาก <https://www.tofutoday.com/a-guide-to-different-types-of-tofu/>



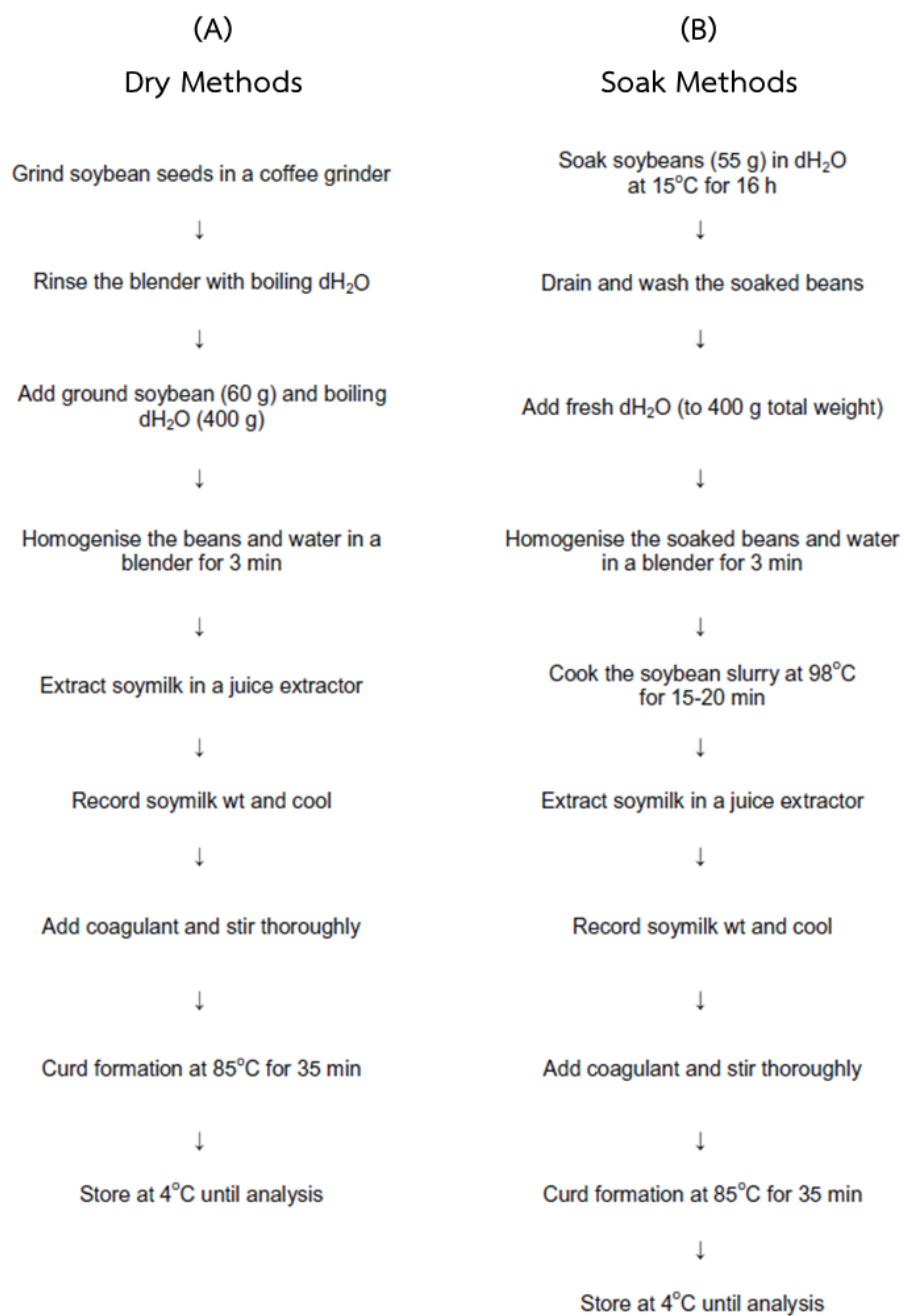
รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเต้าหู้ประเภทต่างๆ
ที่มา : ดัดแปลงจาก Fukushima (1981)

การผลิตเต้าหู้เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อนมาก เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่อในการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง Yang et al. (2016) ศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้อ่อน (silken tofu) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี แต่สามารถผลิตได้ง่าย และได้มาตรฐานในการผลิตทุกครั้ง โดยการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตทั้งสองแบบ ระหว่างการผลิตแบบแห้ง (dry method) และแบบแช่น้ำ (soak method) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และเปรียบเทียบชนิดของสารที่ทำให้ตกตะกอนที่ใช้ คือ GDL และ nigari จากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการผลิตแบบแช่น้ำสามารถผลิตนมถั่วเหลืองได้เร็วกว่าแบบแห้ง มีปริมาณของแข็ง (solid content) ในนมถั่วเหลืองต่ำ แต่มีโปรตีนสูง และได้เต้าหู้อ่อนที่มีความนุ่มนวลมากกว่า ไม่ว่าจะใช้สารที่ทำให้ตกตะกอนแบบใดก็ตาม เมื่อเทียบระหว่างสารที่ทำให้ตกตะกอนทั้งสองชนิด ผลลัพธ์ที่ได้คือ เต้าหู้อ่อนที่ใช้ GDL ให้ค่าความแข็ง (hardness) มากกว่า nigari ในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เกิดจากปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน ซึ่ง

ปริมาณโปรตีนในนมถั่วเหลืองถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตเต้าหู้ที่มีความแน่นเนื้อ (Saio, 1985; Shen et al., 1991; James and Yang, 2014) และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตัวอย่างเต้าหู้อ่อนทางการค้า (commercial silken tofu) พบว่าค่าความแข็ง (hardness) ที่วัดด้วย Instron อยู่ในช่วงระหว่าง 360 ถึง 540 g ซึ่งการใช้วิธีการผลิตแบบแช่น้ำร่วมกับ GDL เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอนสามารถผลิตเต้าหู้อ่อนที่มีค่าเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้าได้

เต้าฮวย เป็นของหวานที่นิยมรับประทานแบบอุ่น โดยรับประทานคู่กับเครื่องดื่มชนิดอื่น เช่น น้ำชง หรือ นมสด เป็นต้น (รูปที่ 2.6) ในการผลิตเต้าฮวยมีความคล้ายกับเต้าหู้อ่อนคือ ไม่มีขั้นตอนการกดเพื่อไล่น้ำออกเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างที่สารที่ทำให้ตกตะกอน โดยเต้าฮวยมักใช้แคลเซียมซัลเฟตเป็นหลัก และมักใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยให้เกิดเจลได้ง่ายยิ่งขึ้น เช่น เจลาตินหรือแป้งข้าวโพด การผลิตเต้าฮวย ส่วนใหญ่นิยมให้ความร้อนกับนมถั่วเหลืองก่อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60-80 °C จากนั้นเทลงสารละลายที่ผสมสารที่ทำให้ตกตะกอนหรือไฮโดรคอลลอยด์ไว้ และทิ้งไว้จนกว่าจะเกิดเป็นเจลซึ่งใช้ระยะเวลาานาน (Chang et al., 2009; Widyanto et al., 2018)

ทั้งเต้าหู้และเต้าฮวยต่างเป็นผลิตภัณฑ์เจลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองมีหลายปัจจัย เช่น อัตราส่วนระหว่างน้ำและปริมาณถั่วเหลือง หรือปริมาณของแข็งในนมถั่วเหลือง ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำให้ตกตะกอน อุณหภูมิในการตกตะกอน หรือความดัน เป็นต้น (Kohyama and Nishinari, 1993; Shih et al., 1997; Shih and Shiau, 2003; Saowapark et al., 2008)



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเต้าหู้อ่อน (silken tofu) แบบแห้ง (dry methods, A) และแบบแช่น้ำ (soak methods, B)

ที่มา : Yang et al. (2016)



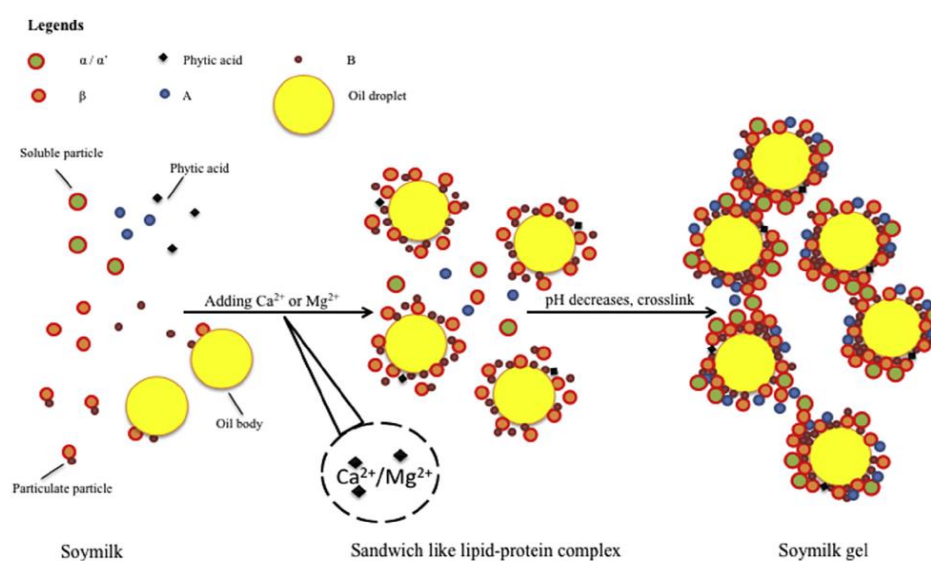
รูปที่ 2.6 เต้าห่วยในน้ำจืด

ที่มา : <https://goodlifeupdate.com/healthy-food/recipe/627.html>

GDL เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอนที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ เนื่องจากเป็นสารเคมีที่ผ่านการรับรองโดยองค์การอาหารและยาว่าสามารถใช้เติมลงไปในการได้อย่างปลอดภัย (Generally Recognized as Safe; GRAS) และมีความเป็นกรดอ่อน ซึ่งสามารถแตกตัวเป็น gluconic acid ได้ในน้ำและค่อย ๆ แตกตัว จนกลายเป็นไฮโดรเจนไอออนได้ เมื่อ pH ของนมถั่วเหลืองต่ำลงจนถึง pH ประมาณ 6 (ซึ่งมากกว่า isoelectric point ของโปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่าประมาณ 4.6) โปรตีนถั่วเหลืองจะเริ่มเกิดการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) และสร้างเจลโปรตีนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม หากใช้ GDL ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น pH ของเต้าหู้ที่ได้จะมีค่าต่ำลง (Kohyama et al., 1992) GDL ถือเป็นสารที่ทำให้ตกตะกอนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายกว่าสารที่ทำให้ตกตะกอนชนิดอื่น ๆ เนื่องจากสามารถละลายในน้ำได้ง่าย และสามารถใช้ในนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่ำได้ ในขณะที่แคลเซียมซัลเฟตมีความสามารถในการละลายน้ำเย็นต่ำ และต้องผสมกับนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิสูงเท่านั้นจึงสามารถทำเต้าหู้อ่อนหรือเต้าห่วยได้ ดังนั้นจึงมีการใช้ GDL อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตเต้าหู้ ส่วนแคลเซียมซัลเฟตนั้นยังพบได้ในการผลิตเต้าห่วยแบบดั้งเดิมและเต้าหู้ชนิดโมเมน (Momen tofu) (Kohyama et al., 1992)

Kohyama and Nishinari (1993) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ GDL ในการผลิตเต้าหู้อ่อน ช่วยลดเวลาในการเกิดเจลของโปรตีนในนมถั่วเหลือง กลอบูลาร์โปรตีนชนิด glycinin (11S) และ β -conglycinin (7S) เมื่อพิจารณาอัตราการรวมตัวกัน (aggregation rate) ของโปรตีนถั่วเหลือง และ GDL นั้นพบว่า GDL สามารถรวมตัวกับโปรตีน 11S ได้เร็วกว่าโปรตีน 7S (Tay et al.,

2005) และอัตราการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองและ GDL นั้นมีอัตราการเกิดเจลช้ากว่าการใช้แคลเซียมซัลเฟตเป็นสารที่ทำให้ตกตะกอน ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง หากเกิดเจลเร็วเกินไป จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสสากและร่วน ดังนั้นพฤติกรรมในการเกิดเจลของโปรตีนแต่ละชนิด จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาหากต้องการศึกษาโมเดลการเกิดเจลของนมถั่วเหลืองในเชิงลึก กลไกการเกิดเจลเมื่อเติม GDL และแคลเซียม/แมกนีเซียมไอออน แสดงดังรูปที่ 2.7 (Shih and Shiau, 2003; Peng et. al., 2016)



รูปที่ 2.7 กลไกการสร้างเจลจากนมถั่วเหลือง

ที่มา : Peng et al. (2016)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การให้ความร้อนแก่โปรตีนถั่วเหลืองสามารถทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ (protein denaturation) โปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาตินั้นสามารถเกิดการรวมตัวกันและเกิดเจลโปรตีนได้ง่ายโดยมีหรือไม่มีสารที่ทำให้เกิดตะกอนก็ได้ ในกรณีที่ไม่มีสารที่ทำให้เกิดตะกอน โปรตีนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นสูง ๆ สามารถเกิดเจลจากความร้อนได้ (heat-induced gel) Renkema and van Vliet (2004) รายงานว่า จุดวิกฤตของความเข้มข้นที่จะเกิดเจลของ 11S และ 7S นั้นมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นกับ pH และ ความแรงไอออน (ionic strength)

อุณหภูมิในการตกตะกอนนั้นส่งผลต่ออัตราการเกิดเจลและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง จากการศึกษ พบว่าอัตราการเกิดเจลของโปรตีน 11S มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการ

ตกตะกอนจาก 50 °C เป็น 90 °C โดยมี GDL อยู่ในระบบด้วย (Kohyama et al., 1992) เช่นเดียวกับอีกงานวิจัยที่รายงานว่า ค่าความแข็งของเต้าฮวยและปริมาณน้ำที่ออกมาจากระบบมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเกิด coagulation จาก 65 °C เป็น 85 °C (Shih and Shiau, 2003) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยิ่งทำให้เกิดการรวมตัวกันและการตกตะกอนของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้นและทำให้ความสามารถในการเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย Beddow และ Wangs (1978b) รายงานว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของเต้าหู้อ่อนที่เหมาะสมนั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 75-80 °C

2.3 การตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองด้วยไฮโดรคอลลอยด์

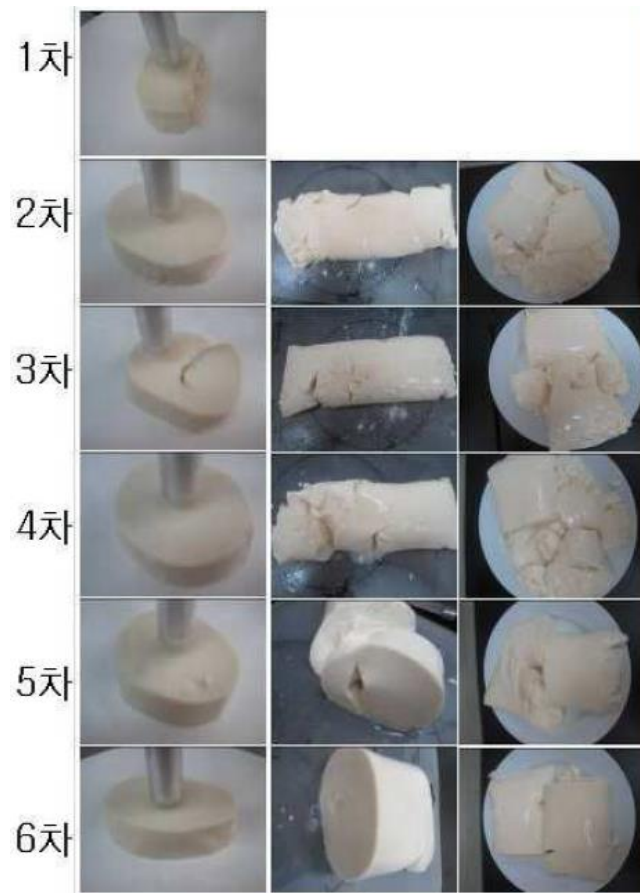
ไฮโดรคอลลอยด์เป็นกลุ่มของสารที่สามารถใช้ตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารโดยเฉพาะในอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตแบบต่าง ๆ ได้ โดยนิยามของไฮโดรคอลลอยด์ คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดอนุภาคประมาณ 10-1000 nm กระจายในน้ำได้และเป็นวัฏภาคกระจาย (van Olphen and Mysels, 1975) โดยโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลเดี่ยวมาต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่สามารถเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ได้ (William and Philips, 2000) ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเนื่องจากสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติในการอุ้มน้ำ การเกิดเจล ให้ความหนืด ให้ความคงตัว สร้างฟิล์ม หรือ ทำให้เกิดโฟม สามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์ตัดแปรเนื้อสัมผัสในอาหารได้หลากหลายประเภท เช่น มายองเนส ไอศกรีม น้ำสลัด ไฮโดรคอลลอยด์มาจากหลากหลายแหล่งในธรรมชาติ เช่น วุ้น (agar) และคาร์ราจีแนน (carrageenan) จากสาหร่าย กัวร์กัม (guar gum) และโลคัสบีนกัม (locust bean gum) จากเมล็ดพืช เพกทิน (pectin) จากเปลือกส้มหรือแอปเปิล แซนแทนกัม (xanthan gum) และเจลแลนกัม (gellan gum) จากจุลินทรีย์ แป้งตัดแปรจากธัญพืชต่าง ๆ สำหรับโปรตีนที่เป็นกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เช่น ไคตินและไคโตซานจากสัตว์มีกระดอง เจลาตินจากหมูหรือปลา เป็นต้น (Funami et al., 2007)

ผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีควรมีเนื้อสัมผัสเนียนสม่ำเสมอและมีความยืดหยุ่น รวมทั้งควรมีกลิ่นรสดีด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ทางการค้าจึงมักมีการเติมแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง หรือคาร์ราจีแนน เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้แป้งตัดแปรอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม

อาหาร เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทนต่อสภาวะการผลิตแบบต่าง ๆ ได้ดีกว่าแป้งที่ยังไม่ผ่านการตัดแปร เช่นทนต่อสภาวะที่ pH ต่ำหรือสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิสูง การตัดแปรแป้งสามารถทำได้สามวิธี ได้แก่การตัดแปรทางกายภาพ ทางเคมี และด้วยการใช้เอนไซม์ (Abbas et al., 2010) มีหลายงานวิจัยที่ใช้แป้งตัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น จากการศึกษาของ Kang et al. (2016) พบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนแห้ง ที่ใช้กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น เมื่อเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรลงไปในผลิตภัณฑ์ จะให้คุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า และเมื่อนำไปทำแห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรง ไม่แตกหักในระหว่างกระบวนการผลิต การศึกษานี้แปรอุณหภูมิแกนกลางตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 47, 51, 55, 65, 74, 83 °C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากภาพสามารถชี้ให้เห็นได้ว่า เต้าหู้อ่อนที่ใช้อุณหภูมิแกนกลางประมาณ 83 °C (หมายเลข 6 จากรูปที่ 2.8) ให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน มีความแน่นเนื้อ เช่นเดียวกับ Ooi et al. (2004) ศึกษาผลของเจลแลนกัมและแป้งตัดแปร ต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้ทอดแช่แข็ง พบว่าเต้าหู้ทอดแช่แข็งไม่เกิดการแยกตัวของน้ำ และมีสมบัติต้านทานการแช่เยือกแข็ง (freeze-resistance properties)

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้น มีการใช้แป้งมันสำปะหลังตัดแปรเพื่อทดแทนไขมันและปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์ชีสไขมันต่ำ (Sipahioğlu et al., 2000) หรือใช้แป้งตัดแปรร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น เช่น ใช้แป้งข้าวโพดตัดแปรร่วมกับคาร์ราจีแนนเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประเภทของหวานที่ทำจากนม (dairy dessert) (Tarrega and Costell, 2006) อีกด้วย

อย่างไรก็ตามองค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของโปรตีนหรือชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ อาจส่งผลกระทบต่อความรู้สึกลิ้นรสของผู้บริโภค ซึ่งอาจเกิดจากชนิดของโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ที่เปลี่ยนไป หรือปริมาณของโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ที่ใส่ลงไปในระบบ ดังนั้นการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ ควรมีความเข้าใจในด้านสมบัติเคมีกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งคุณสมบัติในการปลดปล่อยลิ้นรสของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย



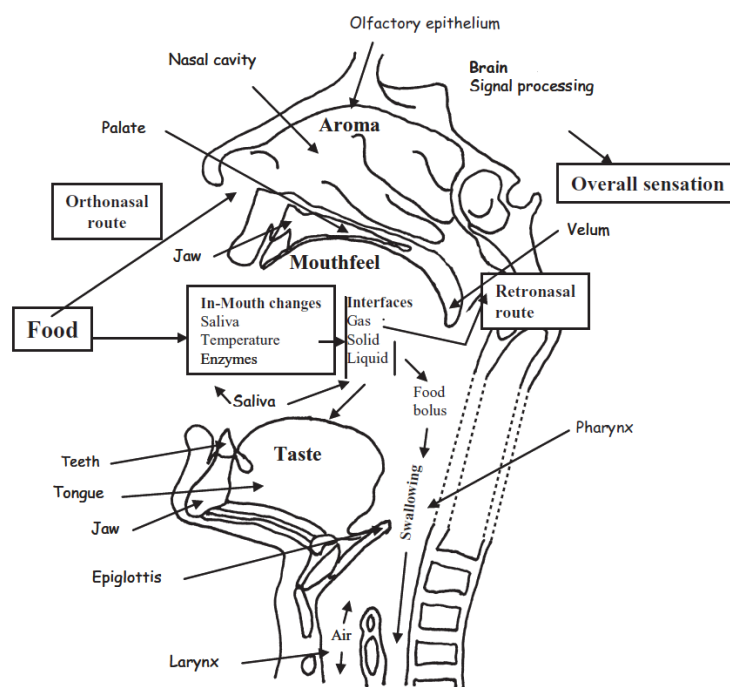
รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา : Kang et al. (2016)

2.4 การตัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยไฮโดรคอลลอยด์และการรับรู้กลิ่นรส*

การรับรู้กลิ่นรส คือการรับรู้โดยใช้อาหารเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทสัมผัสต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ระบบรับกลิ่น ระบบรับรสชาติ และระบบประสาทไตรเจมินัล (trigeminal) สารประกอบให้กลิ่นนั้นมีขนาดโมเลกุลที่เล็ก และด้วยสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น มวลโมเลกุลต่ำ และความดันไอสูง ทำให้สารประกอบให้กลิ่นสามารถระเหยสู่อากาศแก๊สได้ สารประกอบให้กลิ่นมี

ความหลากหลายเนื่องจากมีความแตกต่างของหมู่เคมี ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้แสดงลักษณะของกลิ่นแตกต่างกันออกไป โดยสารประกอบเหล่านี้จะกระตุ้นหน่วยรับกลิ่น (olfactory receptor) ซึ่งอยู่ที่เยื่อบุผิวผ่านช่องทางจมุก (retronasal pathway) หรือช่องทางปาก (orthonasal pathway) (Guichard, 2002)



รูปที่ 2.9 แผนภาพจำลองการปลดปล่อยกลิ่นรสจากอาหาร และการรับรู้โดยการกระตุ้นประสาทสัมผัสในร่างกาย

ที่มา : Gierczynski et al. (2011)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลไกการรับรู้กลิ่นรสมีหลายขั้นตอนและมีความซับซ้อน (รูปที่ 2.9) ในขั้นเริ่มต้น เมื่อรับประทานอาหารเข้าสู่ช่องปาก ช่วงระหว่างเพดานอ่อนและลิ้นจะปิดเพื่อป้องกันการไหลของอาหารลงสู่หลอดลมในระหว่างเคี้ยว จึงทำให้สารประกอบให้กลิ่นไม่สามารถแพร่เข้าสู่โพรงจมุกได้ แต่เนื่องด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น จังหวะการเคี้ยว ความแข็งของอาหาร หรือพื้นที่ใช้ในการบดเคี้ยว ทำให้เกิดการเปิดปิดระหว่างช่วงเพดานอ่อนและลิ้นระหว่างเคี้ยว จึงเกิดการถ่ายโอนกลิ่นรสจากปากสู่โพรงจมุก และในระหว่างการกลืน ฝาปิดกล่องเสียงและบริเวณเพดานอ่อน-หลอดลมเปิดออก สารประกอบให้กลิ่นที่ระเหยออกมาจากอาหารจึงถูกพาไปยังโพรงจมุกระหว่างการหายใจออก จากกลไกข้างต้นทำให้เข้าใจได้ว่าการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นจากอาหารขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น

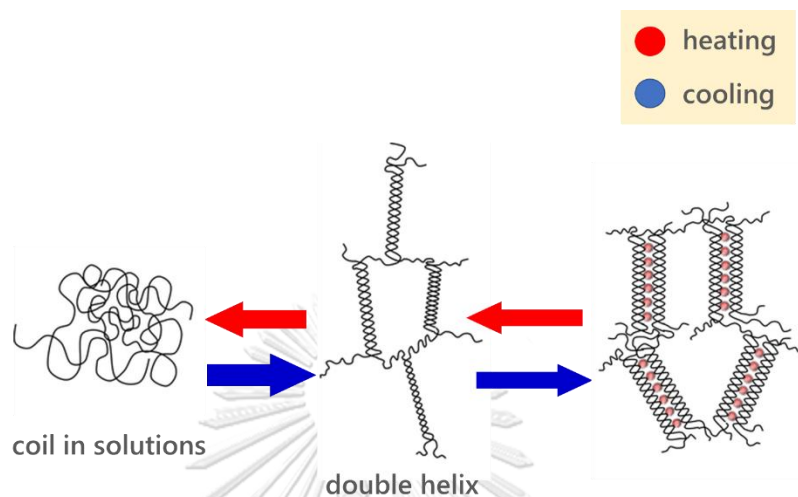
*ดัดแปลงจาก ธนากร วงษ์ประเสริฐ และ อินทาทู สรรพพรสถิตย์. (2019). อิทธิพลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลด้วยไฮโดรคอลลอยด์ต่อการรับรู้กลิ่นรส. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยสยาม, 14(2), 95-107. (หนังสืออนุญาตการใช้บทความเพื่อประกอบในวิทยานิพนธ์แสดงในภาคผนวก จ.)

ความเข้มข้นของสารประกอบให้กลิ่น องค์ประกอบของอาหาร และโครงสร้างของอาหาร ดังนั้นการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารจึงส่งผลกระทบต่อการรับรู้กลิ่นรสอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้กลิ่นรสควบคู่ไปเสมอเมื่อมีการพัฒนาให้อาหารมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (Paravisini and Guichard, 2017)

การดัดแปรเนื้อสัมผัสเป็นการดัดแปลงสมบัติทางวิทยากระแส (rheology) เช่นการดัดแปรความหนืดหรือความเหนียวขั้นให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้เกิดเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย การดัดแปรเนื้อสัมผัสนั้นสามารถดัดแปรได้โดยการ बदลดขนาดผ่านกระบวนการผลิตต่าง ๆ หรือประยุกต์ใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส เป็นต้น โดยปัจจัยในการดัดแปรที่ควรคำนึงถึง เช่น องค์ประกอบของอาหาร อุณหภูมิในขณะรับประทาน และเวลาในการเก็บรักษา

การเกิดเจล เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคอลลอยด์ในแง่ของการดัดแปรเนื้อสัมผัส ซึ่งต้องเกิดผ่านกระบวนการเปลี่ยนผ่านระหว่างเจลและสารละลาย (sol-gel transition) กลไกการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยมีการศึกษากลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนนและเจลแลนกัน (Funami et al., 2007; Noda et al., 2008; Funami et al., 2009) และให้สื่อเป็นตัวแทนของพอลิแซ็กคาไรด์ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในการศึกษากระบวนการการเกิดเจลที่สัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ กลไกขั้นแรกเริ่มต้นจากการให้ความร้อนสารละลายทำให้พอลิแซ็กคาไรด์เกิดการคลายตัว (disordered coil) เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยว (single chain) จากนั้นเมื่อเย็นตัวลง โมเลกุลกลับมาจัดเรียงตัวเป็นเกลียวอย่างเป็นระเบียบอีกครั้ง โดยมีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลเป็นแรงกายภาพอย่างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งแรงทางกายภาพทำให้เจลมีคุณสมบัติผันกลับทางความร้อนได้ (thermoreversible) และในบางกรณีอาจมีโมเลกุลที่มีประจุเป็นบวก (cation) ช่วยเสริมให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรงมากกว่าเดิมได้ (Gunning and Morris, 1990; Morris, 1993; Gunning et al., 1996) เช่น เจลแลนกัน จะเกิดเจลได้ดีเมื่อมีแคทไอออนใด ๆ ในระบบ หรือ ไอโอตา-คาร์ราจีแนน และ เพคตินชนิดเมทิลต่ำ (low-methoxyl pectin) จะเกิดเจลได้ดีเมื่อมีแคลเซียมไอออน เป็นต้น ดังนั้นเจลจากไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจึงมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป นอกจากชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์แล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ มีผลต่อเนื้อสัมผัส เช่น น้ำตาล โปรตีน หรือไขมันในระบบ นอกจากนี้เทคนิคการแปรรูปยังมีผลต่อเนื้อสัมผัส เช่น กระบวนการผลิตโดยใช้แรงดันสูง (high pressure processing) การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) หรือ การทำลายด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

(Sonication) การเลือกเทคนิคที่เหมาะสมและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ทำให้สามารถรักษาสี กลิ่นรส และลักษณะปรากฏโดยรวมของอาหารไว้ได้ ในขณะที่เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลง (Aguilera and Park, 2016)

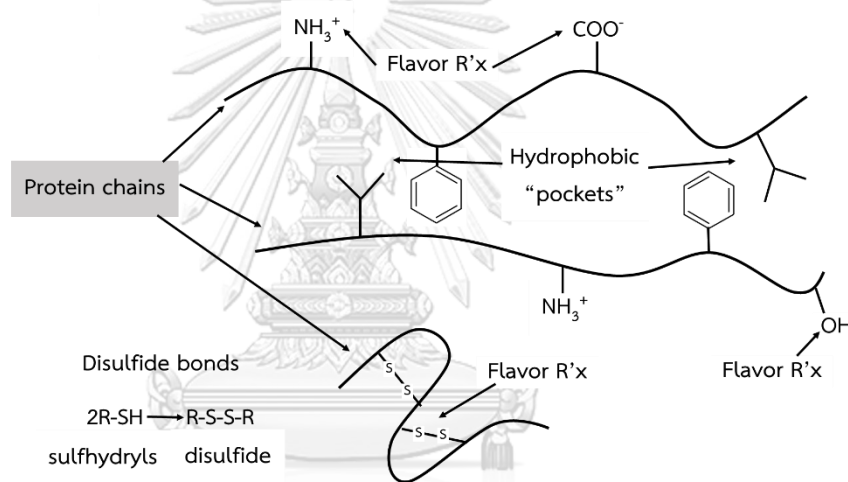


รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดเจลของพอลิแอคริลาไมด์ในอาหาร

ที่มา : ดัดแปลงจาก Funami (2011)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิแอคริลาไมด์มีผลต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสจากอาหาร (Godshall, 1997) โดยทั่วไปกลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยออกมาน้อยลง หากระบบอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นหรือมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจาก โครงสร้างทางกายภาพสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นในเมทริกซ์ของอาหารได้ กลไกเริ่มต้นเมื่อใส่ไฮโดรคอลลอยด์ลงไปในสารละลายจนถึงจุดวิกฤตของความเข้มข้น (critical concentration, c^*) หรือจุดที่ความหนืดเพิ่มขึ้นทันที จากสารละลายที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เคลื่อนที่ได้ง่ายกลายเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างยุ่งเหยิง จึงลดการเคลื่อนที่ของสารประกอบให้กลิ่นในระบบ ส่งผลให้การรับรู้กลิ่นรสลดลงอย่างรวดเร็ว อีกปัจจัยหนึ่งคือการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างของอาหารกับสารประกอบให้กลิ่นรส เนื่องจากสารประกอบให้กลิ่นสามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลขนาดใหญ่ได้แตกต่างกันไป (Boland et al., 2006) หากเป็นอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นและคาร์โบไฮเดรตสามารถเกิดการจับกันระหว่างโมเลกุลหรือโครงสร้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการกักเก็บทางกายภาพได้ในขณะที่อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารให้กลิ่นรสมีความซับซ้อนมากกว่า แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ดังนั้นอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบให้กลิ่นจึงมีหลายชนิด เช่น พันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ พันธะโคเวเลนต์

ซึ่งในโปรตีนบางชนิดหากเกิดการจับกันกับสารให้กลิ่นแล้วเกิดปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ จะไม่สามารถปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสออกมาได้ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง หรือเจลาติน เป็นต้น ดังนั้นหากเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของโปรตีน หรือการดัดแปรโครงสร้างโปรตีน สามารถส่งผลถึงกลไกการจับกับสารให้กลิ่นรสได้เช่นกัน กลุ่มวิจัยของ Cadwallader and Suppavorasatit ศึกษาผลของการดัดแปรโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธีดีแอมิเดชัน (deamidation) ในโปรตีนถั่วเหลือง นมถั่วเหลือง และโปรตีนมะพร้าวต่อสมบัติการจับกับสารให้กลิ่นรส พบว่า การดัดแปรโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธีดีแอมิเดชันช่วยลดความแข็งแรงของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารให้กลิ่นรสโดยเฉพาะกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นอัลดีไฮด์และคีโตน (Suppavorasatit et al., 2011; Suppavorasatit et al., 2013; Kunarayakul et al., 2018)



รูปที่ 2.11 อันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่นรสและโปรตีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Reineccius (2006)

2.5 การศึกษาผลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหาร

ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาโมเดลอาหารประเภทเจลซึ่งดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์ โดยแต่ละโมเดลมีตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป เช่น ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ หรือเทคนิคการดัดแปรเนื้อสัมผัส เป็นต้น เมื่อศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นรสของอาหารเจลที่ดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้พบว่ากลไกการปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นและการรับรู้รสนั้นมีความแตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ จากการศึกษาของ Arvisenet et al. (2002) ซึ่งศึกษาความสามารถใน

การเกิดอันตรกิริยาของสารให้กลั่นกับสตาร์ชจากข้าวโพด พบว่าสารประกอบให้กลั่นสามารถเกิดอันตรกิริยากับแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในสตาร์ชข้าวโพดได้ ส่งผลให้ปลดปล่อยสารประกอบให้กลั่นได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Langourieux and Crouzet (1994) ที่ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างแป้งข้าวโพดกับสารประกอบให้กลั่น พบว่าสารประกอบให้กลั่นจะถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยลงเนื่องจากการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกตินเช่นเดียวกับเพกติน ซึ่ง Boland et al. (2006) พบว่าเมื่อเพิ่มความแข็งแรงของเจลเพกตินที่มีหมู่เมทิลสูง (high methyl pectin) ในช่วงความเข้มข้น ระหว่าง 0.75 ถึง 1% โดยน้ำหนักจะทำให้ค่า air/gel partition coefficient ลดลง ส่งผลให้การรับรู้กลิ่นรสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสลดลงด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินในเจลทำให้การปลดปล่อยสารให้กลั่นรสบางกลุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วเพกตินสามารถตรึงหรือปลดปล่อยสารที่สามารถละลายในน้ำได้ด้วยแรงทางไฟฟ้าระหว่างตัวมันเองและโมเลกุลของน้ำ (Lubbers et al., 2007; Ayed et al., 2014) คาร์ราจีแนนเป็นสารประกอบอีกหนึ่งชนิดที่มักใช้เป็นสารให้ความคงตัว โดยมักใช้แคปปา- (kappa-) และไอโอตา-คาร์ราจีแนน (iota-carrageenan) เป็นสารทำให้เกิดเจล มีการศึกษาผลของการเติมไอโอตา-คาร์ราจีแนนด้วยปริมาณ 1% โดยน้ำหนักต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสวิเคราะห์ด้วยค่า partition coefficient ของสารให้กลั่นรส และพบว่าสารให้กลั่นรสทั้งหมดมีค่า partition coefficient ลดลง (Chana et al., 2006) ส่วนเมื่อเติมแลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน จะทำให้ค่า air/matrix partition coefficient ของสารประกอบส่วนใหญ่ที่ละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารประกอบประเภทเอสเทอร์ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากที่สุด (Bylaite et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตาม หากมีเกลือในระบบจะทำให้โครงสร้างสามมิติของไอโอตา-คาร์ราจีแนนจะมีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า air/matrix partition coefficient ลดลง (Juteau et al., 2004)

โมเดลอาหารที่นิยมศึกษากันอย่างแพร่หลายอีกโมเดลหนึ่ง คือโมเดลอาหารที่มีนมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีองค์ประกอบไม่ซับซ้อน ให้น้ำสัมผัสหลากหลาย และมีช่วงความหนืดกว้าง (Gierczynski et al., 2011) ตัวอย่างอาหารเจลที่มีนมเป็นองค์ประกอบ เช่น โยเกิร์ต ชีส และเจลจากโปรตีนเวย์ โปรตีนนมในโมเดลอาหารสามารถทำอันตรกิริยากับสารประกอบให้กลั่นรส ทำให้สารให้กลั่นรสอิสระในระบบลดลง หรืออาจทำให้กลิ่นจางลง หรือกลิ่นรสโดยรวมเปลี่ยนแปลงไป เช่นเดียวกับที่พบในอาหารที่มีโปรตีนชนิดอื่น ๆ (Suppavorasatit and Cadwallader, 2010)

ดังนั้นการศึกษารับรู้และการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ จะช่วยให้เกิดความเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสูตรการผลิตได้ กลไกการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนนมกับสารประกอบให้กลิ่นนั้นสามารถเกิดอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) โดยความแข็งแรงของพันธะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพเคมีของสารประกอบให้กลิ่น อิทธิพลของความหนืดและเนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้นต่อการปลดปล่อยและรับรู้สารประกอบให้กลิ่นได้ (Cayot et al., 1998)

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์เจลที่มีนมเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบให้กลิ่นที่มักใช้ในการศึกษามักเป็นสารประเภทเอสเทอร์ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีความเสถียร ง่ายต่อการหาปริมาณในอาหาร และยังมีงานวิจัยด้านเทอร์โมไดนามิกส์และจลนพลศาสตร์รองรับ (Tromelin et al., 2010) จากตารางจะพบว่าสารประกอบเอสเทอร์สายยาวสามารถคงอยู่ในอาหารได้ดีกว่าสารประกอบสายสั้น และยังพบว่าสารประกอบเอสเทอร์มีแนวโน้มที่จะอยู่ในโพลิเมอร์มากกว่าในซีสหรือพอลิไอโซไซด์เจล (polyoside gel) ซึ่งได้แก่เจลจากสตาร์ช หรือเจลจากเพกติน เนื่องจากเป็นโพลิเมอร์เป็นเจลที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า ชนิดของพอลิไอโซไซด์เจลมีผลต่อความแข็งแรงของอันตรกิริยาเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าเพกตินเกิดอันตรกิริยากับสารประกอบเอสเทอร์ได้ดีกว่าสตาร์ช นอกจากนี้เพกตินและสตาร์ชสามารถเกิดอันตรกิริยากับเอสเทอร์ได้ดีกว่าสารประกอบแอลกอฮอล์ นอกจากนี้หากมีปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องที่ทำให้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป เช่นความร้อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดกรดอะมิโน หรือการจัดเรียงกรดอะมิโนภายในโครงสร้างโปรตีน ย่อมส่งผลต่ออันตรกิริยาระหว่างกลิ่นรสและโปรตีน เนื่องจากการจับกันของสารให้กลิ่นรสและโปรตีนนั้นเกิดเมื่อโปรตีนเรียงตัวเป็นโครงสร้างสามมิติ (O'Neil, 1996; Famelart et al., 2004) มีการศึกษาความสามารถในการจับกันระหว่างสารให้กลิ่นรสและโปรตีนในหลายรูปแบบ แต่เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของโปรตีน สภาพที่ใช้ในการศึกษา หรือสารให้กลิ่นรส ทำให้เปรียบเทียบผลของการศึกษาดังกล่าวได้ยาก ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Lethuaut และคณะ (Lethuaut et al., 2004) ศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสในคัสตาร์ดที่ชนิดคาร์ราจีแนนต่างกัน โดยใช้กลิ่นสตอร์วเบอร์รี่ซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรส 15 ชนิด พบว่าผู้ทดสอบสามารถรับกลิ่นจากเจลแคปปาและไอโอตา-คาร์ราจีแนนได้น้อยกว่าเจลแลมบีดา-คาร์ราจีแนน สอดคล้องกับผลการทดลองในโมเดลเจลส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามปรากฏในตารางที่ 2.2 เนื่องจากการเพิ่มความแข็งแรงหรือความหนืด ทำให้การรับรู้กลิ่นรส

ลดลง ด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น การกักเก็บทางกายภาพหรืออันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นรสและอาหาร ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ van Ruth et al. (2004) ที่ศึกษาตัวอย่างคัสตาร์ทและกลิ่นแบบเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าการปลดปล่อยกลิ่นและความเข้มข้นในการรับรู้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยของตัวผู้ทดลอง (Inter-Individual variation) เช่น พฤติกรรมในการเคี้ยว การไหลของน้ำลาย การเปิดปิดของเพดานอ่อน และ ความสามารถในการรับรู้กลิ่นของแต่ละบุคคลซึ่งมีความแตกต่างกัน เช่น ระดับความเข้มข้นของกลิ่นที่สามารถรับได้ของแต่ละบุคคล (threshold level) หรือภาวะจมูกไม่สามารถรับกลิ่นใดกลิ่นหนึ่งได้ (specific anosmia) อาจมีผลต่อการทดลองได้ ดังนั้น การทดลองเพื่อศึกษาการปลดปล่อยและการรับรู้กลิ่นรสจึงมีการใช้เทคนิคที่หลากหลายเข้ามาช่วย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความแม่นยำมากที่สุด



ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มความหนืดหรือความแน่นเนื้อในตัวอย่าง ต่อการปลดปล่อยกลิ่นแบบ in vivo และการรับรู้กลิ่นด้วยประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์	สารประกอบให้กลิ่น (Aroma Compounds; AC)	การเพิ่มความ หนืดหรือความ แน่นเนื้อ	ผลต่อการปลดปล่อย		Effect on intensity of aroma perception	เอกสารอ้างอิง
			จำนวน ทั้งหมด	อัตราการ ปลดปล่อย		
ชีส	สารประกอบให้กลิ่น 10 ชนิด	ความแน่นเนื้อ	↑	↑	↑	(Gierczynski et. al., 2008)
คัสตาร์ด	Benzaldehyde หรือ/และ allyl caproate	ความหนืด	=	↓	↓	(Tourmier et al., 2009)
คัสตาร์ด	กลิ่นสตอร์วเบอร์รี่ (15 AC)	ความหนืด	↑	-	↑	(van Ruth et. al., 2004)
คัสตาร์ด	กลิ่นสตอร์วเบอร์รี่ (15 AC)	ความหนืด	↓	-	↓	(Gonzales-Tomas et. al., 2007)
คัสตาร์ด	Ethyl pentanoate, amyl acetate, hexanal, และ (E)-2-hexenal	ความหนืด	↓	-	↓	(Lethuaut et. al., 2004)
โยเกิร์ต	กลิ่นสตอร์วเบอร์รี่ (17 AC)	ความหนืด	↓	-	↓	(Saint-Eve et. al., 2006)
เจลเวียโปรตีน	Ethyl butanoate	ความแน่นเนื้อ	=	↓	↓	(Mestres et al., 2005)
เจลเวียโปรตีน	Ethyl butanoate	ความแน่นเนื้อ	=	↓	↓	(Mestres et al., 2006)
เจลเวียโปรตีน	Ethyl butanoate หรือ diacetyl	ความแน่นเนื้อ	=	-	↓	(Weel et. al., 2002)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gierczynski et al. (2011)

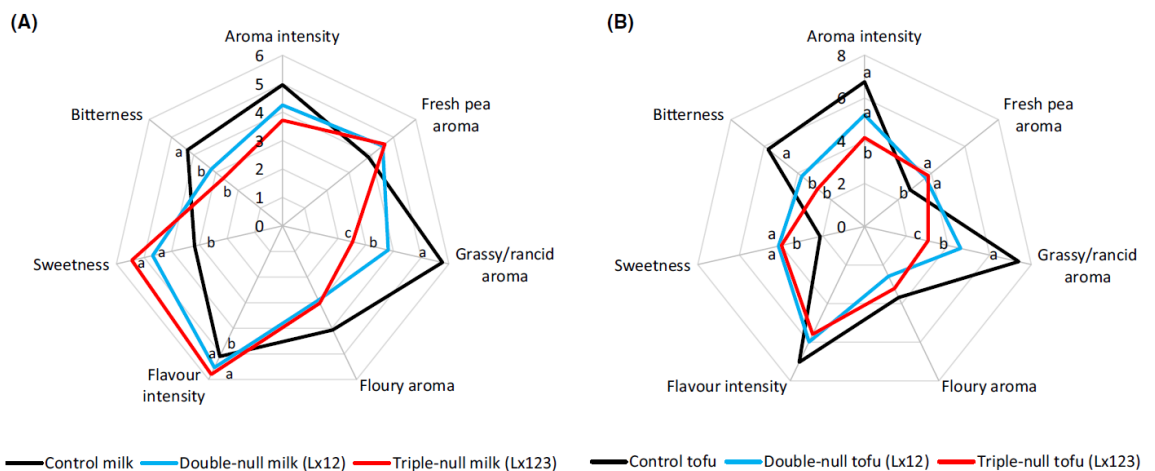
2.6 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นรสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสในโมเดลอาหารนั้น จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น เทคนิควิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์ได้ระหว่างเคี้ยว กลิ่น และหายใจ ควรวิเคราะห์สารประกอบได้ใน

ระยะเวลาสั้น มี resolution ที่ดี และต้องวัดสารได้หลากหลายกลุ่ม เนื่องจากสารประกอบให้กลิ่นของอาหารแต่ละชนิดมีความหลากหลายมาก ดังนั้นหลายงานวิจัยที่ผ่านมาจึงใช้เทคนิค direct injection mass spectrometry (DIMS) ซึ่งเทคนิคที่ใช้ DIMS เป็นพื้นฐานได้ถูกพัฒนาขึ้น และเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบและ/หรือเนื้อสัมผัสของอาหารต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสในระหว่างเคี้ยว คือ atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry (APCI-MS) หรือ proton transfer reaction-mass spectrometry (PTR-MS) หลักการแยกสารของทั้งสองเทคนิค ใช้หลักการแยกด้วยสัมพรรคภาพโปรตอน (proton affinity) (Biasioli et al., 2011; Ellis et al., 2014) สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) สามารถใช้ในการศึกษาได้เช่นกัน แต่มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์คือระยะเวลาทั้งหมดในการวิเคราะห์ค่อนข้างนาน เริ่มต้นจากเมื่อสารประกอบให้กลิ่นถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างรับประทาน จากนั้นเก็บกักสารระเหยด้วยของแข็งที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ หลังจากนั้นจึงนำมาปลดปล่อยเข้าเครื่อง GC (Buettner et al., 2004) ซึ่งการศึกษาด้วย GC-MS มีประโยชน์อย่างมากในการระบุชนิดและปริมาณของสารประกอบที่ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างรับประทาน แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ GC-MS มีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับเทคนิค DIMS เนื่องจากในการสร้างกราฟการปลดปล่อยหนึ่งครั้งด้วย GC-MS ประกอบไปด้วยการดูดซับ การปลดปล่อยสารและการวิเคราะห์หลาย ๆ ครั้ง ดังนั้นการใช้ DIMS ควบคู่กับ GC-MS จะสามารถระบุสารประกอบได้อย่างแม่นยำมากกว่าการใช้เทคนิค DIMS เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการพัฒนาโปรไฟล์ของสารระเหยให้กลิ่นระหว่างบริโภคนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์บรรยากาศเหนือตัวอย่างเพียงอย่างเดียวได้ ดังนั้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงเป็นอีกวิธีที่สามารถช่วยอธิบายคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการบริโภคได้ดียิ่งขึ้น

การหาโปรไฟล์การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มักมีการใช้มากได้แก่วิธี quantitative descriptive analysis (QDA) การวิเคราะห์แบบ QDA นั้นหมายถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของลักษณะอาหารทั้งหมด โดยครอบคลุมถึง ลักษณะปรากฏ กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส ที่เป็นลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ผู้ทดสอบจะให้คะแนนผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งหรือมากกว่า โดยให้คะแนนเป็นความเข้ม (intensity) ซึ่งเมื่อทดสอบเรียบร้อยแล้วจะได้ข้อมูลระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละชนิดที่ทดสอบ ตัวอย่างการทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้น สามารถช่วยอธิบายผลการทดลองได้ชัดเจนขึ้น ตัวอย่างเช่น จาก

งานวิจัยของ Yang et al. (2015) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนมถั่วเหลืองและเต้าหู้อ่อน จากถั่วเหลืองที่ปราศจากไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยวิเคราะห์สารระเหยให้กลิ่นด้วย GC-MS เปรียบเทียบกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองปรากฏว่าสารระเหยให้กลิ่นจากผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบหลักคือ hexanal, 1-hexanol และ butanol และในถั่วเหลืองปกติมีปริมาณไลพอกซีจีเนสมากกว่า ทำให้ปริมาณ hexanal สูงกว่าตัวอย่างที่ปราศจากไลพอกซีจีเนสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยพบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกันระหว่างการใช้เครื่องมือกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังรูปที่ 2.12 เนื่องจากสารระเหยให้กลิ่น hexanal นั้นมีลักษณะเฉพาะคือ กลิ่นหืน (rancid) หรือกลิ่นถั่ว (beany) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA เริ่มจากการฝึกฝนผู้ทดสอบ และสร้างลักษณะของผลิตภัณฑ์ (attribute) พร้อมทั้งคำจำกัดความ ปรากฏว่าผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองและเต้าหู้อ่อนที่มี lipoxygenase นั้นมีกลิ่นหญ้า/หืน มากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองและเต้าหู้อ่อนที่ปราศจาก lipoxygenase



รูปที่ 2.12 กราฟแมงมุมจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของนมถั่วเหลือง (A) และเต้าหู้อ่อน (silken tofu) (B) และในแต่ละคุณลักษณะ

ที่มา : Yang et al. (2016)

บทที่ 3

อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

เมล็ดถั่วเหลือง (บริษัท ไรท์พีย์ จำกัด)

น้ำตาล (บริษัท มิตรผล จำกัด)

แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปชนิดตัดแปรรูปด้วยกรด (บริษัท อินกรีดอออน (ประเทศไทย) จำกัด)

แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูปชนิดออกซิไดส์ (บริษัท อินกรีดอออน (ประเทศไทย) จำกัด)

แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca Starch, NewlyWeds®, Thailand)

กลิ่นมะม่วง (Mango Flavor TR110®; Hanbit Flavor and Fragrance, Thailand)

สีผสมอาหาร (Tartrazine, Sunset Yellow; Adinop Co. Ltd., Thailand)

ตัวอย่างทางการค้า เจลลี่โภชนา Nutri-Jelly® (มูลนิธิ ทันตนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์)

ผลิตภัณฑ์ทางการค้า นมถั่วเหลือง รสหวาน (Nurse Brand®, Thailand)

ผลิตภัณฑ์ทางการค้า เต้าหู้อ่อน (Umenohana, Thailand)

ผลิตภัณฑ์ทางการค้า Natto® (Tokyo, Japan)

3.1.2 สารเคมี

anhydrous sodium sulfite (A.R.) (A.R. grade, QR&C, New Zealand)

boric acid (A.R. grade, Merck, Germany)

calcium chloride (Food Grade, Bangkok Chemical, Thailand)

calcium chloride (A.R. grade, Loba Chemie, India)

glucono-delta-lactone (Food Grade, Bangkok Chemical, Thailand)

ferric chloride (A.R. Grade, Kemaus, Australia)

glacial acetic acid (A.R. grade, QR&C, New Zealand)

hexane (H.P.L.C. Grade, Duksan Pure Chemical, Korea)

hydrochloric acid (A.R. grade, QR&C, New Zealand)

methanol (H.P.L.C. grade, Merck, Germany)

methanol 99.9% (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

methyl red (A.R. grade, Ajax Finechem, Australia)

methylene blue (A.R. Grade, J.T. Baker Neutrasorb, USA)

petroleum ether (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

potassium bromide (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

Kjeltab® (A.R. Grade, QRëC, New Zealand)

sodium acetate trihydrate (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

sodium hydroxide (A.R. Grade, Carlo Erba Reagents, Italy)

sulfuric acid 98% (A.R. Grade, APS Finechem, Australia)

vanillin ReagentPlus®, 99% (A.R. Grade, Sigma-Aldrich Co., USA)

vanillin (Rhovani®; Vanillin 99%; Food Grade, Brenntag Ingredient, Thailand)

vanillin-d₃ (สังเคราะห์ตามวิธีของ Schneider and Rolando, 1992)

diethyl ether (G.C. Grade, Panreac Quimica, Spain)

methylene chloride (A.R. Grade, ACI Labscan, Thailand)

ethanol (A.R. Grade, ACI Labscan, Thailand)

plate count agar (PCA; Himedia, India)

potato dextrose agar (PDA; Himedia, India)

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS1602S/01, Switzerland)

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)

10 µL syringe (SGE Analytical Science, Australia)

100 µL syringe (SGE Analytical Science, Australia)

20 mL vials/Teflon-lined headspace caps (National Scientific, USA)

3 mL disposable syringe (Nipro, Thailand)

biomedical freezer (-18 °C) (Sanyo รุ่น MDF-U537D, Japan)
 biomedical freezer (-35 °C) (Sanyo รุ่น MDF-136, Japan)
 heating mantle (Mtops รุ่น MS-E104, South Korea)
 hot air oven (Gen Lab รุ่น PRIME, UK)
 impulse sealer (Glory-Pack รุ่น PHS 450-10D, South Korea)
 laboratory blender (Waring Commercial รุ่น 8010BU, USA)
 muffle furnace (Carbolite gero รุ่น CWF1200, UK)
 pH meter (Mettler Toledo รุ่น Seven compact, Switzerland)
 protein digester (BÜCHI รุ่น K-424, Switzerland)
 protein distillation unit (BÜCHI รุ่น B-324, Switzerland)
 refrigerator (Sanyo รุ่น SF-C95, Japan)
 texture analyzer (TA. XTplus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK)
 hand refractometer (Model N-1, Atago, Japan)
 rotary vacuum evaporator (BÜCHI รุ่น Rotavapor R-114, Switzerland)
 scrubber (BÜCHI รุ่น B-414, Switzerland)
 Soxhlet extractor (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
 thermometer (Ebro รุ่น TFX410, Germany)
 magnetic stirrer with heating plate (IKA รุ่น C-MAG HS7, Germany)
 shaking water bath (Julabo รุ่น SW23, Germany)
 sonicator (Elma รุ่น Elmasoniv E70H, Germany)
 vortex mixer (Genie2 รุ่น G650E, Scientific industries, Inc., USA)
 microwave (LG รุ่น MC766YS, South Korea)
 gas chromatography mass spectrometer (GC-MS)
 - GC system (Agilent Technologies รุ่น 7890B GC system, USA)
 - MS model (Agilent Technologies รุ่น 5977B GC/MSD Single Quad, USA)
 - GC column (DB-5MS, Agilent Technologies, USA)
 - thermal desorption unit (TDU) (Gerstel, Germany)

- temperature-programmable vaporization inlet (Gerstel CIS 4 PTV, Germany)
- Tenax®-packed liner (Gerstel glass liners, TenaxTA, Gerstel, Germany)
- cryostatic cooling device (CCD) Cooling pump (Gerstel, Germany)
- multipurpose sampler (MPS; Gerstel, Germany)
- 300 mL μ -vials (Gerstel, Germany)
- polytetrafluoroethylene (PTFE) stir bar (Cowie, UK)

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ประเภทเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง

เตรียมตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองโดยแปรชนิดแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (modified tapioca starch) ทั้งหมด 2 ชนิดคือแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์ (oxidized starch) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรด (acid-treated starch) แต่ละชนิดของแป้ง แปรความเข้มข้นทั้งหมด 3 ระดับ คือ 3%, 4% และ 5% (w/v) โดยความเข้มข้นของแป้งดัดแปรที่เลือกมาศึกษาในขั้นนี้ เลือกมาจากการทดลองเบื้องต้น (preliminary experiments) เลือกปริมาณของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ตัวอย่างควบคุมคือเยลลี่โภชนา (Nutri Jelly®) เป็นเกณฑ์

การเตรียมตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองดัดแปลงจากวิธีของ Yang and James (2013) โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองแช่น้ำ deionized water (DI) ที่ 4 °C อัตราส่วนถั่วแห้ง : น้ำ คือ 1 : 5 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากผ่านการแช่น้ำ ลวกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 98 °C เป็นเวลา 3 นาทีเพื่อยับยั้งเอนไซม์ lipoxygenase เหน้ที่ทิ้ง และล้างเมล็ดถั่วเหลืองด้วยน้ำกลั่นก่อนเติมน้ำ DI ด้วยอัตราส่วนเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง : น้ำคือ 1 : 6 ปั่นถั่วเหลืองและน้ำทั้งหมดเข้าด้วยกัน จากนั้นให้ความร้อนที่ 98-100 °C เป็นเวลา 15 นาที กรองกากถั่วเหลือง (okara) ออกด้วยผ้าขาวบางจะได้นมถั่วเหลือง เก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 °C)

ขั้นต่อมา จากนมถั่วเหลืองในข้างต้น ปรับให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total soluble solid) 7.8 °Brix โดยใช้ hand refractometer โดยในนมถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 4.4% (w/v)

องค์ประกอบของนมถั่วเหลืองแสดงในภาคผนวก ก.1 เติมน้ำให้กลิ่นรส (vanillin) ความเข้มข้น 3,000 µg/mL และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผสมให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer ที่ 600 rpm เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเติม 0.3 g GDL/ นมถั่วเหลือง 100 mL และ 0.2 g CaCl₂/ นมถั่วเหลือง 100 mL ในภาชนะบรรจุ (ปีเกอร์ขนาด 250 mL) ปิดฝาภาชนะด้วย food-grade plastic wrap เจาะรูเพื่อให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ 80 °C เป็นเวลา 35 นาที เพื่อทำให้เกิดเจลสมบูรณ์ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้อุณหภูมิลดลงนานประมาณ 30 นาที และ เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นถัดไป

3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง

นำตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรทั้งสองชนิด และแปรความเข้มข้นทั้งหมด 3 ระดับ คือ 3%, 4% และ 5% (w/v) มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.2)

pH ของตัวอย่างเจล โดยใช้ pH-meter

ค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ตามวิธีของ Banerjee and Bhattchaya (2011)

แช่ตัวอย่างเจล 100 mL ในหลอดเข็นตริฟิวจ์ขนาด 250 mL (Nalgene®, PP Copolymer) ชั่งน้ำหนัก (m_1) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปเข็นตริฟิวจ์ที่ 4500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที เทของเหลวที่ออกมาจากเจล ชั่งน้ำหนักเจลที่เหลือ (m_2) ค่าการแยกตัวของน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{syneresis (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (3.1)$$

วัดค่าสี (Monica Minolta CR-400, Japan) ตามวิธีของ Hunter (1958) รายงานผลด้วยค่า whiteness index (WI) โดยคำนวณจากค่า L* (lightness), a* (red component), b* (yellow component) วัด 5 ครั้งในแต่ละครั้งต่อตัวอย่างโดยคำนวณจากสมการ

$$\text{Whiteness index (WI)} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.2)$$

ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้ texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Model TA-XTplus) ดัดแปลงจากวิธีของ Chang et al. (2009) ตั้งค่ามาตรฐานด้วยน้ำหนักถ่วง 1000 g ใช้หัววัด P/50 วัดเจลตัวอย่างที่ตัดให้เท่ากันด้วยแม่พิมพ์ อะลูมิเนียมวงกลม ความสูง 1/2 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และประมวลผลด้วยโปรแกรม Texture Exponent Express โดยตั้งค่าโปรแกรมดังนี้

Option: TPA

Pre-test speed: 5 mm/s

Test speed: 1 mm/s

Post-test speed: 1 mm/s

Distance: 75% strain

Trigger type: Auto-5g

Time: 35 sec

Data acquisition rate: 10 pps

วัด 5 ครั้งต่อซ้ำของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง รายงานผลด้วยค่า hardness, adhesiveness, gumminess, cohesiveness และ springiness โดยคำนวณจากวิธีของ Bourne (2002) (แสดงในภาคผนวก ก.3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง

คัดเลือกตัวอย่างด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบจัดอันดับ (Ranking test) เทียบกับ ตัวอย่างเยลลี่โภชนา (Nutri Jelly®) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained) จำนวน 30 คน (ชาย 10 คน และหญิง 20 คน ช่วงอายุ 22-35 ปี) เพื่อคัดเลือกตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเยลลี่โภชนามากที่สุด เตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบด้วยวิธีตามข้อที่ 3.2.1 โดยเติมกลิ่นมะม่วง (Mango Flavor TR001; Hanbit Flavor and Fragrance) ทดแทนกลิ่นวานิลลาในตัวอย่าง ก่อนใส่สารที่ทำให้ตกตะกอน และปรับสีของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองเพื่อให้เหมือนกับ ตัวอย่างเยลลี่โภชนามากที่สุด การทดสอบในขั้นตอนนี้ทำการทดสอบที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสในงานวิจัยนี้ ได้รับ

การอนุมัติยกเว้นจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (COA No. 107/2563) ดังแสดงในภาคผนวก ข.

ในการทดสอบ ให้ผู้ทดสอบทดสอบตัวอย่างเจลโดยใช้บูธทดสอบทางประสาทสัมผัสเฉพาะบุคคล (individual sensory booth) เปิดไฟสีแดงเพื่ออำพรางลักษณะปรากฏที่สังเกตได้จากภายนอก ตัวอย่างในการทดสอบ ประกอบไปด้วย ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองจากแป้งดัดแปร ปริมาณ 3% 4% และ 5% (w/v) โดยเตรียมภายในวันที่ทำการทดลอง และเยลลี่โกชานา ให้ผู้ทดสอบ เรียงลำดับของผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับตัวอย่างเยลลี่โกชานามากที่สุดตามลำดับ คัดเลือก สูตรที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียง นำตัวอย่างแต่ละชนิด 10 กรัม ทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องในถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด และสุ่มรหัส 3 หลัก จากนั้นเลือกสูตรที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างเยลลี่โกชานามากที่สุด เพื่อนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการศึกษาขั้นถัดไป

3.2.4 การศึกษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองและการปลดปล่อยกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

3.2.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis)

จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้รับคัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการจัดอันดับในข้อ 3.2.3 นำมาวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis) ประกอบด้วย

ปริมาณความชื้น (moisture content)	โดยวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.2)
ปริมาณโปรตีน (protein content)	โดยวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.4)
ปริมาณไขมัน (fat content)	โดยวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.5)
ปริมาณใยอาหาร (crude fiber content)	โดยวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.6)
ปริมาณเถ้า (ash content)	โดยวิธีของ AOAC (2005) (ภาคผนวก ก.7)
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate content)	คำนวณเป็นค่าผลต่างจาก 100% (ภาคผนวก ก.8)

3.2.4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้รับคัดเลือกจากข้อ 3.2.3 โดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ สมบัติทางเคมีกายภาพ และทดสอบทางประสาทสัมผัส ทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 10 วัน ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองเตรียมตามวิธีและสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 3.2.3 โดยบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด polyethelene (ขนาด 15x21 cm, Smarter®) เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ในแต่ละวันที่ทำการทดสอบ

3.2.4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count; TPC) ปริมาณยีสต์รา (Yeast and mold count) โดยวิธีของ AOAC (1995) (ภาคผนวก ก.7 และภาคผนวก ก.8) และ ปริมาณโคลิฟอร์ม (Coliform) โดยวิธีของ U.S. Food and Drug Administration BAM Chapter 4 (2002) (ภาคผนวก ก.9)

3.2.4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่างซึ่งประกอบด้วย ปริมาณความชื้นทั้งหมด pH ค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis) สี ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส โดยใช้ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วย Texture Analyzer (Model TA-XTplus) ตามวิธีการทดลองในข้อ 3.2.2 โดยทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.4.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไป โดยทดสอบที่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 12 คน (ชาย 5 คน และหญิง 7 คน) ด้วยวิธี modified quantitative descriptive analysis ประเมินโดยใช้สเกลแบบเส้น 15-cm structured line scale (แสดงแบบสอบถามในภาคผนวก ข.) โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน

ในการทดสอบ ฝึกฝนผู้ทดสอบโดยแบ่งออกเป็นสองช่วง ในการฝึกฝนและทดสอบแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง (Yang et. al., 2016) รวมระยะเวลาในการฝึกฝนทั้งหมด 14 ชั่วโมง

ขั้นตอนแรก ฝึกฝนผู้ทดสอบ โดยเริ่มจากให้ผู้ทดสอบทำการดมและชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเจลโปรตีนถั่วเหลืองทั้งหมด และอธิบายคุณลักษณะ (attribute) ต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขึ้นมา จากนั้นกำหนดนิยามของแต่ละ attribute พร้อมทั้งให้ผู้ทดสอบแสดงความคิดเห็นและลงมติร่วมกัน ว่าเห็นด้วยหรือไม่ หากจะใช้ attribute นั้น ๆ ในการพิจารณา หลังจากได้ attribute และคำนิยาม เลือกตัวอย่างอ้างอิงที่คิดว่าสามารถอธิบายคุณลักษณะนั้นได้ดีที่สุดของแต่ละ attribute จากนั้น เตรียมตัวอย่างอ้างอิงที่สามารถบ่งบอกถึงคุณลักษณะต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คะแนนความเข้ม (intensity) ของตัวอย่างอ้างอิงแต่ละตัว โดยต้องผ่านความเห็นชอบจากทุกคนในการทดสอบ ขั้นต่อมา ทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ โดยนำตัวอย่างตามวิธีและสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 3.2.3 มา 10 g ในถ้วยพลาสติก (50 mL, polystyrene cup with lid, EPP® Brand) ปิดฝา สุ่มลำดับหมายเลขของแต่ละตัวอย่าง จากนั้นให้ผู้ทดสอบดมและชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงของแต่ละคุณลักษณะทุกครั้ง สำหรับการประเมิน attribute ของลักษณะปรากฏเพื่อดูสี การแยกตัวของน้ำ และความเป็นเนื้อเดียวกัน ประเมินจากตัวอย่างเจลที่ไม่ได้ตัดในถุงพลาสติก ในระหว่างแต่ละ attribute ให้พักระยะเวลา 1 นาที ระหว่างพักจิบหรือกลืนน้ำลงในภาชนะที่จัดเตรียมไว้ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.5 การศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น

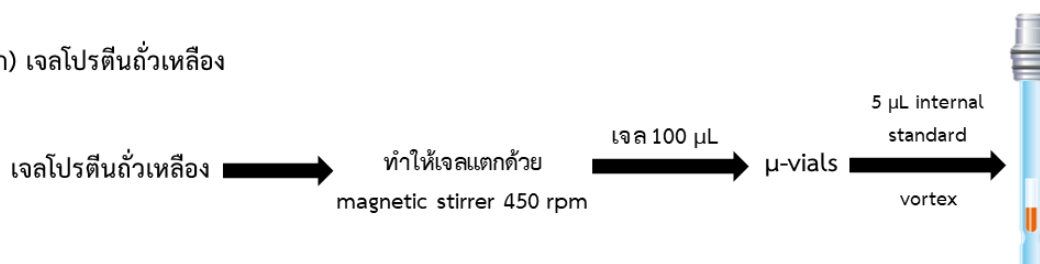
ศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสของสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง โดยสารให้กลิ่นรสที่เลือกมาศึกษาได้แก่วานิลลิน (vanillin) เป็นโมเดลในการศึกษา เนื่องจากเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไป และเป็นสารที่นิยมใช้ในทดสอบการปลดปล่อยกลิ่นรส (Li et al., 2000; Suppavorasatit et al., 2013) ในการทดลอง ศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากในการรับประทานอาหาร น้ำลายจะถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างการเคี้ยว ซึ่งสามารถส่งผลให้การปลดปล่อยกลิ่นรสที่ได้แตกต่างกัน (Ades et al., 2012) วิเคราะห์ปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเทคนิค dynamic headspace และ gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS) ดัดแปลงจากวิธีของ

Rabe et al. (2003) และ Lee et al. (2014) ทดสอบตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ โดยของน้ำลายเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นสารละลายที่จำลององค์ประกอบจากน้ำลายจริง โดยอ้างอิงวิธีการเตรียมตามวิธีของ Boland et al. (2006) (องค์ประกอบของน้ำลายเทียมแสดงในภาคผนวก ค.) ทั้งสองตัวอย่าง แปร ความเข้มข้นของวานิลลินทั้งหมด 7 ระดับ คือ 500, 1,000, 3,000, 5,000, 7,000, 9,000 และ 10,000 µg/mL

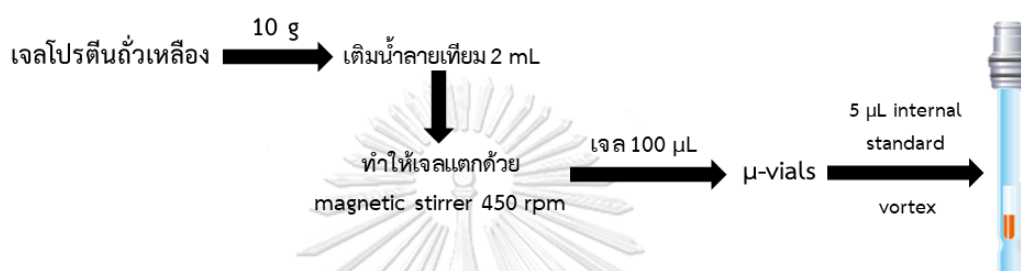
3.2.5.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น

เตรียมตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น โดยเตรียมตัวอย่างตามข้อที่ 3.2.1 โดยใช้น้ำที่ปราศจากกลิ่น (odorless water) แทน ซึ่งสามารถเตรียมโดยนำน้ำต้มน้ำกลั่นในภาชนะเปิดให้น้ำระเหย จนกว่าปริมาตรน้ำจะลดลง 1 ใน 3 ของ ปริมาตรเริ่มต้น ใส่ PTFE-stir bar ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนทำให้เกิดเจล สำหรับ ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ เตรียมตัวอย่างตามข้อที่ 3.2.1 โดยใช้น้ำที่ปราศจากกลิ่นแทนเช่นเดียวกัน หลังจากทำให้เกิดเจล ดึงตัวอย่างเจลจากภาชนะ บรรจุทั้งหมด 10 g เติมน้ำลายเทียมปริมาตร 2 mL (Mestres et al., 2006) ทั้งสองตัวอย่างทำให้ เจลแตกด้วย magnetic stirrer ที่ความเร็ว 450 rpm จะทำให้ได้ shear rate ประมาณ 150 s^{-1} ซึ่ง สามารถเทียบได้กับภาวะในช่องปาก (van Vilet, 2002) นำตัวอย่างเจลที่ทำให้แตกแล้วปริมาณ 100 µL ใส่ใน 300 µL µ-vials เติม vanillin-d₃ (internal standard; i.s.) ที่มีความเข้มข้น 920 ppm ปริมาตร 5 µL ลงไป เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex นำไปใส่ในหลอด Thermal desorption unit (TDU) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

(ก) เจลโปรตีนถั่วเหลือง



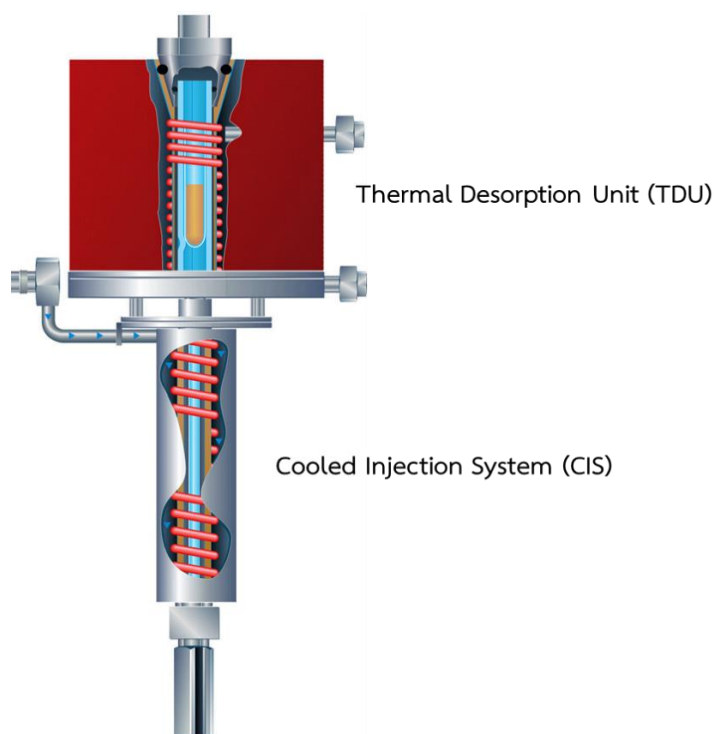
(ข) เจลโปรตีนถั่วเหลืองในสถานะที่มีน้ำลายเทียม



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ

3.2.5.2 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS)

ขั้นตอนเริ่มต้นจากการคาย (desorp) สารประกอบจากตัวอย่างใน TDU (รูปที่ 3.2) ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 นาที สารระเหยทั้งหมดจะถูกจับอยู่ใน cooled injection system (CIS) ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 10 °C เมื่อครบ 10 นาที เพิ่มอุณหภูมิในส่วน CIS จนถึง 280 °C ที่อัตรา 12 °C/min ภายในระยะเวลา 10 นาที เพื่อปลดปล่อยสารระเหยเข้าสู่คอลัมน์ต่อไป ตั้งค่าระบบการฉีดสารโดยใช้ splitless mode ซึ่งต่อกับคอลัมน์ที่ชนิด DB-5MS (30 m x 0.25 µm i.d. x 0.25 µm film thickness; J&W, Agilent, USA) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา (carrier gas) ที่อัตราการไหล 1 mL/min ตั้งค่าโปรแกรมของเตา (oven temperature program) ให้เพิ่มอุณหภูมิจาก 150 °C จนถึงอุณหภูมิ 220 °C ที่อัตรา 10 °C/นาที โดยมี initial time 2 นาที สภาวะของ mass selective detector (MSD) เป็นดังนี้ อุณหภูมิของ transfer line คือ 250 °C ; ionization voltage คือ 70 eV ; ช่วงของ mass (scan mode) คือ 35-400 amu ; scan rate คือ 4.2 cycle/s



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของ thermal desorption unit (TDU)

ที่มา : ดัดแปลงจาก https://www.gerstel.com/pdf/s00135-042-02_TDU2_Flyer_en.pdf

3.2.5.3 การหาปริมาณสารประกอบวานิลลิน (vanillin) ที่ปลดปล่อยออกมาจากเจลโปรตีนถั่วเหลือง

สำหรับการหาปริมาณของสารประกอบ ใช้พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบ vanillin (ion 151) และ vanillin-d₃ (ion 154) นั้น คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟด้วย Agile 2 Software (Agilent Technologies, Inc.) คำนวณปริมาณของสารประกอบวานิลลิน จากอัตราส่วนมวล (mass ratio) อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟ (area ratio) และ GC-MS response factor (R_f) โดย R_f คำนวณจากส่วนกลับความชันของกราฟมาตรฐานระหว่าง area ratio และ mass ratio (สมการที่ 3.3) ซึ่งกราฟเกิดจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งหมด 7 ระดับของสารประกอบ vanillin (unlabelled compounds) เทียบกับสารประกอบ vanillin-d₃ (labelled compounds) ค่า R^2 จากสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ของกราฟที่ได้ มีค่ามากกว่า 0.9 (ภาคผนวก ง.) ความเข้มข้นของสารประกอบคำนวณได้จากสมการที่ 3.4 และค่าเฉลี่ยคำนวณจากการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$R_f = \frac{[\text{area of ion}_t / \text{area of ion}_i]}{[\text{mass}_t / \text{mass}_i]} \quad (3.3)$$

$$\text{concentration}_t = \text{concentration}_i \times R_f \times \left[\frac{\text{area of ion}_t}{\text{area of ion}_i} \right] \quad (3.4)$$

โดย i = labelled internal standard

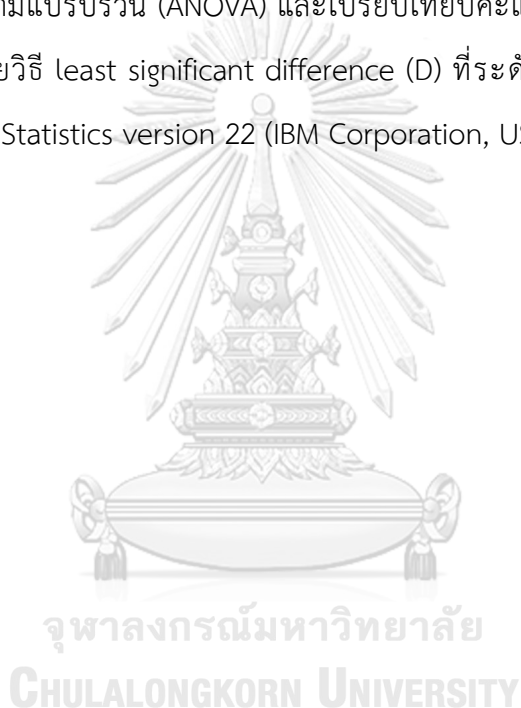
t = target compound

3.2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความสามารถในการได้รับกลิ่นวานิลลาที่ระดับต่าง ๆ (dose response curve)

ทดสอบระดับความเข้มในการได้รับกลิ่นวานิลลาที่ระดับต่าง ๆ (dose response) โดยแปรความเข้มข้นของวานิลลินที่ระดับต่าง ๆ ในตัวอย่าง และแยกออกเป็นสองกลุ่มตัวอย่าง คือตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ ในการทดสอบให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทั้งหมด 12 คน (ชาย 5 คน และหญิง 7 คน) โดยใช้ผู้ทดสอบกลุ่มเดียวกันจากข้อ 3.2.4.2.3 ประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่ได้จากเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมกลิ่นรส โดยเทียบความเข้มของกลิ่นรสตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (reference) คือตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมวานิลลินความเข้มข้น 3,000 µg/mL จากนั้นให้คะแนนในสเกลเส้นตามความเข้มของกลิ่นรสที่ได้กลิ่นในแต่ละตัวอย่าง ระหว่างตัวอย่างให้ดมเมล็ดกาแฟ และน้ำที่ปราศจากกลิ่นตามลำดับ เพื่อพักและไม่ให้คุ้นชินกับกลิ่นที่ต้องการทดสอบ ทดสอบตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติเป็นการทดสอบชุดแรก และตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบเป็นการทดสอบชุดที่สอง สำหรับการทดสอบในชุดที่สอง ทดสอบโดยใส่สารที่เตรียมไว้ให้ (น้ำลายเทียม) ในหลอดฉีดยา (syringe) ขนาด 2 mL ลงในตัวอย่างเจลปริมาณ 10 g ปิดฝา และทำให้เจลแตกด้วย PTFE-stir bar ในถ้วยตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 450 rpm ด้วยระยะเวลา 30 วินาทีขณะปิดฝา จากนั้นเปิดฝาเพื่อดมตัวอย่าง และประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่ได้รับ

3.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และปริมาณสารประกอบวานิลลินที่ปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทดสอบความแตกต่างระหว่างปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis) ของตัวอย่างเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองและเยลลีโกชนาด้วย t-test สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี least significant difference (D) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics version 22 (IBM Corporation, USA)



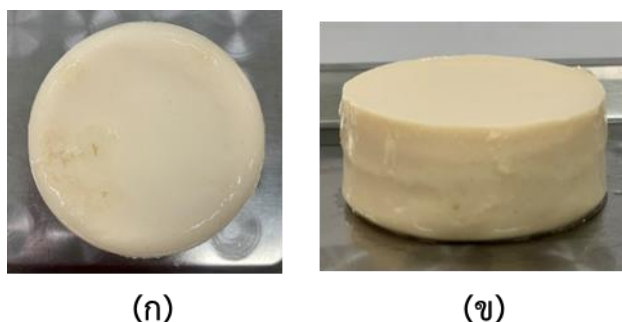
บทที่ 4

ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของแป้งดัดแปรต่อสมบัติทางเคมีกายภาพในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

จากการทดลองผลิตอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง จากสูตรที่ดัดแปลงจากวิธีของ Yang and James (2016) จากการทดลองในเบื้องต้นพบว่าสามารถทำให้เกิดเจลที่เหมาะสมโดยการใช้นมถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนประมาณ 4.4% (w/v) (ภาคผนวก ก.1) กลูโคโนเดลตาแลคโตน (glucono-delta-lactone; GDL) เป็นสารที่ทำให้เกิดตะกอน โดยมีปริมาณที่เหมาะสม คือ 0.3% (w/w) GDL ร่วมกับ 0.2% (w/w) CaCl_2 อุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล คือ 85 °C และใช้เวลา 35 นาที อย่างไรก็ตาม ยังพบว่ามีอาการแยกตัวของน้ำ (syneresis) เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการเติมแป้งดัดแปร (modified starch) สามารถแก้ปัญหการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองได้ โดยทั่วไปมักใช้แป้งดัดแปรเป็นสารให้ความคงตัว และเป็นสารทำให้เกิดเจล ดังนั้นจึงทดสอบโดยเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง โดยแปรชนิดของแป้งดัดแปรสองชนิด ได้แก่ แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ (oxidized starch) และแป้งดัดแปรด้วยกรด (acid treated starch) ที่ความเข้มข้นทั้งหมด 3 ระดับ คือ 3%, 4% และ 5% (w/v) ผลการทดลอง (ตารางที่ 4.1) แสดงถึงสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์ และชนิดดัดแปรด้วยกรดที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปร แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติม 0.3% GDL และแป้งดัดแปรด้วยกรด (5% w/v) จากมุมด้านบน (ก) และ ด้านข้าง (ข)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์ และชนิดดัดแปรด้วยกรด

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าการแยกตัวของน้ำ (%)	pH	Whiteness Index (WI)
ตัวอย่างควบคุม	87.68 ^c ±1.17	10.58 ^e ±0.47	5.27 ^{bc} ±0.02	79.11 ^{ab} ±0.53
แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ (oxidized starch)				
3%	87.88 ^c ±0.53	6.75 ^{cd} ±0.47	5.23 ^{ab} ±0.02	79.23 ^b ±0.29
4%	81.70 ^a ±0.79	7.33 ^d ±0.82	5.25 ^b ±0.02	79.01 ^{ab} ±0.37
5%	84.86 ^a ±0.48	6.42 ^c ±0.41	5.22 ^a ±0.01	78.46 ^a ±0.54
แป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรด (acid treated starch)				
3%	85.72 ^{bc} ±0.26	5.58 ^b ±0.41	5.29 ^c ±0.04	78.55 ^{ab} ±0.80
4%	85.05 ^{bc} ±0.32	5.08 ^b ±0.24	5.30 ^c ±0.04	79.08 ^{ab} ±0.53
5%	84.61 ^b ±0.31	3.92 ^a ±0.41	5.28 ^{bc} ±0.04	79.26 ^b ±0.26

^{a,b,c}...แต่ละค่าแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย±SD (n=3) และค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05).

^{ns} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05).

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ปริมาณความชื้นโดยประมาณของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองอยู่ในช่วงระหว่าง 81-88% ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า การเติมแป้งดัดแปรส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความชื้น เนื่องจากเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ดัดแปรด้วยแป้งมีโครงสร้างแข็งแรงมากพอที่จะกักเก็บน้ำภายในเจลได้ดี และเมื่อแป้งมีปริมาณมากขึ้นจึงสามารถจับกับน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง (Campo et al., 2009) ปริมาณความชื้นที่รายงานไว้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Noor et al. (2019) ที่ศึกษาตัวอย่างเต้าหู้อ่อนดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยคาร์ราจีแนนและใช้แคลเซียมซัลเฟตในการตกตะกอน พบว่าตัวอย่างเต้าหู้อ่อนที่ได้นั้นมีปริมาณความชื้นระหว่าง 81-84% ซึ่งในการทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำอยู่ที่ 1:10

เมื่อพิจารณาค่าการแยกตัวของน้ำ พบว่าปริมาณของแป้งดัดแปรส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละการแยกตัวของน้ำในตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นตัวอย่างที่ไม่ได้เติมแป้งดัดแปรนั้น มีค่ามากกว่าตัวอย่างที่เติมแป้งดัดแปรที่ปริมาณ

ความเข้มข้นต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ (oxidized starch) มีการแยกตัวของน้ำใกล้เคียงกัน ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรด (acid-treated starch) มีค่าการแยกตัวของน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เติมแป้งออกซิไดส์ แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์และแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดนั้น เกิดจากการดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมีเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันในแง่ของชนิดสารเคมีที่ใช้ แป้งดัดแปรด้วยกรด (INS1401) ใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก หรือ กรดออร์โทฟอสฟอริกในการดัดแปร ผลิตภัณฑ์ที่ได้สุดท้ายควรมีค่า pH ตั้งแต่ 3-7 ในขณะที่แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ (INS 1403) ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการดัดแปร ผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องมีหมู่คาร์บอกซิลน้อยกว่า 1.1% (Thai Industrial Standard Institute, 1992) เนื่องจากดัดแปรด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน สมบัติที่ได้จึงมีความแตกต่างออกไป แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์มีสมบัติเป็น polyelectrolyte เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลจำนวนมาก จึงจับกับสารประกอบอื่น ๆ ได้ดี (Tolvanen et al., 2009) นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จากการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ อาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้อาจเกิดจาก มีการเตรียมตัวอย่างเจลที่อุณหภูมิห้อง ทำให้แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ไม่สามารถละลายได้ทั้งหมด เมื่อเซตเจลจึงอาจเกิดการกระจายตัวที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เนื้อสัมผัสไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือสาบอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้ง GDL ยังสามารถแยกหมู่ฟังก์ชันของแป้งออก และขัดขวางการทำหน้าที่ของแป้งดัดแปรชนิดออกซิไดส์ได้ (Kang et al., 2016; Vanier et al., 2017) ในขณะที่แป้งดัดแปรด้วยกรดไม่เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น เนื่องจากสมบัติของแป้งดัดแปรด้วยกรดที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี และแป้งดัดแปรด้วยกรดสามารถอยู่ในสารละลายที่มีสถานะเป็นกรดได้ เนื่องจากในขั้นตอนการดัดแปร กรดเข้าไปตัดโครงสร้างของแป้งในส่วน amorphous ทำให้ amylose หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ดังนั้น amylose ในแป้งดัดแปรด้วยกรดจึงมีปริมาณน้อยกว่าแป้งในธรรมชาติ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา จึงทำให้แป้งดัดแปรด้วยกรดที่เกิดเจลมีความสามารถในการจับกับน้ำดีกว่า และให้ความแข็งแรงกับโครงสร้างเจลได้ (Breuning et al., 2009)

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า pH ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองในทุกตัวอย่างมีค่าระหว่าง 5.22 ถึง 5.30 จากการศึกษาของ Karim et al. (2005) แสดงให้เห็นว่า pH ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองสามารถลดลงจาก 5.8 จนถึง 4.5 ได้ เนื่องจากชนิดของสารที่ทำให้เกิดตะกอนแตกต่างกัน (coagulant) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อ pH ในการทดลองนี้

(ตารางที่ 4.1) คือ ปริมาณแป้งตัดแปรชนิดตัดแปรด้วยกรด ซึ่งแปรปริมาณความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ ดังนั้น การเติมแป้งตัดแปรจึงชนิดตัดแปรด้วยกรดจึงมีผลกระทบต่อค่า pH ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสารถละลายของแป้งตัดแปร (20%w/v slurry) มีค่า pH เท่ากับ 4.5-6.5

ตามธรรมชาติแล้ว สีของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ดีควรมีสีออกขาวหรือเหลืองอ่อนขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของถั่วเหลืองที่ใช้ และกระบวนการผลิต (Yang and James, 2013) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อคำนวณเป็นค่าความขาวหรือ whiteness index (WI) สามารถบอกได้ว่าการเติมแป้งตัดแปรส่งผลกระทบต่อความขาวของผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจากแป้งตัดแปรซึ่งมีสีขาวมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อค่า WI แต่อย่างไรก็ตามค่า WI ในการทดลองนี้อยู่ระหว่าง 78-79 ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาเทียบกับจึงไม่สามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

4.2 ผลของแป้งตัดแปรที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง

เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่งไม่น้อยไปกว่าคุณค่าทางโภชนาการ และส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ค่าเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะค่าความแข็ง และค่าความทนต่อการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองนั้น สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองได้ ค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสนั้นประกอบไปด้วย ค่าความแข็ง (hardness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (gumminess), การทนต่อการเคี้ยว (chewiness) และความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามวิธีของ Bourne (2002) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ texture profile analysis (TPA) เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลของแป้งตัดแปรที่มีผลต่อโปรไฟล์เนื้อสัมผัส (TPA) ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของแป้งดัดแปรต่อโพรไฟล์เนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	hardness (g)	chewiness	springiness	gumminess (g)	cohesiveness
ตัวอย่างควบคุม	121.517 ^a ±1.968	6.349 ^{bc} ±1.555	0.191 ^{ab} ±0.059	48.830 ^d ±1.615	0.402 ^e ±0.020
Nutri Jelly®	375.062 ^e ±7.781	5.373 ^a ±0.955	0.164 ^a ±0.009	40.758 ^{bcd} ±5.438	0.094 ^a ±0.014
แป้งดัดแปรชนิดออกซิไดซ์ (oxidized starch)					
3%	219.154 ^b ±15.682	7.477 ^{ab} ±0.836	0.202 ^{bc} ±0.011	34.398 ^{ab} ±1.705	0.162 ^{cd} ±0.016
4%	225.682 ^b ±0.422	7.227 ^{ab} ±1.397	0.203 ^{bc} ±0.017	35.648 ^{abc} ±6.150	0.178 ^d ±0.005
5%	214.411 ^b ±13.769	6.323 ^{ab} ±1.053	0.205 ^{bc} ±0.010	30.566 ^a ±3.801	0.142 ^{bc} ±0.013
แป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรด (acid treated starch)					
3%	244.711 ^c ±0.932	6.929 ^{ab} ±1.236	0.221 ^c ±0.016	31.248 ^a ±3.809	0.127 ^b ±0.010
4%	262.981 ^d ±0.779	7.936 ^b ±0.349	0.229 ^c ±0.005	33.986 ^{ab} ±0.999	0.121 ^{ab} ±0.004
5%	276.528 ^d ±1.651	10.520 ^c ±0.838	0.236 ^c ±0.024	42.733 ^{cd} ±0.707	0.135 ^{bc} ±0.015

^{a,b...}แต่ละค่าแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย±SD (n=3) และค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05).

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง จากการทดลองแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ของลักษณะเนื้อสัมผัสทุก ๆ พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้แป้งดัดแปรต่างชนิดกัน และเมื่อพิจารณาค่า hardness ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของตัวอย่างพบว่า ปริมาณแป้งดัดแปรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า hardness ในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าตัวอย่างควบคุมทุกตัวอย่าง ซึ่งอยู่ระหว่าง 214-276 g เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่มีแป้งดัดแปรนั้นมีความแข็งแรงน้อย ไม่คงตัว และสามารถแตกได้ง่ายมาก เมื่อเทียบกับตัวอย่างเจลที่เติมแป้งดัดแปรปริมาณ 3-5% โดยน้ำหนัก หากผลิตภัณฑ์มีค่า hardness มาก แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต้องใช้แรงที่มากขึ้นในการบดหรือเคี้ยวลงไปเช่นเดียวกัน ค่า springiness ตัวอย่างควบคุมมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดและ มีค่ามากกว่าตัวอย่างเยลลี่โกชานา ซึ่งทั้งสองตัวอย่างสามารถเสียรูปร่าง (deformed) ได้หลังจากการกดในครั้งแรก (first compression) และแสดงให้เห็นว่าสามารถแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้ง่ายในระหว่างการเคี้ยว (Wee et al., 2018) ถึงแม้ว่าค่าที่แสดงออกจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้

ง่าย เมื่อเทียบกับเจลที่เกิดจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน หรือ วุ้น (agar) โดยใช้ความเข้มข้นที่ทำให้ค่า hardness อยู่ในช่วง 10-20 kPa มีค่า springiness อยู่ในช่วง 0.44-0.72 ซึ่งถือว่ามีค่าสูง และส่งผลให้แตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้ยากขึ้น (Suebsan et al., 2019) ในขณะที่ค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับค่า hardness ส่วนค่า cohesiveness ของตัวอย่างควบคุมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดและตัวอย่างเยลลี่โกชานา ซึ่งการมีค่า cohesiveness สูงกว่า หมายความว่ามีความเหนียวภายในที่แข็งแรงกว่าซึ่งทำให้เจลที่แตกออกสามารถเกาะด้วยกันเป็นก้อนได้ดี และป้องกันการแยกตัวกันระหว่างการกลืน (Rosenthal, 1999) จากสมบัติที่กล่าวมาสามารถอธิบายได้ว่าทำไมจึงไม่สามารถทำให้เจลแตกได้ตั้งแต่การกดครั้งแรก เนื่องต้องการพลังงานมากกว่าในการทำลายพันธะภายในเพื่อให้แยกออกและรวมตัวกันเป็นก้อนอาหารได้ ค่า cohesiveness ที่สูงจึงสามารถส่งผลให้รับรู้ถึงความยากในการเคี้ยวได้ (Suebsan et al., 2019) ค่า gumminess และ chewiness ของเจลมีความสัมพันธ์กับค่า hardness ซึ่งตัวอย่างควบคุมมีค่า chewiness ต่ำกว่าตัวอย่างเยลลี่โกชานา มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 3% และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 4% และ 5% ตามลำดับ และค่า gumminess ของตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงกว่าทุกตัวอย่าง ค่า gumminess ที่น้อยลงนั้นส่งผลให้ใช้พลังงานที่น้อยกว่าในการกลืนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีค่า gumminess มากกว่า

การเกิดเจลนั้นสามารถทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนที่มีความเป็นระเบียบและแน่นขึ้น ค่าความแข็งของเจลจึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่จัดเรียงกันแบบหนาแน่น (compact) ในผลิตภัณฑ์ และเนื่องจาก GDL มีความสามารถที่ดีในการสร้างโครงสร้างแบบแน่น เพราะการเติม GDL ทำให้ในระบบมี H^+ มากขึ้น โมเลกุลของโปรตีนจึงสามารถเกิดการรวมตัวและเชื่อมข้ามเพื่อสร้างโครงสร้างตาข่ายได้ (Murakete et al., 2015; Peng et al., 2016) ส่วนความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดตะกอน และชนิดของไอออนบวก (cation) เช่น แคลเซียมไอออน สามารถส่งผลกระทบต่อค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ได้โดยตรงเช่นกัน อีกทั้งแป้งดัดแปรยังสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการจับตัวกันเป็นก้อน (coagulation) ได้ จากเหตุผลข้างต้น จึงสามารถอธิบายเหตุผลของค่าความแข็งของเจลได้หลากหลาย เช่น แป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความสามารถในการเกิดเจลร่วมกับถั่วเหลืองได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในโครงสร้างมีด้านที่ชอบน้ำมากขึ้นในระบบ (hydrophilic site) ดังนั้น น้ำจึงถูกดูดซับได้มากขึ้น และสร้างเจลที่มี

ความแข็งแรงมากกว่าเจลที่เกิดจากแป้งเพียงอย่างเดียว (Otegbayo et al., 2013; Ali et al., 2012) ขณะเดียวกัน GDL มีสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งทำให้ pH ในนมถั่วเหลืองลดลงจนถึง isoelectric point ของโปรตีนถั่วเหลือง (pH = 4.6) โมเลกุลของโปรตีนจึงรวมตัวกันและตกตะกอนได้ (Chang et al., 2009) อีกทั้งแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จากแคลเซียมคลอไรด์ที่เติมลงไปในการผลิตภัณฑ์ สามารถช่วยให้โปรตีนในนมถั่วเหลืองซึ่งประกอบด้วยโปรตีนกลอบูลินชนิด 7S และ 11S สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนทำให้เกิดเจลได้ดียิ่งขึ้น (Kohyama and Nishinari, 1993) จากที่กล่าวมาข้างต้น โมเลกุลโปรตีนที่รวมกันเป็นก้อนสามารถเกิดอันตรกิริยากันเองได้ด้วยสารที่ทำให้เกิดตะกอน และสามารถสร้างโครงสร้างพอลิเมอร์ของโปรตีนจนกลายเป็นโครงสร้างสามมิติขนาดใหญ่ที่เสถียรได้ ดังนั้นการเติมแคลเซียมและการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งดัดแปรจึงช่วยให้โครงสร้างตาข่ายของเจลแข็งแรงขึ้นได้ (Kawaguchi et al., 2018; Zhang and Qin, 2019)

ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kang et al. (2016) ที่พบว่าตัวอย่างเต้าหู้อ่อนที่เติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความแข็ง (hardness) และความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างเต้าหู้อ่อนที่ไม่ได้เติมแป้งดัดแปร โดยเมื่อนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าสามารถทนต่อสภาวะการทำแห้งได้ โดยไม่เกิดการแตกหักในระหว่างการผลิต ค่าพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสอื่น ๆ ทั้ง springiness, gumminess, chewiness และ cohesiveness มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมสามารถอธิบายได้ด้วยปริมาณของแป้งดัดแปรที่ใส่ลงไปในการผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเจลมากขึ้น ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับค่า hardness

เมื่อเปรียบเทียบค่า hardness ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดกับ Universal Design Food Standard (Food Industry Affair Bureau, 2016) และ Smile care food standard (Kang et al., 2016b) ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองในทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ที่มาตรฐาน Universal Design Food ระดับ 3 และ Smile care food ระดับ 3 เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ระบุค่า hardness ในอาหารสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืน ซึ่งระบุว่าเป็นอาหารที่สามารถบดได้ด้วยลิ้น (hardness: < 500 g) ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเทียบกับตัวอย่างทางการค้าของผลิตภัณฑ์เจลที่ออกแบบมาเพื่อผู้ป่วยที่มีภาวะเคี้ยวและกลืนลำบาก (Nutri Jelly®) ซึ่งมีค่า hardness เท่ากับ 375 g (ตารางที่ 4.2) ค่า hardness ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดที่ได้มีค่าต่ำกว่า Nutri Jelly® อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การเติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปร

ด้วยกรดปริมาณ 3-5% จึงเป็นช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการตัดแปรรื้อเนื้อสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง ยิ่งไปกว่านั้น เพื่อให้สามารถเลือกสูตรมาตรฐานที่แน่นอนในการวิจัยและพัฒนา จึงมีความจำเป็นในการทดสอบด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม เนื่องจากการทดสอบด้วยสมบัติทางเคมีกายภาพ และเนื้อสัมผัส ดังที่ได้ทดสอบไปข้างต้น ไม่สามารถบ่งชี้ความเข้มข้นที่แน่ชัดของแป้งตัดแปรรชนิดตัดแปรรด้วยกรดที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคได้ จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น จึงเลือกตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งตัดแปรรด้วยกรดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อเลือกตัวอย่างที่เหมาะสมในขั้นถัดไป

4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองด้วยวิธีการจัดอันดับ (ranking test)

การศึกษาด้านสมบัติทางเคมีกายภาพ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งการทดสอบด้วยเครื่องมืออาจไม่ได้แสดงการรับรู้ของผู้บริโภคที่แท้จริงได้ ดังนั้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงมีความจำเป็นในการทดสอบเพื่อเลือกตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีเนื้อสัมผัสเหมาะสม หรือใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ต้องการมากที่สุด การทดสอบทางประสาทสัมผัสในขั้นนี้เป็นการเลือกตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งตัดแปรรชนิดตัดแปรรด้วยกรดที่ความเข้มข้นทั้งหมด 3 ระดับ คือ 3%, 4% และ 5% (w/v) จากข้อที่ 4.2 โดยใช้วิธีการจัดอันดับ (ranking test) โดยเรียงลำดับตัวอย่างที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับตัวอย่างอ้างอิง คือ เยลลี่โภชนา (Nutri-Jelly®) มากที่สุดตามลำดับ จากการทดลองในกระบวนการผลิตขั้นต้นของผลิตภัณฑ์เยลลี่โภชนา เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่โภชนา ถูกออกแบบมาเพื่อผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืน การได้เคี้ยวและกลืนอาหารที่มีความอ่อนนุ่มพอดี สามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อในช่องปากและทางเดินอาหารได้ ดังนั้นในการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ จึงคาดหวังให้ได้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างอ้างอิงมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบจัดอันดับ (ranking test) ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดที่ปริมาณแตกต่างกัน

	ปริมาณแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรด (acid treated starch; %w/w)		
	3%	4%	5%
ผลรวมของลำดับความเหมือนต่อผลิตภัณฑ์	65 ^b	37 ^a	78 ^c

a,b,c...แต่ละค่าแสดงผลด้วยผลรวมของลำดับความเหมือน (n=30) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตามวิธีของ Friedman Test

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบจัดอันดับ (ranking test) ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดที่ปริมาณแตกต่างกัน จากผลการทดลองโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 4% มีคะแนนใกล้เคียงกับเยลลี่โภชนามากที่สุด คือ 37 คะแนน สำหรับตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 3% และ 5% มีคะแนน 65 และ 78 คะแนนตามลำดับ ผู้ทดสอบอธิบายให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมว่า เนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 3% เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มกว่าตัวอย่างอ้างอิงและทำให้แตกง่ายกว่า ในขณะที่ตัวอย่างเติมแป้งดัดแปรปริมาณ 5% มีความแน่นมากกว่าตัวอย่างอ้างอิง และมีเนื้อสัมผัสคล้ายแป้ง (starchy-like texture) เมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า gumminess และ cohesiveness มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 4% และตัวอย่างเยลลี่โภชนา ส่วนค่า chewiness พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า chewiness ของเยลลี่โภชนามีค่าเท่ากับ 5.373 ส่วนของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 4% มีค่าเท่ากับ 7.936 เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Suebsan et al. (2019) ที่ใช้ตัวอย่างเจลดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์ชนิด คาร์ราจีแนน เจลติน และ วุ้น (agar) เพื่อผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านการเคี้ยวและกลืน ซึ่งตัวอย่างที่อยู่ใน Universal design food Level 3 มีค่า chewiness อยู่ระหว่าง 51-420 ดังนั้นค่า chewiness ของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองจึงมีค่าน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับตัวอย่างดังกล่าว

อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.3 ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรด้วยกรด ปริมาณ 4% มีคะแนนน้อยที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงเยลลี่โกชานาแต่ยังมีความแตกต่าง เนื่องจากกลิ่นรสที่ไล่ลงไปในการผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้จะใช้กลิ่นมะม่วงที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด แต่ก็ยังไม่ใช้กลิ่นของตัวอย่างจริง และถึงแม้จะใช้สารให้กลิ่นที่มีองค์ประกอบภายในเหมือนกันกับตัวอย่างเยลลี่โกชานา แต่องค์ประกอบภายในของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่กำลังศึกษานี้ มีความแตกต่างจากตัวอย่างเยลลี่โกชานา จึงทำให้กลิ่นที่ออกมาแตกต่างกันได้ เนื่องจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารให้กลิ่นรสและองค์ประกอบของอาหารที่เกิดขึ้นภายใน

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ Nutri-Jelly® กลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ถูกรอกแบบมาเพื่อผู้ป่วยโดยเฉพาะนั้น มีการแนะนำว่าควรใช้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ที่ให้ความรู้สึกหวานหรือสดชื่น ซึ่งกลิ่นที่ทำให้รู้สึกหวานหรือเปรี้ยวจึงเหมาะสม เช่น กลิ่นเสาวรส กลิ่นสตรอว์เบอร์รี่ หรือ กลิ่นวานิลลา เป็นต้น (Kunitz, 1928; Kanjanathiwat, 2013; Trachootham et al., 2015) ในการทดลองขั้นนี้ ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่แปรปริมาณแป้งดัดแปร ใช้กลิ่นมะม่วงเพื่อให้ตัวอย่างมีความใกล้เคียงกับตัวอย่างอ้างอิงมากที่สุด จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไปข้างต้น (ตารางที่ 4.3) จึงเลือกตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมแป้งดัดแปรชนิดดัดแปรด้วยกรดที่ปริมาณ 4% (w/w) เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองเพื่อศึกษาในขั้นถัดไป

4.4 วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร (proximate analysis) และการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

นำตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยกรดปริมาณ 4% (w/w) มาทดสอบองค์ประกอบของเจลโปรตีนถั่วเหลือง (proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 29.98% (dry basis) และเมื่อคำนวณจากปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างผลิตภัณฑ์พบว่าในผลิตภัณฑ์มีค่าโปรตีนประมาณ 4.94% (w/w) ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถกล่าวได้ว่า มี หรือเป็นแหล่งของโปรตีน เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนมากกว่าหรือเท่ากับ 10% ของปริมาณที่แนะนำต่อวันเมื่อคิดจาก % น้ำหนักเปียก (Thai RDI) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 (พ.ศ. 2522) และมีปริมาณพลังงานความร้อน (calories)

อยู่ 67.17 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 g และเมื่อเปรียบเทียบกับ Nutri-jelly® พบว่าตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า และมีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า จึงทำให้ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองให้พลังงานน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณไขมันของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่พัฒนาขึ้น (2.36%) น้อยกว่า Nutri-jelly® (17.99%) ซึ่งหากต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม อาจทำได้โดยการเติมไขมันเพิ่มลงไปในผลิตภัณฑ์ด้วยไขมันที่มีประโยชน์ เช่น น้ำมันรำข้าว หรือน้ำมันมะกอก เป็นต้น หากเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เจลหรือเยลลี่ทั่วไป โดยอ้างอิงจากเยลลี่รสผลไม้ทางการค้า พบว่าที่ปริมาณเท่ากันเยลลี่รสผลไม้ประกอบไปด้วยค่าพลังงานความร้อนประมาณ 146.17 กิโลแคลอรีและมีโปรตีนเพียง 0.08% ต่อตัวอย่าง 100 กรัม (สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม, 2558) และตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การโฆษณาอาหาร พศ. 2561 ต้องระบุข้อความไว้บนภาชนะบรรจุว่า “เด็กควรบริโภคแต่น้อย” หากเด็กที่มีอายุ 3 ปีขึ้นไป รับประทานมากเกินไปจะไม่เกิดประโยชน์ เนื่องจากไม่มีสารอาหารอื่นที่มีประโยชน์นอกจากน้ำและน้ำตาล และไม่สามารถกินอาหารชนิดอื่นที่มีประโยชน์ได้อีก (วิสิฐ จະวะสิต และ สิตติมา จิตตินันท์, 2537) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองนั้นให้พลังงานน้อยกว่าและให้โปรตีนในปริมาณที่มากกว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ทั่วไปตามท้องตลาด (กุสุมา ทินกร และ นัทมน พุฒดวง, 2559)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบโดยประมาณของเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการคัดเลือกและ เยลลี่โภชนา (Nutri-Jelly®)

ปริมาณ	เจลโปรตีนถั่วเหลือง (%db)	Nutri-Jelly® (%db)	เจลโปรตีนถั่วเหลือง (%wb)	Nutri-Jelly® (%wb)
ความชื้น	83.39±1.85*	77.68±1.32	83.39±1.85*	77.68±1.32
โปรตีน	29.98±1.14*	22.49±1.38	4.94±0.19	4.39±0.39
ไขมัน	2.36±0.03*	17.99±1.10	0.39±0.01*	3.49±0.22
คาร์โบไฮเดรต	66.91±1.14	58.78±2.47	11.03±0.19	14.27±0.59
เถ้า	0.56±0.09	0.59±0.04	0.09±0.01	0.13±0.01
ใยอาหาร	0.19±0.01	0.16±0.05	0.03±0.01	0.16±0.04
แคลอรีทั้งหมด (kcal/100 g)	67.41±7.57*	108.6±5.22	67.41±7.57*	108.61±5.22

หมายเหตุ: ค่าแต่ละค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±SD (n=3)

*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบระหว่างตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองและ Nutri-Jelly® ด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test ($p \leq 0.05$).

(%db) คำนวณจากปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

(%wb) คำนวณจากปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักเปียกของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง และเพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ จึงเริ่มต้นด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์เพื่อดูอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมด 16 วัน โดยในระยะเวลาดังกล่าว เก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบทุก ๆ 2 วัน ผลการทดสอบแสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด และปริมาณโคลิฟอร์มของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองโดยอุณหภูมิในการเก็บตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองอยู่ระหว่าง 4 ± 1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าจุลินทรีย์ colony forming unit (CFU) เริ่มต้นจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง พบน้อยกว่า 10 CFU/g ในช่วงระยะเวลา 12 วันแรก เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นถึง 2.36×10^4 CFU/g ในวันที่ 14 โดยปริมาณ

จุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณยีสต์และรา โดยระยะเวลา 10 วันแรกไม่พบยีสต์และราเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าปริมาณยีสต์และรามีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 1.05×10^2 CFU/g ในวันที่ 14 และไม่พบโคลิฟอร์มตลอดระยะเวลาที่ศึกษา สาเหตุที่ผลิตภัณฑ์มีอายุประมาณ 10 วันนั้น เนื่องจากอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมของเชื้อ ด้วยองค์ประกอบที่มีโปรตีนและมีปริมาณน้ำสูง เมื่ออ้างอิงตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยมาตรฐานอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ฉบับที่ 355 พบว่า aerobic mesophilic microorganisms (total bacteria count) ของอาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทนั้น ไม่ควรมีจุลินทรีย์เกิน 10^4 CFU/g โคลิฟอร์มต้องน้อยกว่า < 3 MPN/g ตัวอย่าง ผลการทดลองที่ใช้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำในผลิตภัณฑ์ลักษณะใกล้เคียงกัน โดยพบว่ามีอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน จากงานวิจัยของ Lee et al. (2014) ศึกษาอายุการเก็บรักษาตัวอย่างเต้าหู้สดในระยะเวลา 15 วัน โดยทำการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 3 วัน พบว่า ตัวอย่างเต้าหู้สดที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบปิดสนิท สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 9 วัน เนื่องจากในช่วงระยะเวลานั้นไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เติบโตเลย เมื่อเข้าสู่วันที่ 12 จำนวนจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง $7.29 \log$ CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างเต้าหู้สดที่ไม่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ใด ๆ มีจำนวนเชื้อเริ่มต้นมากกว่า และมีปริมาณเชื้อถึง $9 \log$ CFU/g ในวันที่ 3 เช่นเดียวกับรายงานมาตรฐานของสำหรับประเทศเกาหลี ซึ่งรายงานว่ามาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ที่ปลอดภัยในผลิตภัณฑ์ควรมีค่าประมาณ $6-7 \log$ CFU/g และโคลิฟอร์มควรมีค่าไม่เกิน $1 \log$ CFU/g ในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ (Shin et al., 2006; KFDA., 2011)

ตารางที่ 4.5 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (CFU/g) และโคลิฟอร์มของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu / g)	ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (cfu / g)	โคลิฟอร์ม (MPN)
0	< 10	< 10	< 3
2	< 10	< 10	< 3
4	< 10	< 10	< 3
6	< 10	< 10	< 3
8	< 10	< 10	< 3
10	< 10	< 10	< 3
12	10	< 10	< 3
14	2.36×10^4	1.05×10^2	< 3
16	6.33×10^7	4.89×10^3	< 3

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

จากการศึกษาการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าระยะเวลา 10 วันเป็นจำนวนวันที่พบเชื้อไม่เกินมาตรฐาน และอยู่ในเกณฑ์ตามประกาศของคณะกรรมการอาหารและยา ขึ้นตอนต่อไปจึงเลือกศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 10 วัน ตารางที่ 4.6 แสดงค่า การแยกตัวของน้ำ pH และค่าสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C พบว่าค่าการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างสามมิติของเจลที่หดและเข้ามาใกล้กัน เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของแป้งตัดแปรด้วยกรด แป้งตัดแปรด้วยกรดสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี เนื่องจากในการตัดแปร กรดจะไฮโดรไลสโมเลกุลแป้ง ทำให้ขนาดโมเลกุลลดลงแต่ยังคงอยู่ในรูปเม็ดแป้ง เมื่อละลายจะให้ความหนืดต่ำที่อุณหภูมิสูง และหนืดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิต่ำลงเมื่อเทียบกับแป้งดิบ แป้งตัดแปรด้วยกรดเมื่อเกิดการคืนตัวจะได้เจลที่มีความแข็งแรงและสามารถยึดเกาะกันได้ดี จึงทำให้ค่าการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้น (Breuninger et al., 2009) ดังนั้นน้ำที่กักเก็บเอาไว้ในโครงสร้างจึงถูกขับให้ออกมาด้านนอกโครงสร้าง สำหรับค่า

pH พบว่าค่อย ๆ ลดลงจาก 5.28 ถึง 4.86 การเปลี่ยนแปลงของ pH ในผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดเนื่องจากเอนไซม์ peroxidase และ lipoxygenase ที่ยังเหลืออยู่ในถั่วเหลือง ถึงแม้ว่าในการผลิตจะลวกก่อนแล้วก็ตาม (Sheu and Chen, 1991) เอนไซม์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถทำให้เกิดการเสื่อมสลาย (decomposition or degradation) หรือเกิดอันตรกิริยาขึ้นในเจลโปรตีนถั่วเหลือง เช่น lipolysis หรือ proteolysis ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันเลว ๆ เนื่องจากปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์ไลเอส (Achouri et. al., 2007) นอกจากนั้น การเกิดการย่อยของโปรตีนอาจเกิดผลิตภัณฑ์กลุ่มเปปไทด์ กรดอะมิโน หรือ อนุพันธ์ของแอมิน ซึ่งเป็นที่มาของกลิ่นหืน หรือกลิ่นอับชื้น (stale) ของผลิตภัณฑ์ (Clark and Snyder, 1991) สำหรับค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าความขาวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเกิดจากเอนไซม์ lipoxygenase ในผลิตภัณฑ์มีจำนวนน้อย และปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและโปรตีนในระหว่างการเก็บเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากผลิตภัณฑ์อยู่ที่อุณหภูมิแช่เย็น จึงทำให้ไม่เกิดสีคล้ำหรือน้ำตาล (browning) ที่เป็น non-enzymatic browning ในผลิตภัณฑ์ (Cleale et al., 1987)

ตารางที่ 4.6 ค่าการแยกตัวของน้ำ pH และสีของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง (วัน)	ค่าการแยกตัวของ น้ำ (%)	ค่าการแยกตัวของ		สี		
		pH	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	WI^{ns}
0	0.17 ^a ±0.24	5.28 ^d ±0.02	85.12±0.46	0.75±0.1	14.51±0.49	79.20±0.07
2	4.20 ^b ±0.62	5.16 ^{cd} ±0.09	85.10±0.25	0.71±0.17	14.74±0.79	79.02±0.62
4	10.00 ^c ±0.82	5.14 ^{cd} ±0.10	85.14±0.38	0.66±0.22	14.14±0.49	79.46±0.07
6	12.33 ^c ±1.25	5.11 ^{cd} ±0.03	85.12±0.46	0.71±0.04	14.51±0.49	79.20±0.07
8	15.67 ^d ±0.47	5.03 ^{bc} ±0.04	84.92±0.21	0.58±0.01	14.34±0.82	79.17±0.43
10	21.33 ^e ±1.25	4.86 ^a ±0.04	84.56±0.37	0.52±0.04	14.56±0.61	78.76±0.52

^{a,b,c,d,e} แต่ละค่าแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย±SD (n=3) และค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$).

^{ns} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$).

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.7 แสดงโปรไฟล์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ค่าพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสส่วนใหญ่ส่วนใหญ่ ซึ่งประกอบไปด้วยค่า hardness chewiness gumminess และ cohesiveness เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และลดลงหลังจากนั้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเกิดจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งจึงทำให้ค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่า cohesiveness ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษาจากนั้นจึงลดลง เช่นเดียวกับค่า springiness ของผลิตภัณฑ์ ค่า chewiness และ gumminess ของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาและลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการเก็บ และแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของค่า chewiness และ gumminess นั้น มีแนวโน้มแบบเดียวกับ ค่า hardness เนื่องจากการคำนวณและค่า hardness มีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ผลการทดลองสอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสเต้าหู้ เช่น Anbarasu and Vijayalakshmi (2007) เติมสารสกัดจาก tulsi เทียบกับตัวอย่างเต้าหู้ที่ไม่เติมสารสกัด ผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป ค่า hardness chewiness และ gumminess ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนค่า cohesiveness และ springiness ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ หรือในบางกรณี ตัวอย่างเต้าหู้มีค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จุลินทรีย์สามารถย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรติเอส ทำให้โครงสร้างเจลโปรตีนมีความแข็งแรงลดลง (Kim et al., 2004; Anbarasu and Vijayalakshmi, 2007)

ตารางที่ 4.7 โพรไฟล์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (วัน)	hardness (g)	chewiness	springiness ^{ns}	gumminess (g)	cohesiveness
0	264.740 ^a ±8.993	7.462 ^{bc} ±0.413	0.228±0.006	32.655 ^{bc} ±1.119	0.128 ^a ±0.006
2	322.985 ^b ±9.866	12.898 ^d ±1.167	0.294±0.055	44.878 ^c ±5.365	0.139 ^{ab} ±0.013
4	205.941 ^c ±5.577	8.924 ^{bcd} ±2.176	0.277±0.020	31.761 ^{bc} ±5.739	0.154 ^{ab} ±0.046
6	184.791 ^c ±8.276	10.537 ^{cd} ±1.748	0.279±0.036	38.263 ^{bc} ±7.401	0.209 ^b ±0.046
8	109.561 ^d ±16.351	4.739 ^{ab} ±1.439	0.225±0.053	21.617 ^{ab} ±5.614	0.198 ^{ab} ±0.052
10	68.126 ^e ±17.767	2.509 ^a ±1.244	0.281±0.083	8.405 ^a ±1.835	0.125 ^a ±0.005

^{a,b...} แต่ละค่าแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย±SD (n=3) และค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05).

^{ns} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05).

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง

การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองเต็มกลีวนานิลลาที่ผ่านการคัดเลือกข้างต้น ทำการทดสอบโดยใช้วิธี modified quantitative descriptive analysis โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ในการทดสอบ ฝึกฝนผู้ทดสอบโดยแบ่งออกเป็นสองช่วง ในการฝึกฝนและทดสอบแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง (Yang et al., 2016) รวมระยะเวลาในการฝึกฝนทั้งหมด 14 ชั่วโมง เริ่มจากการฝึกฝนผู้ทดสอบเบื้องต้น เพื่อสร้างคำศัพท์ และคำอธิบายทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ ขั้นตอนแรกให้ผู้ทดสอบได้ดมและชิมผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เต็มวานิลลิน และตัวอย่างทางการค้าของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเจลโปรตีนถั่วเหลืองเช่น เต้าหู้แบบต่าง ๆ หรือ เต้าฮวย เป็นต้น พบว่าผู้ทดสอบได้พัฒนาคำศัพท์เพื่ออธิบาย attribute ต่าง ๆ ซึ่งเน้นไปที่ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก จากการพัฒนาคำศัพท์และนิยามลักษณะต่าง ๆ attribute ที่ได้รับการคัดเลือกมีทั้งหมด 9 attribute สำหรับทดสอบตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง ดังแสดงในภาคผนวก ข.3 เมื่อได้ attribute

และนิยามแล้ว จึงระบุตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละ attribute และให้คะแนนความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งแสดงแต่ละ attribute ฝึกฝนผู้ทดสอบโดยให้คะแนนตัวอย่างอ้างอิงแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่าง และสร้างสเกลระดับความเข้มที่แน่นอน

เมื่อคัดเลือกตัวอย่างอ้างอิงจากแต่ละ attribute ที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว วิธีการเตรียม ตัวอย่างอ้างอิงพร้อมทั้งวิธีการทดสอบ และตกลงระดับความเข้มของแต่ละ attribute รายละเอียดดัง แสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งอธิบายคุณลักษณะ นิยาม ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้มที่ใช้สำหรับการ ทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง จากการศึกษาพบว่า ผู้ทดสอบลงความเห็นว่าคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ แบ่งออกได้เป็นสามกลุ่ม คือ ลักษณะ ปรากรู กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส แบ่งออกเป็น 9 attribute ได้แก่ ลักษณะปรากรู 3 attribute (สี ความเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกตัวของน้ำ) กลิ่นรส 5 attribute (กลิ่นวานิลลา กลิ่นถั่ว กลิ่นหืน กลิ่น หมักของถั่วเหลือง และกลิ่นแป้ง) สำหรับเนื้อสัมผัสอีก 1 attribute (ความแน่นเนื้อ) (ตัวอย่างอ้างอิง ของลักษณะปรากรูและ TPA ของตัวอย่างเต้าฮวยแสดงในภาคผนวก ข.5)

ตารางที่ 4.8 คุณลักษณะ นิยาม ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้มที่ใช้สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ modified quantitative descriptive analysis ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คำอธิบาย	ตัวอย่างอ้างอิง		ระดับความเข้ม ^b
		ผลิตภัณฑ์ (ผู้ผลิต)	วิธีการเตรียม ^a	
ลักษณะปรากฏ				
สี	สีนมถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง	นมถั่วเหลืองรสหวาน (ตรานางพยาบาล®, ประเทศไทย)	20 mL ในถ้วยพลาสติก	10
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ไม่มีเนื้อสัมผัสที่ขรุขระ ไม่เรียบเนียน เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด	เต้าหู้โมเมน (อูเมโนะฮานะ®, ประเทศไทย)	10 g ในถ้วยพลาสติก	15
การแยกตัวของน้ำ	ปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากผลิตภัณฑ์	เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่อายุการเก็บ 10-18 วัน ที่อุณหภูมิแช่เย็น	10 g ในถ้วยพลาสติก	15
กลิ่นรส				
วานิลลา	กลิ่นวานิลลาทางการค้าในขนมหวาน	กลิ่นวานิลลา (McCormick®, สหรัฐอเมริกา)	2 mL ในน้ำ 10 mL	7
ถั่ว	กลิ่นของนมถั่วเหลืองอุ่นใหม่	ถั่วเหลืองแช่น้ำและปั่นกับน้ำด้วยอัตราส่วน 1:3 นำไปให้ความร้อนและกรอง	20 mL ในถ้วยพลาสติก อุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C ระยะเวลา 30 นาที	12
หีน	กลิ่นของน้ำมันเก่าที่ให้ความร้อน	น้ำมันถั่วเหลืองเก่า (อายุ 8 เดือน นับตั้งแต่วันที่ผลิต) (ประเทศไทย)	0.2 mL เจือจางในน้ำกลั่น 50 mL และอบที่อุณหภูมิ 200 °C ด้วยระยะเวลา 10 นาที	10
หมัก	กลิ่นถั่วเหลืองหมัก	ถั่วหมักญี่ปุ่น (ซาโจซัง®, โตเกียว, ญี่ปุ่น)	1 g	9
แป้ง	กลิ่นคล้ายแป้งมันหรือมันสำปะหลัง	น้ำแป้งมันสำปะหลัง (NewlyWeds®, ประเทศไทย)	อัตราส่วน 1:10	8
เนื้อสัมผัส				
ความแน่นเนื้อ	แรงที่ใช้ในการกดระหว่างอาหารและฟันกราม	เต้าหู้ย (ทำใหม่ทุกครั้ง)	10 g ในถ้วยพลาสติก	4

^aเตรียมตัวอย่างใน ถ้วยพลาสติกสำหรับชิมและฝาปิด ปริมาตร 50 mL

^bประเมินด้วยระดับความเข้มบนสเกล 15-cm line scale โดย 0=ไม่มี และ 15=มากที่สุด

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลือง ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ พบว่า สำหรับลักษณะปรากฏ คะแนนค่าสีอยู่ในช่วงคะแนน 4-5 ซึ่งถือว่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงเวลาเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองทางสมบัติเคมีกายภาพ พบว่าค่าสีไม่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ คะแนนความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลง ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงความสากที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ คะแนนการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการแยกตัวของน้ำออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการแยกตัวของน้ำในตารางที่ 4.6 ในแง่กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ อาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองมีกลิ่นวานิลลาและกลิ่นถั่วลดลง ในขณะที่กลิ่นหืนและกลิ่นหมักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกลิ่นแบ่งพบว่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษาซึ่งมีค่าลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ค่า ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่า hardness ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไปข้างต้น (ตารางที่ 4.7)

การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัยซึ่งสาเหตุหลักอาจเกิดมาจากปฏิกิริยาภายในตัวอย่าง เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลติกของไตรกลีเซอไรด์ (hydrolytic reactions of triacylglycerides) และปฏิกิริยาออกซิเดชันของไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) (Saio et al., 1980) หากมีออกซิเจนในระบบ กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเกิดการสร้างเปอร์ออกไซด์ขึ้นจากปฏิกิริยาของเปอร์ออกไซด์ไลเอส ทำให้เกิดการสร้างกรดมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหมัก หรือกลิ่นหืนได้ ซึ่งเมื่อเทียบกับสมบัติทางเคมีกายภาพแสดงให้เห็นถึง pH ที่ต่ำลง (Clark and Snyder, 1991; Narayan et al., 1988; Trawatha et al., 1995) นอกจากนี้กรดที่มีมวลโมเลกุลต่ำแล้ว สารประกอบ hexanal ถือเป็นสารประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ และมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง Yang et al. (2015) ศึกษาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองที่ปราศจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase; LOX) พบว่าสารประกอบ hexanal ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้อยกว่าในตัวอย่างนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ที่ทำมาจากถั่วเหลืองที่ปราศจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้าที่บอกว่าถั่วเหลืองที่ไม่มี LOX สามารถผลิต hydroperoxide ได้ต่ำกว่าและมีปริมาณ hexanal น้อยกว่าถั่วเหลืองที่มี LOX (Hildebrand et al., 1991; Kobayashi et al., 1995; Furuta et al., 1996; King et al., 1998; Ma et al., 2015) รวมทั้งมีงานวิจัยที่พยายามเชื่อมโยงระหว่างโปรไฟล์ของน้ำมันถั่วเหลือง ปริมาณไลพอกซีจีเนส และการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง ซึ่ง

พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไขมันไม่อิ่มตัว องค์ประกอบของสารระเหย และปริมาณ hexanal (Furuta et al., 1996; Yuan and Chang, 2007; Mandal et al., 2014)

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	0	2	4	6	8	10
ลักษณะปรากฏ						
สี ^{ns}	4.4±0.9	5.2±0.8	4.9±1.6	5.3±1.0	4.2±1.1	4.8±1.7
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	14.6 ^b ±1.3	12.4 ^{ab} ±1.5	12.4 ^{ab} ±1.6	11.6 ^{ab} ±1.2	10.3 ^{ab} ±0.8	8.8 ^a ±0.5
การแยกตัวของน้ำ	0.3 ^a ±0.1	4.8 ^b ±1.9	8.3 ^c ±0.9	9.3 ^c ±1.0	11.4 ^{cd} ±0.7	14.4 ^d ±0.4
กลิ่นรส						
วานิลลา	5.0 ^b ±1.3	4.18 ^b ±0.17	3.73 ^b ±1.2	2.88 ^b ±0.49	2.39 ^b ±1.16	1.20 ^a ±0.77
ถั่ว	7.59 ^c ±0.9	6.50 ^{bc} ±0.9	5.3 ^{abc} ±0.1	5.2 ^{acb} ±0.73	4.5 ^{abc} ±0.95	3.5 ^a ±0.23
หีน	0.2 ^a ±0.2	1.1 ^a ±0.32	2.3 ^a ±0.7	4.8 ^b ±1.3	5.6 ^b ±0.8	5.9 ^b ±0.4
หมัก	0.06 ^a ±0.0	0.7 ^{ab} ±0.2	1.4 ^{ab} ±0.7	3.3 ^c ±0.6	3.9 ^{cd} ±0.9	5.5 ^d ±0.6
แป้ง ^{ns}	5.0±1.5	4.7±1.58	6.1±1.3	5.3±0.9	5.4±1.7	4.3±0.9
เนื้อสัมผัส						
ความแน่นเนื้อ	7.2 ^b ±0.1	6.3 ^{ab} ±0.5	5.4 ^{ab} ±1.6	5.9 ^{ab} ±1.3	4.2 ^{ab} ±0.5	3.4 ^a ±0.7

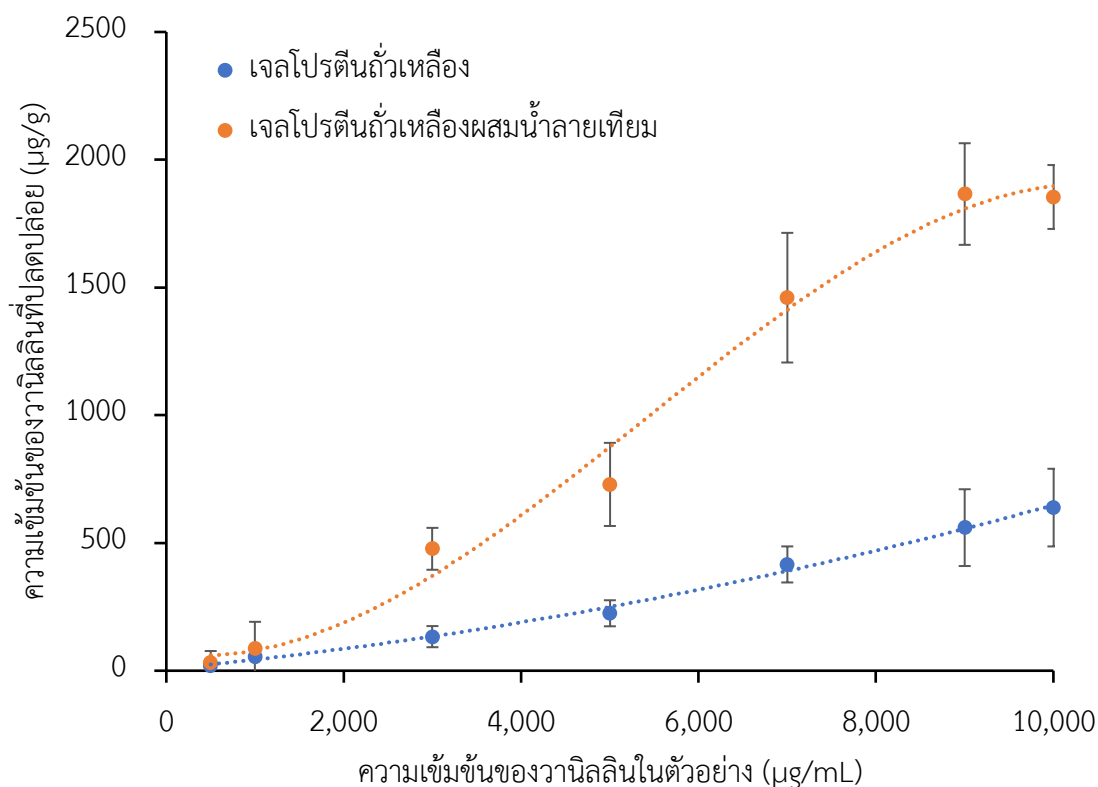
^{a,b...}แต่ละค่าแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย (n=12) และค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05).

4.5 การปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นโดยใช้วานิลลินเป็นโมเดลในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง

ในการทดลองนี้ ศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองโดยใช้เทคนิค dynamic headspace เพื่อวัดปริมาณของสารประกอบให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ จากการทดสอบโปรไฟล์สารระเหยให้กลิ่นในการทดลองเบื้องต้น พบว่าไม่มีสารประกอบวานิลลินอยู่ใน

ผลิตภัณฑ์ (แสดงในภาคผนวกที่ ง.2) ดังนั้นจึงเลือกวานิลลินมาใช้เป็นสารระเหยให้กลิ่นต้นแบบในการศึกษาการปลดปล่อยจากตัวอย่างอาหารเจลโปรตีน ศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นในตัวอย่างโดยใช้เทคนิค dynamic headspace โดยเปรียบเทียบการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นระหว่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ และเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษา พบว่าสารประกอบวานิลลินถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างแตกต่างกัน และปลดปล่อยวานิลลินที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ ที่ความเข้มข้นวานิลลินน้อยสามารถปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นรสปริมาณน้อยมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวานิลลินในตัวอย่าง พบว่า วานิลลินถูกปลดปล่อยมากขึ้น ซึ่งการปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีลักษณะคล้าย sigmoidal curve ในขณะที่ตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบมีการปลดปล่อยกลิ่นรสในปริมาณน้อยในตัวอย่างที่มีปริมาณวานิลลินน้อย เช่นเดียวกับตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะปกติ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวานิลลินในตัวอย่าง พบว่าวานิลลินถูกปลดปล่อยมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

สาเหตุเพราะการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยองค์ประกอบของอาหารถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีหลายงานวิจัยศึกษาผลของแป้งต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสของสารประกอบให้กลิ่นชนิดต่าง ๆ พบว่าสารประกอบให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งน้อยลง (Taylor, 1988) กลไกการเกิดอันตรกิริยาสามารถจำแนกได้สองแบบ ประการแรกคือแป้งสามารถสร้างสารประกอบอินคลูชันกับโมเลกุลของสารระเหยที่แตกต่างกันได้ โดยในสารประกอบนั้น สารให้กลิ่นรสสามารถถูกกักเก็บไว้ในเกลียวของแอมิโลส (amylose helix) ด้วยพันธะ hydrophobic (Nuessli et al., 1997; Rutschman and Solms, 1990) อีกประการหนึ่ง อาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว คือการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง hydroxyl group ของแป้งและสารประกอบให้กลิ่น (Maier, 1972)



รูปที่ 4.2 กราฟโปรไฟล์การปลดปล่อยวานิลลินในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง และ เจลโปรตีนถั่วเหลืองผสมน้ำลายเทียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของวานิลลินในตัวอย่าง จากกราฟรายงานด้วยค่าเฉลี่ย \pm SD (n=3)

นอกจากนั้น โปรตีนในผลิตภัณฑ์ถือเป็นอีกองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อการปลดปล่อยกลิ่นรส เนื่องจากโปรตีนสามารถเกิดการจับกับสารให้กลิ่นรส (flavor binding) ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งสองรูปแบบ คือ ปฏิกริยาผันกลับได้ และผันกลับไม่ได้ ปฏิกริยาแบบผันกลับได้นั้น เกิดจากการที่โปรตีนกับสารให้กลิ่นรสจับกัน ด้วยพันธะที่มีความแข็งแรงไม่มาก เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และพันธะไฮโดรโฟบิก เป็นต้น ส่วนปฏิกริยาแบบผันกลับไม่ได้ เกิดเนื่องจากการที่สารให้กลิ่นรสที่ในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล เช่น สารประกอบอัลดีไฮด์ และคีโตน สามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับโมเลกุลของโปรตีนที่หมู่เอมีน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเกิด Schiff-base ซึ่งหากเกิดปฏิกริยาแบบผันกลับไม่ได้ระหว่างสารให้กลิ่นรสและโปรตีนในอาหาร จะทำให้เกิดปัญหาหากกลิ่นรสจางลง เนื่องจากสารให้กลิ่นรสเหล่านี้ไม่ถูกปลดปล่อยออกมาให้ผู้บริโภคได้รับรู้ได้ขณะรับประทาน (Kühn et al., 2006; Suppavorasatit et al., 2012) เมื่อความเข้มข้นของสารประกอบวานิลลินใน

ระบบมีมากขึ้นเรื่อย ๆ วานิลลินที่เป็นอิสระและไม่เกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบในอาหารจึงมีมากขึ้น ส่งผลให้การปลดปล่อยกลิ่นรสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง วานิลลินเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรสวานิลลา และมีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีหมู่อัลดีไฮด์และหมู่เมทอกซีเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง เนื่องจากเป็นสารให้กลิ่นรสที่มีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบ จึงสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่เอมีนของกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีนได้ นอกจากนี้วานิลลินยังประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้หลายปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพกลิ่นรสโดยรวมของอาหาร โดยสามารถออกซิไดส์เป็น vanillic acid ได้ภายใต้สภาวะต่างหรือสามารถเกิดได้ด้วยเอนไซม์ เช่น peroxidase (Mourtzin et al., 2009)

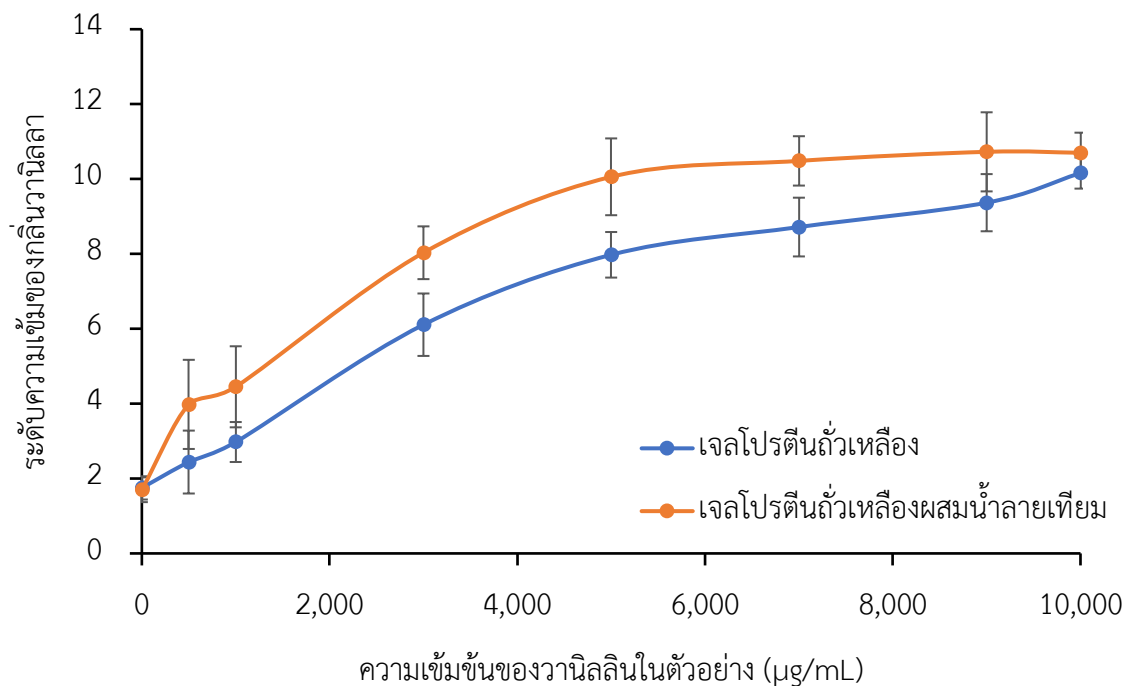
จากเส้นแนวโน้มของกราฟในรูปที่ 4.2 พบว่าสารประกอบวานิลลินถูกปลดปล่อยออกมาจากเจลที่มีน้ำลายเทียมอยู่ในระบบ มากกว่าเจลที่ไม่ได้ใส่น้ำลายเทียมในทุกระดับความเข้มข้นของวานิลลินที่เติมลงไป ทั้งนี้ เนื่องจากองค์ประกอบหลักในน้ำลายเทียมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยกลิ่นรส คือ มิวซิน (mucin) และแอลฟา-แอมิเลส (α -amylase) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบได้มากที่สุดคือน้ำลาย α -amylase เป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการ hydrolysis แบ่งในช่องปากด้วยการทำลายพันธะ α -1-4 glycosidic ดังนั้นการเติมน้ำลายเทียม จึงสามารถย่อยแบ่งให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง และปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมาได้ดีขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีกายภาพที่ได้กล่าวไปข้างต้น (Mosca and Chen, 2017) สำหรับ mucin นั้นสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำตาลซูโครสที่อยู่ในระบบ เนื่องจาก mucin นั้นมีจำนวนของ binding site จำกัดซึ่งมักจะเลือกจับกับซูโครส (Friel and Taylor, 2011) ดังนั้นเมื่อเกิดการจับกันแบบแข่งขันระหว่างสารประกอบให้กลิ่น กับน้ำตาลในระบบ จึงเลือกจับกับน้ำตาล ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบให้กลิ่นจากในระบบมากยิ่งขึ้น (Boland, 2004; Ployon et al., 2017) ในขณะที่บางงานวิจัยให้เหตุผลขัดแย้งกัน เหตุผลอีกประการคือ mucin ซึ่งเป็นโปรตีนสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารประกอบให้กลิ่น ทำให้ลดการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นเหนือบรรยากาศของตัวอย่างได้ (Munoz-Gonzalez et al., 2014)

ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ที่เมื่อเติมน้ำลายเทียมลงในผลิตภัณฑ์แล้วมีการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสมากขึ้น เช่น ตัวอย่างเจลที่ทำจากเจลาตินและเพกทิน การเติมน้ำลายเทียมลงในระบบช่วยให้ hydrophobic compounds ถูกปลดปล่อยออกมาได้ดีขึ้น เนื่องจากน้ำลายเทียมทำหน้าที่เพิ่ม enhancement ของ hydrophilic nature ในระบบ (Boland et al.,

2004) เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ประกอบด้วยแป้ง (starch-based system) การเติมน้ำลายเทียมลงไป ในระบบช่วยให้สารประกอบถูกปลดปล่อยออกมาได้ดีขึ้น เนื่องจากการเสื่อมสลาย (degradation) ของแป้งจากเอนไซม์ α -amylase ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดในเมทริกซ์ของระบบ (Ferry et al., 2004) แต่ยังมีบางงานวิจัยขัดแย้งกับผลการทดลองที่ได้ เช่น เมื่อเติมน้ำลายเทียมลงใน emulsion ที่เป็น water oil พบว่าน้ำลายเทียมลดการปลดปล่อยสารประกอบ hydrophilic และไม่มีผลกระทบต่อสารประกอบ hydrophobic compounds เนื่องจากน้ำลายไปทำการเจือจางโดยเปลี่ยนแปลง volatile partition ในเฟสที่แตกต่างกัน ทำให้สารประกอบปลดปล่อยออกมาน้อยลง (Odake et al., 1998) เช่นเดียวกับในตัวอย่างไวน์แดง พบว่าการเติมน้ำลายเทียมลงไปในระบบช่วยให้ hydrophobic compounds ถูกปลดปล่อยออกมาได้ลดลง เนื่องจากสารประกอบ hydrophobic ถูกกักเก็บโดยช่องว่างที่มีคุณสมบัติ hydrophobic ของสารประกอบเชิงซ้อนที่สร้างขึ้นจาก โปรตีนในน้ำลาย และแทนนิน (tannin) (Munoz-Gonzalez et al., 2014)

การศึกษาการปลดปล่อยวานิลลินในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองโดยวัดปริมาณวานิลลินที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่องมือเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถอธิบายการรับรู้ของผู้บริโภคได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสควบคู่ไปด้วย ระดับความเข้มของกลิ่นที่ใช้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เลือกว่าช่วงที่ครอบคลุม ความเข้มข้นที่แทบไม่ได้กลิ่นเลยไปจนถึงความเข้มข้นสูง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของวานิลลินที่ใส่ในผลิตภัณฑ์ หากมีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสขมอย่างชัดเจนจนไม่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถใส่ได้ในผลิตภัณฑ์จึงอยู่ที่ระดับ 1% (ทดสอบระหว่างขั้นตอนการฝึกฝนในช่วงแรก) การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของวานิลลินและระดับความเข้มในการรับกลิ่นวานิลลาแสดงในรูปที่ 4.3 จากการวิเคราะห์พบว่า dose response curve ของวานิลลินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีน้ำลายเทียม ระดับความเข้มของกลิ่นวานิลลา (vanilla odor intensity) มีปริมาณเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณวานิลลินที่ใส่เข้าไปในตัวอย่าง และแนวโน้มของการปลดปล่อยกลิ่นรสเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ทั้งนี้อาจเกิดจากเหตุการณ์จับกันระหว่างสารให้กลิ่นรสและองค์ประกอบในอาหารที่ได้กล่าวไปข้างต้น การศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่นรสและโปรตีนนั้น โดยปกติศึกษากับโปรตีนชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น เช่น การใช้ 2-nonanone เป็นสารให้กลิ่นรสโดยเทียบสมบัติของการจับกลิ่นรสของ whole soy protein, protein isolate, soy protein fraction (7S และ 11S) และ β -lactoglobulin

(Damodaran and Kinsella, 1981; O'Neil and Kinsella, 1987) หรือ ศึกษาการเกิดอันตรกิริยา ระหว่างวานิลลินและโปรตีน whey, casein, และถั่วเหลือง (Li et. al., 2000) แต่ในงานวิจัยนี้มีทั้ง โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตทำให้การเติมน้ำลายเทียมมีความแตกต่างออกไป สำหรับตัวอย่างเจลโปรตีน ถั่วเหลืองในสภาวะปกติ มีคะแนนความเข้มของวานิลลินน้อยในช่วงแรกที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ สารประกอบที่ปลดปล่อยออกมาปริมาณน้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ แต่เมื่อ ทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ามีความแปรปรวนมาก เนื่องจากในขณะที่ทำการทดสอบ ผู้ทดสอบใช้ ระยะเวลาในการประเมินระดับความเข้มในระหว่างการทดสอบไม่เท่ากัน ผู้ทดสอบบางคนได้กลิ่นแรง ในระยะเวลาสั้น ๆ ในขณะที่บางคนได้กลิ่นที่ระดับเดียวกันอย่างต่อเนื่อง และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ ความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ แตกต่างจากตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะที่มีน้ำลาย เทียมเป็นองค์ประกอบที่มีคะแนนความเข้มของวานิลลินน้อยในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นกัน แต่ที่ความเข้มข้น 5,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ขึ้นไป คะแนนความเข้มของวานิลลินไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งอาจ เกิดจากความเข้มข้นนี้เป็นความเข้มข้นที่ผู้บริโภครับกลิ่นได้สูงสุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น จากนี้ก็จะได้รับความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลาเท่าเดิม (Audouin et al., 2001)



รูปที่ 4.3 Dose response curve ของกลิ่นวานิลลินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่มีน้ำลายเทียม จากกราฟรายงานด้วยค่าเฉลี่ย \pm SD (n=3)

ผลจากการทดสอบนี้ให้ผลแบบเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Prinz et al. (2007) ที่ศึกษาในผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยแป้ง จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมน้ำลายเทียมลงไป ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยแป้งมีความหนืดลดลง เนื่องจากการสลายด้วยเอนไซม์ในระหว่างการเคี้ยว (oral processing) ทำให้การปลดปล่อยกลิ่นรสมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งเป็นการศึกษาแบบ *in vivo* นั้น ให้ผลแบบเดียวกันว่า เอนไซม์แอมิเลสมีผลต่อการรับรู้ attribute ทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ประเภทกึ่งแข็งที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ (starchy semi-solid product) ตัวอย่างคุณลักษณะที่แอมิเลสส่งผลต่าง ๆ เช่น ความเหลว (Engelen et al., 2003) กลิ่นวานิลลา ความรู้สึกลิ้นระหว่างริมฝีปากและฟัน (slippery lip-tooth feel) (Engelen et al., 2007) ความเป็นครีม (creaminess), ความมัน (fattiness), ความหยาบ และ ความเหนียว (Janssen et al., 2007) ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นผลมาจากสมบัติทางกระแสวิทยา (rheological properties) ของผลิตภัณฑ์ประเภทกึ่งแข็งที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบต่อกิจกรรมของแอมิเลส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรรด้วยกรดปริมาณ 4% สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองมีความคงตัวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรร ช่วยป้องกันการเกิดการแยกตัวของน้ำ และสามารถทำให้เนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเยลลี่โภชนา (Nutri-Jelly®) ได้ องค์ประกอบโดยรวม (proximate composition) ของอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่พัฒนาได้มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างเยลลี่โภชนา โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณไขมันและโปรตีนแตกต่างกัน

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้นแบบอาหารเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบเจลโปรตีนถั่วเหลือง มีสมบัติทางเคมีกายภาพ ปริมาณจุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไป ในระยะเวลา 10 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในอาหาร เนื้อสัมผัสของตัวอย่างมีค่า hardness ลดลง ทำให้น้ำออกมามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน และกลิ่นหมัก ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ ในขณะที่กลิ่นวานิลลาซึ่งเป็นกลิ่นที่ต้องการ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่นโดยใช้สารประกอบวานิลลินเป็นโมเดล พบว่าเจลโปรตีนถั่วเหลืองสามารถปลดปล่อยกลิ่นรสในสถานะที่มีน้ำลายเทียมได้ดีกว่าในสถานะปกติ กราฟแนวโน้มในการปลดปล่อยกลิ่นรสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบให้กลิ่นและอาหาร ทำให้การปลดปล่อยลดลง ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบด้วยเครื่องมือว่า เจลโปรตีนถั่วเหลืองในสถานะปกติมีระดับความเข้มข้นของวานิลลินเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวานิลลิน ในขณะที่ เจลโปรตีนถั่วเหลืองในสถานะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบมีคะแนนระดับความเข้มข้นของวานิลลินมากกว่าเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสถานะปกติที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 5,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ และที่ความเข้มข้น 5,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ขึ้นไป คะแนนความเข้มข้นของวานิลลินไม่เพิ่มขึ้นในเจลโปรตีนถั่วเหลืองในสถานะที่มีน้ำลายเทียมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากถึงความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถรับกลิ่นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการใช้สารให้ความคงตัวหรือไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นควบคู่ไปกับการใช้แป้งตัดแปรด้วยกรดเพื่อปรับปรุงให้เนื้อสัมผัสมีความหลากหลาย และสามารถตัดแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายขึ้น
2. ควรศึกษาการเก็บผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนถั่วเหลืองโดยใช้บรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ
3. ควรศึกษาสารปลดปล่อยกลิ่นรสชนิดอื่นที่มีมากกว่าสารประกอบเดี่ยว เช่น กลิ่นสตอร์วเบอร์รี่ เพื่อดูลักษณะการปลดปล่อยกลิ่นรสของสารระเหยให้กลิ่นแต่ละชนิด
4. ควรศึกษาทดลองในผู้ป่วยที่มีภาวะเคี้ยวและกลืนลำบาก เพื่อทดสอบความสามารถในการกลืนและการรับรู้กลิ่นรสเพื่อนำไปปรับปรุงให้เหมาะสมกับผู้มีปัญหาต่อไปได้



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาไทย

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182). เรื่อง ฉลากโภชนาการ. ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับ ประกาศทั่วไป เล่มที่ 115, ตอนที่ 47 ง (ลงวันที่ 11 มิถุนายน 2541)

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355). เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับ ประกาศทั่วไป เล่มที่ 130, ตอนพิเศษ 87 ง (ลงวันที่ 24 กรกฎาคม 2556)

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2561). เรื่อง หลักเกณฑ์การโฆษณาอาหาร. ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับ ประกาศทั่วไป เล่มที่ 135, ตอนที่ 322 ง (ลงวันที่ 17 ธันวาคม 2561)

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุดดวง. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชเพื่อสุขภาพ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 11(1): 13-20.

ธนากร วงษ์ประเสริฐ และ อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์. (2562). อิทธิพลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลด้วยไฮโดรคอลลอยด์ต่อการรับรู้กลิ่นรส. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 14(2): 95-107.

วิสิฐ จະวะสิต และ สติมา จิตตินันท์. (2537). รู้จักอาหารจากฉลาก: วันสำเร็จและขนม เยลลี่. นิตยสารหมอชาวบ้าน, 178: 5-7.

สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม. (2558). เยลลี่ผลหม่อน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.qsds.go.th/osrd_new/inside_page.php?pageid=24 (4 พฤศจิกายน 2558)

อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์. (2556) อันตรกิริยาระหว่างกลิ่นรสและโปรตีน. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 9(1): 21-30.

ภาษาอังกฤษ

Abbas, K. A., Khalil, S. K., Hussin, A. S. M. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*. 2(2): 90-100.

- Achouri, A., Boye, J. I., Zamani, Y. (2007). Changes in soymilk quality as a function of composition and storage. *Journal of Food Quality*. 30: 731-744.
- Ades, H., Kesselman, E., Ungar, Y., Shimoni, E. (2012). Complexation with starch for encapsulation and controlled release of menthone and menthol. *LWT-Food Science and Technology*. 45: 277-288.
- Aguilera, J. M., Park, D. J. (2016). Texture-modified foods for elderly: Status, technology and opportunities. *Trends in Food Science and Technology*. 57: 156-164.
- Ali, A. M., El Tinay, A. H., Elkhalfa, A. O., Limya, O. M., Babiker, E. E. (2012). Effect of different supplementation levels of soybean flour on Pearl Millet Functional Properties. *Food Nutrition Science*. 3: 1-6.
- Anbarasu, A., Vijayalaksami, G. (2007). Improved Shelf life of Protein Rich Tofu using *Ocimum sanctum* (tulsi) extracts to benefit Indian Rural population. *Journal of Food Science*. 72: M300-M305.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed., Gaithersberg, MD, USA: AOAC International.
- Arancibia, C., Bayarri, S., Costell, E. (2015). Effect of hydrocolloid on rheology and microstructure of high-protein soy desserts. *Journal of Food Science and Technology*. 52(10): 6435-6444.
- Arvisenet, G., Voilley, A., 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.
- Audouin, V., Bonnet, F., Vickers, Z. M., & Reineccius, G. A. (2001). Limitations in the Use of Odor Activity Values to Determine Important Odorants in Foods. In J. Leland Ed., *Gas Chromatography-Olfactometry*, ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC. pp 156-171.

- 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.
- Banerjee, S., and Bhattacharya, S. (2011). Compressive textural attributes, opacity and syneresis of gels prepared from gellan, agar and their mixtures. *Journal of Food Engineering*. 102: 287-292.
- Biasioli, F., Yeretian, 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.
- Boland, A., B., Delahunty, C. M., Saskia, M., van Ruth, S. M. (2006). Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavor release and perception. *Food Chemistry*, 96: 452-460.
- Bourne, M.C. (2002). Food texture and viscosity: Concept and measurement. Academic Press, Elsevier: UK.
- Boutboul, A., Giampaoli, P., Feigenbaum, V., Ducruet, V. (2002). Influence of the nature and treatment of starch on aroma retention. *Carbohydrate Polymers*. 47: 73-82.
- Breuninger, W.F., Piyachomkwan, K., Sriroth, K. (2009). Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. From Starch: Chemistry and Technology, Third Edition, Elsevier Inc.
- 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.
- 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.

- Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B. D., Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. *Carbohydrate polymers*. 77(2): 167-180.
- Cayot, N., Taisant, C., Voilley, A. (1998). Release and perception of isoamyl acetate from a starch-based food matrix. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 46: 3201-3206.
- Chambers, E., Jenkins, A., Mcguire, B. H. (2006). Flavor properties of plain soymilk. *Journal of Sensory Studies*. 21: 165-179.
- 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.
- Chang, Y.-H., Su, H.-J., Shiau, S.-Y. (2009). Rheological and textural characteristics of black soybean touhua (soft soybean curd) prepared with glucono- δ -lactone. *Food Chemistry*, 115: 585-591.
- Clark, P. K., Snyder, H. E. (1991). Hydroperoxide formation of soybeans seeds during storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 68: 346-347.
- Cleale, R. M., Britton, R. A., Klopfenstein, T. J., Bauer, M. L., Harmon, D. L., Satterlee, L. D. (1987). Induced Non-Enzymatic Browning of Soybean Meal. II. Ruminant Escape and Net Portal Absorption of Soybean Protein Treated With Xylose. *Journal of Animal Science*. 65: 1319-1326.
- Damodaran, S., Kinsella, J. E. (1981). Interaction of carbonyls with soy protein: thermodynamic effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 29: 1249-1253.
- Da Silva, J., Prudencio, S., Carrao-Panizzi, M., Gregorut, C., Fonseca, F., Mattoso, L. (2012). Study of the flavor of soybean cultivars by sensory analysis and electronic tongue. *International Journal of Food Science and Technology*. 47: 1630-1638.

- Dalodom, S., Lam-ubol, A., Jeanmaneechotechai, S., Takamfoo, L., Intachai., W., Duangchada, K. et al. (2016). Influence of oral moisturizing jelly as a saliva substitute for the relief of xerostomia in elderly patients with hypertension and diabetes mellitus. *Geriatric Nursing*. 37: 101-109.
- Davidson, J., Cook, D., Linforth, R., Hollywood, T., Taylor, A. (1999). Effect of sucrose on the perceived flavor intensity of chewing gum. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*. 47: 4336-4340.
- Ellis, A. M. and Mayhew, C. M. (2014). Proton transfer reaction mass spectrometry: principles and applications. Chichester (Great Britain): John Wiley & Sons, Inc.
- Endres, J.G. Chapter 2: Definitions and methods of Preparation. In Soy Protein Products. Characteristics, Nutritional aspect, and Utilization; AOCS Press: Champaign, IL., 2001, pp. 2-9.
- Engelen, L., de Wijk, R. A., Prinz, J. F., Janssen, A. M., van der Bilt, A., Weenan, H. (2003a). A comparison of the effects of added saliva, alpha-amylase and water on texture perception of semisolids. *Physiology and Behaviour*. 78: 805-811.
- Engelen, L., van den Keybus, P.A.M., de Wijk, R.A., Veerman, E.C.I., Nieuw Amerongen, A.V., Bosman, F. (2007). The effect of saliva composition on texture perception on semi-solids. *Archives of Oral Biology*. 52: 518-525.
- Engelen, L., Wijk, R. A., Prinz, J. F., Janssen, A. M., Weenen, H., Bosman, F. (2003b). The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids. *Appetite*. 41: 273-281.
- FDA, 21 CFR Pt. 101. (1999). Food labelling: health claim; soy protein and coronary heart disease. Final rule. *Federal register*. 64(206): 57700-57723.
- Ferry, A.L., Hort, J., Mitchell, J.R., Lagarrigue, S., Pamies, B.V. (2004). Effect of amylase activity on starch paste viscosity and its implications for flavor perception. *Journal of Texture studies*. 35(5): 511-524.

- Food Industry Affair Bureau, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. (2016). Efforts relating to “Smile care food” – Introduction to New Mark System. Retrieved from <https://www.maff.go.jp/e/data/publish/index.html>.
- Friel, E.N., Taylor, A.J. (2001). Effect of salivary components on volatile partitioning from solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(8): 3898-3905.
- Fukushima, D. (1981). Soy proteins for foods centering around soy sauce and tofu. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 58: 346-354.
- Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*. 25: 1904-1914.
- Funami, T., Hiroe, M., Noda, S., Asai, I., Ikeda, S., 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: 617-629.
- 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: 548-554.
- Furuta, S. Y., Nishiba, M., Hajika, K., Igita, and Suda, I. (1996). DETBA value and hexanal production with the combination of unsaturated fatty acids and extracts prepared from soybean seeds lacking two or three lipoxygenase isozymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44: 236-239.
- Gierczynski, I., Guichard, E., 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.
- 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.

- Godshall, M. A. (1997). How carbohydrates influence food flavor. *Food Technology*. 51(1): 63–67.
- Gonzales-Tomas, L., Bayarri, S., Taylor, A. J., Costell, E. (2007). Flavour release and perception from model dairy custards. *Food Research International*. 40: 520-528.
- Guichard, E. (2002). Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Reviews International*. 18(1): 49–70.
- Gunning, A. P., Kirby, A. R., Ridout, M. J., Brownsey, G. J., Morris, V. J. (1996). Investigation of gellan networks and gels by atomic force microscopy. *Macromolecules*. 29: 6791-6796.
- Gunning, A. P., Morris, V. J. (1990). Light scattering studies of tetramethyl ammonium gellan. *International Journal of Biological Macromolecules*. 12: 338-341.
- Hansen, A. P., Heinis, J. J. (1991). Decrease of vanillin flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 74, 2936-2940.
- Hermasson, A. M. (1986). Soy protein gelation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 63(5): 658-666.
- Hettiarachy, N., Kalapathy, U. (1997). Soybean Protein products. In *Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization*.; Liu L. Ed.; Chapman & Hall: New York, NY, pp. 379-411.
- Hildebrand, D. F., Versluys, R. T., Collins, G.B. (1991). Changes in lipoxygenase isozyme levels during soybean embryo development. *Plant Science*. 75: 1-8.
- Hunter, R. (1958). Photoelectric color difference meter. *Journal of the Optical Society of America*. 48: 985–990.
- Janssen, A. M., Terpstra, M. E. J., de Wijk, R. A., Prinz, J. F. (2007). Relations between rheological properties, saliva-induced structure breakdown and sensory texture attributes of custards. *Journal of Texture Studies*. 38: 42-69.

- Juteau, A., Doublier, J. L., Guichard, E. (2004). Flavor release from iota-carrageenan matrices: A kinetic approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(6): 1621–1629.
- Kang, A. J., Kim, D. K., Kang, S. H., Seo, K. M., Park, H. S., Park, K. H. (2016). EMG Activity of Masseter Muscles in the Elderly According to Rheological Properties of Solid Food. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 40(3): 447-456.
- Kang, D. I., Choi, Y. J., An, H. G., Park, H. W. (2016). United States Patent No. 9521856. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/ef/03/f3/5fe6f0a8424745/US9521856.pdf>
- Kanjanatiwat, P. (2013). Development of nutritious gel for patients with chewing and swallowing difficulties. Thesis, Mahidol University.
- Karim, A. A., Sulebele, G. A. Azhar, M. E., Ping C. Y. (1999). Effect of carrageenan on yield and properties of tofu. *Food Chemistry*. 66: 156-165.
- Kersiene, M., Adams, A., Dubra, D. Kimpe, N. D., Leskauskaite, D. (2008). Interaction between flavor release and rheological properties in model custard dessert: Effect of Starch concentration and milk fat. *Food Chemistry*. 108: 1183-1191.
- KFDA, Korean Food Code: Chapter 1, 2019, p. 110-111.
- Kim, M., Son, I-S., Han, J-S. (2004). Evaluation of Microbiological, physicochemical and sensory qualities of Chitosan tofu during storage. *Journal of Food Qualities*. 27: 27-40.
- King, J. M., Svendsen, L. K., Fehr, W. R., Narvel, J. M., White, P. J. (1998). Oxidative and flavor stability of oil from lipoxygenase-free soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 75: 1121-1126.
- Kinsella, J. E. 1979. Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 56: 242-258.

- Kobayashi, A. Y., Tsuda, N., Hirata, K., Kitamura, K. (1995). Aroma constituents of soybean *glycine-max (l.)* merril milk lacking of lipoxygenase isozyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 2449-2452.
- Kohyama, K., Nishinari, K. (1993). Rheological studies on the gelation process of soybeans 7S and 11S proteins in the presence of Glucono- δ -lactone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 41: 8-14.
- Kohyama, K., Yoshida, M., Nishinari, K. (1992). Rheological study on gelation of soybean 11S Protein by Glucono- δ -lactone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40: 740-744.
- Kreungngern, D., Chaikham, P. (2016). Rheological, physical and sensory attributes of *Chao Kuay* jelly added with gelling agents. *International Food Research Journal*. 23(4): 1474-1478.
- Kunarayakul, S., Thaiphanit, S., Anprung, P., 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.
- Kunitz, M. (1928). Syneresis and swelling of gelatin. *The Journal of General Physiology*. 12(2): 289-312.
- Langourieux, S. and Crouzet, J. (1994). Study of aroma compounds-polysaccharides interactions by dynamic exponential dilution. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 27(6), 544-549.
- Lee, S., Cho, H., Lee, K.-G. (2014). Volatile Compounds as markers of Tofu (Soybean Curd) freshness during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62: 772-779.
- Lethuaut, L., Weel, K. G. C., Boelrijk, A. E. M., Brossard, C. D. (2004). Flavor perception and aroma release from model dairy desserts. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 52: 3478-3485.

- Li, Z., Grun, I. U., Fernando, L. N. (2000). Interaction of vanillin with soy and dairy proteins in aqueous model systems: a thermodynamic study. *Journal of Food Science*. 65: 997-1001.
- Lubbers, S., Decourcelle, N., Martinez, D., Guichard, E., 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.
- Ma, L., Li, B., Han, F., Yan, S., Wang, L., Sun, J. (2015). Evaluation of the chemical quality traits of soybean seeds, as related to sensory attributes of soymilk. *Food Chemistry*. 173: 694-701.
- Maier, H. G. (1975). Binding of volatile aroma substances to nutrients and foodstuffs. In H. Maarse & P. J. Groenen (Eds.), *Aroma Research: Proceedings of the international symposium on aroma research* (pp. 143–157). The Netherlands: The Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Maier, H.G. (1972). Bindung fluechtiger aromastoffe an lebensmittel. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*. 5: 1-6.
- Mestres, M., Kieffer, R., 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: 1814-1821.
- Mestres, M., Moran. N., Jordan, A., 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: 403-409.
- Morris, E. R. (1993). Food hydrocolloids, structures, properties, and functions. New York: Plenum Press.
- Mosca, A. C., Chen, J. (2017). Food-saliva interactions: Mechanisms and implications. *Trends in Food Science and Technology*. 66: 125-134.

- Mourtzinou, I., Konteles, S., Kalogeropoulos, N., Karathanos, V. T. (2009). Thermal oxidation of vanillin affects its antioxidant and antimicrobial properties. *Food Chemistry*. 114: 791-797.
- Munoz-Gonzales, C., Feron, G., Guichard, E., Rodriguez-Bencomo, J. J., Martin-Alvarez, P. J., Moreno-Arribas, M. V., Pozo-Bayon, M. A. (2014). Understanding the role of saliva in aroma release from wine by using static and dynamic headspace conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62: 8274-8288.
- Murakete, N., Zhang, C., Karangwa, E., Hua, Y. (2015). Soft tofu-type gels: Relationship between Volatile compounds and sensory characteristics as affected by coagulants and Raw materials. *International Journal of Food Engineering*. 11(3): 307-321.
- Narayan, R., Chauhan, G. S., Verna, N. S. (1988). Changes in the quality of soybean during storage, part 2-effect of soybean storage on the sensory qualities of the products made therefrom. *Food Chemistry*. 30: 181-190.
- Nepovinnikh, N. V., Kliukina, O. N., Ptichkina, N. M., Bostan, A. (2019). Hydrogel based dessert of low calorie content. *Food Hydrocolloids*. 86: 184-192.
- Noble, A. C. (1996). Taste-aroma interactions. *Journal of Food Science and Technology*, 7, 439-444.
- 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: 1148-1159.
- Noor, H.M., Winuprasith, T., Kemsawasd, V. (2019). Physicochemical properties of soft tofu as affected by addition of calcium sulfate and kappa carrageenan. In *Proceedings Food Innovation Asia Conference*. pp. 292-2999.

- Nuessli, J., Sigg, B., Conde-Petit, B., Escher, F. (1997). Characterization of amylose-flavor complexes by DSC and X-ray diffraction. *Food Hydrocolloids*. 11: 27-34.
- O'Neil, T. E. (1996). Flavor-Food Interactions. Washington, DC: American Chemical Society.
- O'Neil, T. E., Kinsella, J. E. (1987). Binding of alkenone flavors to β -lactoglobulin: effects of conformational and chemical modification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 35: 770-774.
- Odake, S., Roozen, J. P., Burger, J. J. (1988). Effect of saliva dilution on the release of diacetyl and 2-heptanone from cream style dressings. *Nahrung*. 42(6): 385-391.
- Odake, S., Roozen, J.P., Burger, J.J. 1998. Effect of saliva dilution on the release of diacetyl and 2-heptanone from cream style dressings. *Nahrung*. 42(6): 385-391.
- Ooi, A., Ashida, H., Oomura, H. (2004). United States Patent No. 0258824A1. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US20040258824A1/en>.
- Otegbayo, B. O., Samuel, F. O., Alalade, T. (2013). Functional properties of soy-enriched tapioca. *African Journal of Biotechnology*. 12(22): 3583-3589.
- Paravisini, L., 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. pp. 208-233.
- Peng, X., Ren, C., Guo, S. 2016. Particle formation and gelation of soymilk: Effect of heat. *Trends in Food Science and Technology*. 54: 138-147.
- Ployon, S., Morzel, M., Canon, F. (2017). The role of saliva in aroma release and perception. *Food Chemistry*. 226: 212-220.
- Potter, R. M., Dougherty, M. P., Halteman, W. A., Camire, M. E. (2007). Characteristics of wild blueberry-*soy* beverages. *LWT-Food Science and Technology*. 40: 807-814.
- Prinz, J. F., Janssen, A. M., de Wijk, R. A. (2007). In vitro simulation of the oral processing of semi-solid foods. *Food Hydrocolloids*. 21: 397-401.

- Rabe, S., Krings, U., Berger, R. G. (2004). In vitro study of the influence of physiological parameters on dynamic in-mouth flavour release from liquids. *Chemical Senses*. 29(2): 153-162.
- Reineccius, R. (2006). Flavor chemistry and technology (2nd ed.). New York: Taylor & Francais Group.
- Renkema, J. M. S., van vliet, T. (2004). Concentration dependence of dynamic moduli of heat-induced soy protein gels. *Food Hydrocolloids*. 18: 483-487.
- Roman-Gracia, P., Carrillo-Lopez, N., Fernandez-Martin, J. L., Naves-Diaz, M., Ruiz-Torres, M. P., Canata-Andia, J. B. (2010). High phosphorus diet induces vascular calcification, a related decrease in bone mass and changes in the aortic gene expression. *Bone*. 46: 121-128.
- Rosenthal, A. J. (1999). Relation between instrumental and sensory measures of food texture. In A. J. Rosenthal (Ed.). *Food texture: Measurement and perception*. Gaithersburg, MD, USA: Aspen Publishers. pp. 1-17.
- Russell, T. A., Drake, M. A., Gerard, P. D. (2006). Sensory properties of whey and soy proteins. *Journal of Food Science*. 71: S447-S455.
- Rutschman, M. A., Solms, J. (1990). Formation of inclusion complexes of starch with different organic compounds. V. Characterization of complexes with amperometric iodine titration, as compared with direct quantitative analysis. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*. 23: 88-93.
- Saint-Eve, A., Martin, N., Guillemin, H., Semon, E., Guichard, E., 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: 7794-7803.
- Saio, K. (1985). Tofu processing and characteristics of Japanese domestic soybeans. Report of the national food research institute, Tokyo, pp. 128-149.

- Saowapark, S., Apichartsrangkoon, A., Bell, A. E. (2008). Viscoelastic properties of high pressure and heat induced tofu gels. *Food Chemistry*, 107, 984–989.
- Savary, G., Guichard, E., Doublier, J. L., Cayot, N. (2006). Mixture of aroma compounds: Determination of partition coefficients in complex semi-solid food matrices. *Food Research International*. 39: 372-379.
- Schneider, S., Rolando, C. (1992). One step synthesis of vanillin d₃ (4-hydroxy-3-(methoxy d₃)-benzaldehyde). *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*. 31: 489-492.
- Shen, C. F., de Man, L., Buzzel, R. I., J.M. de Man, J. M. (1991). Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: Glucono delta lactone coagulant. *Journal of Food Science*. 56: 109-112
- Sheu, S. C., Chen, A. O. (1991). Lipxygenase as blanching index for frozen vegetable soybeans. *Journal of Food Science*. 56: 448-451.
- Shih, M. C., Hou, H. J., Chang, K. C. (1997). Process optimization for soft tofu. *Journal of Food Science*. 62: 833–837.
- Shih, M. C., Shiau, S. Y. (2003). Effects of processing variables on the quality of black soybean touhua (soft soybean curd). *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*. 41: 151–158.
- Shin H. Y., Ku, K. J., Park, S. K., Song, K. B. (2006). Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change of tofu during storage. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 49: 158-162.
- Sipahioglu, O., Alvarez, V. B., Solano-Lopez, C. (2000). Structure, physico-chemical and sensory properties of feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. *International Dairy Journal*. 9(11): 783-789.
- Song, Y. J., Paik, H. Y., Joung, H. J. (2008). Soybean and soy isoflavone intake indicates a positive change in bone mineral density for 2 years in young Korean women. *Nutrition Research*. 28: 25-30.

- Suebsaen, K., Suksatit, B., Kanha, N., Laokuldilok, T. (2019). Instrumental characterization of banana dessert gels for the elderly with dysphagia. *Food Bioscience*. 32: 1-8.
- Suppavorasatit, I., Cadwallader, K. R. (2012). Effect of Enzymatic Deamidation of Soy Protein by Protein–Glutaminase on the Flavor-Binding Properties of the Protein under Aqueous Conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*. 60: 7817-7823.
- Suppavorasatit, I., Cadwallader, K.R. (2010). Flavor-soy protein interactions. In *Chemistry, texture, and flavor of soy*.; Cadwallader, K.R. and Chang, S.K.C. Eds. American Chemical Society: Washington, DC., pp. 339-359.
- Suppavorasatit, I., De Mejia, E. G., 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.
- Suppavorasatit, I., Lee, S. Y., Cadwallader, K. R. (2013). Effect of enzymatic protein deamidation on protein solubility and flavour binding properties of soymilk. *Journal of Food Science*, 78, C1–C7.
- Szente, L., Szejtli, J. (2005). Elimination of bitter, disgusting tastes of drugs and foods by cyclodextrins. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 61(3), 115-125.
- Takada, Y., Sasama, H., Sayama, T., Kikuchi, A., Kato, S., Ishimoto, M., Tsukamoto, C. (2013). Genetic and chemical analysis of a key biosynthetic step for soya sapogenol A, an aglycone of group A saponins that influence soymilk flavour. *Theoretical and Applied Genetics*. 126: 721–731.
- Tárrega, A., & Costell, E. (2006). Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*. 16(9): 1104-1112.

- Tay, S. L., Xu, G. Q., Perera, C. O. (2005). Aggregation profile of 11S, 7S and 2S coagulated with GDL. *Food Chemistry*. 91: 457-462.
- Taylor, A. J. (1988). Physical chemistry of flavour. *International Journal of Food Science and Technology*. 33: 53-62.
- Temthawee, W., Panya, A., Cadwallader, K. R., Suppavorasatit, I. (2020). Flavor binding property of coconut protein affected by protein-glutaminase: Vanillin-coconut protein model. *LWT-Food Science and Technology*. 130: 1-7.
- Thai Industrial Standard Institute: Standard for modified starch for food industry. UDC 547.458.61:591.133.1. Bangkok, Thailand: Ministry of Industry; 1992.
- Tournier, C., Sulmont-Rosse, C., Semon, E., Vignon, A., Issanchou, S., Guichard, E. (2009). A study on texture–taste–aroma interactions: Physico-chemical and cognitive mechanisms. *International Dairy Journal*. 19: 450-458.
- Trachootham, D., Songkaew, W., Hongsachum, B., Wattana, C., Changklungdee, N., Karapoch, J., Thirdsuttironnapi, S., Meennuch, E., Klaitong, C., Sinthusek, T., Lam-ubol, A. (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.
- Trawatha, S. E., TeKrony, D. M., Hildebrand, D. F. (1995). Relationship of soybean seed quality to fatty acid and C₆-aldehyde levels during storage. *Crop Science*. 35: 1415-1422.
- 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.
- U.S. Food and Drug Administration. BAM Chapter 4: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory->

methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria (access 30 June 2020).

- van Olphen, H., Mysels, K. J. (1975). International Union of Pure and Applied Chemistry. Commission I.6: Colloid and surface chemistry. La Jolla, CA: Theorex.
- van Ruth, S. M., de Witte, L., Uriate, A. R. (2004). Volatile flavor analysis and sensory evaluation of custard desserts varying in type and concentration of carboxymethyl cellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 8105-8110.
- Van Vilet, T. 2002. On the relation between texture perception and fundamental mechanical parameters for liquids and time dependent solids'. *Food Quality and Preference*. 13: 227-236.
- Vanier, N. L., Hallal, S. L. M. E., Dia, A. R. G., Zavareze, E. R. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A Review. *Food Chemistry*. 221: 1546-1559.
- Wee, M. S. M., Goh, A. T., Stieger, M. Forde, C. G. (2018). Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods. *Food and Function*. 9: 5301-5312.
- Weel, K. G. C., Boelrijk, A. E. M., Alting, A. C., van Mil, P. J. J. M., Burger, J. J. Gruppen, H. (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: 5149-5155.
- Widyanto, R., Palupi, N. S., Refli, R., Kahfi, J., Prangdimurti, E. (2018). Optimization of soft tofu and ginger drink formula as components of soft tofu dessert using response surface methodology (RSM). *International Food Research Journal*. 25: 1818-1828.

- Williams, P. A., Phillips, G. O. (2000). Handbook of hydrocolloids. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Wilson, S., Blaschek, K., de Meijia, E. G. (2005). Allergenic proteins in soybean: processing and reduction of P34 allergenicity. *Nutrition Reviews*. 63: 47-58
- Yang, A., James, A. T. (2013). Effects of soybean protein composition and processing conditions on silken tofu properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93: 3065-3071.
- Yang, A., James, A. T. (2014). Influence of globulin subunit composition of soybean proteins on silken tofu quality. 2. Absence of 11SA4 improves the effect of protein content on tofu hardness. *Crop and Pasture Science*. 65(3): 268-273.
- Yang, A., Smyth, H., Chaliha, M., James, A. (2016). Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases. *Food Science & Nutrition*. 4(2): 207-215.
- Yuang, S. H., Chang, S. K. C. (2007a). Selected odour compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoxygenases in five soybean materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 426-443.
- Yuang, S. H., Chang, S. K. C. (2007b). Texture profile of Tofu as affected by Instron parameters and sample preparation, and correlations of Instron hardness and springiness with sensory scores. *Journal of Food Science*. 72: S136-145.
- Zhang, Q., and Qin, W. (2019). Tofu and Soy Products: The effect of structure on their physicochemical properties. *Encyclopedia of Food Chemistry*. p. 96-104.
- Zhao, H., Li, W., Qin, F., Chen, J. (2016). Calcium sulphate-induced soya bean protein tofu-type gels: influence of denaturation and particle size. *International Journal of Food Science and Technology*. 51: 731-741.



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ก.1 pH, ปริมาณนมถั่วเหลือง และปริมาณโปรตีนเริ่มต้น

อัตราส่วนถั่ว : น้ำ	Volume (mL)	pH	°Brix	Protein content (g/ 100 mL of milk)
1:6	353.33±0.76	6.46±0.02	7.83±0.06	4.39±0.04

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ตามวิธี AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เดสิคเคเตอร์ (desiccator)
4. Hot air oven (Gen Lab รุ่น PRIME, UK)

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C นาน 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมเปล่าที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างเจลให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม
3. อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ (ได้ผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้งไม่เกิน 0.005 กรัม)
4. ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมที่มีตัวอย่างแห้ง และคำนวณหาปริมาณความชื้นตามสูตร ดังนี้

$$\% \text{ moisture (wet basis)} = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

$$\% \text{ moisture (dry basis)} = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

M_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

ก.3 การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส ดัดแปลงจากวิธีของ Chang et al. (2009)

ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วย Texture Analyzer (Model TA-XT2i) วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT plus ตั้งค่ามาตรฐานด้วยน้ำหนักถ่วง 1000g ใช้หัววัด P/50 วัดเจลตัวอย่างที่ตัดให้เท่ากันด้วยแม่พิมพ์อะลูมิเนียมวงกลม ความสูง ½ นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และประมวลผลด้วยโปรแกรม Texture Exponent Express โดยตั้งค่าโปรแกรมดังนี้

Option: TPA.RPJ

Pre-test speed: 5 mm/s

Test speed: 1 mm/s

Post-test speed: 1 mm/s

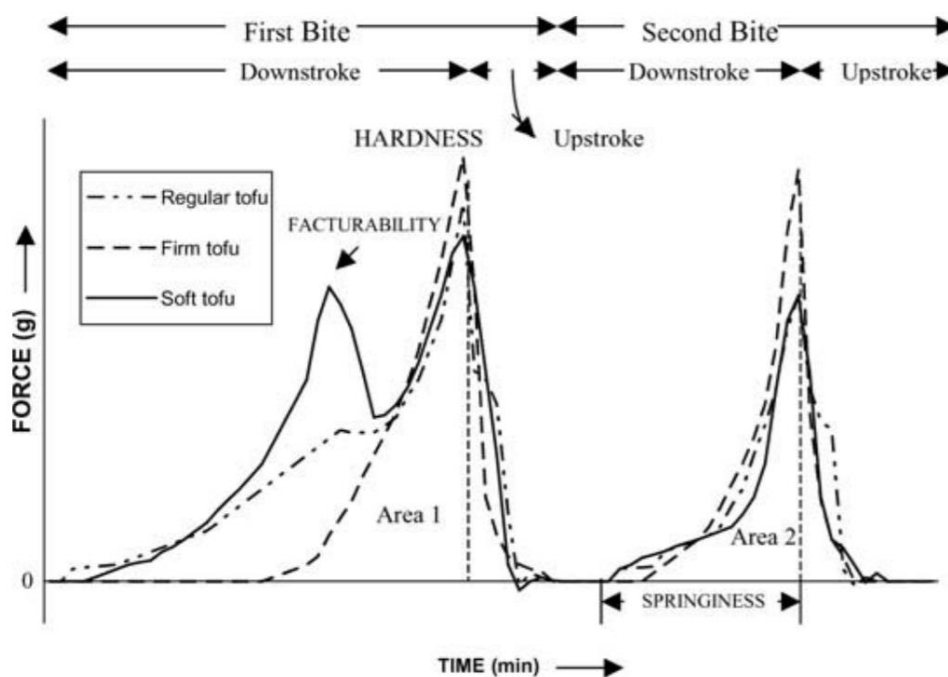
Distance: 75% strain

Trigger type: Auto-5g

Time: 35 sec

Date acquisition rate: 10 pps

ทำ 5 ครั้งต่อซ้ำ รายงานผลด้วยค่า Hardness, Adhesiveness, Gumminess, Cohesiveness และ Springiness ซึ่งคำนวณจากกราฟที่ ก.2 ดังสมการ



รูปที่ ก.2 Force time curve ของเต้าหู้ทั้งสามชนิด ทดสอบด้วยแรงกด 75%

ที่มา : Yuan and Chang (2007)

$$\text{Cohesiveness} = \text{Area 2} / \text{Area 1}$$

$$\text{Springiness} = \text{Distance 2} / \text{Distance 1}$$

$$\text{Gumminess} = \text{Hardness 1} \times \text{Cohesiveness}$$

$$\text{Chewiness} = \text{Gumminess} \times \text{Springiness}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (crude protein) ด้วยวิธี Kjeldahl (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)
2. เครื่องย่อยโปรตีน (digestor, BUCHI รุ่น K-424, Switzerland)
3. เครื่องดักจับไอกรด (scrubber, BUCHI รุ่น B-414, Switzerland)
4. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (distillation unit, BUCHI รุ่น B-324, Switzerland)

สารเคมี

1. 98% sulfuric acid (A.R. grade, QRèC, New Zealand)
2. 0.1 M hydrochloric acid (A.R. grade, QRèC, New Zealand)
3. 50% (w/v) sodium hydroxide (A.R. grade, Loba Chemie, India)
4. 4% (w/v) boric acid (A.R. grade, Merck, Germany)
5. Selenium mixture (A.R. grade, Merck, Germany)
6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลาย methyl red 0.125 g และ methylene blue 0.0825 g ใน 90% (v/v) ethanol ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งน้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่หลอดย่อย
2. เติม selenium mixture 0.5 กรัม และ sulfuric acid 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อย
3. ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่น แทนตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง
4. ต่อหลอดย่อยเข้ากับเครื่องย่อยโปรตีน แล้วย่อยจนตัวอย่างมีสีน้ำตาลเข้ม (ใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที)
5. ปิดเตา และยกออกจากเครื่องย่อย ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรต

1. กลั่นตัวอย่างที่ผ่านการย่อย โดยเติม 50% (w/v) NaOH ปริมาตร 90 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยโปรตีน เวลาในการกลั่นเท่ากับ 5 นาที เพื่อให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ ซึ่งสังเกตได้จากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุ 4% (w/v) boric acid ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ปลายของอุปกรณ์ควบแน่นแช่ในสารละลาย

2. กลับให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 200 มิลลิลิตร
3. ไตเตรทสารละลายที่กลับได้ในขวดรูปชมพู่ด้วย 0.1 M HCl ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตร HCl ที่ใช้ และคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน ดังสมการ

$$\% \text{ Nitrogen} = [(V_s - V_b) \times N \times 14 \times 100] / (\text{g sample} \times 1000)$$

เมื่อ V_s คือ ปริมาตรของ HCl ที่ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของ HCl ที่ไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

N คือความเข้มข้น HCl (M)

4. คำนวณปริมาณโปรตีน ดังสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = \% \text{ Nitrogen} \times 6.25$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมด (crude fat) (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)
2. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet extractor, Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
3. Rotary vacuum evaporator (BUCHI รุ่น Rotavapor R-114, Switzerland)
4. Thimble
5. Hot air oven (Gen Lab รุ่น PRIME, UK)
6. เดสิคเคเตอร์ (dessicator)

สารเคมี

1. Petroleum ether (A.R. Grade, J.T. Baker Neutrasorb, USA)

วิธีวิเคราะห์

1. อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C จนแห้งสนิท และทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักขวดเปล่าที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. ใส่ตัวอย่างลงใน thimble แล้วปิดด้วยสำลี ประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน โดยใช้ตัวทำละลาย petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 2 ชั่วโมง
4. ระเหย petroleum ether ในขวดก้นกลม ด้วยเครื่องระเหยจนหมด
5. ออบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C จนแห้งสนิท แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์
6. ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมที่อบแล้ว (มีไขมัน) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไขมันทั้งหมด ตามสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมันทั้งหมด (\%)} = W_o/W \times 100$$

เมื่อ W_o คือ น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)

W คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (crude fiber) (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)
2. แท่งแก้วปลายยาง
3. ผ้าขาวบาง
4. กระดาษลิตมัส
5. กรวยบุชเนอร์
6. ครูซิเบิล
7. Vacuum pump (Gast รุ่น DOA-P504-BN, USA)
8. Hot air oven (Gen Lab รุ่น PRIME, UK)
9. Magnetic stirrer with heating plate (IKA รุ่น C-MAG HS7, Germany)
10. เตาเผา (muffle furnace, Carbolite gero รุ่น CWF 1200, UK)
11. เดสิคเคเตอร์
12. ถ้วยอะลูมิเนียม

สารเคมี

1. 1.25% (w/w) sulfuric acid (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
2. 5% (w/w) sodium hydroxide (A.R. grade, Loba Chemie, India)
3. 1% (w/w) hydrochloric acid (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
4. 95% ethanol (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแห้งที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว ประมาณ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
2. เติม 1.25% (w/w) H_2SO_4 จนถึงขีดบอกระดับ 200 mL
3. ให้ความร้อนจนเดือด แล้วต้มด้วยไฟอ่อน 20 นาที ในระหว่างต้มหากปริมาตรลดต่ำกว่าขีด 200 มิลลิลิตรให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดให้ถึงขีด ระหว่างต้ม ให้คนด้วยแท่งแก้วที่มีปลายยางเป็นระยะๆ
4. กรองส่วนผสมผ่านผ้าขาวบางหลายๆชั้นบนกรวยบุชเนอร์ ซึ่งวางอยู่บนขวดรูปชมพู่ ที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศ
5. ล้างกากของตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายๆครั้ง จนน้ำที่ผ่านออกมาไม่เป็นกรดอีก (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)
6. นำกากใส่กลับลงในบีกเกอร์เดิม หากมีกากติดอยู่ที่ผ้าขาวบาง ให้ชะออกด้วยน้ำกลั่นปริมาณน้อยที่สุด
7. เติม 5% (w/w) NaOH ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
8. เติมน้ำกลั่นต้มเดือดจนถึงขีดบอกระดับ 200 มิลลิลิตร
9. ให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดจนถึงขีด ระหว่างต้ม คนด้วยแท่งแก้วที่มีปลายยางเป็นระยะๆ
10. กรองส่วนผสมผ่านผ้าขาวบางหลายๆชั้น บนกรวยบุชเนอร์ ซึ่งวางบนขวดรูปชมพู่ที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศ
11. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายๆครั้ง แล้วชะด้วย 1% (w/w) HCl 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจนน้ำล้างที่ผ่านออกมาไม่เป็นกรดอีก (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำล้างที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)

12. ชะกาดด้วย 95% ethanol จากนั้นนำกากใส่ลงถ้วยอะลูมิเนียม อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
13. นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (หักลบน้ำหนักของภาชนะ กำหนดให้น้ำหนักตัวอย่างนี้เป็น W_1)
14. ชั่งครุชชีเบลพร้อมฝาที่เผาแล้วทิ้งให้เย็น (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)
15. ใส่กากในครุชชีเบล นำไปเผาบน hot plate จนได้เถ้าสีดำและหมดควัน
16. เผาตัวอย่างจากข้อ 15 ในเตาเผา (muffle furnace) ที่ 550 °C จนได้เถ้าสีขาว
17. นำครุชชีเบลออกมาจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (หักลบน้ำหนักของภาชนะ กำหนดให้น้ำหนักตัวอย่างนี้เป็น W_2) คำนวณ %crude fiber ตามสมการ

$$\% \text{ crude fiber} = (W_1 - W_2) / \text{ น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนัก crude fiber + น้ำหนักเถ้า

W_2 คือ น้ำหนักเถ้า

ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS304S/01, Switzerland)
2. ครุชชีเบล
3. Magnetic stirrer with heating plate (IKA รุ่น C-MAG HS7, Germany)
4. เตาเผา (muffle furnace, Carbolite gero รุ่น CWF 1200, UK)
5. เดสิคเคเตอร์ (desiccator)

สารเคมี

1. 1.25% (w/w) sulfuric acid (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
2. 5% (w/w) sodium hydroxide (A.R. grade, Loba Chemie, India)
3. 1% (w/w) hydrochloric acid (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
4. 95% ethanol (A.R. grade, QRëC, New Zealand)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผาแล้วทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม) แล้วบันทึกผล (W1)
3. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในครุชชีเบลบันทึกผล (S)
4. เผาตัวอย่างจากข้อ 3 บน hot plate จนได้เถ้าสีดำและหมดควัน
5. เผาตัวอย่างข้อ 4 ในเตาเผาอุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว (อย่างต่ำ 3 ชั่วโมง) นำออกจากเตาเผา เก็บในเดสิคเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก
6. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 5 จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม) หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผล (W2)
7. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสมการ

$$\% \text{ash} = (W_2 - W_1) / S \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักครุชชีเบล

W_2 คือ น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักเถ้า

S คือ น้ำหนักตัวอย่าง

ก.6 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ตามวิธีของ AOAC (2005))

คำนวณโดยวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และเถ้า รวมกันในหน่วยร้อยละ แล้วหักออกจาก 100 จะได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{คาร์โบไฮเดรต (wb)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} - \% \text{โปรตีน} - \% \text{ไขมัน} - \% \text{เส้นใยอาหาร} - \% \text{เถ้า})$$

$$\% \text{คาร์โบไฮเดรต (db)} = 100 - (\% \text{โปรตีน} - \% \text{ไขมัน} - \% \text{เส้นใยอาหาร} - \% \text{เถ้า})$$

ก.7 การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์มีชีวิตทั้งหมด (Total Plate Count) (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. autoclave (Tomy Kogyo Co., Ltd. รุ่น SX-700, Japan)
2. เครื่องตีตัวอย่างอาหาร (AES Laboratoire รุ่น 70270469, France)
3. ตู้บ่มเชื้อ (Heraeus รุ่น D-63450, Germany)

สารเคมี

1. peptone from casein
2. plate count agar (standard method agar)

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ชั่ง plate count agar 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างก้อนเนื้อหมูปด 10 กรัม ใส่ลงในถุงตีตัวอย่าง (stomacher bag) ซึ่งมี peptone water 0.1% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร จากนั้นตีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 2 นาที
2. นำมาทำ serial dilution 3 ระดับ ด้วย peptone water 0.1% ระดับละ 2 จาน
3. spread plate โดยใช้ diluent 0.1 มิลลิลิตร และ plate count agar 20 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อ
4. บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
5. ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ย และคำนวณจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/g) ดังนี้

$$\text{CFU/g} = \frac{\text{จำนวนโคโลนี} \times \text{dilution factor}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม}}$$

ก.8 การวิเคราะห์หาปริมาณของยีสต์และรา (Yeast and mold) (ตามวิธีของ AOAC (2005))

อุปกรณ์

1. Micropipette 1000 uL (Mettler)
2. จานเพาะเชื้อ
3. ตู้บ่ม 37 องศาเซลเซียส

สารเคมี

1. Potato Dextrose Agar (PDA; Himedia, India)

วิธีวิเคราะห์

1. วิเคราะห์ปริมาณของยีสต์และรา (Yeast and mold) ด้วยเทคนิค spread plate โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar ที่ปรับค่า pH เป็น 4.5 ที่หลอมเหลวแล้ว ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 12-15 mL
2. รอกจานอาหารเลี้ยงเชื้อแห้งตัว จากนั้นเปิดตัวอย่างที่เจือจางแล้วแต่ระดับใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ 0.1 mL ระดับความเจือจางละ 2 จาน แล้วใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการเผาไฟแล้วเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวน้ำ
3. บ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนับจำนวนจุลินทรีย์ โดยแสดงผลในหน่วย colony forming unit/mL (CFU/ml)

ก.9 การวิเคราะห์หาปริมาณของโคลิฟอร์ม (Coliform) (ตามวิธีของ US. FDA, BAM: Chapter 4 (2002))

อุปกรณ์

1. Micropipette 1000 uL (Mettler)
2. จานเพาะเชื้อ
3. ตู้บ่ม 37 องศาเซลเซียส

สารเคมี

1. Laury tryptose broth (LST)
2. Brilliant green lactose bile broth (BGLB)
3. EC Medium

4. EC-MUG
5. MacConkey agar

วิธีวิเคราะห์

ขั้น Presumptive test

1. เติมตัวอย่าง 50 กรัม หรือสารละลายของตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางแบบ 10-fold dilution ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl tryptose broth แบบ 3, 5 หรือ 10 หลอด
2. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบผลการหมักน้ำตาลแล็กโทส โดยสังเกตจากหลอดที่ขุ่นและเกิดแก๊ส
3. นำหลอดที่ให้ผลบวกมาทดสอบในขั้น confirmed test ต่อไป หากไม่มีแก๊สภายใน 48 ± 3 ชั่วโมงถือว่าผลเป็นผลลบ

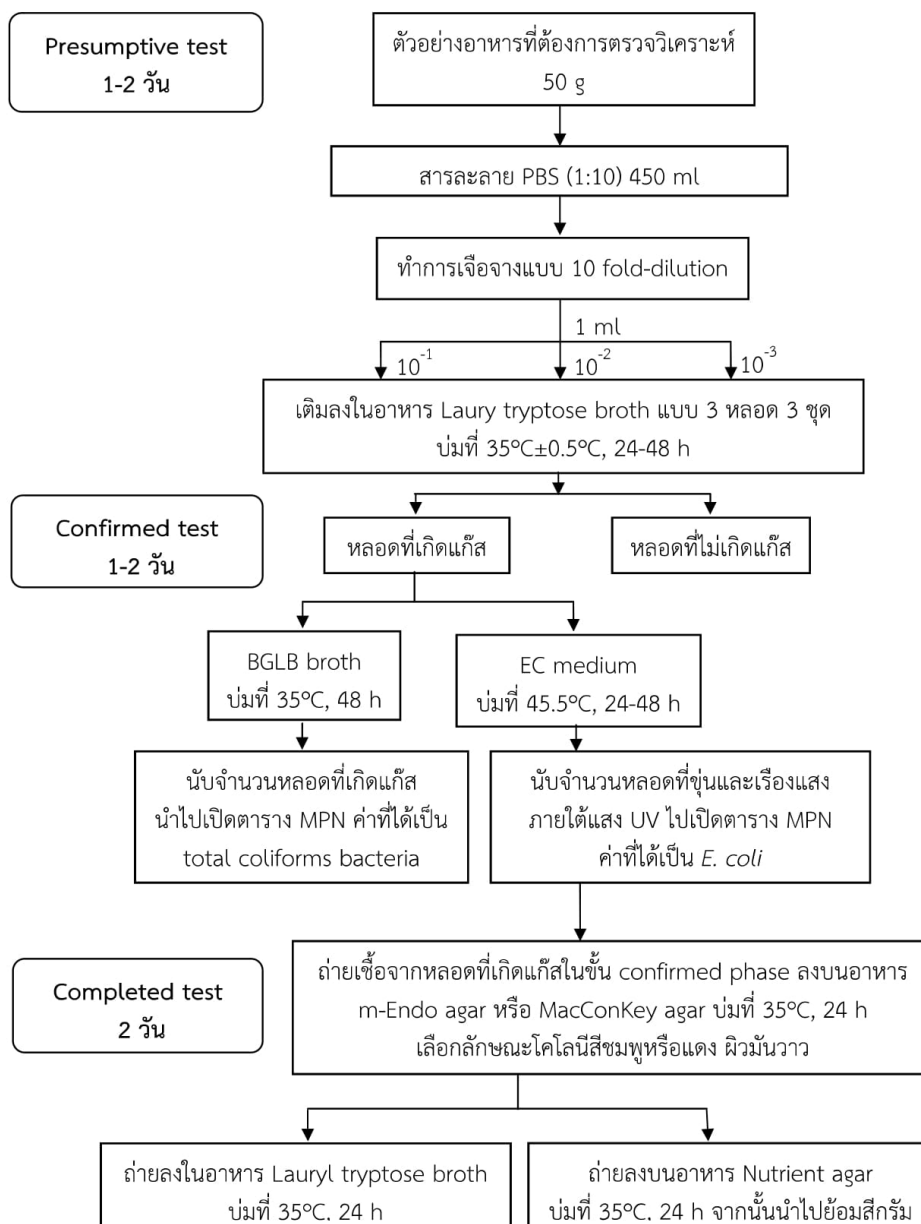
ขั้น confirmed test

4. นำเชื้อจากหลอดที่เกิดแก๊สทุกหลอดในขั้น presumptive test มา 2-3 loop ถ่ายลงใน BGLB, EC medium และ EC-MUG แล้วบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลอด BGLB บ่มที่ 35 ± 0.5 °C, EC medium บ่มที่ 45.5 °C
5. หลอด BGLB และ EC medium สามารถตรวจสอบผลการหมักน้ำตาลแล็กโทสโดยสังเกตจากหลอดที่ขุ่นและเกิดแก๊ส ส่วน EC-MUG ให้ตรวจสอบผลการย่อยสลายสาร 4-methylumbelliferyl beta-D-glucuronide (MUG) โดยสังเกตจากหลอดที่ขุ่นและมีการเรืองแสงสีเขียวฟ้า (bright blue) ภายใต้แสง UV
6. นับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกไปเปิดตาราง MPN เพื่อประมาณจำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด, fecal coliforms และ E. Coli ซึ่งค่าที่แสดงในตาราง MPN เป็นค่าประมาณทางสถิติ ที่บ่งบอกค่าเฉลี่ยของจำนวนเชื้อ ที่คาดคะเนว่าจะมีได้มากที่สุดในตัวอย่าง จากนั้นรายงานผลเป็น MPN/100 มิลลิลิตร หรือ MPN/กรัม

ขั้น completed test

7. นำเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกในขั้น confirmed test มาถ่ายลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ m-Endo agar หรือ MacConkey agar แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง

8. นำโคลีนีที่คาดว่าจะเป็น *E. Coli* (สีชมพูแดง ผิวมันวาว) มาถ่ายลงในอาหาร Lauryl tryptose broth เพื่อตรวจสอบผลการหมักน้ำตาลแล็กโทส และตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเชื้อโดยวิธีการย้อมสีแกรม



รูปที่ ก.1 การตรวจวิเคราะห์แบบที่เรียขี้วัดคุณภาพอาหารด้วยวิธี Most Probable Number (MPN)

ที่มา : ดัดแปลงจาก US. FDA, BAM: Chapter 4 (2002)

ภาคผนวก ข
การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับ (Ranking test)

รหัสการทดสอบ _____

วันที่ _____

ชนิดตัวอย่าง _____

รหัสผู้ทดสอบ _____

โปรดเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของตัวอย่างอาหารเจลที่มีถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ กับตัวอย่าง Reference โดยเรียงลำดับตัวอย่างที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงมากที่สุด จากซ้ายไปขวา

เหมือนมากที่สุด

เหมือนน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.2 แบบประเมินการทดสอบการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA (Quantitative descriptive analysis) เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ระยะเวลา 10 วัน

รหัสการทดสอบ _____ วันที่ _____

ชนิดตัวอย่าง _____ รหัสผู้ทดสอบ _____

ในการทดสอบ ท่านจะได้รับตัวอย่างเพื่อประเมินตามคุณลักษณะที่ได้ทำการตกลงร่วมกันในการฝึกฝน กรุณาทำการประเมินโดยขีดเส้นให้คะแนนในสเกลเส้น โดยเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง (Reference) ที่ได้เตรียมไว้ในทุกคุณลักษณะ หากตัวอย่างอ้างอิงหรือตัวอย่างที่ต้องการทดสอบมีปัญหา กรุณาแจ้งผู้ทดสอบได้ทุกเมื่อ

กรุณาอ่านคำอธิบาย และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด หากมีคำถามหรือข้อสงสัยกรุณาสอบถามผู้ทดสอบได้ทุกเมื่อ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส

1. ลักษณะปรากฏ

สี



ผลิตภัณฑ์สีขาว

ผลิตภัณฑ์สีขาวเหลือง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความเป็นเนื้อเดียวกัน



ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด

การแยกตัวของน้ำ

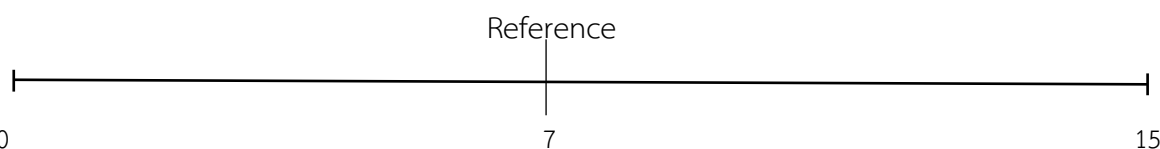


ไม่มีการแยกตัวของน้ำเลย

มีการแยกตัวของน้ำมาก

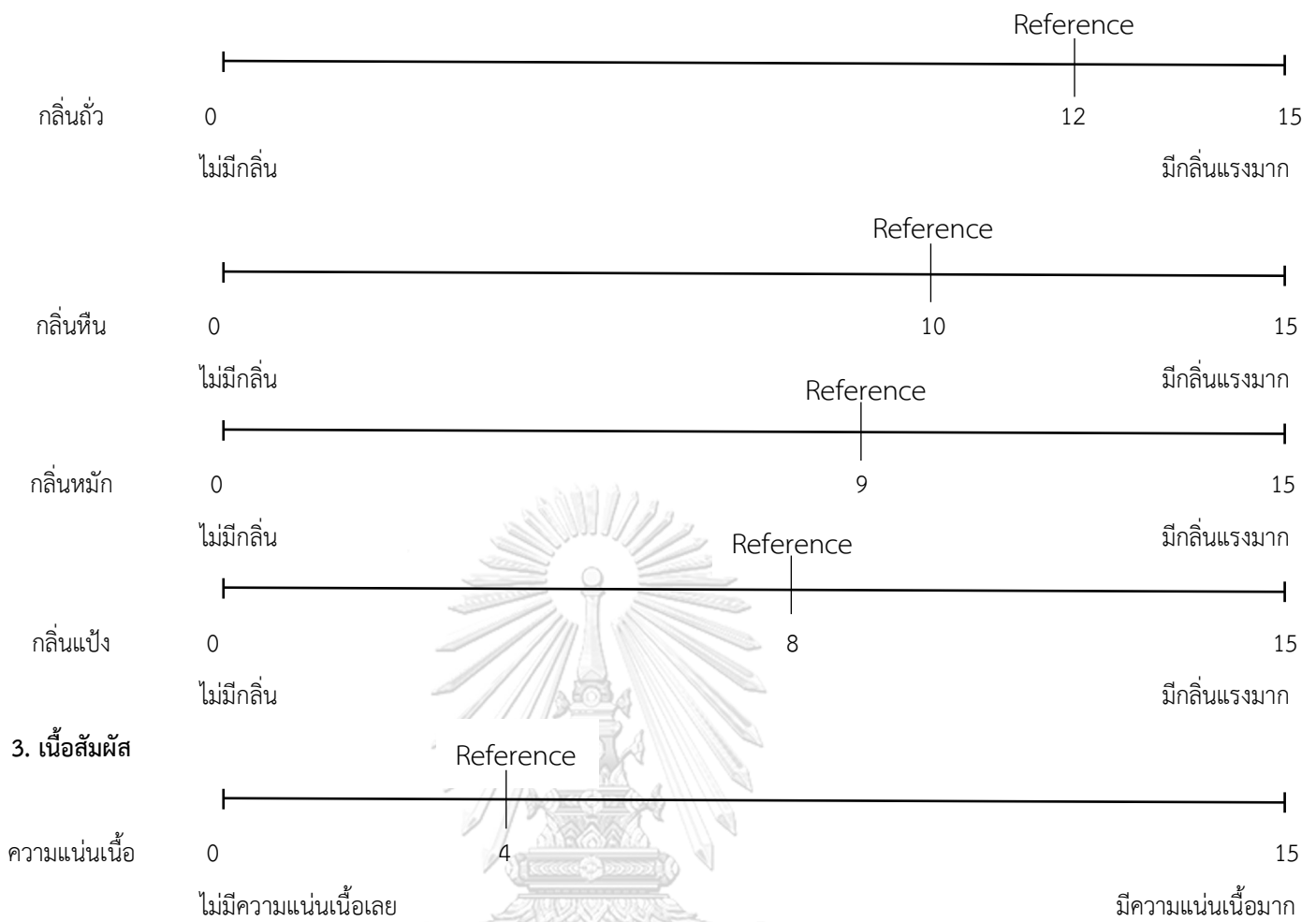
2. กลิ่นและกลิ่นรส

กลิ่นวานิลลา



ไม่มีกลิ่น

มีกลิ่นแรงมาก



3. เนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อ

ข.3 คำอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสและคำศัพท์จากผู้ทดสอบในชั้นแรกโดยให้ประเมินตัวอย่าง เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คำอธิบาย
ลักษณะปรากฏ	
สี	สีครีม/ สีขาวเหลือง
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	เต้าหู้อ่อน / เต้าหู้หลอด
การแยกตัวของน้ำ	น้ำที่ไหลออกมาจากโยเกิร์ต
กลิ่นรส	
กลิ่นวานิลลา	กลิ่นขนมหวานจาง ๆ, กลิ่นวานิลลาในขนม
ถั่ว	กลิ่นนมถั่วเหลือง น้ำเต้าหู้ กลิ่นถั่วเหลืองต้ม
กลิ่นหืน	กลิ่นของน้ำมันเก่าในเตาอบ
กลิ่นหมัก	กลิ่นเก่า, กลิ่นอับตุ้ย
กลิ่นแป้ง	กลิ่นแป้ง แป้งมันหรือมันสำปะหลัง
เนื้อสัมผัส	
ความแน่นเนื้อ	แรงที่ใช้ในการกตระหว่างอาหารและฟันกราม

ข.4 แบบประเมินการทดสอบการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA (Quantitative descriptive analysis) เพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสวานิลลินในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่างกันและมีน้ำลายเทียม

รหัสการทดสอบ _____

วันที่ _____

ชนิดตัวอย่าง _____

รหัสผู้ทดสอบ _____

คำอธิบาย

ในการทดสอบนี้ จะให้ท่านทำการประเมินความเข้มของกลิ่นรสที่ได้จากเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมกลิ่นรส โดยเทียบความเข้มของกลิ่นรสตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (reference) จากนั้นให้คะแนนในสเกลเส้นตามความเข้มของกลิ่นรสที่ได้กลิ่นในแต่ละตัวอย่าง ระหว่างตัวอย่างกรุณาดมเมล็ดกาแฟ และน้ำที่ปราศจากกลิ่น (odorless water) เพื่อพักและไม่ให้คุ้นชินกับกลิ่นที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างชุดที่ 2 ทดสอบโดยการใส่สารที่เตรียมไว้ใน syringe ขนาด 2 mL ลงในตัวอย่างเจลและทำให้เจลแตกก่อน จากนั้นจึงดมเพื่อประเมินความเข้มของกลิ่นรส

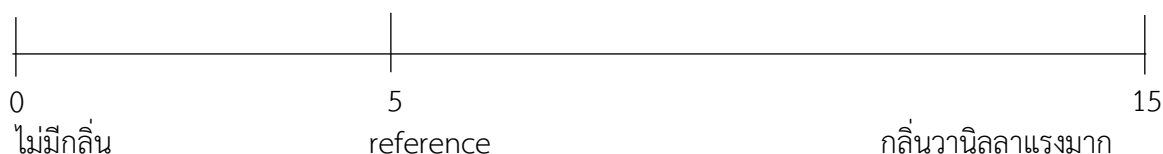
กรุณาอ่านคำอธิบาย และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด หากมีคำถามหรือข้อสงสัยกรุณาสอบถามผู้ทดสอบได้ทุกเมื่อ

ความเข้มข้นของกลิ่นวานิลลา

ตัวอย่างชุดที่ 1 : 385, 306, 865, 621, 254



ตัวอย่างชุดที่ 2 : 226, 901, 814, 957, 994



ข.5 ตัวอย่างอ้างอิงสำหรับทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี modified quantitative descriptive analysis

ลักษณะปรากฏสำหรับตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง



ลักษณะปรากฏสำหรับตัวอย่างน้ำเต้าหู้ตรานางพยาบาล



ลักษณะปรากฏสำหรับตัวอย่างเต้าหู้โมเมน



ที่มา : <http://thekyotoproject.org/tofu-story/>

เนื้อสัมผัสของตัวอย่างเต้าฮวย

ตัวอย่าง	hardness (g)	chewiness	springiness	gumminess (g)	cohesiveness
เต้าฮวย	318.628±11.327	17.953±2.802	0.270±0.015	62.435±7.686	0.146±0.020

ข.6 ใบอนุมัติรับรองยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ
เจลโปรตีนถั่วเหลือง

AF 01-12



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 107/2563

ใบรับรองโครงการวิจัย
ยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 042/63 : สมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และรูปแบบการปลดปล่อยสารระเหยให้กลิ่น
ของอาหารประเภทเจลโปรตีนถั่วเหลือง
ผู้วิจัยหลัก : นายธนากร วงษ์ประเสริฐ
หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับการยกเว้นการทบทวนจริยธรรมการวิจัยโดยใช้หลักของ Office for Human
Research Protections (OHRP Exempt Categories) 45 CFR part 46.101(b)

โดยมีเงื่อนไขว่าผู้วิจัยดำเนินการวิจัยอย่างเคร่งครัดตามที่ปรากฏในโครงการวิจัยฉบับที่ส่งให้
คณะกรรมการฯ พิจารณา หากมีการเปลี่ยนแปลงต้องแจ้งคณะกรรมการฯ ก่อนมีการดำเนินการวิจัยต่อไป

ลงนาม ดร. นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ์)
ประธาน



ลงนาม ดร. นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์
(รองศาสตราจารย์ ดร. นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 3 มีนาคม 2563

หมายเหตุ

โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และบทความผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับ
โครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทความผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

ภาคผนวก ค

การเตรียมน้ำลายเทียม

ค.1 น้ำลายเทียม (Artificial Saliva) (ตามวิธีของ van Ruth et al. (2004))

สารเคมี

1. NaHCO_3 (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
2. $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
3. NaCl (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
4. KCl (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
5. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (A.R. grade, QRëC, New Zealand)
6. Mucin (porcine pancreas mucine; Sigma-Aldrich, USA.)
7. α -amylase (hog pancreas α -amylase; Reach Biotechnology, Thailand)

วิธีการเตรียม

1. ผสมเกลือ NaHCO_3 (5.208 g) $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (1.369 g) NaCl (0.877 g) KCl (0.477 g) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.441 g) เข้าด้วยกันในน้ำปราศจากกลิ่น (odorless water) ปริมาตร 1 ลิตร
2. เติม Mucin 2.160 g และ α -amylase 200,000 units
3. คนจนกว่าสารประกอบทั้งหมดจะละลายจนเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ magnetic stirrer

ภาคผนวก ง

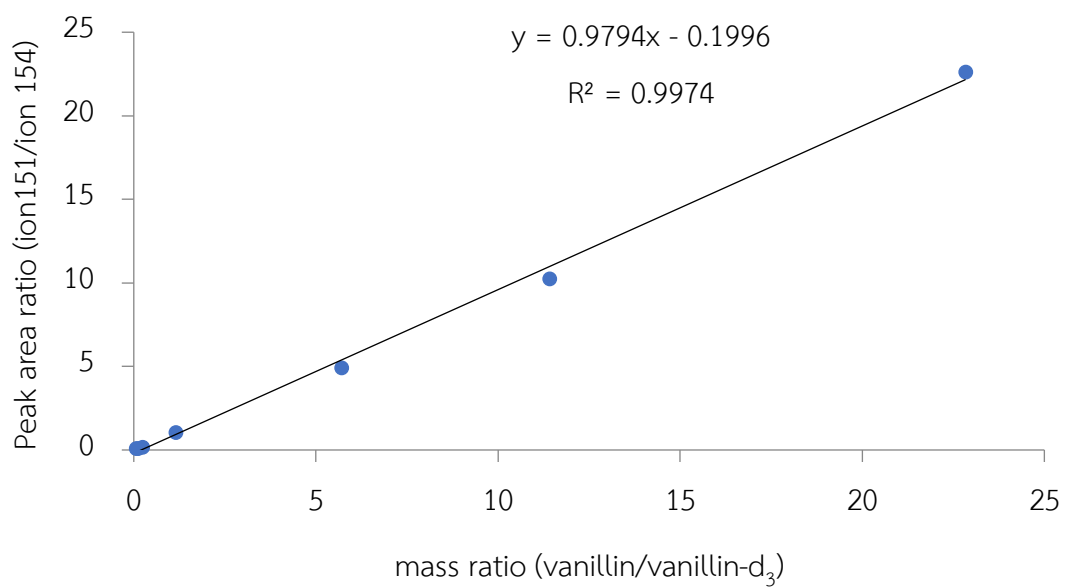
การทำ response factor ของวานิลลินและดิวเทอเรียมวานิลลิน (vanillin-d₃)

ง.1 วิธีเตรียมสารมาตรฐาน ตามวิธีของ Temthawee et. al. (2020)

1. เตรียม stock วานิลลิน โดยการชั่งวานิลลิน 10.5 มิลลิกรัมแล้วละลายในเมทานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้วานิลลินความเข้มข้น 1050 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
2. เตรียม stock vanillin-d₃ โดยการชั่ง 4.6 มิลลิกรัมแล้วละลายในเมทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะได้ ความเข้มข้น 920 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
3. ผสมสารละลายในข้อที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกันที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด 7 อัตราส่วน ได้แก่ 1:20, 1:10, 1:5, 1:1, 5:1, 10:1, 20:1 และปรับปริมาตรของแต่ละอัตราส่วนด้วย diethyl ether ให้เป็น 1.0 มิลลิลิตร
4. วิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายผสมระหว่างวานิลลินกับดิวเทอเรียมวานิลลินด้วยเครื่องมือ GC-MS
5. สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟ (peak area ratio) และอัตราส่วนของมวลของวานิลลินต่อดิวเทอเรียมวานิลลิน (mass ratio) และคำนวณค่า response factor จากค่าความชันของสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟ

กราฟมาตรฐาน

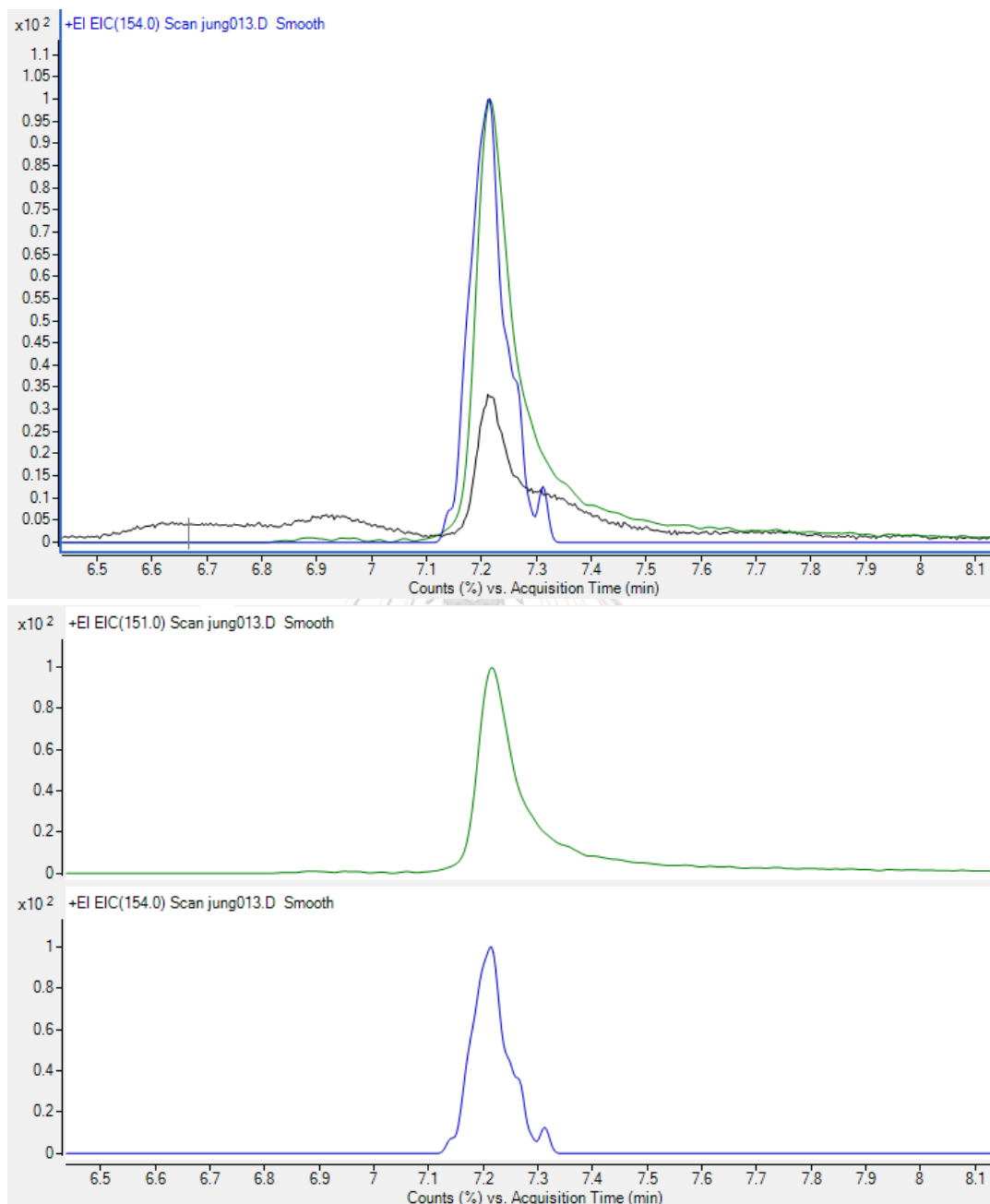
$$\text{Response factor} = 1/\text{slope} = 1.435$$



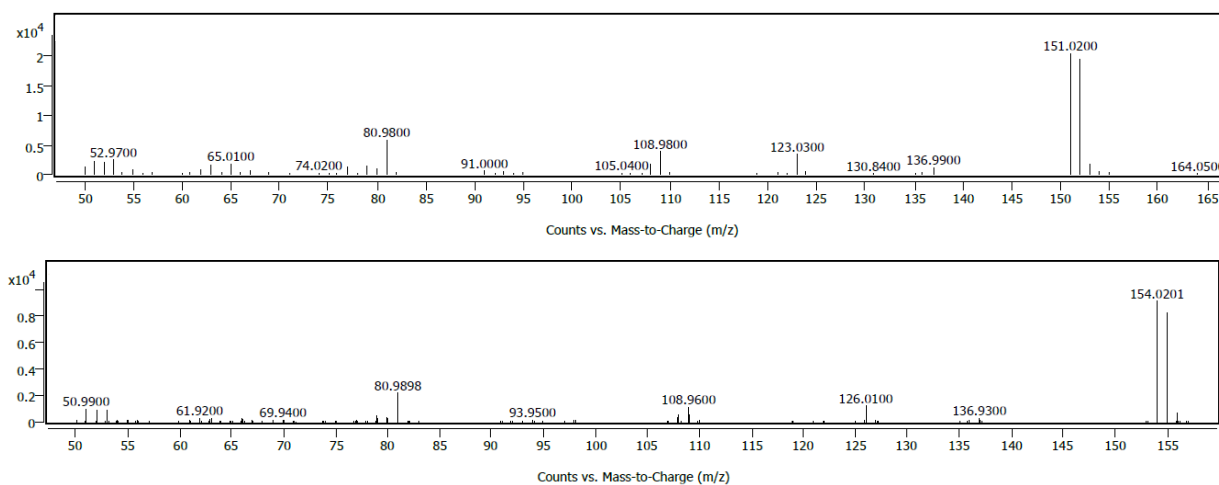
รูปที่ 1.1 กราฟมาตรฐานของ vanillin vs vanillin-d₃



ง.2 ตัวอย่าง Chromatogram และ Spectrum ในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง



รูปที่ ง.2.1 โครมาโตแกรมของ vanillin และ vanillin-d₃



รูปที่ ง.2.2 สเปกตรัมของ vanillin (ion 151) และ vanillin-d₃ (ion 154)

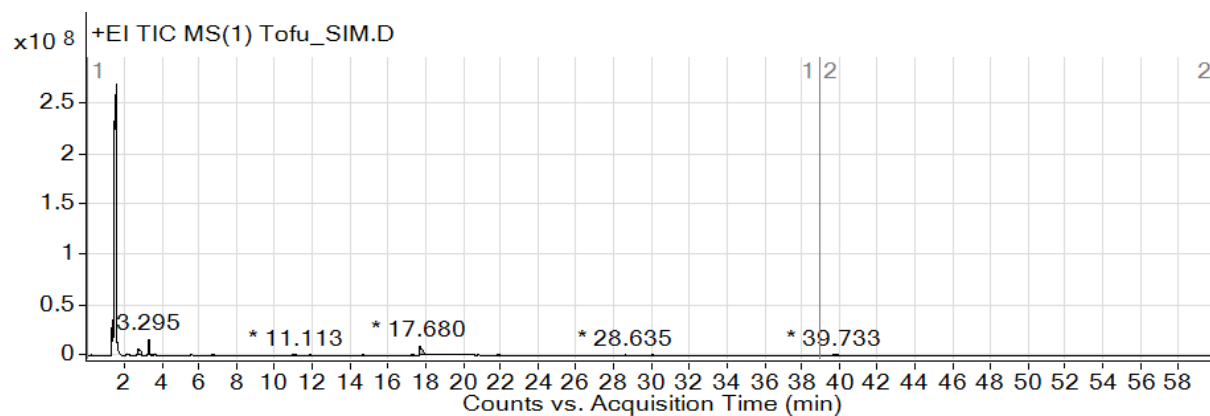
ง.3 ตัวอย่าง Chromatogram ในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่เติมวานิลลิน ดัดแปลงจากวิธีของ Lee et al. (2014)

ทดสอบปริมาณสารระเหยในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลืองเบื้องต้นด้วยเทคนิค Dynamic headspace มีวิธีการทดลองโดยใช้ปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

Headspace oven temperature 80 °C, Loop temperature 120 °C และ transfer line temperature 150°C. เวลา: Oven/Vial equilibration time 120 นาที. Injection time 0.5 นาที และ GC cycle 70 นาที. Vial: Fill mode ใช้วิธี flow to pressure mode. Fill flow 50 mL/min, Fill pressure 15 psi และ pressure equilibration time 0.1 นาที Custom loop fill mode โดยความดันเริ่มต้น 15 psi ความดันสุดท้าย 10 psi. Ramp rate 20 psi/min, เวลา Loop equilibration 0.05 นาที และปริมาณในการฉีด (Injection volume) 1 µL

ทำการวิเคราะห์ GC-MS analysis ด้วย Agilent7890B GC system และ a 7000 C GC/MS Triple quadrupole mass spectrometry detector. (Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, USA) ต่อเข้ากับคอลัมน์ HP-INNOWAX column (30 m length x 0.25 mm id., 0.25 µm film thickness) โดยใช้ปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้ inlet temperature 220 °C; splitless. Column Helium carrier flow rate : 1.0 mL/min, average velocity 36.262 cm/sec; Constant flow mode 1.0 mL/min, oven temperature, held for 40 °C, initial holding time 4 min, raised at 5 °C/min to 250 °C, holding time 14 min. สภาวะของ mass

selective detector (MSD) เป็นดังนี้ อุณหภูมิของ transfer line คือ 250 °C ; ionization voltage คือ 70 eV (MSEI) at 70 eV และ ion source temperature of 230 °C.



รูปที่ ง.3.1 Chromatogram ของตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง

ตารางที่ ง.3.1 แสดงองค์ประกอบของสารระเหยในตัวอย่างเจลโปรตีนถั่วเหลือง

No.	Volatile compound	t_R	Peak area (%)
			Soy based gel food
acids (7)			87.3
1	3-hydroxy-propanoic acid	2.826	19.79
2	dichloro acetic acid	3.316	25.50
3	acetic acid	17.932	36.44
4	3-methyl-butanoic acid	23.167	0.08
5	sorbic acid	33.461	2.18
6	hexadecanoic acid butylester	37.663	0.08
7	benzoic acid	40.344	3.23
alcohol (7)			6.97
8	benzene ethanol	4.136	1.98
9	1-penten-3-ol	6.721	2.47
10	2-methyl-1-butanol	9.357	0.14
11	1-pentanol	11.87	0.15
12	1-hexanol	14.716	0.4

13	1-octen-3-ol	17.34	0.49
14	1,2-monoacetate ethanediol	21.872	1.34
aldehydes (9)			4.31
15	3-methyl-butanal	3.652	2.87
16	hexanal	5.561	0.24
17	heptanal	10.637	0.52
18	2-(E)-octenal	10.728	0.12
19	2-(E)-decanal	13.778	0.16
20	1-nonanal	15.741	0.09
21	benzaldehyde	19.11	0.12
22	1,1'-oxybis-2-Propanal	26.227	0.19
ketones (2)			0.13
24	5-methyl-3-heptanone	11.731	0.09
25	3-octanone	11.752	0.04
ether (1)			2.93
26	ethyl ether	1.626	2.93
furan (1)			0.3
27	2-pentylfuran	11.016	0.3
alkane (1)			0.09
28	1,1-diethoxy-ethane	30.038	0.09
benzene (1)			0.06
29	1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-benzene	39.733	0.06

ภาคผนวก จ

หนังสืออนุญาตการใช้บทความเพื่อประกอบในวิทยานิพนธ์



JOURNAL OF FOOD TECHNOLOGY, SIAM UNIVERSITY
ISSN 1686-3070 (Print) / 2651-1169 (Online)

This is a License Agreement between **Thanakorn Wongprasert, Citizen ID TH1100900451693** ("You") and Journal of Food Technology, Siam University provided by Faculty of Science, Siam University.

License number	6314201
License date	July 1, 2020
Licensed content publisher	Siam University
Licensed content title	Influence of Textural Modification of Gel Food by Hydrocolloids to Flavor Perception
Licensed content author	Thanakorn Wongprasert, Inthawoot Suppavorasatit
Licensed content date	October 29, 2019
Licensed content volume number	14
Licensed content issue number	2
Start page – End page	95-107
Type of use	Reuse in a thesis/dissertation
Title of thesis/dissertation	PHYSICOCHEMICAL, TEXTURAL PROPERTIES, AND FLAVOR RELEASE PROFILE OF SOY PROTEIN BASED GEL FOOD

This type of license, instead of the standard Terms & Conditions, is sent to you because no fee is being charged for your order. Please note the following:

- Permission is granted for your request in both print and electronic formats.
- If figures and/or tables were requested, they may be adapted or used in part.
- Appropriate credit for the requested material should be given as follows: "Reprinted (adapted) with permission from (COMPLETE REFERENCE CITATION). Copyright (YEAR) Siam University." Insert appropriate information in place of the capitalized words.
- One-time permission is granted only for the use specified in your request. No additional uses are granted (such as derivative works or other editions). For any other uses, please submit a new request.




Asst. Prof. Dr. Kanjana Mahattanatawee
Editor in Chief
Journal of Food Technology, Siam University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนากร วงษ์ประเสริฐ
วัน เดือน ปี เกิด	27 กุมภาพันธ์ 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	19/466 ซอย 27 หมู่บ้านไทยสมุทร ถนน บางนา-ตราด ตำบล บางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัด สมุทรปราการ 10540
ผลงานตีพิมพ์	ชนากร วงษ์ประเสริฐ และ อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์. (2562). อิทธิพลของการดัดแปรเนื้อสัมผัสของอาหารเจลด้วยไฮโดรคอลลอยด์ต่อการรับรู้กลิ่นรส. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 14(2): 95-107. Wongprasert, T., Suppavorasatit, I. (2020). Development of silken tofu coagulated by glucono-delta-lactone for patients with mastication and swallowing problems. In Proceedings of the 22nd Food Innovation Asia Conference; 18-19 June 2020; Bangkok, Thailand. p. 192-200.