สมบัติทางเคมี การประเมินค่าทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสของการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่จากมิวซิเลจของฝักเหรียง

Chemical properties; chemical, physical and sensory evaluation of gelation in jelly products from mucilage in Pods of Riang (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.)

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

2556

สมบัติทางเคมี การประเมินค่าทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัสของการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่จากมิวซิเลจของฝักเหรียง

Chemical properties; chemical, physical and sensory evaluation of gelation in jelly products from mucilage in Pods of Riang (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.)

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ 2555 ขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เถวียน วิทยา ที่ให้ความร่วมมือและให้คำปรึกษาการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ และขอขอบคุณบริษัทบูรพาชีพ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เพกทินชนิด Low methoxyl pectin เพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือช่วยงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์

กันยายน 2556

หัวข้อวิจัย สมบัติทางเคมี การประเมินค่าทางเคมี กายภาพและทางประสาทสัมผัส ของการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่จากมิวซิเลจของฝักเหรียง

ผู้วิจัย ดร.สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์

หน่วยงาน สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

บทคัดย่อ

ฝักเหรียง (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.) มีปริมาณของเนื้อฝักเหรียงคิดเป็นร้อยละ 10.82 เนื้อฝักเหรียงประกอบด้วยใยอาหาร เถ้า โปรตีน และไขมันร้อยละ 27.86, 5.49, 5.04 และ 0.77 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื้อฝักเหรียงเป็นมิวซิเลจที่มีคุณสมบัติเป็นเพกทินชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ คือมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 4.13 และมีน้ำหนักสมมูลระหว่าง 5,300-5,900 เกิดเจลได้ดีกับน้ำปูนใสในสภาวะไม่มีน้ำตาลและมีน้ำตาลรวมอยู่ด้วย แต่จะไม่เกิดเจลหากต้มให้ความร้อนพร้อมกัน เยลลี่ที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงสุดคือเยลลี่ที่ใช้เนื้อฝักเหรียง: น้ำ: น้ำตาล: น้ำปูนใส เท่ากับ 1.5: 35: 12: 30 ปริมาณกรดซิตริกมีผลต่อการเกิดเจลของเยลลี่ฝักเหรียง พบว่าการเติมกรดร้อยละ 0.15 จะทำให้เนื้อฝักเหรียงเกิดการตกตะกอน และเมื่อเติมกรดลงไปมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.20 จะไม่เกิดการเซตตัวของเจล ผู้ทดสอบชิมยอมรับเยลลี่ฝักเหรียงมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเติมสี กลิ่นรส และกรดซิตริกลงไปการเติมสีแดงสตรอเบอรี่และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม มากกว่าการใช้สีและกลิ่นรสอื่น ๆ การเติมกรดซิตริกร้อยละ 0.10 และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ร้อยละ 0.03 ทำให้เยลลี่ได้รับการยอมรับสูงสุด

การเก็บรักษาเยลลี่สีและกลิ่นรสสตรอเบอรี่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่าความแข็งแรงของเจลมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 0.045-0.063 นิวตัน พบจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1.0×10^4 CFU/กรัม ยีสต์และราน้อยกว่า 100 CFU/กรัม และพบ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียงสีและกลิ่นรสสตรอเบอรี่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

คำสำคัญ : ฝักเหรียง (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.) มิวซิเลจ เพกทิน เยลลี่ เจล

Research Title Chemical properties; chemical, physical and sensory evaluation of gelation in jelly products from mucilage in pods of Riang (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.)

Researcher Dr. Supaporn Apirattananusorn

Organization Program in Food Science and Technology
Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

ABSTRACT

Pods of Riang (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.) yielded 10.82% pulp. The pulp contained 27.86% dietary fiber, 5.49% ash, 5.04% protein and 0.77% fat (dry weight basis). Pulp of Riang pods is mucilage qualified as low methoxyl pectin with 4.13% methoxyl content. The equivalent weight of pectin was between 5300-5900 forming a good gel in lime water with or without the addition of sugar. However, the mixture did not form a gel when it was boiled. The most accepted Riang jelly by panelists was formulated by pulp, water, sugar, and lime water with the ratio of 1.5: 35: 12: 30, respectively. The jelly with the addition of 0.15% citric acid resulted in precipitation of Riang pulp and the mixture did not form a gel when the citric acid was added ≥ 0.20%. The acceptance of Riang jelly increased significantly ($p<0.05$) when the color, flavor and citric acid were added. The panelists liked the strawberry red colored and strawberry flavored jelly more than the other colored and flavored jellies in the sensory attributes of appearance, color, odor, tasty, texture and overall liking. The jelly product with the addition of 0.10% citric acid and 0.03% strawberry flavor was the most accepted.

The colored and flavored strawberry jelly kept for 12 weeks at room temperature showed that the gel strength decreased significantly ($p<0.05$) when the duration of storage increased (the strength of the gel was in the range from 0.045 to 0.063 N). The jelly product contained total microorganisms < 1×10^4 CFU/g, yeasts and moulds < 100 CFU/g and *E. coli* < 3 MPN/g, which was within the Thai OTOP standard. The colored and flavored strawberry Riang jelly was the moderate and much liking accepted by a hundred general consumers.

Keywords : Pods of Riang (*Parkia timoriana* (DC.) Merr.), mucilage, pectin, jelly, gel

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
ABSTRACT	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ชนิดของใยอาหาร	4
คุณสมบัติของใยอาหารต่อร่างกาย	5
การเกิดเจลของเพกทิน	6
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	12
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	19
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	39
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์	50
ภาคผนวก ค แบบทดสอบการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส	56
ภาคผนวก ง แบบทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ ผลการตรวจสอบองค์ประกอบของฝักเหรียงและเนื้อฝักเหรียง	59
ภาคผนวก ฉ ผลการตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพและสมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียง	60
ภาคผนวก ช ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลี่	64
ภาคผนวก ซ วิธีการผลิตเยลลี่ฝักเหรียง	65

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปริมาณเพกทินในเนื้อเยื่อพืช	6
ตารางที่ 2.2	ชนิดของเพกทิน	8
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยลลี่	14
ตารางที่ 3.2	ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยลลี่	16
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฝักเหรียง	20
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียง	22
ตารางที่ 4.3	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียง	23
ตารางที่ 4.4	สมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ	24
ตารางที่ 4.5	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ	25
ตารางที่ 4.6	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่ที่เติมกรดและกลิ่นรสปริมาณต่างกัน	26
ตารางที่ 4.7	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่ปริมาณต่างกัน	27
ตารางที่ 4.8	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษา	29
ตารางที่ 4.9	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษา	29
ตารางที่ 4.10	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียง	31
ตารางที่ 4.11	คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่	32
ตารางที่ 1 จ	ปริมาณเนื้อฝักเหรียง เปลือกหุ้มเมล็ด และเมล็ดเหรียงของฝักเหรียงใน 1000 กรัม	59
ตารางที่ 2 จ	องค์ประกอบของเนื้อฝักเหรียง	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 1 ฉ	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและน้ำปูนใสต่างกัน	60
ตารางที่ 2 ฉ	สมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ	61
ตารางที่ 3 ฉ	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่ที่เติมกรดและกลิ่นรสปริมาณต่างกัน	62
ตารางที่ 4 ฉ	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์	63
ตารางที่ 1 ช	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และ *E. coli* ของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์	64

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของเพกทินที่ประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิกบางหน่วยที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์รวมอยู่ด้วย	7
ภาพที่ 2.2	การเกิดเจลในรูปแบบกล่องไข่; • แทนแคลเซียมไอออน	9
ภาพที่ 3.1	กระบวนการผลิตเยลลี่จากฝักเหรียง	15
ภาพที่ 4.1	ฝักเหรียงและส่วนต่าง ๆ ของฝักเหรียง	19
ภาพที่ 4.2	การตกตะกอนของเนื้อฝักเหรียง	21
ภาพที่ 4.3	เยลลี่ฝักเหรียงกลิ่นรสสตรอเบอรี่	27
ภาพที่ 4.4	เยลลี่บรรจุในขวดแก้วขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์	28
ภาพที่ 1 ข	การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	52
ภาพที่ 2 ข	การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา	53
ภาพที่ 1 ซ	ขั้นตอนการผลิตเยลลี่ฝักเหรียง	65

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เหรียงเป็นพืชชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Parkia timoriana* (DC.) Merr. อยู่ในวงศ์ Fabaceae มีชื่อเรียกพื้นเมืองทั่วไปว่า สะเหรี่ยง เรียง นะริง นะกิง กะเหรี่ยง และกะเรียง เหรียงเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการกระจายพันธุ์แถบหมู่เกาะติมอร์ และแถบเอเชียเขตร้อน ซึ่งรวมตั้งแต่ประเทศอินเดีย จนถึงประเทศปาปัวนิวกินี สำหรับในประเทศไทยพบทั่วไปในภาคใต้ ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงมา ชอบขึ้นตามป่าดิบชื้น ตั้งแต่ในระดับพื้นที่ต่ำจนถึงพื้นที่สูงถึง 100 เมตรจากระดับน้ำทะเล (นพรัตน์ บำรุงรักษ์, 2552) เหรียงเป็นไม้ยืนต้นสูงใหญ่ ไม่ค่อยมีกิ่งก้าน เปลือกลำต้นมีลักษณะเรียบหนา สีเทาปนเขียวอ่อนและมีกลิ่นฉุน คล้ายต้นสะตอ แต่เหรียงจะมีพุ่มใบดกแน่นและเขียวทึบกว่า เป็นไม้ที่ชอบแสงสว่างและพื้นที่ค่อนข้างชุ่มชื้น มักเริ่มผลัดใบในขณะออกช่อดอก ใบจะร่วงหล่นจนหมดต้นเมื่อผลเริ่มแก่ ดอกจะมีลักษณะเป็นช่อคล้ายสะตอ ผลเป็นฝักตรง กว้างประมาณ 3-4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1 ฟุต เมล็ดเป็นรูปไข่ ลักษณะฝักจะมีสีเขียวเข้ม และมีเมล็ดเรียงกันเป็นแถว ลักษณะฝักคล้ายกับฝักสะตอแต่จะมีเมล็ดเรียงกันถี่กว่าเมล็ดสะตอ ฝักเหรียงหนึ่งฝักมีประมาณ 15-20 เมล็ด เมื่อสุกจัดฝักจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแก่ปนดำ (นพรัตน์ บำรุงรักษ์, 2552; สุทธิลักษณ์ สมิตะสิรี และคณะ, 2541, หน้า 405-406)

เหรียงจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ ผลิตผลหลักที่ได้จากต้นเหรียงคือเมล็ดภายในฝัก เมล็ดเหรียงจึงเป็นสินค้าที่สร้างรายได้เป็นอย่างดี โดยจะนำฝักที่สุกจัดบนต้นหรือหล่นลงมาจากต้น มาแกะเอาเฉพาะเมล็ด เมล็ดเหรียงที่อยู่ในฝักมีเปลือกสีดำหุ้มเมล็ดสามารถนำมาบริโภคได้ ก่อนนำเมล็ดเหรียงมาบริโภค จะต้องนำเมล็ดมาเพาะให้มีรากงอกหรือที่เรียกกันเป็นภาษาใต้ท้องถิ่นว่า “หมาน” โดยนำเมล็ดเหรียงมาตัดปลายทางด้านหัวซึ่งเป็นด้านที่ป้านกว่าด้านท้ายออก นำมาล้างแล้วแช่น้ำไว้ 1 คืน แล้วนำมาเพาะจนมีรากงอก ลักษณะเมล็ดเหรียงที่เพาะแล้วหรือเรียกว่า “หน่อเหรียง” จะมีลักษณะเป็นเม็ดหัวโตสีเขียวคล้ายสะตอแต่มีผิวเรียบกว่า มีรากงอกออกมาคล้ายถั่วงอก เมล็ดเหรียงที่เพาะได้สามารถนำมาใส่แกงเป็นอาหารหรือบริโภคสดเป็นผักจิ้มกับน้ำพริก หรือนำมาดองเป็นเมล็ดเหรียงดองก็ได้ ส่วนเนื้อฝักเหรียงจะถูกทิ้งไป บริเวณเนื้อฝักเหรียงที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้มีลักษณะที่ข้นหนืดเมื่อขยำรวมกับน้ำ ลักษณะเช่นนี้อาจเกิดจากสารจำพวกมิวซิเลจหรือกัมที่พบทั่วไปบริเวณรอบ ๆ เมล็ดพืช จากภูมิปัญญาท้องถิ่นในพื้นที่ภาคใต้พบว่า เมื่อนำเนื้อของฝักเหรียงขยำรวมกับน้ำแล้วเติมน้ำปูนใสลงไปจะเกิดการเซต

ตัวของเจลขึ้น มิวซิเลจของฝักเหรียงจึงอาจมีสารประกอบเพกทินเป็นองค์ประกอบที่สามารถเกิดเป็นเจล บางพื้นที่จึงมีการนำมิวซิเลจจากฝักเหรียงมาทำเป็นวุ้นไว้รับประทานเป็นของหวานแต่ยังไม่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปโดยเฉพาะคนรุ่นใหม่ มิวซิเลจจากฝักเหรียงจึงเป็นสารที่เกิดเจลที่น่าสนใจ เพราะเป็นสารที่ได้จากพืชธรรมชาติ สารที่มีลักษณะเช่นนี้ เป็นสารที่สามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารให้ลักษณะเป็นเจล จึงสามารถนำมาใช้ประกอบอาหารหรือใช้เป็นสารช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้ หรืออาจใช้เป็นตัวช่วยในการสมานแผลในทางการแพทย์ได้ด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อฝักเหรียง โดยการนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ทดแทนการผลิตเยลลี่ที่ใช้คาราจีแนนที่มีราคาสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้อาจเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของตลาดประเภทหนึ่งหรือส่งเสริมให้เป็นของหวานพื้นเมืองประจำจังหวัด งานวิจัยนี้ยังถือเป็นการสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นของภาคใต้มิให้สูญหายไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีของเนื้อฝักเหรียง
2. เพื่อศึกษาปริมาณของน้ำตาลและน้ำปูนใสที่มีต่อคุณสมบัติและคุณภาพของเยลลี่จากฝักเหรียง และปรับปรุงสี กลิ่นรส และรสชาติของเยลลี่ฝักเหรียง
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่จากฝักเหรียง
4. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของเยลลี่ฝักเหรียงที่บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท และการยอมรับของผู้บริโภค

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ใช้ระยะเวลาในการวิจัย 1 ปี โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พัฒนาเยลลี่จากมิวซิเลจของฝักเหรียงจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยวิจัยทดลอง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ใช้ฝักเหรียงที่ได้จาก จ.สุราษฎร์ธานีและใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลการยอมรับผลิตภัณฑ์ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลขั้นตอนการผลิตเยลลี่จากมิวซิเลจของฝักเหรียงที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและมีอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสม
2. สร้างทางเลือกในการแปรรูปสินค้าที่มีคุณประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิต
3. เผยแพร่งานวิจัยในวารสาร หรือนำเสนอในการประชุมวิชาการ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เยลลี่อ่อน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพรเคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดได้สนิท เยลลี่ที่ได้จะต้องเป็นก้อนวุ้น และคงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะบรรจุ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่อ่อน, 2553) มิวซิเลจจากฝักเหรียงถือเป็นใยอาหารชนิดหนึ่ง ใยอาหาร คือส่วนที่เหลือของเซลล์พืช หลังจากการย่อยโดยเอนไซม์ของระบบทางเดินอาหาร ซึ่งจะรวมทั้งผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส เพกทิน ลิกนิน รวมทั้ง กัม และมิวซิเลจ ส่วนคำจำกัดความทางเคมี อธิบายได้ว่า ใยอาหารเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชจากพืช (Plant non starch polysaccharides) และลิกนิน (ใยอาหารอันทรงคุณค่า, 2551)

ชนิดของใยอาหาร

ใยอาหารแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

1. ใยอาหารที่ละลายน้ำ พบในถั่วบางชนิด ผลไม้ และธัญชาติ เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ใยอาหารชนิดนี้ จะละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปเจล แต่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว ได้แก่

1.1 กัม เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก และในหมู่โมเลกุลน้ำตาลบางหมู่มีกลุ่มกรดยูโรนิกอยู่ บางชนิดก็ไม่ละลายน้ำ กัมมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น คาราจีแนน อะการ์ และเพกทิน เป็นต้น เพกทินมีหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่ที่มีกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ และกลุ่มกรดยูโรนิก เพกทินบางชนิดไม่ละลายน้ำ กลุ่มคาร์บอกซิลของกรดยูโรนิกอาจถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิลได้ เพกทินพบมากในผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมติดต่อกัน

1.2 มิวซิเลจ เป็นสารประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเช่นเดียวกันกับกัม มักเป็นคำที่ใช้สลับกันระหว่างกัม พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก เปลือก และเมล็ด เป็นต้น และยังพบในดอก ใบ และผนังเซลล์ของพืชอีกด้วย มิวซิเลจในพืชทำหน้าที่อุ้มน้ำช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำ

2. ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ พบในผักและผลไม้ทั่วไป เป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว ได้แก่

2.1. เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสเป็นจำนวนมาก (ประมาณ 1,000 โมเลกุล) ที่มาเชื่อมต่อกันเช่นเดียวกับสตาร์ช (Starch) แต่มีลักษณะพันธะที่มาเชื่อมต่อแตกต่างกัน เซลลูโลสจึงไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว

2.2. เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปประมาณ 100 โมเลกุล ละลายได้ในสารละลายด่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เพนโทแซน (Pentosan) และเฮกโซแซนที่ไม่ใช่เซลลูโลส (Non cellulose hexosan) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ไซแลนส์ (D-xylans) และกลูโคแมนแนน (D-gluco-D-mannan) และน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิด อื่น ๆ เช่น อะราบิโนส (L-arabinose) เป็นต้น

2.3. ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตเมื่อแก่ขึ้น ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญชาติ ซึ่งจะถูกกะเทาะออกไปในกระบวนการขัดสี

ส่วนประกอบของใยอาหารที่พบในพืชชนิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับ อายุพืช พันธุ์พืช และส่วนต่าง ๆ ของพืชด้วย

คุณสมบัติของใยอาหารต่อร่างกาย

ใยอาหารมีผลต่อระบบสรีรวิทยาของร่างกายหลายด้าน เช่น ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด มีผลต่อระดับน้ำตาล ลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ ลดความอ้วน ป้องกันมะเร็ง ปรับปรุงหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ และลดระดับการดูดซึมน้ำตาล จึงสามารถลดระดับ Glycosidic index ในร่างกายได้ นอกจากนี้ ใยอาหารในกลุ่มที่ละลายน้ำ จะช่วยลดการดูดซึมน้ำตาลและไขมันได้ดี จึงช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวานและโรคไขมันในเลือดสูง ทำให้รู้สึกอิ่มโดยไม่ให้พลังงานเพิ่ม ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกาย และช่วยร่างกายดูดซับสารพิษและสิ่งสกปรกออกไป ใยอาหารที่ละลายน้ำได้จะถูกแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ย่อยสลายเป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น (Short chain fatty acid) ที่ให้ประโยชน์กับร่างกายด้วย (นุชนาฏ กิจเจริญ, 2006)

การเกิดเจลของเพกทิน

เพกทิน (Pectin) จัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้พบตามบริเวณผนังเซลล์ของพืช เพกทินที่ขายในทางการค้าเป็นสารที่สกัดจากผลไม้ตระกูลส้ม เช่น เปลือกส้ม มะนาว หรือ แอปเปิ้ล เพกทินจะเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายร่างแหในขณะที่ต้มน้ำตาลกับผลไม้ ทำให้เกิดเจลขึ้น ปริมาณเพกทินที่เติมลงไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ คือ ถ้าปริมาณเพกทินในผลไม้มาก จำนวนเพกทินที่เติมลงไปก็น้อยหรืออาจไม่ต้องใช้เลยก็ได้ การตรวจสอบปริมาณเพกทินในน้ำผลไม้อย่างง่ายคือ นำน้ำผลไม้ที่กรองจนใส 1 ส่วน ผสมกับแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol 95%) 3 ส่วน ใส่ในถ้วยแก้วที่ใสสะอาดผสมให้เข้ากันดี ถ้าเกิดตะกอนคล้ายวุ้นหนา แสดงว่ามีเพกทินปริมาณมาก ถ้าวุ้นบางแสดงว่ามีเพกทินปริมาณปานกลาง ถ้าเป็นตะกอนเล็ก ๆ ลอยอยู่ทั่วไป แสดงว่ามีเพกทินปริมาณน้อย (มัณฑนา ร่วมรักษ์, 2551) ปริมาณเพกทินในผลไม้บางชนิดแสดงในตารางที่ 2.1

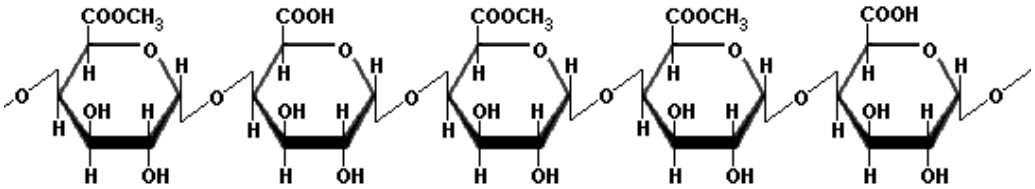
ตารางที่ 2.1 ปริมาณเพกทินในเนื้อเยื่อพืช

ชนิดของพืช	ปริมาณเพกทิน (ร้อยละ)
มันฝรั่ง	2.3
มะเขือเทศ	3.0
แอปเปิ้ล	5-7
แครอท	7-10
เทอร์นิพ	10
กากแอปเปิ้ลที่เหลือจากการคั้น (Apple pomace)	15-18
Sugar beet pulp	25-30
เปลือกส้ม (Citrus albedo)	30-40
เกรพฟรุต	1.6-4.5

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, หน้า 183

เพกทินโดยทั่วไปหมายถึงกรดเพกตินิก ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ที่ตำแหน่ง α, 1-4 หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิกบางส่วนจะถูกเอสเทอริไฟด์

ด้วยหมู่เมทิล ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และมีบางส่วนยังคงเหลือเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 นอกจากนี้น้ำตาลอื่นบางส่วน ได้แก่ กาแล็กโตส (D-galactose), อะราบิโนส (L-arabinose) และไซโลส (D-xylose) อาจเกาะอยู่เป็นสายแขนง น้ำหนักโมเลกุลของเพกทินอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-400,000 ดาลตัน โดยมีกรดกาแล็กทูโรนิกประมาณ 300-800 หน่วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545, หน้า 182; Pectin, 2009) ขนาดโมเลกุลและจำนวนหมู่ของเมทิลเอสเทอร์จะมีผลต่อความสามารถในการเกิดเป็นเจล กล่าวคือถ้าเพกทินมีขนาดโมเลกุลสูงและมีหมู่เมทิลเอสเทอร์ ($-COOCH_3$) หรือหมู่เมทอกซิล ($-OCH_3$) จำนวนมากจะมีความสามารถในการเกิดเป็นเจลได้ดี อย่างไรก็ตามการเกิดเป็นเจลของเพกทินนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของเพกทินแล้วยังขึ้นอยู่กับค่า pH และปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ด้วย



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเพกทินที่ประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิก
บางหน่วยที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์รวมอยู่ด้วย
ที่มา : Pectin, 2009

ชนิดของเพกทินสามารถแบ่งได้ตามค่า Degree of esterification (DE) ค่า DE หมายถึงจำนวนร้อยละของหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแล็กทูโรนิกที่ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทานอล (Methanol) เป็นหมู่เมทอกซิล สามารถแบ่งประเภทของเพกทินตามค่า DE ได้เป็น 2 ชนิดคือ เพกทินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP) และเพกทินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) โดย HMP คือเพกทินที่มีค่า DE มากกว่าร้อยละ 50 หรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 7 ขึ้นไป ส่วน LMP คือเพกทินที่มีค่า DE น้อยกว่าร้อยละ 50 หรือมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่าร้อยละ 7 (Whistler, and BeMiller, 1997, p. 205; Ranganna, 2008, p. 31) เพกทินชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซีสเอาหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพกทินโดยการใช้กรด ด่าง หรือเอนไซม์เพกทินเอสเทอเรส จำนวนคาร์บอกซิลที่เหลือ

จะอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิลอิสระและรูปของเกลือ ($-COO^-Na^+$) นอกจากนี้ยังมีเพกทินอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Amidated low methoxyl pectin เป็นเพกทินที่สกัดได้โดยการใช้แอมโนเนียละลายในแอลกอฮอล์เพื่อเปลี่ยนหมู่เมทิลเอสเทอร์บางส่วนเป็นหมู่คาร์บอกซาไมด์ (Carboxamide group) โดยมีหมู่คาร์บอกซิลที่เปลี่ยนไปเป็นหมู่ที่มีหมู่แอมิด (Amide, $-RCONH_2$) อยู่ในโมเลกุลประมาณร้อยละ 15-25 เพกทินชนิดนี้จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า LMP ทั่วไปเพราะสามารถเกิดเจลได้ดี โดยที่หมู่แอมิดจะช่วยให้สายโซ่เพกทินยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ (วรรณา ตุลยธัญ, 2549, หน้า 104) กลุ่มคาร์บอกซิลที่ปรากฏในเพกทินทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 2.2

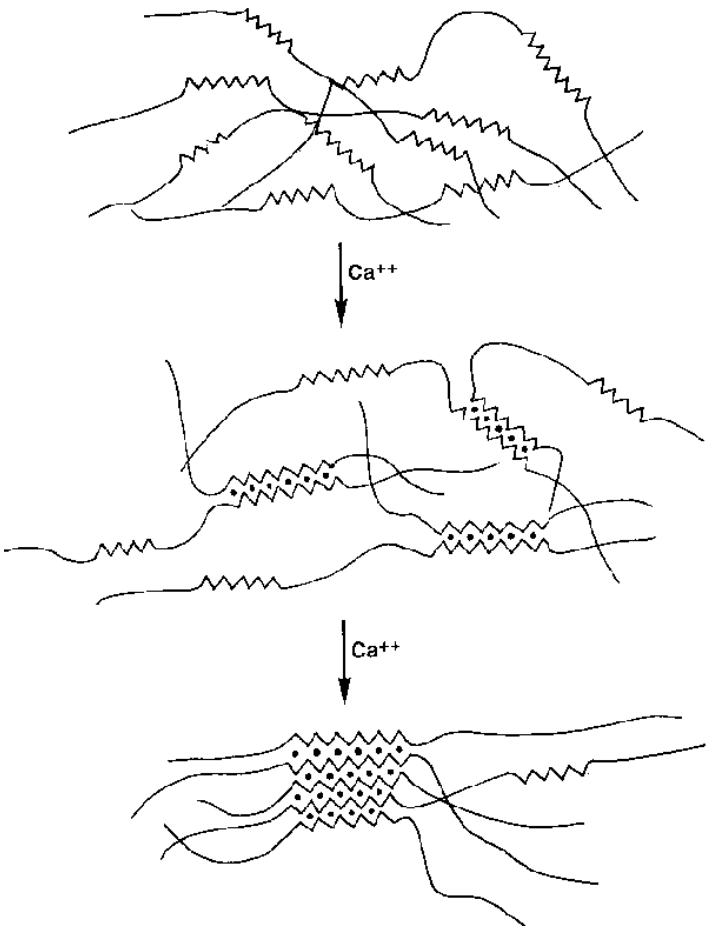
ตารางที่ 2.2 ชนิดของเพกทิน

High methoxyl pectin	Low methoxyl pectin	Amidated low methoxyl pectin
$-COOCH_3$ ($>$ 50%)	$-COOCH_3$ ($<$ 50%)	$-COOCH_3$ ($<$ 50%)
-COOH	-COOH	-COOH
$-COO^-Na^+$	$-COO^-Na^+$	$-COO^-Na^+$
		$-CONH_2$ (15-25%)

ที่มา : Whistler and BeMiller, 1997, p. 205

เพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลจำนวนมากเป็นเพกทินที่เกิดเป็นเจลได้เร็ว (Rapid set pectin) จะเกิดเจลกับน้ำตาลที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 58-75 และกรดที่ pH 3.0-3.4 เพกทินที่เกิดเป็นเจลได้เร็วเป็นเพกทินที่มีค่า DE ร้อยละ 70 ขึ้นไป ความแข็งแรงของเจลของเพกทินนี้จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของเพกทิน คือเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้เจลที่มีความแข็งแรงมาก ส่วนเพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลจำนวนน้อยกว่าเป็นเพกทินที่เกิดเป็นเจลได้ช้า (Slow set pectin) มีค่า DE ประมาณร้อยละ 50-70 โดยจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อรวมกับน้ำตาลและกรดที่ pH 2.8-3.2 เพกทินที่มีค่า DE ลดลงจะมีความสามารถในการเกิดเจลกับน้ำตาลและกรดลดลง เพกทินที่มีค่า DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 จะเกิดเป็นเจลได้ที่ pH 2.8-3.2 โดยจะต้องมีไดวาเลนซ์แคทไอออน (Divalent cation) เช่น แคลเซียมหรือแมกนีเซียมไอออนรวมอยู่ด้วย โดยที่การเกิดเจลไม่จำเป็นต้องมีน้ำตาลหรืออาจมีน้ำตาลรวมอยู่ด้วยก็ได้ โดยจะต้องควบคุมปริมาณของไอออนให้พอเหมาะเพราะถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เพกทินตกตะกอนและไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ กลไกการเกิดเจลเกิดจากพันธะข้าม (Cross linkage) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลกับไดวาเลนซ์แคทไอออน โดยทั่วไปนิยมใช้แคลเซียมไอออน จะทำหน้าที่ยึดระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของเพกทินสองโมเลกุล

โดยจะแทรกอยู่ระหว่างขอบเขตรอยต่อ เปรียบเหมือนแบบจำลองกล่องไข่ (Egg box) (ภาพที่ 2.2) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, หน้า 185; กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, มปป., หน้า 253-254; วรรณา ตุลยธัญ, 2549, หน้า 103)



ภาพที่ 2.2 การเกิดเจลในรูปแบบกล่องไข่; • แทนแคลเซียมไอออน
ที่มา : FAO, 2009

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตรา สิงห์ทอง และคณะ (2550) ศึกษากระบวนการสกัด องค์ประกอบและคุณสมบัติของกัมที่ได้จากใบย่านางพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดคือ ใช้ใบย่านางอบแห้งต่อน้ำอัตราส่วน 1: 7 ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.40 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตสูง มีความหนืด

และความแข็งแรงของเจลสูง มีน้ำตาลร้อยละ 70 โดยมีน้ำตาลไซโรส (Xylose) เป็นองค์ประกอบหลักที่ต่อกันด้วยพันธะ β-(1$\rightarrow$4) และ β-(1$\rightarrow$3) และพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีมช็อคโกแล็ตได้

กัมจากผลพุงทะลายหรือลูกสำรองที่สกัดด้วยด่างประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 83.1 เถ้าร้อยละ 8.4 และโปรตีนร้อยละ 8.3 พบว่ากัมจากลูกสำรองมีศักยภาพในการปรับปรุงผลผลิตและเสถียรภาพของ Batter และอิมัลชันจากเนื้อไก่ได้ (Somboonpanyakul, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าลูกสำรองประกอบด้วยมิวซิเลจที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี และมีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายไขมัน จึงนำมาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์หมูยอลดไขมัน พบว่าอัตราส่วนของลูกสำรองต่อไขมันที่เหมาะสมคือ 2: 1 ให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ด้านแรงต้านการตัดขาดและความคงตัวของอิมัลชันที่ดี และมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี ได้แก่ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (ประภาศรี เทพรักษา, 2547)

การศึกษาการผลิตไอศกรีมรสใบเตย โดยใช้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัว ปริมาณ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 (w/w) พบว่าเมื่อปริมาณของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้นไอศกรีมจะมีความหนืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และมีผลทำให้อัตราการขึ้นฟูและอัตราการละลายลดลง เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าไอศกรีมรสใบเตยที่ใช้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0.5 ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส การละลายในปาก และความชอบโดยรวมสูงที่สุด พบว่ามีเส้นใยอาหารสูงถึงร้อยละ 15.60 และเมื่อตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาพบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ปิยนุสร์ น้อยด้วง และสริญญา กิตติเจริญกานต์, 2549)

วัชระ เวียงแก้ว (2549) ศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ พบว่าการต้มสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 0.5 ให้ปริมาณเพกทินสูงสุดร้อยละ 19.56 โดยน้ำหนักแห้ง คุณสมบัติของเพกทินมีปริมาณเถ้า และปริมาณเมทอกซิลเท่ากับร้อยละ 1.31 และ 13.36 ตามลำดับ มีน้ำหนักสมมูลเท่ากับ 862.24 ส่วนการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ความดัน 1 บาร์ เป็นเวลา 30 นาที ที่ค่า pH เท่ากับ 1.0 ให้ปริมาณเพกทินร้อยละ 18.45 ซึ่งปริมาณไม่แตกต่างมากนัก แต่สามารถประหยัดเวลา มีปริมาณเถ้า และปริมาณเมทอกซิลเท่ากับร้อยละ 1.11 และ 16.41 ตามลำดับ มีน้ำหนักสมมูลเท่ากับ 1323.62 ซึ่งจะเห็นว่าเพกทินมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า น้ำหนักสมมูลสูงกว่า แสดงว่ามีโครงสร้างหรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าและมีความสามารถในการเกิดเจลได้ดี

Singthong (2004) รายงานว่า สารละลายเพกทินที่สกัดได้จากใบเครือหมาน้อยสามารถเกิดเป็นเจลได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และพบว่าสารละลายเพกทินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เกิดเจลได้ที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง 2-4 (pH 2-4) เพกทินมีระดับเอสเทอริฟิเคชั่น (degree of esterification) ร้อยละ 41.7 จัดเป็นชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำ และยังพบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้ความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การผสมกันระหว่างกัม 2 ชนิด จะทำให้กัมเกิดเจลหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น การผสมแซนแทนกัมและโลคัสบีนกัมในอัตราส่วน 1:1 มีผลทำให้สารผสมมีความสัมพันธ์ในลักษณะเสริมกัน (Synergistic effect) กล่าวคือโลคัสบีนกัมโดยปกติไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้แต่เมื่อรวมกับแซนแทนกัมจึงจะเกิดเป็นเจลและมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าค่าพลังงานสะสมมีค่าสูงสุดแม้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 25-85 องศาเซลเซียส ก็ตาม (Copetti et.al., 1997; ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล, 2553)

ลาวัลย์ ฉัตรวิรุฬห์ (2539) ทดลองใช้คาราจีแนนในการผลิตเยลลี่ผลไม้โดยใช้ในปริมาณร้อยละ 0.4-1.0 โดยกำหนดความหวานและปริมาณกรดที่ร้อยละ 30 และ 0.35 ตามลำดับ พบว่าการใช้คาราจีแนนร้อยละ 0.8, 0.9 และ 1.0 ให้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีความเกาะตัวของเจลที่ดี และพบว่าเยลลี่ที่เด็กชอบรับประทานมากที่สุดคือ เยลลี่รสองุ่น ส้ม และสตรอเบอรี่ ตามลำดับ สามารถเติมแป้งบุกลงไปร้อยละ 3.5 เพื่อเพิ่มใยอาหารในเยลลี่ได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

วัตถุดิบ

ใช้ตัวอย่างฝักเหรียงในระยะที่สุกเต็มที่ เก็บประมาณเดือนมีนาคม-เมษายน ได้จากชาวสวนใน จ. สุราษฎร์ธานี

อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ
2. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร และฝา
4. ตะเกียงแอลกอฮอล์
5. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (TKA รุ่น Stero clave 24)
6. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (AND รุ่น FX-3000i)
7. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Satoriuos รุ่น CPA224S)
8. ตู้บ่มเชื้อ (redLINE RI รุ่น RI 115)
9. ตู้อบลมร้อน (redLINE RF รุ่น RF 115)
10. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) (Rotronic รุ่น A2101)
11. เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Hand refractometer) (Nippon Optical Work รุ่น 507-I)
12. เครื่องวัดค่า pH (Eutech รุ่น CyberScan pH 510)
13. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Lloyd รุ่น LR 30K)
14. แผ่นเทียบสี (RHS Colour chart)
15. เครื่องปั่นผสม
16. เตาแก๊ส
17. ขวดแก้วขนาด 30 กรัม พร้อมฝา

18. ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม ได้แก่ แก้วน้ำพลาสติก ถาดพลาสติก ถ้วยพลาสติก ช้อนพลาสติก และแบบทดสอบการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

สารเคมี

1. น้ำปูนใสร้อยละ 1.5 (w/v)
2. กรดซิตริก (Food grade)
3. 0.85% NaCl (Sodium chloride)
4. 0.01 N NaOH (Sodium hydroxide)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Standard plate count agar (PCA)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA)
3. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulfate tryptose (LST)

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมมิวซิเลจจากเนื้อฝักเหรียง

นำฝักเหรียงมาล้างให้สะอาด แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แกะเอาเฉพาะเนื้อในฝักเหรียง ที่ห่อหุ้มเปลือกเมล็ดไว้ นำมาบดเป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรง ชั่งหาน้ำหนัก บรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

2. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฝักเหรียง

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฝักเหรียง ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร ตามวิธี AOAC (2000) ค่าน้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) และปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content) ตามวิธีของ Ranganna (2008, p.33-34)

ทดสอบคุณสมบัติการเกิดเจลของเนื้อฝักเหรียงร้อยละ 2.5 (w/v) โดยนำมาขยี้ละลายน้ำเติมและไม่เติมน้ำปูนใส และศึกษาผลของความร้อนและน้ำตาลต่อการเกิดเจลของเนื้อฝักเหรียง โดยการต้มให้ความร้อนจนเดือด

3. การศึกษาอัตราส่วนการผลิตเยลลี่

ศึกษาอัตราส่วนการผลิตเยลลี่โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำปูนใสและน้ำตาล โดยใช้อัตราส่วนผสมของเนื้อฝักเหรียง 1.5 ส่วน น้ำ 35 ส่วน น้ำตาล 2 ระดับคือ 12 และ 15 ส่วน และน้ำปูน-

ใส 2 ระดับคือ 25 ส่วน และ 30 ส่วน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยเตรียมน้ำปูนใสจากปูนแดงร้อยละ 1.5 โดยการนำปูนแดงมาคนให้เข้ากันกับน้ำ ปิดฝา แล้วตั้งทิ้งไว้จนปูนแดงตกตะกอน จะได้น้ำปูนใส

ขั้นตอนการผลิตเยลลี่จากฝักเหรียงเริ่มจากการนำเนื้อฝักเหรียงมาขยี้กับน้ำผ่านผ้าขาวบางกรองด้วยผ้าขาวบางอีกครั้ง เติมน้ำตาลลงไปคนให้น้ำตาลละลาย (จะมีลักษณะเป็นเมือก แต่ไม่เป็นเจล) แล้วจึงเติมน้ำปูนใส คนให้เข้ากัน นำไปบรรจุในภาชนะ ปิดฝา ตั้งทิ้งไว้จนกว่าจะเกิดการเซตตัวเป็นเจล แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที การผลิตดังแสดงในภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยลลี่

ส่วนผสม	**สูตรที่**			
	1	2	3	4
เนื้อฝักเหรียง (กรัม)	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำ (มิลลิลิตร)	35	35	35	35
น้ำตาล (กรัม)	12	15	12	15
น้ำปูนใส (มิลลิลิตร)	25	25	30	30

นำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

วัดค่าสีโดยใช้แผ่นเทียบสี (RHS colour chart)

3.2 สมบัติทางเคมี

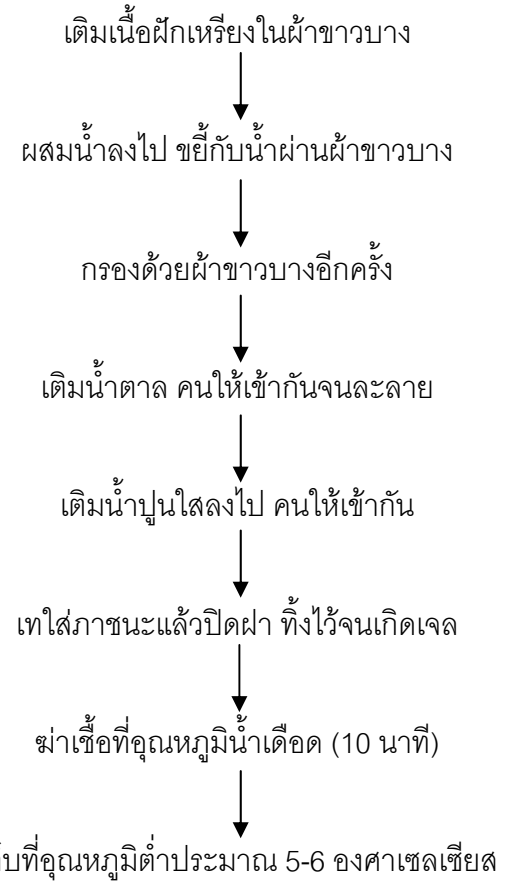
3.2.1 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand refractometer)

3.2.2 วัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH

3.3 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับ

ตรวจคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล) และความชอบโดยรวม โดยใช้ Hedonic scale 9 points (9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) จากผู้ทดสอบชิมที่

คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เยลลี่ จำนวน 30 คน โดยให้ผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เย็นแล้วที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ยที่ได้คะแนน ≥ 5.0 ถือว่าได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม)



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตเยลลี่จากฝักเหรียง

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) สำหรับการตรวจสอบสมบัติทางเคมี และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized completely block design, RCBD) สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 11.5

4. การศึกษาปริมาณสี กลิ่นรส และปริมาณกรดเพื่อปรับรสชาติ

เนื่องจากเยลลี่จากฝักเหรียงมีกลิ่นของฝักเหรียงที่ยังไม่ชวนบริโภคและมีสีน้ำตาลคล้ำ จึงคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากข้อ 3. มาปรับสีและกลิ่นรสผลไม้สังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ จำนวน 5 สูตร ได้แก่ สีส้ม + กลิ่นส้มออยด์; สีเหลืองมะนาว + กลิ่นสับปะรด; สีม่วง + กลิ่นองุ่น; สีแดงกุหลาบ + กลิ่นสละ; และสีแดงสตรอเบอรี่ + กลิ่นสตรอเบอรี่ โดยใช้สีและกลิ่นรสชนิดละร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และเติมกรดซิตริกร้อยละ 0.10 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

นำผลการทดลองสูตรที่ดีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดมาปรับรสชาติ (ใช้กรดซิตริก) และกลิ่นรส โดยใช้อัตราส่วนผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.05 และ 0.10 ของส่วนผสมทั้งหมด และใช้กลิ่นรสร้อยละ 0.02 และ 0.03 ของส่วนผสมทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.2

นำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ตามข้อ 3.2-3.4

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยลลี่

ส่วนผสม	**สูตรที่**			
	1	2	3	4
เนื้อฝักเหรียง (กรัม)	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำ (มิลลิลิตร)	35	35	35	35
น้ำตาล (กรัม)	12	12	12	12
น้ำปูนใส (มิลลิลิตร)	30	30	30	30
สี (มิลลิลิตร) (% ของส่วนผสมทั้งหมด)	0.02	0.02	0.02	0.02
กรดซิตริก (กรัม) (% ของส่วนผสมทั้งหมด)	0.05	0.05	0.10	0.10
กลิ่นรส (มิลลิลิตร) (% ของส่วนผสมทั้งหมด)	0.02	0.03	0.02	0.03

5. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเยลลี่ฝักเหรียง

ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเยลลี่ฝักเหรียงโดยคัดเลือกเยลลี่ฝักเหรียงที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากข้อ 4. บรรจุในภาชนะขวดแก้วขนาดบรรจุ 30 กรัม ปิดฝาให้สนิท นำมาฆ่าเชื้อที่

อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบคุณสมบัติและคุณภาพทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ดังนี้คือ

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

5.1.1 วัดความแข็งแรงของเจล โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

5.1.2 วัดค่าสีโดยใช้แผ่นเทียบสี

5.2 สมบัติทางเคมี

6.2.1 วัดปริมาณกรดทั้งหมด โดยวิธีการไทเทรต (Titratable acidity)

6.2.2 วัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH

6.2.3 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้

5.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

6.3.1 ตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2011)

6.3.2 ตรวจปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (BAM, 2011)

6.3.2 ตรวจปริมาณ *E. coli* (BAM, 2011)

5.4 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ (Quality characteristics analysis) (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2551, หน้า 144-148) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนและคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์จำนวน 4 คน ก่อนทดสอบชิมจะทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงก่อนโดยนำผลิตภัณฑ์เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 5-6 องศาเซลเซียส

5.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 11.5 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ยสำหรับคุณภาพทางจุลินทรีย์

6. การทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป (Consumer test)

ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล) และความชอบโดยรวม โดยใช้ Hedonic scale 9 points ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 100 คน โดยให้ผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ที่ทำ

ให้เย็นแล้วที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ยที่ได้คะแนน ≥ 5.0 ถือว่าได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) โดยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้านความแตกต่างทางประชากรศาสตร์กับการยอมรับที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) โดยวิธี Linear regression ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 11.5

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของเนื้อฝักเหรียง ปริมาณน้ำตาลและน้ำปูนใสที่เหมาะสมเพื่อใช้ผลิตเยลลี่จากเนื้อฝักเหรียง การปรับปรุงคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษามีดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของเนื้อฝักเหรียง

ฝักเหรียงทั้งฝักที่ผ่านการอบจำนวน 1,000 กรัม ได้เนื้อของฝักเหรียงคิดเป็นร้อยละ 10.82±0.55 เปลือกหุ้มเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 6.87±0.39 และเมล็ดเหรียงคิดเป็นร้อยละ 19.14±0.24 (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ) ส่วนต่าง ๆ ของฝักเหรียงแสดงในภาพที่ 4.1 และองค์ประกอบของเนื้อฝักเหรียงที่นำมาใช้ผลิตเยลลี่แสดงในตารางที่ 4.1

1) ฝักเหรียง

2) เปลือกหุ้มเมล็ด

3) เมล็ดเหรียง

4) เนื้อของฝักเหรียง

ภาพที่ 4.1 ฝักเหรียงและส่วนต่าง ๆ ของฝักเหรียง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฝักเหรียง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%, โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	10.71±0.26
เถ้า	5.49±0.06
โปรตีน	5.04±0.06
ไขมัน	0.77±0.02
ใยอาหาร (Dietary fiber)	27.86±1.07
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	78.00±0.13
ปริมาณเมทอกซิล	4.13±0.18
น้ำหนักสมมูล	5,300-5,900

จากตารางที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าเนื้อฝักเหรียงมีปริมาณใยอาหารสูงถึงร้อยละ 27.86 มีปริมาณเถ้าและโปรตีนค่อนข้างสูงคือร้อยละ 5.49 และ 5.04 ตามลำดับ และมีไขมันเพียงร้อยละ 0.77 เนื้อฝักเหรียงจึงเป็นแหล่งของใยอาหารจำนวนมาก

จากการทดสอบคุณสมบัติของเนื้อฝักเหรียงโดยขยี้ละลายเนื้อฝักเหรียง 1.5 ส่วน กับน้ำ 60 ส่วน (เนื้อฝักเหรียงคิดเป็น 2.5%) แล้วตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน จะไม่เกิดการเซตตัวของเจล แต่เมื่อละลายเนื้อฝักเหรียง 1.5 ส่วน กับน้ำ 35 ส่วน แล้วเติมน้ำปูนใสความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ลงไป 25 ส่วน (เนื้อฝักเหรียงคิดเป็น 2.5% ของน้ำและน้ำปูนใสรวมกัน) คนให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ จะเกิดการเซตตัวของเจลขึ้นภายในเวลา 5 นาที (สังเกตไม่พบการตกตะกอน) แสดงว่าเนื้อของฝักเหรียงมีสารประกอบเพกทินเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เพกทินที่อยู่ในฝักเหรียงเป็นเพกทินชนิดที่ต้องการไดวาเลนซ์เพื่อช่วยในการเกิดเจล จัดเป็นเพกทินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) โดยมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 4.13 (ตารางที่ 4.1) ต่ำกว่าร้อยละ 7 (Ranganna, 2008, p. 31) จึงต้องการไดวาเลนซ์ไอออนในที่นี้คือ Ca^{2+} ที่อยู่ในน้ำปูนใสเพื่อจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายช่วยให้เกิดเจลขึ้น การเกิดเจลไม่จำเป็นต้องมีน้ำตาลหรืออาจมีน้ำตาลรวมอยู่ด้วยเล็กน้อยก็ได้ เพกทินชนิดนี้จึงสามารถนำมาผลิตเยลลี่ที่ให้พลังงานต่ำได้ เพกทินมีน้ำหนักสมมูลระหว่าง 5,300-5,900 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอแห้ง แต่มีค่าเมทอกซิลต่ำกว่า (เพกทินจากเปลือกส้มโอมีน้ำหนักสมมูล 1324 ปริมาณเมทอกซิล 16.41%) (วัชระ เวียงแก้ว, 2549) ค่าน้ำหนักสมมูลสามารถบ่งบอกถึงน้ำหนักโมเลกุลของเพกทินได้ เพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงโดยปกติจะให้ความหนืดสูงและเจลที่แข็งแรง

เมื่อนำเนื้อฝักเหรียงขยี้ละลายน้ำนำไปต้มให้ความร้อนจนเดือดแล้วจึงใส่น้ำปูนใสภายหลัง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง พบว่ายังคงเกิดเป็นเจลขึ้นภายใน 5 นาที แต่พบการแยกชั้นของตะกอนบางส่วนอยู่ด้านล่าง (ภาพที่ 4.2) แต่เมื่อนำเนื้อฝักเหรียงละลายน้ำแล้วเติมน้ำปูนใสต้มให้ความร้อนพร้อมกันจนเดือด เมื่อตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนก็ไม่เกิดเป็นเจลและพบการตกตะกอนด้านล่างเช่นกัน อาจเป็นเพราะเพกทินในเนื้อฝักเหรียงมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง (5.04%) เมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้าซึ่งมีค่าโปรตีนต่ำกว่าโดยมีอยู่เพียงร้อยละ 1.0 (Pectin amid CF 020) เพกทินในฝักเหรียงอาจรวมตัวอยู่กับโปรตีนเมื่อโปรตีนได้รับความร้อนพร้อมกับน้ำปูนใส (สภาวะเป็นเบส) ทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เกิดการสูญเสียสภาพไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำเนื้อฝักเหรียง 1.5 ส่วน ขยี้ละลายน้ำ 35 ส่วน แล้วเติมน้ำตาลลงไปร้อยละ 20 (ของน้ำและน้ำปูนใสรวมกัน) คนให้น้ำตาลละลาย แล้วจึงเติมน้ำปูนใสลงไป 25 ส่วน คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้พบว่าจะเกิดการเซตตัวของเจลขึ้นภายใน 30 นาที แต่ถ้าหากนำเนื้อฝักเหรียงขยี้ละลายน้ำ เติมน้ำตาลลงไปร้อยละ 20 (ของน้ำและน้ำปูนใสรวมกัน) นำไปต้มให้ความร้อนจนเดือด แล้วจึงเติมน้ำปูนใสภายหลัง หรือเติมน้ำตาลพร้อมกับน้ำปูนใสแล้วนำไปต้มจนเดือด เมื่อตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนก็ไม่เกิดเป็นเจลขึ้น อาจเป็นเพราะโปรตีนในเนื้อฝักเหรียงทำปฏิกิริยากับน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ทำให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ ดังนั้นการใช้เนื้อฝักเหรียงที่มีเพกทินเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดเจล จึงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการให้ความร้อน โดยจะต้องให้เพกทินเกิดเป็นเจลก่อนที่จะนำไปให้ความร้อน อย่างไรก็ตามเนื้อฝักเหรียงมีข้อดีคือเป็นแหล่งของเพกทินจากธรรมชาติ ได้จากเนื้อของผลโดยตรง ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการสกัด ต่างจากเพกทินที่ได้จากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม เนื้อผลตาลโตนดหรือใบเครือหมาน้อยที่ได้จากการสกัด (Rungrodnimitchai, 2011; Singthong et al., 2005)

ภาพที่ 4.2 การตกตะกอนของเนื้อฝักเหรียง

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเยลลี่โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำปูนใสและน้ำตาลที่เหมาะสม

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ค่าสี ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS) และค่า pH โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อฝักเหรียงและน้ำในปริมาณที่เท่ากันคือ 1.5 กรัม และ 35 มิลลิลิตร ตามลำดับ แต่ใช้ปริมาณของน้ำปูนใส และน้ำตาลต่างกันพบว่า มีผลต่อค่าสี (ตารางที่ 4.2) ค่า TSS และค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เยลลี่สูตรที่ 3 (ใช้น้ำตาล 12 กรัม) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า จะให้เฉดสี GREYED-ORANGE GROUP 163/C มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลส้มสว่าง ต่างจากสูตรที่ 4 (ใช้น้ำตาล 15 กรัม) ซึ่งใช้น้ำตาลปริมาณมากกว่า จึงมีสีน้ำตาลส้มเข้มกว่าและมีสีที่เข้มเหมือนกันกับสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 ซึ่งใช้ปริมาณน้ำปูนใสน้อยกว่า ปริมาณน้ำตาลที่เติมมีค่า TSS ช่วง 17.9-21.2 องศาบริกซ์ (^{o}Brix) ใกล้เคียงกับเยลลี่ที่จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งวัดค่า TSS ได้ในช่วง 19.0-22.0 องศาบริกซ์ เยลลี่ทั้ง 4 สูตรใช้ระยะเวลาในการเกิดเจลภายใน 30 นาที ภายหลังเติมน้ำปูนใส ปริมาณน้ำปูนใสที่เติมจะมีผลต่อค่า pH เนื่องจากการแตกตัวของน้ำปูนใส ($Ca(OH)_2$) ให้ไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) จึงทำให้ค่า pH มีสภาวะเป็นเบส (pH > 7) จะสังเกตได้ว่าถึงแม้ในระบบการเกิดเจลของเยลลี่มีค่า pH สูง (8.70-9.47) เพกทินในฝักเหรียงซึ่งเป็นเพกทินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำก็สามารถเกิดเจลได้ อาจเป็นเพราะการเกิดเจลของเพกทินชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียมไอออนในระบบมากกว่าค่า pH (Walter, 1991, p. 28)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียง

สูตร	สี	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (12 : 25)*	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	19.3±0.06^{b}	8.77±0.02^{a}
2 (15 : 25)	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	21.2±0.06^{d}	8.70±0.03^{b}
3 (12 : 30)	GREYED-ORANGE GROUP 163/C	17.9±0.50^{a}	9.47±0.02^{c}
4 (15 : 30)	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	20.2±0.15^{c}	9.44±0.04^{c}

หมายเหตุ : * หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำตาล (กรัม) ต่อน้ำปูนใส (มิลลิลิตร)

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เยลลี่จากฝักเหรียงทั้งหมด 4 สูตร โดยทดสอบด้วยวิธี Hedonic scale 9 points จากผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เยลลี่ทั้งหมด 30 คน พบว่าทุกสูตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ในทุกด้าน (ตารางที่ 4.3) คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล) และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (คะแนนระหว่าง 6-7) ยกเว้นสูตรที่ 1 มีคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ 5.83 พบว่า สูตรที่ 3 ได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และลักษณะเนื้อสัมผัสมากกว่าสูตรอื่นเล็กน้อยคือได้คะแนน 6.60, 6.50 และ 6.70 ตามลำดับ และมีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากันกับสูตรที่ 1 คือ 6.23 ทุกสูตรมีกลิ่นของน้ำปูนใสใกล้เคียงกัน มีสีน้ำตาลอ่อน เจลมีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นของเนื้อฝักเหรียงเล็กน้อย มีรสชาติหวานใกล้เคียงกับเยลลี่ที่จำหน่ายในท้องตลาด ผู้วิจัยเลือกสูตรที่ 3 มาปรับปรุงในด้านสี กลิ่นรส และปริมาณกรด เพราะมีสีสว่างกว่าสูตรอื่น และมีลักษณะเนื้อสัมผัสของการเกิดเจลที่ดี

ตารางที่ 4.3 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียง

สูตร	ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (12 : 25)*	6.32±1.45^{ns}	5.83±1.44^{ns}	6.07±1.68^{ns}	6.73±1.17^{ns}	6.20±1.40^{ns}	6.23±1.30^{ns}
2 (15 : 25)	6.13±1.63	6.40 ±1.52	6.23±1.68	6.93±0.87	6.07±1.48	6.10±1.52
3 (12 : 30)	6.60±1.45	6.50 ±1.76	6.13±1.96	6.40±1.52	6.70±1.53	6.23±1.33
4 (15 : 30)	6.13±1.33	6.43 ±1.48	6.35±2.18	6.63±1.89	6.07±1.42	6.20±1.52

หมายเหตุ : * หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำตาล (กรัม) ต่อน้ำปูนใส (มิลลิลิตร)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

4.3 ผลการศึกษาปริมาณสี กลิ่นรส และปริมาณกรด

จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้ปริมาณเนื้อฝักเหรียง น้ำ น้ำตาล น้ำปูนใส สี (0.02%) และกลิ่นรส (0.02%) เท่ากัน แต่มีปริมาณกรดต่างกันพบว่า เยลลี่ฝักเหรียงเกิดเป็นเจลได้ดีเมื่อไม่ได้เติมกรดซิตริกลงไปโดยมีค่า pH เท่ากับ 9.50 เมื่อใช้ปริมาณกรดซิตริกเป็นส่วนผสมในการผลิตเยลลี่ร้อยละ 0.10 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เยลลี่เกิดการเซตตัวของเจล แต่อ่อนตัวกว่าเยลลี่ฝักเหรียงที่ไม่ได้เติมกรด มีค่า pH เท่ากับ 4.80 และเมื่อเติมกรดลงไปร้อยละ 0.15 เยลลี่ยังคงมี

การเซตตัวของเจลแต่มีการตกตะกอนของเนื้อฝักเหรียงและแยกชั้น และเมื่อเติมกรดลงไปร้อยละ 0.20 และ 0.30 พบว่าเยลลี่จะไม่เกิดการเซตตัวของเจลและมีการตกตะกอนของฝักเหรียง วัดค่า pH ได้เท่ากับ 3.74 และ 3.57 ตามลำดับ เนื้อฝักเหรียงมีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูง (5.04% และ 5.49% ตามลำดับ) เมื่อเติมกรดลงไปอาจทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนสภาพและตกตะกอนลงมา ค่า pH หรือปริมาณกรดจึงมีผลต่อการเกิดเจลของฝักเหรียง ไม่สามารถใช้ปริมาณกรดได้มากกว่าร้อยละ 0.15 ปริมาณกรดมีผลต่อรสชาติและกลิ่นรสของเยลลี่ เมื่อเติมลงไปพบว่าช่วยทำให้รสชาติและกลิ่นรสของเยลลี่ดีขึ้นกว่าเยลลี่ที่ไม่ได้เติมกรด

การใช้สีและกลิ่นรสผลไม้สังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงรสชาติของเยลลี่จากฝักเหรียง ทั้งหมด 6 สูตร โดยมีสูตรที่ 1 (ไม่มีการเติมสี กลิ่นรสผลไม้และกรด) เป็นชุดควบคุม ส่วนสูตรอื่น ๆ เติมสีและกลิ่นรสชนิดละร้อยละ 0.02 และกรดซิตริกร้อยละ 0.10 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่า มีผลต่อค่า TSS และค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ค่า TSS อยู่ในช่วง 17.0-18.7 องศาบริกซ์ ค่า pH อยู่ในช่วง 4.76-4.89 ยกเว้นชุดควบคุมมีค่า pH เท่ากับ 9.31 (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ

สูตร	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (ชุดควบคุม)	18.7±0.00^{e}	9.31±0.02^{e}
2 (สีส้ม+กลิ่นส้มออยด์)	17.5±0.06^{b}	4.78±0.01^{a}
3 (สีเหลืองมะนาว+กลิ่นสับปะรด)	17.5±0.06^{b}	4.76±0.01^{a}
4 (สีม่วง+กลิ่นองุ่น)	17.0±0.06^{a}	4.81±0.01^{b}
5 (สีแดงกุหลาบ+กลิ่นสละ)	17.6±0.06^{c}	4.85±0.02^{c}
6 (สีแดงสตรอเบอรี่+กลิ่นสตรอเบอรี่)	17.8±0.00^{d}	4.89±0.01^{d}

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d, e}$ หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale 9 points จากผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เยลลี่จำนวน 30 คน พบว่าคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (ตารางที่ 4.5) ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การเติมกรด สี และกลิ่นรสต่าง ๆ ลงไป จะทำ

ให้ผู้ทดสอบชิมยอมรับเยลลี่จากฝักเหรียงมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เพราะ กรด สี และกลิ่นรสสามารถกลบกลิ่นของน้ำปูนใสและฝักเหรียงได้ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 6 มีคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สูงกว่าสูตรอื่น ๆ โดยได้คะแนน 7.30, 7.60, 7.40, 7.00, 6.76 และ 7.23 ตามลำดับ มีลักษณะปรากฏที่ดีคือผิวเรียบมีความมันวาว ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเจลอ่อนเนื้อเรียบเนียน มีสีชมพูออกแดง รสชาติหวานหอมกลิ่นสตรอเบอรี่

ตารางที่ 4.5 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ

สูตร	ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (ชุดควบคุม)	5.06±0.63^{a}	4.96±0.79^{a}	4.90±0.71^{a}	4.70±0.59^{a}	5.16±0.64^{a}	5.00±0.26^{a}
2 (สีส้ม+กลิ่นส้มออยด์)	6.70±0.79^{b}	6.83±0.59^{b}	6.70±0.87^{b}	6.36±0.66^{b}	6.23±0.77^{b}	6.50±0.68^{b}
3 (สีเหลืองมะนาว+กลิ่นสับปะรด)	7.06±0.78^{cd}	7.03±0.71^{bc}	7.13±0.62^{c}	6.46±0.57^{b}	6.50±0.68^{bc}	6.76±0.62^{bc}
4 (สีม่วง+กลิ่นองุ่น)	6.50±0.77^{b}	6.73±0.86^{b}	7.23±0.72^{c}	6.60±0.62^{bc}	6.23±1.99^{b}	6.73±0.69^{bc}
5 (สีแดงกุหลาบ+กลิ่นสละ)	6.93±0.63^{cd}	7.26±0.69^{cd}	7.26±0.82^{c}	6.90±0.75^{cd}	6.40±0.77^{bc}	6.90±0.66^{c}
6(สีแดงสตรอเบอรี่+กลิ่นสตรอเบอรี่)	7.30±0.87^{d}	7.60±0.85^{d}	7.40±0.64^{c}	7.00±0.52^{d}	6.76±0.85^{c}	7.23±0.56^{d}

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

จะเห็นว่าผู้ทดสอบชิมยอมรับการเติมสีแดงสตรอเบอรี่และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ลงในเยลลี่ โดยให้คะแนนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีและกลิ่นรสอื่น ๆ จึงนำสีและกลิ่นรสดังกล่าวมาปรับรสชาติและกลิ่นรส โดยใช้กรดซิตริกร้อยละ 0.05, และ 0.10 และใช้กลิ่นรสร้อยละ 0.02 และ 0.03 ของส่วนผสมทั้งหมด แล้วนำมาตรวจคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ตารางที่ 4.6) พบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจะทำให้สีของเยลลี่มีความสว่างเพิ่มขึ้น จากเฉดสี RED GROUP 39/A ซึ่ง

มีลักษณะเป็นสีแดงหม่นเปลี่ยนเป็นเฉดสี RED GROUP 39/B เป็นสีแดงที่มีความสว่างขึ้น มีค่า TSS ระหว่าง 17.3-17.6 องศาบริกซ์ การเติมกรดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า pH ของเยลลี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดง กลิ่นรสสตรอเบอรี่ที่เติมกรดและกลิ่นรสปริมาณต่างกัน

สูตร	สี	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.02%)	RED GROUP 39/A	17.3±0.15^{a}	5.71±0.07^{c}
2 (กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.03%)	RED GROUP 39/A	17.6±0.20^{b}	5.14±0.02^{b}
3 (กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.02%)	RED GROUP 39/B	17.4±0.12^{ab}	4.85±0.00^{a}
4 (กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.03%)	RED GROUP 39/B	17.5±0.10^{ab}	4.79±0.03^{a}

หมายเหตุ : $^{a, b, c}$ หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale 9 points จากผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เยลลี่จำนวน 30 คน พบว่าคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การเติมกรดซิตริกและกลิ่นรสสตรอเบอรี่ลงไป (ตารางที่ 4.7) พบว่าเยลลี่ที่ใช้กรดร้อยละ 0.10 และกลิ่นรส 0.03 (สูตรที่ 4) ได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (คะแนนระหว่าง 7-8) และมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากกว่าสูตรอื่น ๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดและกลิ่นรส จะทำให้คุณลักษณะของเยลลี่โดยเฉพาะรสชาติ และกลิ่นรสที่ดีขึ้น กลบกลิ่นน้ำปูนใสและฝักเหรียงได้ดีขึ้น เยลลี่มีลักษณะปรากฏผิวหน้าเรียบมันวาว เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เป็นเจลอ่อนนุ่ม มีสีแดง สูตรที่ 3 และ 4 มีสีแดงสว่างมากกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ผลิตภัณฑ์เยลลี่มีรสชาติหวาน มีกลิ่นรสสตรอเบอรี่ แสดงในภาพที่ 4.3 ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ 4 เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.4 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษา

การศึกษาอายุการเก็บรักษาเยลลี่ฝักเหรียง โดยเก็บรักษาเยลลี่ที่มีส่วนผสมสีแดงสตรอเบอรี่ร้อยละ 0.02 กรดซิตริกร้อยละ 0.10 และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ร้อยละ 0.03 (สูตรที่ 4) ที่

ได้รับการยอมรับสูงสุด บรรจุในขวดแก้วขนาด 30 กรัม ปิดฝาแล้วผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 4.4) แล้วนำมาตรวจสอบทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยตรวจคุณสมบัติทางกายภาพ (ความแข็งแรงของเจล และค่าสี) สมบัติทางเคมี (ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH และปริมาณ TSS) คุณภาพทางจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด และปริมาณ *E. coli*) และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ (Quality characteristics analysis) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.7 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่ปริมาณต่างกัน

สูตร	ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (0.05%+0.02%)*	6.73±0.98^{a}	6.83±0.91^{a}	6.60±1.10^{a}	6.80±0.92^{a}	6.63±1.15^{a}	6.90±0.92^{a}
2 (0.05%+0.03%)	7.07±0.82^{ab}	7.03±1.06^{a}	6.70±0.91^{a}	6.60±0.81^{a}	6.87±1.10^{ab}	6.93±1.11^{a}
3 (0.10%+0.02%)	7.43±0.93^{bc}	7.33±0.99^{ab}	7.23±0.89^{b}	6.93±0.78^{a}	7.00±1.05^{ab}	7.47±0.81^{b}
4 (0.10%+0.03%)	7.67±1.02^{c}	7.63 ±0.99^{b}	7.57±0.97^{b}	7.53±1.04^{b}	7.40±1.30^{b}	7.70±0.98^{b}

หมายเหตุ : * หมายถึง ร้อยละของกรดและกลิ่นรสที่เติม

$^{a, b, c}$ หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

(1) (2) (3) (4)

ภาพที่ 4.3 เยลลี่ฝักเหรียงกลิ่นรสสตรอเบอรี่;
(1) กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.02%, (2) กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.03%,
(3) กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.02%, (4) กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.03%

ภาพที่ 4.4 เยลลี่บรรจุในขวดแก้วขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ มีความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 0.045-0.063 นิวตัน (N) และมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีเฉดสี RED GROUP 39/B คือสีแดงสว่าง และมีค่ากรดร้อยละ 0.11 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.8) มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.52-4.59 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.7-17.1 องศาบริกซ์

การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวน *E. coli* ทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.9) พบจุลินทรีย์ในสัปดาห์เริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) โดยพบจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา แต่ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่อ่อน (2553) คือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1.0×10^4 CFU/กรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 100 CFU/กรัม และพบการเจริญของ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษา

สัปดาห์ที่	คุณภาพทางกายภาพและสมบัติทางเคมี				
	ความแข็งแรงของเจล[1] (N)	ค่าสี	กรด[2] (%)	ค่า pH	TSS (^{o}Brix)
0	0.063±0.00^{a}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00^{ns}	4.59±0.00^{a}	16.9±0.14^{ab}
2	0.055±0.01^{ab}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.59±0.00^{a}	17.0±0.07^{ab}
4	0.053±0.00^{ab}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.59±0.00^{a}	17.0±0.00^{ab}
6	0.049±0.01^{b}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.53±0.04^{bc}	17.1±0.14^{a}
8	0.053±0.00^{ab}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.52±0.03^{c}	17.0±0.00^{ab}
10	0.047±0.01^{b}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.53±0.01^{bc}	16.7±0.28^{b}
12	0.045±0.00^{b}	RED GROUP 39/B	0.11±0.00	4.57±0.01^{ab}	17.0±.0.21^{ab}

หมายเหตุ : [1] ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.

[2] ปริมาณกรด คำนวณในรูปของกรดซิตริก

[a, b, c] หมายถึง ตัวอักษรต่างกันที่กำกับค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ 4.9 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษา

สัปดาห์ที่	จุลินทรีย์			
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม)	ยีสต์ (CFU/กรัม)	รา (CFU/กรัม)	*E. coli* (MPN/กรัม)
0	25	40	35	< 3
2	55	35	45	< 3
4	25	45	50	< 3
6	25	15	15	< 3
8	80	25	25	< 3
10	80	15	15	< 3
12	70	25	15	< 3
มผช.519/2547	< 1.0×10^{4}	< 100	< 100	< 3

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 4 คน พบว่า ลักษณะปรากฏ มีลักษณะผิวหน้ามันวาว เป็นเจลอ่อนนุ่มเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้น มีสีแดงเข้มสว่าง กลิ่นสตรอเบอรี่ และรสชาติหวานไม่แตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 10 และ 12 พบว่าเยลลี่มีน้ำเยิ้มบริเวณผิวหน้าเล็กน้อย อาจเกิดจากการไหลซึมออกมาจากของเหลวที่เป็นองค์ประกอบของเจล (Syneresis) เนื่องจากโครงร่างของสายเพกทินจัดเรียงตัวเข้ามาใกล้กันมากขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำแยกตัวออกมาเช่นเดียวกับเยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผักที่เก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนเป็นเจล และเจลมีลักษณะอ่อนตัวเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 10 และ 12

4.5 การทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป

นำผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียงสูตรที่ 4 มาทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน โดยใช้แบบสอบถามเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค และพิจารณาการยอมรับจากความชอบด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล) และความชอบโดยรวม โดยใช้ Hedonic scale 9 points ได้ผลดังนี้

ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน เป็นเพศชายจำนวน 33 คน เพศหญิง 67 คน (ตารางที่ 4.10) อยู่ในช่วงอายุ 18-25 ปี มากที่สุดคือจำนวน 46 คน รองลงมาคืออายุต่ำกว่า 18 ปี จำนวน 17 คน และอายุ 40 ปี ขึ้นไปจำนวน 16 คน ผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ 68) มีสถานภาพโสด ระดับการศึกษาอยู่ในระดับมัธยมปลาย/ปวช. จำนวน 30 คน ระดับปริญญาตรี อนุปริญญา/ปวส. และต่ำกว่ามัธยมศึกษาจำนวน 24 คน 22 คน และ 20 คน ตามลำดับ และมีการศึกษาระดับสูงกว่าปริญญาตรีเพียง 4 คน ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา จำนวน 45 คน รองลงมามีอาชีพธุรกิจส่วนตัว และเป็นแม่บ้าน/พ่อบ้าน จำนวน 23 คน และ 15 คน ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนน้อยกว่า 10,000 บาท จำนวน 52 คน รองลงมามีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-20,000 บาท และ 20,001-30,000 บาท จำนวน 24 คน และ 13 คน ตามลำดับ

ทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน โดยพิจารณาจากความชอบด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล) และความชอบโดยรวม พบว่าผู้บริโภคมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากโดยได้คะแนนเฉลี่ย 7.92, 7.44, 7.73 และ 7.90

ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ส่วนสีและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมากโดยได้คะแนนเฉลี่ย 8.15 และ 8.14 ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติพบว่าเพศ อายุ สถานะภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ ไม่มีผลต่อการยอมรับ (พิจารณาจากความชอบโดยรวม) ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียง ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียง

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (คน)
เพศ		
	ชาย	33
	หญิง	67
อายุ		
	ต่ำกว่า 18 ปี	17
	18-25 ปี	46
	26-30 ปี	9
	31-35 ปี	7
	36-40 ปี	5
	40 ปีขึ้นไป	16
สถานภาพ		
	โสด	68
	สมรส	30
	อื่นๆโปรดระบุ ได้แก่ หย่าร้าง	2
ระดับการศึกษา		
	ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	20
	มัธยมปลาย/ปวช.	30
	อนุปริญญา/ปวส.	22
	ปริญญาตรี	24
	สูงกว่าปริญญาตรี	4
	อื่น ๆ โปรดระบุ.....	0

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคที่ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียง (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (คน)
อาชีพ		
	นักเรียน/นักศึกษา	45
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	9
	พนักงานบริษัทเอกชน	2
	ธุรกิจส่วนตัว	23
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	15
	อื่นๆโปรดระบุ ได้แก่ ชาวสวน	6
ระดับรายได้เฉลี่ยต่อเดือน		
	น้อยกว่า 10,000 บาท	52
	10,001 - 20,000 บาท	24
	20,001 - 30,000 บาท	13
	30,001 - 40,000 บาท	4
	40,001 - 50,000 บาท	4
	50,000 บาท ขึ้นไป	3

ตารางที่ 4.11 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ
ลักษณะปรากฏ	7.92±0.76
สี	8.15±0.77
กลิ่น	7.44±0.94
รสชาติ	7.73±0.91
เนื้อสัมผัส	7.90±0.88
ความชอบโดยรวม	8.14±0.75

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

ฝักเหรียงมีปริมาณของเนื้อฝักเหรียงคิดเป็นร้อยละ 10.82 เนื้อฝักเหรียงมีใยอาหารร้อยละ 27.86 มีปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมันร้อยละ 5.49, 5.04 และ 0.77 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เนื้อฝักเหรียงเป็นมิวซิเลจที่มีคุณสมบัติเป็นเพกทินที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) คือมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 4.13 และมีน้ำหนักสมมูลระหว่าง 5,300-5,900 สามารถเกิดเจลได้ดีกับน้ำปูนใสในสภาวะไม่มีน้ำตาลและมีน้ำตาลรวมอยู่ด้วย แต่จะไม่เกิดเจลหากต้มให้ความร้อนพร้อมกัน

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่ฝักเหรียงคือใช้ปริมาณเนื้อฝักเหรียง 1.5 ส่วน น้ำ 35 ส่วน น้ำตาล 12 ส่วน และน้ำปูนใส 30 ส่วน จะได้เยลลี่ที่ได้รับการยอมรับสูงสุด โดยได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (คะแนนระหว่าง 6-7) มีลักษณะการเกิดเจลที่ดี เจลมีลักษณะอ่อนนุ่ม มีกลิ่นของฝักเหรียงและน้ำปูนใสเล็กน้อย และมีสีน้ำตาลส้ม (GREYED-ORANGE GROUP 163/C) สว่างกว่าสูตรอื่น ๆ จึงนำมาปรับปรุงด้านสี กลิ่นรส และปริมาณกรด พบว่าการเติมกรดร้อยละ 0.15 จะทำให้เกิดการตกตะกอนของเนื้อฝักเหรียงและไม่เกิดการเซตตัวของเจลเมื่อเติมกรดลงไปมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.20 สี กลิ่นรส และกรดที่เติมลงไปมีผลต่อคุณภาพของเยลลี่ฝักเหรียงเพราะจะช่วยให้รสชาติและกลิ่นรสของเยลลี่ดีขึ้นแตกต่างจากเยลลี่ที่เป็นชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) พบว่าการใช้สีแดงสตรอเบอรี่และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการใช้สีและกลิ่นรสอื่น ๆ โดยได้คะแนน 7.30, 7.60, 7.40, 7.00, 6.76 และ 7.23 ตามลำดับ และเมื่อนำเยลลี่ดังกล่าวมาปรับปรุงรสชาติโดยการเติมกรดและกลิ่นรส พบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจะทำให้สีของเยลลี่มีความสว่างเพิ่มขึ้น และมีค่า pH ลดลง การเติมกรดซิตริกร้อยละ 0.10 และกลิ่นรสสตรอเบอรี่ร้อยละ 0.03 ทำให้เยลลี่ได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรอื่น ๆ สามารถกลบกลิ่นน้ำปูนใสและฝักเหรียงได้ดี เยลลี่มีผิวหน้าเรียบมันวาว เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เป็นเจลอ่อนนุ่มสีแดง

เมื่อนำเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงสตรอเบอรี่บรรจุขวดแก้วขนาด 30 กรัม ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งแรงของเจลมีแนวโน้มลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 0.045-0.063 นิวตัน (N) มีเฉดสี RED GROUP 39/B คือสีแดงสว่าง และมีค่ากรดร้อยละ 0.11 มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.52-4.59 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.7-17.1 องศาบริกซ์ พบจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1.0×10^4 CFU/กรัม ยีสต์และราน้อยกว่า 100 CFU/กรัม และพบการเจริญของ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม เยลลี่มีลักษณะผิวหน้ามันวาว มีกลิ่นสตรอ-เบอรี่ และรสชาติหวานไม่แตกต่างกัน เจลมีลักษณะเป็นเจลอ่อนนุ่มเนื้อเดียวกัน เริ่มมีน้ำเยิ้มบริเวณผิวหน้าเล็กน้อย ในสัปดาห์ที่ 10 และ 12

ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียงสีและกลิ่นรสสตรอเบอรี่ โดยให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 7.92, 7.44, 7.73 และ 7.90 ตามลำดับ ส่วนสีและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 8.15 และ 8.14 ตามลำดับ และพบว่าเพศ อายุ สถานะภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ ไม่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ฝักเหรียง (p>0.05)

ข้อเสนอแนะ

เพกทินจากเนื้อฝักเหรียงเป็นแหล่งของเพกทินธรรมชาติที่ได้มาโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการสกัด ดังนั้นจึงควรศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน เป็นต้น เพื่อส่งเสริมการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหารต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. มปป. **ผักและผลไม้** (Vegetables & fruits). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 311 หน้า.

จิตรา สิงห์ทอง, สุเวทย์ นิงสานนท์ และ Steve W. Cui. 2550. **การศึกษาการสกัด องค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดจากใบย่านาง**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. 86 หน้า.

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกูล. 2553. Carbohydrate technology. บทที่ 4 สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรทไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. Online เข้าถึงได้จาก : http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611 /Chap4/chapter4_4.html. [2553, มีนาคม 18].

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2552. **โครงการแผนที่ภูมินิทัศน์ภาคใต้: ฐานเศรษฐกิจและทุนวัฒนธรรม เรื่องเหรียง: พันธุ์ไม้**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.sru.ac.th /TRF/Documents/0118.pdf. [2552, มิถุนายน 22].

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 487 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. **เคมีอาหาร** (Food chemistry). พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียน-สโตร์. กรุงเทพฯ. 504 หน้า.

นุชนาฏ กิจเจริญ. 2006. อาหารสมุนไพรยาระบาย: ใยอาหาร Herbal food laxative: dietary fiber. **Thai Pharmaceutical and Health Science Journal**. 1 (2) : 153-518.

ประภาศรี เทพรักษา. 2547. การใช้ลูกสำรองทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมูยอ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 53 หน้า.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2551. **หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 341 หน้า.

ปิยนุสร์ น้อยด้วง และสริญญา กิตติเจริญกานต์. 2549. **การใช้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัวในการผลิตไอศกรีมรสใบเตย**. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32, 10-12 ตุลาคม, ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ.

มัณฑนา ร่วมรักษ์, 2551. **การทำแยม เยลลี่ มาร์มาเลต**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.ku.ac.th/e-magazine/december43/agri/jam.html. [2551, ตุลาคม 11].

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่อ่อน. 2553. **มผช.519/2547**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://app.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps519_47.pdf. [2553, กันยายน 15].

ใยอาหารอันทรงคุณค่า. 2551. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://school.net.th/library/snet4/anatomy/food3.htm. [2551, สิงหาคม 15].

ลาวัลย์ ฉัตรวิรุฬห์. 2539. **การพัฒนาเยลลี่ผลไม้เสริมใยอาหาร**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 163 หน้า.

วรรณา ตุลยธัญ. 2549. **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 166 หน้า.

วัชระ เวียงแก้ว. 2549. **การสกัดเพคตินด้วยไอน้ำจากเปลือกส้มโอ**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวะกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ. 41 หน้า.

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา, ผาณิต ไทยยันโต, และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. 2554. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 42 (2) (พิเศษ): 509-512.

สุทธิลักษณ์ สมิตะสิรี, กิจการ ช่วยชูวงศ์, อภิญญา ตันทวีวงศ์, สมโชค คุณสนอง, กิตติ สรณเจริญพงศ์, ปัทมา ริ้วเหลือง, สินี โชติบริบูรณ์, วันเพ็ญ เพชรสน, เบญจพร สุขประเสริฐ, อัญนุช จินดาไทย และประภา คงปัญญา. 2541. **มหัศจรรย์ผัก 108**. มูลนิธิโตโยต้าประเทศไทย. 424 หน้า.

AOAC, 2000. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. 17 th.ed. Maryland : The Association of official analytical chemists.

BAM, 2011. **Bacteriological Analytical Manual**. U.S. Department of Health & Human Services. [Online]. Available : http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/Laboratory Methods/ucm2006949.htm. [2011, July 2]

Copetti, G., Grassi, M., Lapasin R. and Pricl, S. 1997. Synergistic gelation of xanthan gum with locust bean gum: a rheological investigation. **Glycoconjugate Journal**. 14: 151-161.

FAO. 2009. **Chapter 2 - Production, properties, and uses of alginates**. Edited by D.J. McHugh. [Online]. Available : http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e04.htm. [2010, May 22].

Pectin. [Online]. Available : http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html. [2009, March 26].

Ranganna, S. 2008. **Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products**. 15 th ed. New Delhi : Tata McGraw Hill publishing Company Ltd. 1113 p.

Rungrodnimitchai, S. 2011. Novel source of pectin from young sugar palm by microwave assisted extraction. **Procedia Food Science**. 1: 1553-1559.

Sadler, G.D. and Murphy, P.A. 2010. pH and titratable acidity. In S.S. Nielsen (ed.) **Food analysis**. 4 th.ed. (pp. 219-238). New York : Springer.

Singthong, J. 2004. **Compositional, structural and functional properties of Krueo Manoy extract**. Thesis (Ph.D.). Suranaree University of Technology. 132 p.

Singthong, J., Ningsanond, S., Cui, S.W. and Goff, H.D. 2005. Extraction and physicochemical characterization of Krueo Ma Noy pectin. **Food Hydrocolloids**. 19: 719-801.

Somboonpanyakul, P. 2005. **Properites of malva nut (*Scaphium scaphigerum*) mucilage and its effects on properties and microstructures of normal and low fat meat emulsions**. Thesis (Ph.D.). Chulalongkorn University. 201 p.

Walter, R.H. 1991. **The chemistry and technology of pectin**. London : Academic Press, Inc. 277 p.

Whistler, R.L., and BeMiller, J.N. 1997. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. Minnesota : The American association of cereal chemistry, Inc. 241 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์หาน้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) (Ranganna, 2008, p.33-34)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์
2. ขวดปรับปริมาตร
3. ขวดรูปชมพู่
4. บิวเรต
5. เตาให้ความร้อน
6. เอทานอลร้อยละ 95
7. โซเดียมคลอไรด์
8. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
9. สารละลายอินดิเคเตอร์ฟีนอลเรด (Phenol red indicator)

   เตรียมโดยชั่งฟีนอลเรด 0.1 กรัม บดละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 M จำนวน 28.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
10. น้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

    เตรียมโดยต้มน้ำกลั่นให้เดือดเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในขวดพลาสติกปิดฝาให้สนิท

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเอทานอลลงไป 5 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม เพื่อทำให้เห็นจุดยุติชัดเจนขึ้น
2. เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เพกทินละลายไม่จับตัวกันเป็นก้อนและไม่ติดอยู่ข้างขวด แล้วหยดอินดิเคเตอร์ฟีนอลเรดลงไป 6 หยด
3. นำมาไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N อย่างช้า ๆ จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี (pH 7.5) การเปลี่ยนสีจะต้องคงไว้อย่างน้อย 30 วินาที จดปริมาตรด่างที่ใช้ไทเทรต

   หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างนี้ (สารละลายที่ทำให้เป็นกลางแล้ว) ไว้วิเคราะห์หาปริมาณของเมทอกซิล

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (มก.)} \times 1000}{\text{จำนวนของด่างที่ใช้ไทเทรต (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นของด่างที่ใช้ไทเทรต (N)}}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content) (Ranganna, 2008, p.34)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. บิวเรต
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 N และ 0.1 N
3. สารละลายมาตรฐารกรดไฮโดรคลอริก 0.25 N

วิธีการ

1. นำสารละลายที่ทำให้เป็นกลางแล้ว (จากตัวอย่างหาน้ำหนักสมมูล) มาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 N จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิดจุกที่ฝาขวดไว้ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
2. เติม 0.25 N HCl จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. นำมาไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (เหมือนการหาน้ำหนักสมมูล)

การคำนวณ

$$\%\ \text{เมทอกซิล} = \frac{\text{จำนวนของด่างที่ใช้ไทเทรต (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นของด่างที่ใช้ไทเทรต (N)} \times 3.1}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (มก.)}}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Hand refractometer
2. กระดาษทิชชู

วิธีการ

ล้างปริซึมด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้ง เกลี่ยตัวอย่างลงบนปริซึมของ Hand refractometer ปิดฝาครอบ จากนั้นส่องดูกับแสง อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

การวิเคราะห์หาค่า pH

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า pH
2. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.01 และ pH 7.01
3. บีกเกอร์
4. กระดาษทิชชู

วิธีการ

1. เทียบ (Calibrate) เครื่องวัดค่า pH ทุกครั้ง ก่อนวัดค่า pH ของตัวอย่าง
2. ล้าง Probe ด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้งจากนั้นนำไปวัดตัวอย่าง (ใช้ตัวอย่างประมาณ 15-20 กรัม) โดยจุ่ม Probe ลงไปแล้วทำการวัดค่า
3. อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไทเทรต

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ขวดรูปชมพู่
2. น้ำกลั่น
3. สารละลายอินดิเคเตอร์ฟีนอฟธาลีน
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 N

วิธีการ

ชั่งตัวอย่าง จำนวน 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน เติมฟีนอฟธาลีน 2 - 3 หยด นำมาไทเทรตกับ 0.01 N NaOH คำนวณหาร้อยละของกรดในรูปของกรดซิตริก

การคำนวณ (Sadler and Murphy, 2010, p. 232)

$$\text{ปริมาณกรด (\%, w/w) ในรูปของกรดซิตริก} = \frac{N \times V \times \text{Eq. wt.} \times 100}{W \times 1000}$$

โดยที่

N = ความเข้มข้น (Normality) ของโซเดียมไฮดรอกไซด์

V = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

Eq. wt. = น้ำหนักสมมูลของกรดซิตริก (64)

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

การวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
2. จานโลหะมีฝาปิด
3. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบจานโลหะที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น 15 - 30 นาที ชั่งน้ำหนักทันทีเมื่อเย็น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของจานโลหะที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ทำซ้ำโดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (ให้มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่สุด มีผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม) ถ้าหากยังไม่ได้ใช้ควรเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 - 5 กรัม ใส่ในจานโลหะ
3. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 4 ชั่วโมง (จนน้ำหนักคงที่) เอาออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง อบซ้ำอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง(ให้มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่สุด มีผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม)
4. คำนวณหาปริมาณความชื้น จากน้ำหนักที่หายไป

การคำนวณปริมาณความชื้นในตัวอย่าง

ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

การวิเคราะห์หาเถ้า (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

วิธีการ

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วพักไว้ให้เย็นลงประมาณ 30 นาที ก่อนนำออกจากเตาเผา เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงก่อน หลังจากนั้นจึงนำออกจากเตาเผา ใส่ในตู้ดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ควรเผาจนกระทั่งน้ำหนักของภาชนะคงที่ โดยเผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที แล้วกระทำเช่นเดิมจนมีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่สุด
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน ประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแล้ว
3. นำตัวอย่างไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เผาจนกว่าตัวอย่างจะเป็นสีเทา (ใช้เวลาประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง) พักไว้ในเตาประมาณ 30 นาที แล้วจึงนำมาใส่ในตู้ดูดความชื้น จนกว่าจะเย็น ชั่งน้ำหนักเถ้าที่เหลืออยู่
4. คำนวณปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%, w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

การวิเคราะห์หาโปรตีนด้วยวิธีเจดาล (Kjeldahl Method) (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยเตาย่อย (Heat block) และเครื่องดักจับไอกรด (Scrubber)
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. หลอดย่อยโปรตีน
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิเมตร
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิเมตร

6. บิวเรตต์ ขนาด 25 มิลลิลิตร
7. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1 ลิตร
8. ลูกแก้ว (Glass bead)
9. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. เซเลเนียมมิกซ์ (Selenium Mix) หรือสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) และโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1 : 10
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 96 - 98
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 30
4. สารละลายกรดบอริกร้อยละ 4
5. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N เตรียมได้โดยปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 8.6 มิลลิเมตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1 ลิตร ซึ่งมีน้ำกลั่นบรรจุอยู่บ้าง จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่นลงไปให้ถึงขีดวัดปริมาตร แล้วหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
6. อินดิเคเตอร์ที่เป็นสารผสมระหว่างเมธิลเรด เมธิลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน เตรียมได้โดยชั่งเมธิลเรด 0.125 กรัม และเมธิลีนบลู 0.082 กรัม ละลายในเอทธานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ให้เป็นสารละลาย A จากนั้นชั่งโบรโมครีซอลกรีน 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ให้เป็นสารละลาย B ผสมสารละลาย A กับ B ในอัตราส่วน 5 : 1

วิธีการ

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 - 1 กรัม (ตัวอย่างของเหลวใช้ปริมาตร 10 - 15 มิลลิลิตร) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีนและทำแบลงก์ (Blank) ด้วย
2. เติมเซเลเนียมมิกซ์หรือสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโปแตสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
4. วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่สารละลายด่าง (NaOH) และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

5. เปิดสวิทซ์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ปล่อยทิ้งให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไทเทรต

1. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นด้วย
2. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริกร้อยละ 4 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด เรียบร้อยแล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้
3. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 ลงไปปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
4. นำไปกลั่นประมาณ 3 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ (ขั้นตอนที่ 2 - 3 หากเป็นเครื่องกลั่นแบบอัตโนมัติให้ตั้งค่าให้เครื่องกลั่นทำงานตามนี้)
5. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%, w/w)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4 \times F}{W}$$

โดยที่

A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับแบลงก์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด (N)

F = ค่าแฟกเตอร์ (6.25)

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

การวิเคราะห์หาไขมัน (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย) ซอกห์เลต (Soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser) และเตาให้ความร้อน (Heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (Extraction thimble)
3. ตู้อบลมร้อน
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. ตู้ดูดความชื้น
6. กระดาษกรองเบอร์ 1
7. สำลี

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ หรือเฮกเซน

วิธีการ

1. อบขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น และชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ถ้าตัวอย่างเป็นอาหารชนิดที่มีไขมันมากให้ชั่ง 1 - 2 กรัม ถ้าเป็นชนิดที่มีไขมันน้อยให้ชั่ง 3 - 5 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยใยแก้วหรือสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในหลอดแก้ว แล้วนำเข้าประกอบในเครื่อง
4. เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซน ลงในขวดกลมหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร
5. นำไปประกอบเข้าในเครื่อง เปิดเตาให้ความร้อน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น
6. ใช้เวลาในการสกัดนาน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของตัวทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. นำขวดกลมออกจากเครื่อง กลั่นเก็บตัวทำละลายจนเหลืออยู่ในขวดกลมเพียงเล็กน้อย

8. นำขวดกลมไปอบระเหยเอาตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส จนแห้งประมาณ 30 นาที แล้วเก็บในตู้ดูดความชื้น
9. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำ จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งไม่ต่างกันมากนัก (ไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม)
10. การคำนวณปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%, w/w)} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

โดยที่

A = น้ำหนักถ้วยแก้วและไขมันหลังอบ (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยแก้ว (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์หาใยอาหารโดยวิธีเอนไซม์เมตริก - เกรวิเมตริก (Enzymatric - gravimetric method) (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธีเจดาล
3. เตาเผา
4. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)
5. ครูซิเบิลแก้ว (Glass filter crucible) เบอร์ 2
6. อ่างน้ำร้อน
7. ตู้ดูดความชื้น
8. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. หลอดทดลอง
10. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
11. ปิเปต ขนาด 10 - 100 ไมโครลิตร
12. กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด - เบส 6.0

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 N
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 N
4. เอทธานอลร้อยละ 95
5. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α - amylase)
6. เอนไซม์โปรติเอส (Proteinase)
7. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase)
8. ซีไลต์ (Celite)

วิธีการ

1. อบตัวอย่างที่ 60 องศาเซลเซียส ให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด
2. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง 4 หลอดทดลอง
3. เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด - เบส 6.0 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส จำนวน 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นคนให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
4. วางให้เย็นแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 N ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้น ปรับค่าความเป็นกรด - เบสให้ได้ 7.5 ± 2.0 แล้วเติมเอนไซม์โปรติเอส จำนวน 50 ไมโครลิตร จากนั้นคนให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
5. วางให้เย็นแล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 N ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด - เบสให้ได้ 4.2 ± 2.0 แล้วเติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส จำนวน 100 ไมโครลิตร จากนั้นคนให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
6. เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ล้างหลอดด้วยเอทธานอลร้อยละ 95 ครั้งละ 25 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้ง เทใส่บีกเกอร์เดิมที่มีตัวอย่าง แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 1 คืน
7. เตรียมครูซิเบิลแก้ว เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โปรตีน โดยชั่งซีไลต์ จำนวน 0.3 กรัม จากนั้นอบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง วางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วเก็บไว้กรองตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โปรตีน

8. เตรียมถ้วยกระเบื้องเคลือบ โดยใช้ทราย และซีไลต์ประมาณครึ่งถ้วย เผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วเก็บไว้กรองตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เถ้า
9. หลังตกตะกอนแล้วกรองผ่านครูซิเบิลแก้ว และล้างด้วยเอทธานอลร้อยละ 78 ครั้งละ 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง แล้วตามด้วยเอทธานอลร้อยละ 95 ครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง
10. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 - 105 องศาเซลเซียส ค้างคืนแล้ววางให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก นำถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ชั่งน้ำหนักเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง วางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก
11. คำนวณหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด จากสูตร

$$\text{ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (\%, w/w)} = \frac{(R1 - R2) - \%\text{โปรตีน} - \%\text{เถ้า}}{W} \times 100$$

โดยที่

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

R1 = น้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างบนครูซิเบิลแก้ว (กรัม)

R2 = น้ำหนักของแบลงค์ที่ค้างบนครูซิเบิลแก้ว (กรัม)

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

วิธีการ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (%) = 100 – (%ความชื้น + %โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า)

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (BAM, 2011)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ
2. ปิเปตอัตโนมัติ
3. กระบอกตวง
4. จุกยาง
5. ตะแกรงเหล็ก
6. หลอดทดลองพร้อมฝาปิด
7. บีกเกอร์
8. ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ
9. เครื่องเขย่า (Shaking water bath)
10. ตะเกียงแอลกอฮอล์
11. แอลกอฮอล์สำหรับฆ่าเชื้อ
12. ตู้อบลมร้อน
13. ตู้บ่มเชื้อ
14. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)
15. สารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 (ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard plate count agar (PCA) โดยใช้จำนวน 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร แบ่งใส่ขวดแล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) โดยใช้จำนวน 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ปรับค่า pH แบ่งใส่ขวดแล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

การเตรียมสารละลาย

สารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 เตรียมโดยชั่ง NaCl 8.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจำนวน 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

1. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมา 10 กรัม ละลายลงในสารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 ที่มีปริมาณ 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้เป็นตัวอย่างความเจือจาง 10^{-1}

2. ปิเปตตัวอย่างความเจือจาง 10^{-1} ปริมาณ 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองที่มี NaCl ร้อยละ 0.85 ปริมาณ 9 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างความเจือจาง 10^{-2} ทำไปเรื่อย ๆ จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางที่เหมาะสม

3. ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางที่เตรียมไว้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว หลอมอาหารแข็ง PCA และ PDA ที่เตรียมไว้และทิ้งให้มีอุณหภูมิ 45 - 50 องศาเซลเซียส แล้วใส่อาหารเลี้ยงเชื้อลงไป (เตรียมตัวอย่างละ 2 ซ้ำ)

4. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์ทั้งหมด บันทึกผล นำจานเพาะเชื้อที่ใส่อาหาร PDA บ่มต่อเพิ่มอีก 48 ชั่วโมง นับจำนวนราทั้งหมด บันทึกผล โดยนับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อที่อยู่ในช่วง 25 - 250 โคโลนี การตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมดและตรวจยีสต์และราแสดงในภาพที่ 1 ข และ 2 ข

<u>การคำนวณ</u>

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม) = จำนวนโคโลนีที่นับได้ × ค่าแฟกเตอร์ของความเจือจาง

จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (CFU/กรัม) = จำนวนโคโลนีที่นับได้ × ค่าแฟกเตอร์ของความเจือจาง

ตัวอย่าง 10 กรัม

↓

ละลายลงใน 0.85% NaCl ที่มีปริมาณ 90 มิลลิลิตร

↓

ทำความเจือจาง จาก 10^{-1} จนถึง 10^{-4}

↓

ปิเปต 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ
เทอาหาร PCA ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร
เทขณะอุ่น ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส

↓

หมุนวนเป็นเลขแปดเพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อกับตัวอย่างผสมกัน

↓

บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

↓

ตรวจนับโคโลนีช่วง 25-250 โคโลนี

↓

รายงานผลเป็น CFU/กรัม หรือ CFU/มิลลิลิตร

ภาพที่ 1 ข การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

ตัวอย่าง 10 กรัม

↓

ละลายลงใน 0.85% NaCl ที่มีปริมาณ 90 มิลลิลิตร

↓

ทำการเจือจาง จาก 10^{-1} จนถึง 10^{-2}

↓

ปิเปต 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ
เทอาหาร PDA ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร
เทขณะอุ่น ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส

↓

หมุนวนเป็นเลขแปดเพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อกับตัวอย่างผสมกัน

↓

บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72-120 ชั่วโมง

↓

ตรวจนับโคโลนีช่วง 25-250 โคโลนี

↓

รายงานผลเป็น CFU/กรัม หรือ CFU/มิลลิลิตร

ภาพที่ 2 ข การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา

การวิเคราะห์จำนวน *E. coli* (BAM, 2011)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ปิเปตอัตโนมัติ
2. กระบอกตวง
3. ตะแกรงเหล็ก
4. หลอดทดลองพร้อมฝาเกลียว
5. บีกเกอร์
6. ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์
8. ตู้อบลมร้อน
9. ตู้บ่มเชื้อ
10. หม้อนึ่งความดัน
11. หลอดดักก๊าซ
12. เข็มเขี่ยเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Lauryl sulfate tryptose broth (LST)
2. EC broth
3. L-EMB agar

การเตรียมสารละลาย

สารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 เตรียมโดยชั่ง NaCl 8.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจำนวน 1 ลิตร

วิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมา 10 กรัม ละลายลงในสารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 ที่มีปริมาณ 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้เป็นตัวอย่างความเจือจาง 10^{-1}

2. ปิเปตตัวอย่างความเจือจาง 10^{-1} ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่มี NaCl ร้อยละ 0.85 ปริมาณ 9 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างความเจือจาง 10^{-2} เจือจางไปจนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางที่ 10^{-3}

การตรวจสอบเบื้องต้น (Presumptive test)

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ LST ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 9 หลอด ๆ ละ 9 มิลลิลิตร

2. ใส่หลอดดักก๊าซวางคว่ำในหลอดทดลองที่มีอาหารเชื้อ LST แบบ 3 แถว ทุกหลอด ปิดฝา แล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

3. ปิเปตตัวอย่างอาหารแต่ละความเจือจางปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแถวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ระดับความเจือจางตัวอย่างต่างกัน 3 ระดับ ใส่ตัวอย่างละ 3 หลอด) เขย่าให้เข้ากัน

4. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ้าไม่เกิดก๊าซ ให้บ่มต่อจนครบ 48 ชั่วโมง ตรวจดูการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ และดูความขุ่น หากมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดให้ตรวจสอบในขั้นยืนยันต่อไป

การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirm test)

1. นำหลอดทดลองที่ให้ผลบวก (เกิดก๊าซ) ในการตรวจสอบเบื้องต้นทุกหลอด นำมาทดสอบในขั้นยืนยัน

2. บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 9 มิลลิลิตร แล้วใส่หลอดดักก๊าซวางคว่ำลงไปในหลอด ปิดฝา แล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

3. นำหลอดที่เกิดก๊าซจากการตรวจสอบขั้นแรก เขย่าเบา ๆ แล้วใช้เข็มเขี่ยเชื้อซึ่งลนไฟจนร้อนแดง ทิ้งไว้ให้เย็นสักครู่ ใส่ในหลอดที่เกิดก๊าซเขี่ยใส่ในอาหาร EC broth หลอดต่อหลอด เขย่าให้เข้ากัน

4. นำหลอดตัวอย่างเข้าตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5. นำหลอดที่เกิดก๊าซ เขี่ยเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ L-EMB agar บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. เขี่ยเชื้อจากโคโลนีที่สงสัย ที่มีจุดดำตรงกลาง มีหรือไม่มี Metallic sheen นำไปทดสอบ IMViC test

นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับตาราง Most Probable Number Index (MPN)

ภาคผนวก ค
แบบทดสอบการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

ชื่อผลิตภัณฑ์ เยลลี่

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....

วันที่..... **เวลา**.....

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบน้อยที่สุด 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**รหัส**					
	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1. ลักษณะปรากฏ						
2. สี						
3.กลิ่น						
4. รสชาติ (ความหวาน)						
5. เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อนตัวของเจล)						
6. ความชอบโดยรวม						

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้เสียสละเวลาและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทดสอบครั้งนี้

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป

ชื่อผลิตภัณฑ์ เยลลี่

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....

วันที่..... **เวลา**.....

คำชี้แจง : โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ( ) หน้าข้อความหรือเติมข้อความลงในช่องว่าง แบบทดสอบชิมชุดนี้มีทั้งหมด 2 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ทดสอบชิม

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) น้อยกว่า 18 ปี ( ) 18-25 ปี ( ) 26-30 ปี ( ) 31-35 ปี

( ) 36-40 ปี ( ) 41 ปี ขึ้นไป

3. สถานภาพ

( ) โสด ( ) สมรส ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

4. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ( ) มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ( ) อนุปริญญา/ปวส.

( ) ปริญญาตรี ( ) สูงกว่าปริญญาตรี ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

5. อาชีพ

( ) นักเรียน/นักศึกษา ( ) ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ( ) พนักงานบริษัทเอกชน

( ) ธุรกิจส่วนตัว ( ) แม่บ้าน/พ่อบ้าน ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

6. ระดับรายได้เฉลี่ยต่อเดือน

( ) น้อยกว่า 10,000 บาท ( ) 1,0000-20,000 บาท ( ) 2,0001-30,000 บาท

( ) 30,001-40,000 บาท ( ) 4,0001-50,000 บาท ( ) 50,001 บาท ขึ้นไป

ตอนที่ 2 ความชอบของผู้ทดสอบชิม

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาชิมตัวอย่างโดยให้คะแนนความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบน้อยที่สุด 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**คะแนนความชอบ**
ลักษณะปรากฏ	
สี	
กลิ่น	
รสชาติ (ความหวาน)	
เนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความอ่อน ของเจล)	
ความชอบโดยรวม	

ข้อเสนอแนะ

……

……

……

……

ภาคผนวก จ
ผลการตรวจสอบองค์ประกอบของฝักเหรียงและเนื้อฝักเหรียง

ตารางที่ 1 จ ปริมาณเนื้อฝักเหรียง เปลือกหุ้มเมล็ด และเมล็ดเหรียงของฝักเหรียงใน 1000 กรัม

ฝักเหรียง	จำนวนซ้ำ (กรัม)			ค่าเฉลี่ย	คิดเป็นร้อยละ
	1	2	3	(กรัม)	(%)
เนื้อฝักเหรียง	106.3	114.4	103.9	108.20	10.82
เปลือกหุ้มเมล็ด	67.3	73.1	65.8	68.73	6.87
เมล็ดเหรียง	192.5	193.0	188.6	191.37	19.14

ตารางที่ 2 จ องค์ประกอบของเนื้อฝักเหรียง

องค์ประกอบของเนื้อฝักเหรียง	จำนวนซ้ำ (%)		ค่าเฉลี่ย
	1	2	(%)
ความชื้น	10.52	10.89	10.71
เถ้า	5.56	5.42	5.49
โปรตีน	5.08	5.00	5.04
ไขมัน	0.75	0.78	0.77
ใยอาหาร	27.10	28.62	27.86
คาร์โบไฮเดรต	78.09	77.91	78.00
ปริมาณเมทอกซิล	4.26	4.00	4.13

ภาคผนวก ฉ
ผลการตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพและสมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียง

ตารางที่ 1 ฉ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและน้ำปูนใสต่างกัน

สูตรที่	จำนวนซ้ำ	ค่าสี	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (12 : 25)*	1	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	19.3	8.75
	2	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	19.3	8.78
	3	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	19.4	8.78
	ค่าเฉลี่ย	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	19.3	8.77
2 (15 : 25)	1	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	21.2	8.69
	2	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	21.2	8.73
	3	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	21.3	8.67
	ค่าเฉลี่ย	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	21.2	8.70
3 (12 : 30)	1	GREYED-ORANGE GROUP 163/C	17.4	9.45
	2	GREYED-ORANGE GROUP 163/C	18.4	9.49
	3	GREYED-ORANGE GROUP 163/C	18.0	9.49
	ค่าเฉลี่ย	GREYED-ORANGE GROUP 163/C	17.9	9.47
4 (15 : 30)	1	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	20.1	9.47
	2	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	20.2	9.46
	3	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	20.4	9.40
	ค่าเฉลี่ย	GREYED-ORANGE GROUP 163/B	20.2	9.44

หมายเหตุ : * หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลต่อน้ำปูนใส

ตารางที่ 2 ฉ สมบัติทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงที่เติมสีและกลิ่นรสชนิดต่าง ๆ

สูตรที่	จำนวนซ้ำ	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (ชุดควบคุม)	1	18.7	9.29
	2	18.7	9.31
	3	18.7	9.33
	ค่าเฉลี่ย	18.7	9.31
2 (สีส้ม+กลิ่นส้มออยด์)	1	17.4	4.79
	2	17.5	4.77
	3	17.5	4.78
	ค่าเฉลี่ย	17.5	4.78
3 (สีเหลืองมะนาว+กลิ่นสับปะรด)	1	17.4	4.77
	2	17.5	4.75
	3	17.5	4.77
	ค่าเฉลี่ย	17.5	4.76
4 (สีม่วง+กลิ่นองุ่น)	1	17.0	4.81
	2	17.0	4.81
	3	17.1	4.82
	ค่าเฉลี่ย	17.0	4.81
5 (สีแดงกุหลาบ+กลิ่นสละ)	1	17.6	4.84
	2	17.5	4.85
	3	17.6	4.87
	ค่าเฉลี่ย	17.6	4.85
6 (สีแดงสตรอเบอรี่+กลิ่นสตรอเบอรี่)	1	17.8	4.89
	2	17.8	4.89
	3	17.8	4.88
	ค่าเฉลี่ย	17.8	4.89

ตารางที่ 3 ฉ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงสีแดงกลิ่นรสสตรอเบอรี่ที่เติมกรดและกลิ่นรสปริมาณต่างกัน

สูตรที่	จำนวนซ้ำ	ค่าสี	ค่า TSS (^{o}Brix)	ค่า pH
1 (กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.02%)	1	RED GROUP 39A	17.3	5.78
	2	RED GROUP 39/A	17.1	5.65
	3	RED GROUP 39/A	17.4	5.71
	ค่าเฉลี่ย	RED GROUP 39/A	17.3	5.71
2 (กรด 0.05%+กลิ่นรส 0.03%)	1	RED GROUP 39/A	17.8	5.16
	2	RED GROUP 39/A	17.7	5.14
	3	RED GROUP 39/A	17.6	5.13
	ค่าเฉลี่ย	RED GROUP 39/A	17.6	5.14
3 (กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.02%)	1	RED GROUP 39/B	17.5	4.85
	2	RED GROUP 39/B	17.3	4.85
	3	RED GROUP 39/B	17.3	4.85
	ค่าเฉลี่ย	RED GROUP 39/B	17.4	4.85
4 (กรด 0.10%+กลิ่นรส 0.03%)	1	RED GROUP 39/B	17.5	4.82
	2	RED GROUP 39/B	17.6	4.77
	3	RED GROUP 39/B	17.4	4.77
	ค่าเฉลี่ย	RED GROUP 39/B	17.5	4.79

ตารางที่ 4 ฉ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

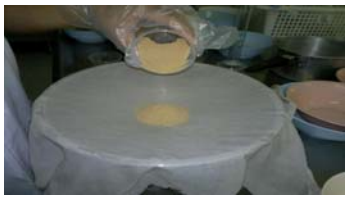
สัปดาห์ที่	จำนวนซ้ำ	ความแข็งแรงของเจล (N)	ค่าสี	กรด (%)	ค่า pH	TSS (^{o}Brix)
0	1	0.061	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
	2	0.065	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	16.8
	เฉลี่ย	0.063	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	16.9
2	1	0.060	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
	2	0.050	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	16.9
	เฉลี่ย	0.055	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
4	1	0.055	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
	2	0.050	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
	เฉลี่ย	0.053	RED GROUP 39/B	0.11	4.59	17.0
6	1	0.054	RED GROUP 39/B	0.11	4.50	17.0
	2	0.044	RED GROUP 39/B	0.11	4.56	17.2
	เฉลี่ย	0.049	RED GROUP 39/B	0.11	4.53	17.1
8	1	0.056	RED GROUP 39/B	0.11	4.50	17.0
	2	0.050	RED GROUP 39/B	0.11	4.54	17.0
	เฉลี่ย	0.053	RED GROUP 39/B	0.11	4.52	17.0
10	1	0.042	RED GROUP 39/B	0.11	4.52	16.5
	2	0.051	RED GROUP 39/B	0.11	4.54	16.9
	เฉลี่ย	0.047	RED GROUP 39/B	0.11	4.53	16.7
12	1	0.042	RED GROUP 39/B	0.11	4.58	17.1
	2	0.047	RED GROUP 39/B	0.11	4.57	16.8
	เฉลี่ย	0.045	RED GROUP 39/B	0.11	4.57	17.0

ภาคผนวก ช
ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลี่

ตารางที่ 1 ช จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และ *E. coli* ของเยลลี่ฝักเหรียงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	จำนวนซ้ำ	แยมมังคุด			
		จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม)	ยีสต์ (CFU/กรัม)	รา (CFU/กรัม)	*E. coli* (MPN/กรัม)
0	1	20	50	20	< 3
	2	30	30	50	< 3
	เฉลี่ย	25	40	35	< 3
2	1	50	30	50	< 3
	2	60	40	40	< 3
	เฉลี่ย	55	35	45	< 3
4	1	30	50	50	< 3
	2	20	40	50	< 3
	เฉลี่ย	25	45	50	< 3
6	1	20	10	20	< 3
	2	30	20	10	< 3
	เฉลี่ย	25	15	15	< 3
8	1	100	30	20	< 3
	2	60	20	30	< 3
	เฉลี่ย	80	25	25	< 3
10	1	80	10	10	< 3
	2	80	20	20	< 3
	เฉลี่ย	80	15	15	< 3
12	1	100	20	10	< 3
	2	40	30	20	< 3
	เฉลี่ย	70	25	15	< 3

ภาคผนวก ซ
วิธีการผลิตเยลลี่ฝักเหรียง



เทใส่เนื้อฝักเหรียงในผ้าขาวบาง
แล้วเติมน้ำลงไป

บีบผ่านผ้าขาวบาง

กรองผ่านผ้าขาวบางอีกครั้ง

เติมน้ำตาล

ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิน้ำเดือด
แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น

ตั้งทิ้งไว้จนเซตตัวเป็นเจล

ตักใส่ภาชนะ

คนจนน้ำตาลละลายแล้ว
เติมน้ำปูนใส เติมสีและกลิ่นรส

ภาพที่ 1 ซ ขั้นตอนการผลิตเยลลี่ฝักเหรียง